



Diseño estructural de una vivienda de interés social con materiales sostenibles

Structural design of a social housing with sustainable materials

Projeto estrutural de uma habitação social com materiais sustentáveis

Melanie Michell Ostaiza Párraga ^I

mostaiza4210@utm.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0009-7847-1607>

David Alexander Ormaza Loor ^{II}

dormaza2090@utm.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0003-1770-8099>

María Giuseppina Vanga Arvelo ^{III}

maria.vanga@utm.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-0143-838>

Correspondencia: mostaiza4210@utm.edu.ec

Ciencias Técnica y Aplicadas

Artículo de Investigación

* **Recibido:** 23 de julio de 2023 * **Aceptado:** 12 de agosto de 2023 * **Publicado:** 06 de septiembre de 2023

- I. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.
- II. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.
- III. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.

Resumen

Las edificaciones civiles son una de las fuentes de mayor contaminación ambiental, además de que la población sigue en aumento y trae consigo más construcciones y por ende la explotación de recursos que no son renovables. El objetivo de esta investigación es diseñar una vivienda unifamiliar seleccionando materiales sostenibles que cumplan con las condiciones básicas para ser una vivienda digna de interés social. Es una investigación básica, de corte cuantitativo, de diseño no experimental, en donde se aplicaron encuestas con muestro no probabilístico. Los resultados obtenidos indican, que la población en general conoce sobre los materiales sostenibles, en especial la caña guadua para uso en obras, y son conocedores de que las construcciones generan gran impacto ambiental; están abiertos a las construcciones sostenibles y piensan que estas no se han popularizado por desconocimiento, debiendo haber más capacitaciones por parte de los profesionales a la población en general. En cuanto a los profesionales de la construcción en su mayoría en ejercicio de su profesión, son conscientes de que el edificar produce una gran cantidad de emisiones globales de CO₂ al ambiente, a la vez de manifestar conocer los materiales sostenibles; el material que más recomiendan usar es la caña guadua, pero en general no lo han usado aunque sepan que tiene propiedades sismorresistentes; están abiertos al uso de materiales como el suelo cemento, el enquinche, los fardos de paja, entre otros. Arquitectónicamente, el diseño de la vivienda cuenta con dos dormitorios, sala, cocina y baño inclusivo, y estructuralmente se usó el sistema constructivo de muros portantes de mampostería confinada por el método detallado de análisis sísmico. Se concluye que el diseño estructural de la vivienda cumple con las condiciones que la norma ecuatoriana dicta para que una vivienda con muros de mampostería confinada sea resistente, obteniendo un presupuesto de \$14,022.62, costo que se encuentra en el rango según el MIDUVI para viviendas de interés social.

Palabras Clave: diseño arquitectónico con materiales sostenibles; diseño estructural con materiales sostenibles; materiales sostenibles para construcción; presupuesto de construcción de vivienda con materiales sostenibles; vivienda de interés social digna.

Abstract

Civil buildings are one of the sources of greatest environmental pollution, in addition to the fact that the population continues to increase and brings with it more construction and therefore the exploitation of non-renewable resources. The objective of this research is to design a single-family

home selecting sustainable materials that meet the basic conditions to be a home worthy of social interest. It is a basic research, of a quantitative nature, of a non-experimental design, where surveys with a non-probabilistic sample were applied. The results obtained indicate that the population in general knows about sustainable materials, especially bamboo cane for use in works, and they are aware that constructions generate a great environmental impact; They are open to sustainable constructions and think that these have not become popular due to ignorance, and there should be more training by professionals for the general population. As for the construction professionals, mostly in the exercise of their profession, they are aware that building produces a large amount of global CO₂ emissions into the environment, at the same time as stating that they are aware of sustainable materials; The most recommended material to use is guadua cane, but in general they have not used it even though they know that it has seismic resistant properties; They are open to the use of materials such as cement soil, enquinche, straw bales, among others. Architecturally, the design of the house has two bedrooms, a living room, a kitchen and an inclusive bathroom, and structurally the construction system of load-bearing masonry walls confined by the detailed method of seismic analysis was used. It is concluded that the structural design of the house meets the conditions that the Ecuadorian norm dictates so that a house with confined masonry walls is resistant, obtaining a budget of \$14,022.62, a cost that is in the range according to the MIDUVI for houses of interest. social.

Keywords: architectural design with sustainable materials; structural design with sustainable materials; sustainable building materials; housing construction budget with sustainable materials; decent social interest housing.

Resumo

Os edifícios civis são uma das fontes de maior poluição ambiental, para além do facto de a população continuar a aumentar e trazer consigo mais construção e, portanto, a exploração de recursos não renováveis. O objetivo desta pesquisa é projetar uma casa unifamiliar selecionando materiais sustentáveis que reúnam as condições básicas para ser uma casa digna de interesse social. Trata-se de uma pesquisa básica, de natureza quantitativa, de desenho não experimental, onde foram aplicados inquéritos com amostra não probabilística. Os resultados obtidos indicam que a população em geral conhece os materiais sustentáveis, principalmente a cana de bambu para utilização em obras, e tem consciência de que as construções geram um grande impacto ambiental;

Estão abertos às construções sustentáveis e acham que estas não se popularizaram por desconhecimento, devendo haver mais formação de profissionais para a população em geral. Quanto aos profissionais da construção, maioritariamente no exercício da sua profissão, têm consciência de que a construção produz uma grande quantidade de emissões globais de CO₂ para o ambiente, ao mesmo tempo que afirmam ter consciência dos materiais sustentáveis; O material mais recomendado é a cana-de-guadua, mas em geral não a utilizam mesmo sabendo que possui propriedades de resistência sísmica; Estão abertas à utilização de materiais como terra cimentícia, enquinche, fardos de palha, entre outros. Arquitetonicamente, o projeto da casa conta com dois quartos, uma sala, uma cozinha e um banheiro incluso, e estruturalmente foi utilizado o sistema construtivo de paredes estruturais de alvenaria confinadas pelo método detalhado de análise sísmica. Conclui-se que o projeto estrutural da casa atende às condições que dita a norma equatoriana para que uma casa com paredes de alvenaria confinadas seja resistente, obtendo um orçamento de \$ 14.022,62, custo que está na faixa de acordo com o MIDUVI para casas de interesse . sociais.

Palavras-chave: projeto arquitetônico com materiais sustentáveis; projeto estrutural com materiais sustentáveis; materiais de construção sustentáveis; orçamento de construção habitacional com materiais sustentáveis; habitação digna de interesse social.

Introducción

Los procesos de construcción representan a una de las principales industrias responsables de emisiones de CO₂ que en promedio es de 6.5% del total en el mundo; por cada tonelada de cemento que se fabrica se emite una tonelada de CO₂, sin dejar de lado que es responsable de una gran parte de recursos naturales, llegando a más del 40% (Vanga *et al.*, 2021). Es por este motivo que se han desarrollado múltiples alternativas en lo que respecta a materiales de construcción, buscando que sea de uso fácil, resistente y sustentables con la naturaleza.

Pese a que se quiere reducir el impacto ambiental que causa una construcción civil, las personas siguen construyendo con materiales altamente contaminantes, se debe eliminar el hábito de no darle importancia a los recursos naturales, pues la población cada día va en aumento, lo que implica que la disposición de estos recursos pueda verse afectada. Se debe propiciar un cambio de mentalidad en la población, pues es de mucha importancia tener conciencia de sostenibilidad y de esa manera permitirles a las generaciones futuras el acceso a los recursos naturales, y es en este proceso que se

les ha dado cada vez más importancia a los materiales sostenibles en el mundo de la construcción. Estos materiales se producen de forma respetuosa con el medio ambiente, cumplen con las normas ambientales, lo que implica el empleo de materiales reutilizables, que no contengan materiales tóxicos, compostables, que sean biodegradables, y que impliquen un ahorro energético en su producción.

Varios países se han puesto el objetivo de crear e implementar nuevos métodos constructivos de carácter sostenible, pensado en la reducción del impacto ambiental. En Europa, por ejemplo, la casa más sostenible se encuentra en el área metropolitana de Barcelona, su estructura es muy resistente y con una humedad inferior al 15%, su diseño ha conseguido la certificación *Passivhaus Premium*. Tiene una estructura de madera que es perfecta por sus propiedades acústicas y térmicas, siendo un material sostenible y reciclable. Cuando se reutilizan y reciclan los recursos y materiales se beneficia al planeta, por lo que la eficiencia energética es un punto clave para este ahorro; se incorpora a la vivienda un suelo en madera radiante y placas fotovoltaicas solares (Guerrero, 2021). En Colombia, con la finalidad de buscar innovaciones en la construcción, la Universidad Javeriana junto a estudiantes de ingeniería civil crearon el proyecto “Homeko”, donde se creó una vivienda sostenible a partir de envases posconsumo Tetra Pak reciclados, adoptando los requisitos del reglamento colombiano de construcción sismorresistente, potenciando un modelo que se replique en la creación de construcciones que conserven el planeta mitigando la contaminación (Pinzón, 2022).

Según Torres y Jaramillo (2019), en Ecuador el uso de los materiales sostenibles se aplica con tres enfoques, el primero donde la prioridad es construir con materiales disponibles de la zona, en el segundo donde se busca la recuperación de materiales y técnicas vernáculos para aplicarlas en técnicas constructivas mejoradas en una vivienda, y el tercer enfoque tiene visión permacultura o bioconstrucción; un ejemplo que mencionan es la construcción de la vivienda “flor de cactus” localizada en Tumbaco, cerca de la ciudad de Quito, que fue construida con tierra, madera, bambú, piedra, ladrillo, utilizando técnicas como el superadobe.

Lo anteriormente planteado lleva a la realización de este estudio, cuya finalidad es diseñar una vivienda unifamiliar de interés social con la incorporación de materiales de origen sostenible; se pretende con la posterior divulgación del proyecto, incentivar a trabajar con estos materiales y apoyar la economía local, dando a conocer que estos materiales tienen la resistencia necesaria para soportar las inclemencias de la naturaleza; con la realización del diseño estructural, se pretende

demostrar que son seguras a pesar de utilizar materiales sostenibles locales y que además garantizan la seguridad que debe primar en toda obra. Se diseñará una vivienda unifamiliar con los materiales sostenibles del entorno y que cumplan con las condiciones de vivienda de interés social digna. Se realizarán los planos con vista de planta y de fachada, y el diseño estructural con su respectivo presupuesto.

Metodología

El enfoque de la investigación es cuantitativo, ya que presenta un conjunto de procesos que son secuenciales y que han partido de una idea que se va delimitando y de la cuál surgen objetivos; hay preguntas de investigación, se efectúa una revisión bibliográfica, se construyen marcos teóricos y se procede al desarrollo del tema (Hernández, Fernández & Baptista, 2014).

Esta investigación es básica ya que, su “...objetivo principal es recopilar datos e informaciones sobre las características, propiedades, aspectos o dimensiones de las personas, agentes e instituciones” (Esteban, 2018, p. 2). Con un tipo de diseño no experimental, ya que “...se trata de estudios en los que no haces variar en forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables” (Hernández & Mendoza, 2018, p. 174).

El método de recolección de datos fue la encuesta, hecha a 40 profesionales de la construcción con 17 preguntas de selección múltiples de respuesta única, y abiertas, también aplicadas a 53 usuarios en general con la misma cantidad de preguntas y el mismo tipo de preguntas, con adición de respuesta múltiple. El muestreo fue no probabilístico, donde la elección de los sujetos a estudiar no depende de la probabilidad, sino que están relacionadas con los objetivos de la investigación y la selección depende de los investigadores (*id.*). Cabe resaltar que se hizo uso del método bola de nieve, difundido a través de WhatsApp. Los datos obtenidos fueron procesados en una hoja de Microsoft Excel y posteriormente organizados en tablas para facilitar su análisis. Para el diseño arquitectónico se usará el software AutoCAD y SketchUp, y en lo que respecta al análisis estructural, el software Etabs y SAFE.

Resultados y discusión

Con los datos recopilados se procedió a analizar los resultados y a continuación se presentan junto a su discusión.

Sondeo de opinión de los profesionales de la construcción

Los resultados de las encuestas realizadas a los profesionales se pueden apreciar en la tabla 1.

Tabla 1: Resultados de la encuesta dirigida a profesionales de la construcción

GENERAL			
Item	Frecuencia (%)		
. Años de graduado			
1	37,50		
Entre 2 y 5	27,50		
Entre 6 y 10	20,00		
Más de 10	15,00		
. Ejercicio profesional			
Si	40,00		
No	22,50		
Tal vez	37,50		
CONOCIMIENTO			
Item	Si (%)	No (%)	Tal vez (%)
. Conocimiento sobre una vivienda construida con materiales sostenibles	72,50	10,00	17,50
. Conocimiento sobre una vivienda construida con materiales sostenibles en Portoviejo	35,00	40,00	25,00
. Conocimiento acerca de que la industria de la construcción produce el 40% de emisiones globales de CO2	77,50	22,50	10,00
MEDIOAMBIENTE			
. Si se considera importante la utilización de materiales sostenibles en la construcción para mitigar los daños al medio ambiente	85,00	0,00	15,00
MATERIALES SOSTENIBLES			
. Materiales sostenibles que recomendaría usar en la construcción de una vivienda de interés social (pregunta abierta)			
Caña	18,92		

Madera			17,57
Materiales reciclados / Suelo cemento			13,51
Tierra / Bahareque			8,11
Enquinche / Acero en perfiles / Celulosa / Bloques de desechos plásticos / Escombros			2,70
Cal / Materiales de baja absorción / Fibrocemento / Bloques con residuos orgánicos / Espumaflex			1,35
<hr/>			
. Si considera viable la construcción de viviendas con materiales sostenibles	82,50	0,00	17,50
. De tener que construir su propia casa, si consideraría el utilizar materiales sostenibles?	65,50	2,50	35,00
. Si ha utilizado materiales sostenibles para la construcción	40,00	57,50	2,50
<hr/>			
BONDADES DE LOS MATERIALES SOSTENIBLES			
<hr/>			
. Si considera que construir con materiales sostenibles es más económico	27,50	15,00	57,50
. Si utilizaría bloques de suelo cemento en la construcción de una vivienda de interés social	65,00	5,00	30,00
. Si considera que una vivienda con materiales sostenibles cumple con los requisitos para ser una casa sismorresistente	72,50	5,00	22,50
. Si cree que una alternativa para la construcción sostenible sería utilizar el enquinche	52,50	15,00	32,50
. Si considera que la utilización de fardos de paja como material sostenible se puede implementar en la ciudad de Portoviejo	40,00	35,00	25,00
<hr/>			
ASPECTO SOCIAL			
<hr/>			
. Si considera que la construcción con materiales sostenibles es para el sector de clase baja	10,00	85,00	5,00
. Si como profesional recomendaría construir con materiales sostenibles	77,50	0,00	22,50

Como puede apreciarse, en su mayoría tienen experiencia laboral y están en el ejercicio de su profesión. Manifiestan el conocer de viviendas construidas a partir de materiales sostenibles, pero no las identifican en la ciudad de Portoviejo, además de ser conscientes de que la industria de la

construcción genera un alto porcentaje de emisiones globales de CO₂. Según Pineda y Ramírez (2021), las construcciones residenciales y comerciales representan el 39% de las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera, generando un 30% de residuos sólidos y 20% de contaminación del agua, por lo cual, la industria de la construcción juega un papel importante para poder mitigar la contaminación ambiental.

Le dan especial importancia a la utilización de materiales sostenibles en la construcción. Entre ellos, los que más recomiendan son la caña, adicionalmente la madera, los reciclados y el suelo cemento, en ese orden de importancia, entre otros. El uso de la caña en la construcción ha venido creciendo en los últimos años, debido a que esta posee propiedades mecánicas que permiten el levantamiento de elementos estructurales en sustitución de materiales como el concreto y el acero (Chávez, Vanga & García, 2022). Por otro lado, la madera, es utilizada también como material en construcciones vernáculas, pudiendo ser usadas como elemento para la cimentación, las estructuras, la envolvente, cubierta y acabados (Calderón, Venegas & Flores, 2023). El uso de materiales reciclados en las construcciones civiles no solo es una decisión inteligente desde el punto de vista medioambiental, sino también es una oportunidad de crear estructuras sostenibles y resistentes. En vez de desechar materiales, se puede reutilizarlos y transformarlos en recursos valiosos para la construcción de nuevas edificaciones. El suelo cemento, por ejemplo, también es uno de los elementos constructivos no convencionales que pueden utilizarse, al estar compuesto por una mezcla de suelo natural, cemento y agua, que se compacta y resiste hasta formar una base sólida y resistente, ofreciendo economía y durabilidad. Al respecto, Postuña y Ballejo (2022) indican que la tierra, con sus características resistentes y aislantes, puede ser estabilizada adicionando agua y cemento, produciendo reacciones químicas y físicas, lo que derivan en altas densidades y un efectivo endurecimiento.

Los profesionales consideran que construir con materiales sostenibles resulta viable, tanto así que los usarían para edificar sus viviendas, aunque la mayoría nunca los ha utilizado para la construcción. Estos materiales por tener un origen natural, tiene un alto potencial de ser reciclados y así su impacto en el medio ambiente no es tan fuerte como lo es con los materiales tradicionales (Cárcel *et al.*, 2022). En cuanto a costos, solo un 27.5% considera que es más económico. Estudios han indicado que, en un inicio, los costos de las construcciones sostenibles son más elevados en relación a los costos de las tradicionales y por ello se invierte más, pero este análisis debe ser hecho

a largo plazo, ya que las construcciones sostenibles retornan a lo largo del tiempo la inversión total (Chamorro *et al.*, 2019).

En cuanto a las propuestas de materiales sostenibles, consideran el uso de suelo cemento, el enquinche y los fardos de paja, en ese orden de importancia. El uso del suelo cemento trae múltiples ventajas además de las mencionadas anteriormente como “... las características de su capacidad térmica de aislamiento como de inercia térmica, el intercambio higrométrico con el ambiente, la posibilidad de reciclarse, y la poca energía de producción que necesita” (Constantini *et al.*, 2016, p. 05.38). Mientras que el enquinche es un sistema que “... se basa en paneles prefabricados tejidos de ratán Guadua, revestidos o revocados con barro o materiales similares” (Zambrano & Ruiz, 2021, p. 132). Los fardos de paja por otro lado, utilizados en construcción, son muy útiles ya que no necesitan elementos estructurales al transmitir el peso que tiene la cubierta a la cimentación, solo que a mayor altura de la vivienda se deberá aumentar la dimensión de los fardos (García, 2022).

Respecto a la sismorresistencia, los profesionales consideran que los materiales sostenibles pueden cumplir con los requisitos. Pérez y Barta indican que hay gran cantidad de estudios realizados a construcciones sostenibles realizadas por ejemplo con el tapial y quincha, que demuestran que son beneficiosas ante fuerzas sísmicas pero que la elección de materiales, la ejecución y el uso de técnicas constructivas apropiadas inciden también en estas propiedades (2020).

Los profesionales descartan que hablar de materiales sostenibles es sinónimo de extractos sociales bajos, al contrario, la gran parte considera recomendable el uso de estos en la construcción. Esto se apoya con lo enunciado en el objetivo 12 de desarrollo sostenible sobre producción y consumo responsable, donde se indica que “El consumo y la producción sostenibles también pueden contribuir de manera sustancial a la mitigación de la pobreza y a la transición hacia economías verdes y con bajas emisiones de carbono” (Naciones Unidas, 2023).

Sondeo de opinión de usuarios en general

En cuanto a la información recolectada de usuarios en general, en la tabla 2 se muestran los resultados.

Tabla 2: Resultados de la encuesta dirigida a usuarios en general

GENERAL

Item	Frecuencia (%)
. Edad	
< 18 años	0,00
Entre 19 y 24 años	67,30
Entre 25 y 34 años	23,10
Entre 35 y 44 años	3,80
Entre 45 y 54 años	5,80
> 54 años	0,00
. Género	
Masculino	32,70
Femenino	67,30
No indica género	0,00
. Si posee vivienda propia	
Si	32,70
No	67,30

CONOCIMIENTO SOBRE MATERIALES SOSTENIBLES

Item	Si (%)	No (%)	Tal vez (%)
. Conocimiento de materiales sostenibles utilizados en obra	61,50	21,20	17,30
. Conocimiento de materiales sostenibles utilizados en obra en la ciudad de Portoviejo	28,80	55,80	15,40
. Conocimiento de vivienda construida con materiales sostenibles	48,10	38,50	13,50
. Conocimiento de vivienda construida con materiales sostenible en Portoviejo	26,90	59,60	13,50

MEDIOAMBIENTE

. Si sabe que las construcciones generan impacto ambiental	90,40	1,90	7,70
--	-------	------	------

. Si sabe que el cemento es uno de los principales responsables de emitir dióxido de carbono a la atmosfera 50,00 38,50 11,50

MATERIALES SOSTENIBLES

. Materiales sostenibles que considera pueden ser utilizados en la construcción de una vivienda (pregunta abierta)

Caña guadua			82,70%
Fardos de paja			40,40%
Enquinche			26,90%
Suelo-cemento			25,00%
Bahareque			17,30%
Madera			1,90%

. Si consideraría en el futuro usar materiales sostenibles 63,50 1,90 34,60

. Si recomendaría para las construcciones de viviendas, la utilización de materiales sostenibles 71,20 1,90 26,90

BONDADES DE LOS MATERIALES SOSTENIBLES

. Si considera que las viviendas construidas con materiales sostenibles y con materiales convencionales pueden tener ambas la misma resistencia y duración 44,20 40,40 15,40

. Si considera que construir con materiales sostenibles podría ser más económico 42,30 15,40 42,30

ASPECTO SOCIAL

. Si accedería a vivir en una vivienda construida con materiales sostenibles 76,90 0,00 23,10

. Motivo por lo cual no se ha popularizado la construcción de viviendas con materiales sostenible (pregunta abierta)

Desconocimiento			86,50%
No son estéticas / Malas experiencias			17,30%
No son sismorresistente			11,50%

Son para clase pobre	5,80%
Otros	1,90%
<hr/>	
. Mecanismos para incentivar a construir con materiales sostenibles	
<hr/>	
Capacitaciones impartidas por profesionales	50,00%
Redes sociales	44,20%
Volantes / Todas las anteriores / Otro: Ejemplos de urbanizaciones construidas con materiales sostenibles	1,90%
<hr/>	

Como se observa, la gran parte de los encuestados son mujeres jóvenes entre 19 y 24 años, e indican no poseer de una vivienda propia. Manifiestan que conocen de materiales sostenibles utilizados en obra, pero no de una vivienda en la ciudad de Portoviejo construida a base de estos materiales. Se hace evidente que son necesarias más construcciones con estos materiales en esta ciudad, en especial por su clima cálido y humedad. Torres y Jaramillo indican que, en los últimos años en Ecuador, se ha disminuido en forma paulatina el uso de materiales ancestrales para la construcción, y esto se debe a que se están utilizando materiales modernos como el acero y el hormigón armado (2019).

Conociendo que las construcciones civiles generan impacto ambiental, sitúan al cemento Portland como uno de los principales responsables de emitir dióxido de carbono a la atmosfera. Según Peters (2023), se emite una tonelada de CO₂ por cada tonelada de cemento estándar producido, y es el cemento el que representa del 5% al 7% de las emisiones globales de carbono. Con estas emisiones, se hace necesaria la búsqueda y promoción de materiales sostenibles que mitiguen estos daños al ambiente.

Conocen de los materiales sostenibles y consideran que el más utilizado en la construcción de una vivienda de interés social es la caña guadua, seguido por los fardos de paja, enquinche, suelo cemento, bahareque y madera, en ese orden de uso. En su mayoría, ven viable la construcción con materiales sostenibles y están dispuestos a utilizarlos y recomendarlos para futuros proyectos personales. En una investigación realizada por García y Montoya (2019), observaron que una vivienda sostenible tiene mayor factibilidad técnica que una vivienda convencional y una vivienda prefabricada, porque esta brinda un diseño que se adapta a las necesidades de sus habitantes, involucra menos maquinarias pesadas y en general su proceso de construcción es más sencillo.

Debido al desconocimiento y malas experiencias, existen dudas sobre el hecho de que las viviendas construidas con materiales sostenibles y con materiales convencionales tengan la misma resistencia, duración y precios. Sin embargo, se genera una controversia al aceptar en su mayoría acceder a vivir en una vivienda construida con materiales sostenibles. Esto podría atribuirse a la no popularización y desinformación de construcciones con estos materiales, por lo que se sugiere llevar a cabo capacitaciones impartidas por profesionales y aprovechar las redes sociales para promover y educar sobre estos materiales. Como menciona Serrano y Legarda (2017):

Es necesario que la sociedad tome conciencia respecto al tema, ya que son los principales actores que deben contribuir a una construcción sostenible que disminuya la contaminación, el consumo de energía y el mal uso del agua, se requiere utilizar diferentes metodologías para implementar campañas que instruyan a funcionarios públicos y a través de ellos a las obras de construcción dándole incentivos por implementar la construcción sostenible, contribuyendo al desarrollo sostenible del planeta. (p. 14)

Materiales propuestos para la construcción

Referente a los materiales propuestos para la vivienda se tiene el bambú para la cubierta, paneles de aglomerado reciclados para el techo, revestimiento de paredes a base de polímeros (PET), añadiéndole el 10% de plástico molido en reemplazo del árido fino. Mortero con adición de vidrio triturado para pega de bloques, reemplazando al árido fino en un 20%. Contrapiso con vidrio reciclado, sustituyendo el 50% del árido grueso por vidrio. Ventanas de madera y vidrio.

Bloque hecho de residuos de construcción y demolición (RCD) provenientes de mamposterías de ladrillos. Fue diseñado por Luis Mendoza López de la Universidad Católica de Cuenca y cumple con los requisitos físicos y mecánicos establecidos por la Norma Técnica Ecuatoriana. Según Mendoza (2022), el uso de RCD como agregados es una opción factible para reducir el impacto ambiental. Esto se debe a que los RCD a menudo se eliminan de forma inapropiada, lo que aumenta el volumen de residuos en áreas naturales.

Las dimensiones del bloque son 15x40x20 cm, con perforaciones verticales y con una dosificación de 13.58 kg de cemento, 10.74 lts de agua, 48.46 kg de árido fino y 35.72 kg de RCD. Mendoza (2022), detalla el proceso de la elaboración manual de los bloques como sigue:

. Se preparan los materiales con las dosificaciones requeridas y se realiza el ensayo de asentamiento mediante el cono de Abrams.

- . Colocación del material a los moldes para ser llevado a la máquina de vibro-compactación durante un periodo de tiempo de 3 y 5 segundos para compactarlo y finalmente se desmolda.
- . Se desmolda el bloque y se seca al aire libre durante dos días.
- . Se sumerge el bloque en agua durante 28 días para curarlo.
- . Completado los días se procede a la etapa de pruebas.

El bloque obtuvo los siguientes resultados en sus ensayos: 13.73% de porcentaje de absorción, 5.28% de humedad, 1930 Kg/m³ de densidad y con una resistencia a la compresión de 4.25 MPa valor utilizado para el diseño estructural de la vivienda. La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-VIVIENDA, 2014), establece que para el sistema constructivo de muros de mampostería confinada los bloques a utilizar deben tener una resistencia mínima de 3 MPa.

Diseño arquitectónico de la vivienda

Respecto al diseño arquitectónico, en la figura 1 se muestra la planta arquitectónica de la vivienda, la cual tiene un área total de 49 m² y cuenta con dos dormitorios, cocina, sala, comedor y un baño inclusivo. En las figuras 2 y 3 se muestran la fachada frontal y 3D de la vivienda.

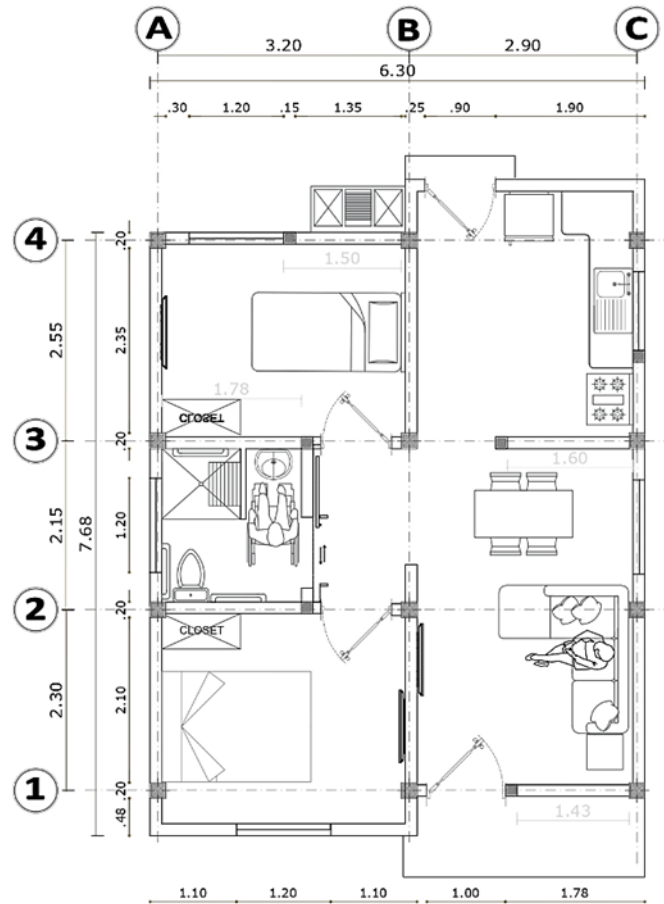


Figura 1: Planta arquitectónica.

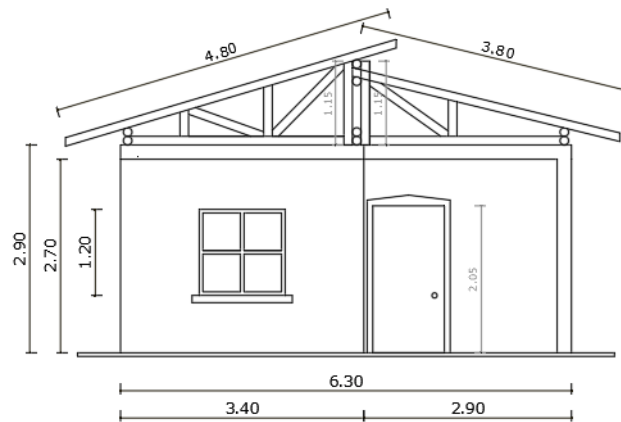


Figura 2: Fachada frontal.



Figura 3: Vista en 3D.

Diseño estructural

El diseño estructural de la vivienda se realizó utilizando el software Etabs (ver figura 4 y tablas 3 y 4). Se consideraron dos pisos en el cálculo, ya que es posible que en el futuro los propietarios deseen construir un piso adicional. Se aplicó el sistema estructural de Muros Portantes de Mampostería confinada. La NEC-SE-VIVIENDA (2014), en el capítulo 6 define este sistema como “... mampostería construida rígidamente rodeada en sus cuatro lados por pilares y vigas de hormigón armado o de fábrica armada no proyectados para que trabajen como pórticos resistentes a flexión” (p. 13). A continuación, se muestra en la figura 4 el modelado en Etabs.

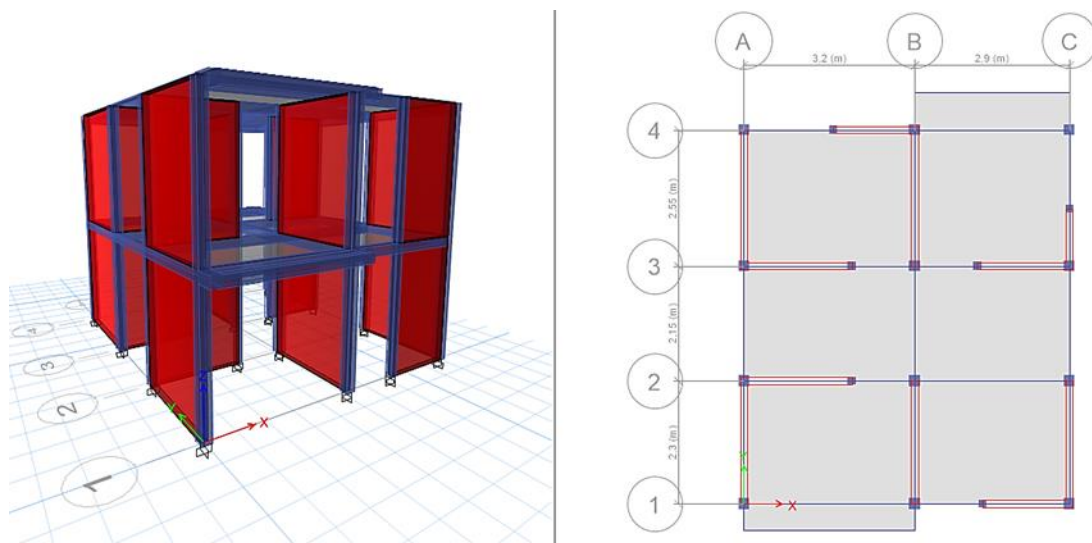


Figura 4: Modelado en Etabs.

Tabla 3: Datos utilizado para el diseño de la vivienda en Etabs

DATOS PRELIMINARES DE DISEÑO	
Resistencia del hormigón	210 kg/cm ²
Resistencia del bloque	43,40 kg/cm ²
Límite de fluencia del acero	4200 kg/cm ²
Espesor del bloque	13 cm
Espesor efectivo del bloque	7,5 cm

Tabla 4: Valores de factores de reducción de resistencia

FACTORES DE REDUCCIÓN DE RESISTENCIA	
Carga axial de compresión	0,70
Carga axial de tracción	0,90
Flexión sin cara axial	0,90
Cortante	0,60

Fuente: NEC-SE-VIVIENDA (2014).

Cálculo del coeficiente del cortante basal

Para plantear el diseño de la vivienda, se debe ubicar geográficamente en la provincia de Manabí, cantón Portoviejo. El tipo de suelo es D, según datos referenciales de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-DS, 2015a), ya que el cantón posee mala capacidad portante en sus suelos, son poco densos y de baja resistencia. Se consideró una altura total de entre piso de 5.8 m, proyectando que en un futuro la vivienda cuente con un piso más.

Para el cálculo del coeficiente del cortante basal se tomaron valores y expresiones de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-DS, 2015a), los cuales se muestran en la tabla 5.

Tabla 5: Determinación del Cortante Basal

ACELERACIÓN DE LA GRAVEDAD		
Valor de factor de zona Z, en función de la zonificación sísmica	Z	0,5

Relación de amplificación espectral, para provincias de la Costa (Excepto Esmeraldas)	n	1,8
Coefficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto	Fa	1,12
Amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca	Fd	1,11
Comportamiento no lineal de los suelos	Fs	1,4
Coefficiente para pórticos especiales de hormigón armado (Mampostería Estructural)	Ct	0,055
	α	0,75
Periodo de vibración de la estructura	T	0,206
Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño	T0	0,139
	Tc	0,763
Espectro de respuesta elástico de aceleraciones	Sa	1,008
COEFICIENTE DEL CORTANTE BASAL		
Coefficiente de importancia	I	1
Factor de reducción de resistencia sísmica para mampostería confinada	R	3
Irregularidad en planta	ϕ_p	1
Irregularidad en elevación	ϕ_e	1
Coefficiente cortante basal	C	0,336

Derivas de pisos

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-DS, 2015b), indica que la máxima deriva de piso para mampostería confinada no debe exceder del 1%. Con la tabla 6 obtenida de los valores de las derivas elásticas de los pisos, se calculó la deriva inelástica, obteniendo como resultado que las derivas de piso están dentro del límite mencionado por la norma.

Tabla 6: Control de derivas de piso

Story	Output Case	Case Type	Step Number	Direction	X	Y	Z	Derivas elásticas ΔE	Derivas inelásticas ΔM
					m	m	m		
Story2	Modal	LinModRitz	1	X	6,1	7,7	5,8	0,000572	0,13%

Story2	Modal	LinModRitz	2	Y	6,1	7,7	5,8	0,000398	0,09%
Story2	Modal	LinModRitz	3	X	6,1	7,7	5,8	0,000883	0,20%
Story2	Modal	LinModRitz	3	Y	0	-0,5	5,8	0,000366	0,08%
Story2	SX (Lineal)	LinStatic	1	Y	6,1	7,7	5,8	0,000065	0,01%
Story2	SX (Lineal)	LinStatic	2	Y	6,1	7,7	5,8	0,000072	0,02%
Story2	SX (Lineal)	LinStatic	3	Y	0	-0,5	5,8	0,000067	0,02%
Story2	SY (Lineal)	LinStatic	1	Y	6,1	7,7	5,8	0,000065	0,01%
Story2	SY (Lineal)	LinStatic	2	Y	6,1	7,7	5,8	0,000072	0,02%
Story2	SY (Lineal)	LinStatic	3	Y	0	-0,5	5,8	0,000067	0,02%
Story2	ENVOLVENTE	Combination		X	6,1	7,7	5,8	0,000133	0,03%
Story2	ENVOLVENTE	Combination		Y	6,1	7,7	5,8	0,000081	0,02%
Story2	ENVOLVENTE	Combination		X	6,1	7,7	5,8	0,000139	0,03%
Story2	ENVOLVENTE	Combination		Y	0	-0,5	5,8	0,000073	0,02%
Story1	Modal	LinModRitz	1	X	1,675	7	2,9	0,000363	0,08%
Story1	Modal	LinModRitz	2	X	4,475	0	2,9	0,000087	0,02%
Story1	Modal	LinModRitz	2	Y	6,1	5,525	2,9	0,000399	0,09%
Story1	Modal	LinModRitz	3	X	4,475	0	2,9	0,00054	0,12%
Story1	Modal	LinModRitz	3	Y	0	7	2,9	0,000266	0,06%
Story1	SX (Lineal)	LinStatic	1	Y	6,1	5,525	2,9	0,000055	0,01%
Story1	SX (Lineal)	LinStatic	2	Y	6,1	5,525	2,9	0,000061	0,01%
Story1	SX (Lineal)	LinStatic	3	Y	0	7	2,9	0,000053	0,01%
Story1	SY (Lineal)	LinStatic	1	Y	6,1	5,525	2,9	0,000055	0,01%
Story1	SY (Lineal)	LinStatic	2	Y	6,1	5,525	2,9	0,000061	0,01%
Story1	SY (Lineal)	LinStatic	3	Y	0	7	2,9	0,000053	0,01%
Story1	ENVOLVENTE	Combination		X	1,675	7	2,9	0,000083	0,02%
Story1	ENVOLVENTE	Combination		Y	6,1	5,525	2,9	0,000066	0,01%
Story1	ENVOLVENTE	Combination		X	1,675	7	2,9	0,000086	0,02%
Story1	ENVOLVENTE	Combination		Y	6,1	5,525	2,9	0,000058	0,01%

Fuente: Software Etabs.

Las viviendas de mampostería de muros confinados que no cumplan con los requisitos del método simplificado de la NEC-SE-VIVIENDA (2014), en la sección 7.5.3., deberán someterse al análisis y diseño por medio del método de análisis racional. La vivienda que se diseñó no cumple con el método simplificado debido a que no soporta el 75% de las cargas gravitatorias, por lo que se procedió a realizar el diseño detallado.

Diseño detallado de análisis sísmico de mampostería confinada

La resistencia lateral de cada muro de la estructura se verificó utilizando los factores y ecuaciones de la sección 7.5.4 de la NEC-SE-VIVIENDA (2014). En la tabla 7 se muestran los valores del esfuerzo por carga axial mínima probable de entrepiso (f_a), donde se dividió la carga total por las áreas de los muros. La carga total se compone del peso del muro, el peso de las vigas y el peso de las dos losas, considerando sus áreas cooperantes. La carga muerta para la losa 1 es 0.471 Ton/m² y para la losa 2 es 0.022 Ton/m². Con estos resultados, se procedió a encontrar la resistencia lateral global de la estructura que se muestran en la tabla 8 y 9.

Tabla 7: Esfuerzo por carga axial de entrepiso

SENTIDO X					SENTIDO Y				
EJE	MURO	P _u (Ton)	A _{t,m} (m ²)	Esf. (kg/cm ²)	EJE	MURO	P _u (Ton)	A _{t,m} (m ²)	Esf. (kg/cm ²)
1	1	2,94	0,19	1,59	A	6	4,09	0,31	1,34
	2	4,53	0,22	2,02		7	3,59	0,27	1,32
3	3	4,58	0,22	2,04	B	8	4,77	0,31	1,56
	4	4,01	0,20	1,99		9	4,13	0,27	1,51
4	5	3,06	0,18	1,74	C	10	1,96	0,12	1,67
			f_a	9,38		11	3,59	0,27	1,32
								f_a	8,72

Tabla 8: Verificación de resistencia en eje X

EJE	e (m)	L (m)	h (m)	h/L	F _{AE}	A (m ²)	V _{RX} (Ton)	V _{MR} (m ²)	1.5F _R v _m (ΣA _T)	Cond.
-----	-------	----------	----------	-----	-----------------	---------------------	--------------------------	--------------------------------------	---	-------

1	0,13	1,45	2,7	1,86	6,13	0,189				
2	0,13	1,85	2,7	1,46	3,77	0,241				
3	0,13	3,40	2,7	0,79	1	0,442	56,191	93,46	118	OK
4	0,13	1,35	2,7	2	7,08	0,176				

Tabla 9: Verificación de resistencia en eje Y

EJE	e (m)	L (m)	h (m)	h/L	F _{AE}	A (m ²)	V _{RY} (Ton)	V _{MR} (m ²)	1.5F _R v _m (ΣA _T)	Cond.
A	0,13	4,45	2,7	0,61	1	0,579				
B	0,13	4,45	2,7	0,61	1	0,579	23,205	36,45	48,73	OK
C	0,13	3,00	2,7	0,9	1	0,39				

Diseño para carga axial de compresión y tracción

La resistencia nominal a la compresión axial de la columna más crítica del sistema estructural fue verificada en el software Etabs. La columna de 20x20 cm se encuentra en el eje C2 y en la columneta entre los ejes A2 y B2. Los resultados del cálculo se muestran en la tabla 10, y se utilizó la ecuación de la sección 7.6.4 de la NEC-SE-VIVIENDA (2014), proponiendo para el análisis a compresión un número de cuatro varillas con un diámetro de refuerzo longitudinal de 12 mm para las columnas de 20x20 cm y de 10 mm para las de 15x15 cm.

Tabla 10: Resultados del cálculo para el análisis a compresión y tracción

ANÁLISIS A COMPRESIÓN				
Ubicación	Sección (cm)	P _{uc}	ØP _{nc}	P _{uc} < ØP _{nc}
C2	20 x 20	4,0701	50,172	OK
Entre A2 y B2	15 x 15	2,8058	29,566	OK
ANÁLISIS A TRACCIÓN				
Ubicación	Sección (cm)	P _{ut}	ØP _{nt}	P _{ut} < ØP _{nt}
A2	20 x 20	2,1586	17,100	OK
Entre A3 y B3	15 x 15	1,9065	11,875	OK

Diseño a cortante de muros en la dirección paralela a su plano

El diseño a cortante del muro en la dirección paralela a su plano se calculó con las ecuaciones de la sección 7.6.6. de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-VIVIENDA, 2014), y los datos y resultados se muestran en las tablas 11 y 12.

Tabla 11: Datos para la verificación de resistencia a corte de los muros

EJE	MUROS	b_e (m)	L (m)	A_{em} (m ²)	A_{ec} (m ²)	A_e (m ²)	l_w (m)	A_{vm} (m ²)	P_u (Ton)
1	1	0,075	1,425	0,107	0,0625	0,169	1,600	0,120	4,08
2	2	0,075	1,725	0,129	0,0625	0,192	1,900	0,143	5,04
3	3	0,075	1,725	0,129	0,0625	0,192	1,900	0,143	5,72
	4	0,075	1,550	0,116	0,0625	0,179	1,725	0,129	5,25
4	5	0,075	1,350	0,101	0,0625	0,164	1,525	0,114	5,73
A	6	0,075	2,350	0,176	0,0800	0,256	2,550	0,191	5,92
	7	0,075	2,100	0,158	0,0800	0,238	2,300	0,173	5,90
B	8	0,075	2,350	0,176	0,0800	0,256	2,550	0,191	6,55
	9	0,075	2,100	0,158	0,0625	0,220	2,275	0,171	7,51
C	10	0,075	0,900	0,068	0,0625	0,130	1,075	0,081	4,50
	11	0,075	2,100	0,158	0,0800	0,238	2,300	0,173	6,40

Tabla 12: Resultados del diseño a cortante de los muros

EJE	MUROS	$\frac{1}{6} * \sqrt{f'c_m} * A_{mv}$	$V_n \leq \frac{1}{6} * \sqrt{f'c_m} * A_{mv}$	V_u (Ton)	ϕV_n (Ton)	$V_u \leq \phi V_n$
1	1	4,204	OK	0,016	1,840	OK
2	2	4,993	OK	0,013	2,244	OK
3	3	4,993	OK	0,014	2,347	OK
	4	4,533	OK	0,012	2,120	OK
4	5	4,007	OK	0,015	2,003	OK
A	6	6,701	OK	0,020	2,894	OK
	7	6,044	OK	0,020	2,670	OK

B	8	6,701	OK	0,021	2,988	OK
	9	5,978	OK	0,018	2,959	OK
C	10	2,825	OK	0,012	1,406	OK
	11	6,044	OK	0,024	2,743	OK

Verificación del aplastamiento del alma del muro

Para verificar la resistencia al aplastamiento, se tomó el muro con mayor carga. La fuerza cortante y momento flector del muro se tomaron del software Etabs. La resistencia a la compresión del muro se calculó considerando una biela de compresión en la diagonal del muro. La fuerza axial que actúa sobre la biela diagonal del muro debe ser menor o igual a la resistencia nominal a compresión. Estas ecuaciones se tomaron de la sección 7.6.7 de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-VIVIENDA, 2014).

Para el control de fisuración en el muro se hizo uso de la Norma Peruana E-0.70 Albañilería en la sección 26.2 (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006). La resistencia característica de la albañilería ($v'm$) se tomó de la tabla 9, sección 13.9. y se creó una combinación de carga axial de gravedad (P_g) como lo indica esta misma norma tomando el 100% de la carga muerta más el 25% de la carga viva (todos estos datos se muestran en la tabla 13). Mientras que en la tabla 14, se evidencia el cálculo de la resistencia nominal a compresión de la mampostería sola, que como resultado se verifica que cumple con la condición.

Tabla 13: Datos para la verificación del aplastamiento del alma del muro

h	l_m	L	h'	b_e	A_e	v'm	P_g	V_e	M_e	α
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m ²)	(Ton/m ²)	(Ton)	(Ton)	(Ton*m)	
2,70	1,73	2,08	3,21	0,075	0,130	86	2,64	3,55	7,63	0,968

Tabla 14: Verificación del aplastamiento del alma del muro

V_m	v_e ≤ 0.55V_m	2 ≤ V_m/V_e ≤ 3	V_u	P_{ud}	R_e	ØP_{nd}	P_{ud} < ØP_{nd}
(Ton)			(Ton)	(Ton)		(Ton)	
9,66	OK	OK	9,966	15,365	0,765	20,489	OK

Verificación a cortante en los elementos de confinamiento del muro

La tabla 15 muestra la verificación a corte que se realizó mediante las ecuaciones de la sección 7.6.8. de La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-VIVIENDA, 2014). Para la fuerza cortante resistente nominal (V_{nc}), se calculó la resistencia a corte proporcionada por el hormigón (V_c), y la resistencia a corte proporcionada por el acero tomando el factor proporcionado por la norma para cortante y torsión. La fuerza cortante mayorada solicitada de diseño (V_u) es tomada del diseño en Etabs del muro con mayor esfuerzo.

Tabla 15: Verificación a cortante en los elementos de confinamiento del muro

PARA COLUMNA DE CONFINAMIENTO											
Sección	b	d (m)	V_c	l_c	l_w	V_u	V_s	V_{nc}	ϕV_{nc}	V_{uc}	$V_{uc} < \phi V_{nc}$
(cm)	(m)		(Ton)	(m)	(m)	(Ton)	(Ton)	(Ton)	(Ton)	(Ton)	
20 x 20	0,20	0,175	0,862	1,9	2,08	9,966	12,43	1,29	7,973	4,552	OK
15 x 15	0,15	0,175	0,462	1,9	2,08	9,966	12,83	13,29	7,973	4,552	OK
PARA VIGA DE CONFINAMIENTO											
Sección	b	d (m)	V_c	h_p	l_w	V_u	V_s	V_{nc}	ϕV_{nv}	V_{uv}	$V_{uv} < \phi V_{nv}$
(cm)	(m)		(Ton)	(m)	(m)	(Ton)	(Ton)	(Ton)	(Ton)	(Ton)	
20 x 20	0,20	0,175	0,862	2,9	2,08	9,966	12,43	13,29	9,966	6,948	OK

Cimentación

La cimentación de la vivienda fue diseñada como una zapata corrida de 20x70 cm y con una viga de cimentación de 20x40 cm, con una capacidad portante del hormigón de $f'_c=210\text{kg/cm}^2$ y con acero de refuerzo de $F'y=4200\text{kg/cm}^2$. Tendrá suelo mejorado con una capa de 20 cm de espesor de subbase, una capa de 10 cm de espesor de base estabilizada y un relleno de hormigón ciclópeo de 60% hormigón con una resistencia de 180kg/cm^2 y 40% de piedra bola. El esfuerzo admisible del suelo se consideró de 12.50Ton/m^2 , valor que fue tomado como referencia del estudio de la vivienda tipo T8 del MIDUVI, ya que la edificación tiene el mismo fin y es un valor representativo. El coeficiente de balasto es de 2.65kg/cm^3 , este valor se obtuvo de la tabla de coeficientes de balasto realizada por Morrison, la cual se basa en estudios de varios ingenieros incluido el profesor

Terzaghi, donde determinaron el coeficiente de balasto en función del esfuerzo admisible del suelo (Morrison, 1993, en Turcios, 2020).

Se utilizó el programa SAFE para verificar los esfuerzos transmitidos al suelo. Para ello, se emplearon casos no lineales en el software, que permiten crear elementos que solo funcionan bajo cargas a compresión. Para el chequeo, se exportaron las cargas de la envolvente desde el software ETABS. En este programa, las cargas se exportan como reacciones, pero para el análisis en SAFE necesitaban estar representadas como cargas. Como se puede observar en la figura 5, las acciones que produce la estructura generan que el suelo solo trabaje a un 40% de su capacidad portante.

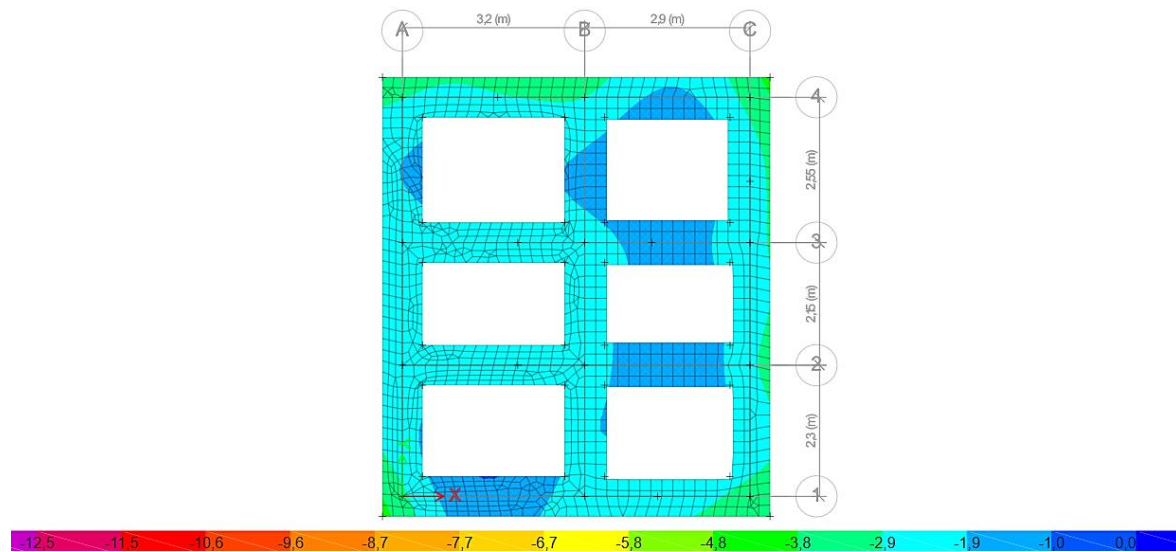


Figura 5: Verificación de esfuerzos transmitidos al suelo.

Fuente: Software SAFE.

En la tabla 16 que se muestra a continuación, se recopiló información de valores obtenidos mediante el prediseño y chequeo de las propiedades de la cimentación. Se puede observar que en relación a momento máximo, la viga de cimentación produjo una sollicitación mayor (3.85 Ton-m) que la losa de cimentación (0.26 Ton-m), mientras que el área de acero requerida para la losa fue mayor (4.95 cm²) que el de la viga de cimentación (3.07 cm²). Esto es consecuente con referencia al esfuerzo en el elemento, siendo que el de mayor requerimiento de área de acero (losa de cimentación) conlleva un mayor esfuerzo en la infraestructura (8.46 Ton/m²) y el de menor área de acero implica un esfuerzo menor (5.92 Ton/m²).

Tabla 16: Valores del prediseño y chequeo de las propiedades de la cimentación

	ARMADO DE LOSA DE CIMENTACIÓN	ARMADO DE VIGA DE CIMENTACIÓN
Esfuerzo por m	8,46 Ton/m ²	5,92 Ton/m ²
M máx.	0,26 Ton-m	3,85 Ton-m
b	10 cm	20 cm
h	20 cm	40 cm
r	5 cm	5 cm
d	15 cm	35 cm
B1	0,85 cm	
ro máx.	0,01063	
ro min.	0,0033	
Cuantía de cálculo	0,0003	0,0044
Cuantía final	0,0033	0,0044
Área de acero	4,95 cm ²	3,07 cm ²
Ø	12 mm	10 mm
#	5	4
Separación	22,25 cm	2,67 cm

El análisis del chequeo por cortante fue realizado para ambos elementos de la infraestructura, en los cuales se obtuvo valores como los que se muestran en la tabla 17, denotando un esfuerzo cortante actuante de 1.66 kg/cm² en comparación del esfuerzo resistente de 7.68 kg/cm², demostrando que el esfuerzo cortante en la zapata es fácilmente absorbido por el hormigón. Por otro lado, al realizar el mismo análisis en la viga de cimentación, se halló un esfuerzo cortante actuante de 7.55 kg/cm², que si se compara con el esfuerzo resistente de 7.68 kg/cm², se puede concluir que está casi al 100% de su capacidad resistente, por lo tanto, de ser el caso, se puede aumentar la cantidad de estribos o reducir su separación para que los estribos absorban el esfuerzo cortante que el hormigón no pueda resistir.

Tabla 17: Cheque por cortante

	Viga de cimentación	Zapata
V_u resistente	7,68 kg/cm ²	7,68 kg/cm ²
V_u actuante	7,55 kg/cm ²	1,66 kg/cm ²

Para el análisis de la viga de cimentación, la cual lleva una sección de 40x20 cm, dando un peralte de 35 cm, se determinó en el cálculo el acero transversal requerido que fue de 8 varillas de 10 mm en las caras superior e inferior (20 cm), y una varilla de 8 mm para acero de torsión en cada cara lateral (40 cm), y para el acero transversal (estribos), una varilla de 8 mm a cada 6 cm del acero cerca del nudo y una separación de 18 cm para el acero central de viga.

Por otro lado, en el cálculo, se demostró que, para la losa de cimentación de 20 cm de espesor, el acero longitudinal que se requiere colocar es de 4 varillas de 10 mm, mientras que para el acero transversal se debe utilizar una varilla de 12 mm cada 20 cm.

A continuación, se muestra la sección típica de la cadena y de la zapata corrida en la figura 5. Las figuras 6, 7, 8 y 9 muestran la sección típica de columna, vigas y muros.

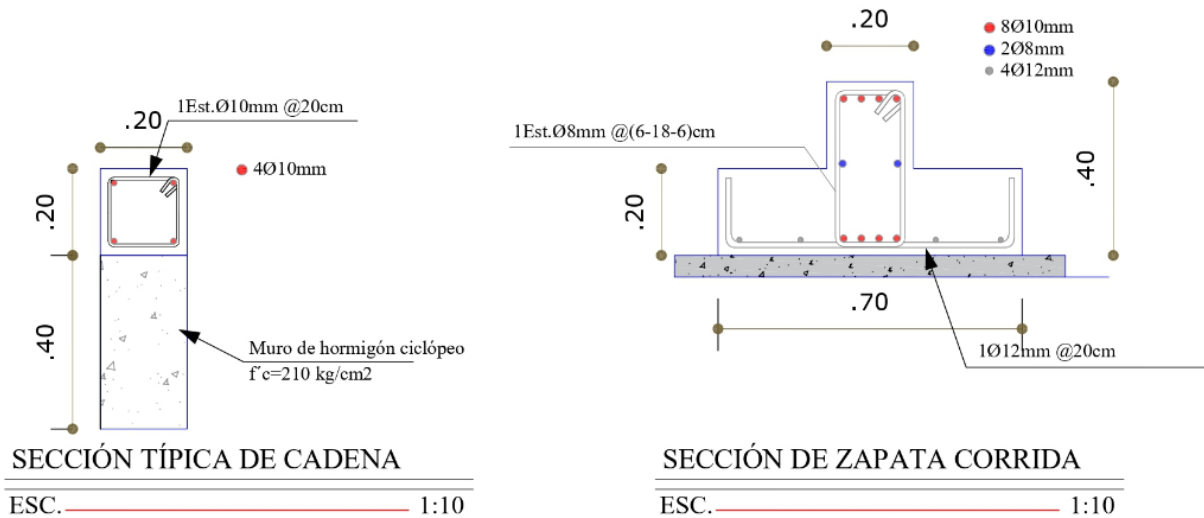


Figura 5: Sección típica de cadena y de la zapata corrida.

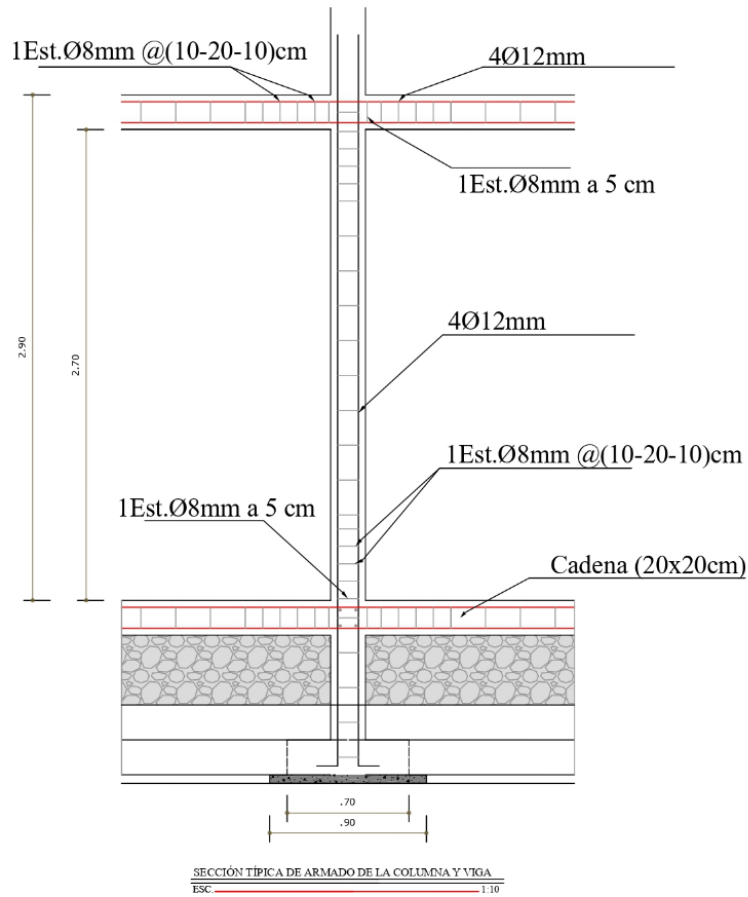


Figura 6: Sección típica de armado de columna y viga.

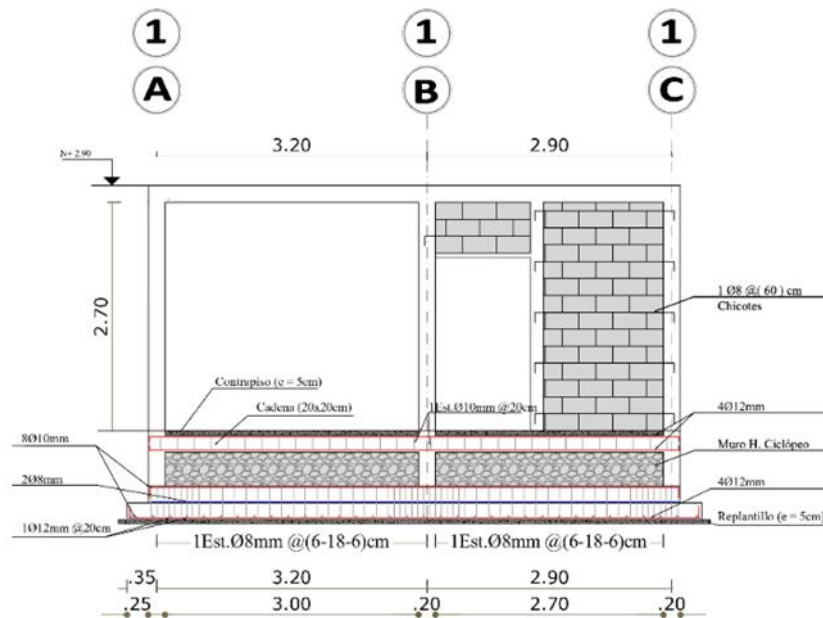


Figura 8: Detalles de sección de muro.

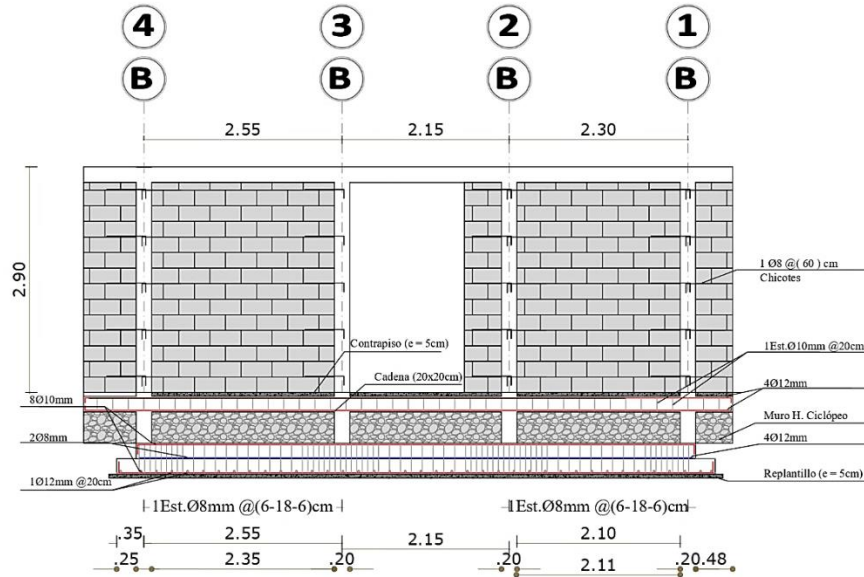


Figura 9: Detalles de sección de muro.

Presupuesto

El presupuesto referencial calculado para la vivienda se muestra en la tabla 18, incluye los trabajos preliminares, cimentación, estructura, contra piso, mampostería, instalaciones eléctricas, instalaciones sanitarias y de agua potable, acabados y cubierta.

El costo total de la vivienda fue de \$14,022.62, el cual se encuentra en un rango aceptable comparándolo con diferentes programas de gobierno y acuerdos ministeriales como referencia. Tal es el caso de la vivienda 2-002 2D del programa Casa para Todos del Ecuador (Farfán-Intriago, Solórzano-Véliz & Giraldo-García, 2023), construida por el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. También, en el numeral 1.10 del informe de la Comisión Técnica de Preselección del mismo ministerio, se muestran los valores de las diferentes propuestas del programa “Creamos Vivienda” (Empresa Pública Creamos Vivienda EP, 2022); de acuerdo con este informe, el costo total incluido el IVA de una vivienda unifamiliar con accesibilidad con dos dormitorios es de \$18,099.66. Adicionalmente, el acuerdo del Ministerio de Desarrollo y Vivienda Nro. MIDUVI-2022-0011-A en su Sección 1 Artículo 4, establece que una vivienda de interés social tendrá un valor de hasta 44 salarios básicos unificados (SBU) más el Impuesto al Valor Agregado (IVA) (MIDUVI, 2021).

Tabla 18: Presupuesto de la vivienda

Nº	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Trabajos Preliminares				262,18
1.1	Replanteo y nivelación de la vivienda	m ²	50,00	1,25	62,50
1.2	Excavación	m ³	12,00	7,85	94,20
1.3	Desalojo de material de excavación	m ³	12,00	8,79	105,48
2	Cimentación				902,23
2.1	Relleno con piedra bola bajo cemento	m ³	6,27	13,57	85,08
2.2	Relleno con mejoramiento para cimientos	m ³	3,19	14,23	45,39
2.3	Hormigón ciclopeo cimientos 180kg/cm ²	m ³	9,00	85,75	771,75
3	Estructura				2828,73
3.1	Hormigón en columnas f'c= 210 kgf/cm ²	m ³	1,70	144,32	245,34
3.3	Hormigón en vigas f'c= 210 kgf/cm ²	m ³	1,90	126,22	239,82
3.4	Hormigón simple para dinteles f'c= 210 kgf/cm ² Inc. encofrado	m	16,40	142,75	2341,10
3.6	Acero de refuerzo Fy= 4200 kg/cm ² (Inc. Plintos)	kg	1,71	1,44	2,47
4	Contra piso				1372,00
4.1	Contra piso de hormigón con un 50% de triturado de vidrio, como reemplazo del agregado grueso f'c= 180 kgf/cm ²	m ²	49,00	11,00	539,00

4.2	Cerámica nacional para piso de 45x45 cm	m ²	49,00	17,00	833,00
5	Mampostería	m ²			1333,93
5.1	Mampostería estructural de bloque e= 15 cm	m ²	43,00	7,68	330,24
5.2	Mampostería corriente de bloque e= 10 cm	m ²	3,87	2,40	9,29
5.3	Enlucido vertical y horizontal con agregado de plástico molido	m ²	83,00	4,30	356,90
5.4	Mortero de pega con agregado de vidrio molido	m ²	40,00	15,00	600,00
5.5	Loseta mesón de cocina	ml	1,50	25,00	37,50
6	Instalaciones eléctricas				540,00
6.1	Punto de iluminación simple	pto	7,00	20,00	140,00
6.2	Acometida principal hasta centro de carga	pto	1,00	40,00	40,00
6.3	Centro de carga bifásico 6 espacios incluye disyuntores y puesta a tierra (Tablero de Distribución)	u	1,00	90,00	90,00
6.4	Circuito alimentador para cocina de inducción, 220V	pto	1,00	50,00	50,00
6.5	Punto de tomacorriente polarizado 110V 20A	u	11,00	20,00	220,00
7	Instalaciones sanitarias y de agua potable				460,39
7.1	Tubería de 4" para desagüe	m	6,00	1,05	6,30
7.2	Tubería de 110 mm para desagüe	m	19,00	2,11	40,09
7.3	Tubería de 1/2 para agua potable	m	22,00	8,00	176,00
7.4	Fregadero de lava plato de acero inoxidable (incluye grifería)	u	1,00	55,00	55,00

7.5	Lavamanos	u	1,00	45,00	45,00
7.6	Inodoro	u	1,00	65,00	65,00
7.7	Juego de Duchas	u	1,00	25,00	25,00
7.8	Rejilla de piso D 50 mm	u	1,00	3,00	3,00
7.9	Caja de revisión 60x60cm Inc. Tapa	u	1,00	45,00	45,00
8	Acabados				4523,09
8.1	Cerámiza para pared	m ²	12,00	17,00	204,00
8.2	Cerámiza en pisos (baño)	m ²	3,50	17,00	59,50
8.3	Cerámiza para mesón de cocina	m ²	1,50	17,00	25,50
8.4	Pintura Fotocatalítica	m ²	83,00	29,73	2467,59
8.5	Ventanas de vidrio y madera	m ²	7,00	80,00	560,00
8.6	Puerta de madera principal	u	3,00	190,00	570,00
8.7	Puerta metálica 80x210 ingreso posterior	u	1,00	180,00	180,00
8.8	Empaste de pared	m ²	83,00	5,50	456,50
9	Cubierta				1800,08
9.1	Cubierta Tetrapak de aglomerados	m ²	20,72	25,80	534,58
9.2	Culmo Guadua 10 cm para columnas (L = 6 m)	m	32,00	6,00	192,00
9.3	Provision y limpieza de guaduas inmunizadas	u	35,00	10,80	378,00
9.4	Instalacion de estructura de guadua (incl. inst. anchajes galvan.)	u	45,00	10,90	490,50
9.5	Provisión herrajes (tuercas, anillos)	m ²	112,00	0,10	11,20
9.7	Malla mosquitera	m ²	51,60	3,00	154,80
9.8	Protector uv para guaduas y phyllostachys aurea	m ²	10,00	3,90	39,00
TOTAL					14.022,62

Conclusiones

La construcción sostenible es un concepto cada vez más importante, ya que contribuye a la protección del medio ambiente. La población mundial está creciendo a un ritmo acelerado, lo que conlleva un aumento de la demanda de materiales de construcción. Este estudio demostró que es posible sustituir ciertos materiales de construcción tradicionales por materiales sostenibles. Para ello, se utilizó vidrio y plástico reciclados, materiales abundantes en el entorno. También se utilizaron residuos de construcción y demolición, que son un problema medioambiental importante, y en la cubierta estructura de bambú con paneles de aglomerado reciclados.

En lo que respecta a las encuestas realizadas a profesionales, se obtuvo que ellos están conscientes de la importancia de la construcción sostenible y están dispuestos a utilizar materiales sostenibles en sus proyectos. Los materiales sostenibles más recomendados fueron: la caña, la madera, los reciclados y el suelo cemento. Estos materiales tienen varias ventajas como su bajo impacto ambiental, su durabilidad y su potencial de reciclaje, considerándolos como materiales resistentes. En el análisis hecho de las encuestas a los usuarios en general, se obtuvo como conclusión que conocen de materiales sostenibles utilizados en obra, viendo viable la construcción con los mismos, estando dispuestos a implementarlos y recomendarlos para futuros proyectos personales. Sin embargo, debido al desconocimiento y malas experiencias, existen dudas sobre el hecho de que las viviendas construidas con materiales sostenibles tengan la misma resistencia, duración y precios que con materiales convencionales.

Se demostró que construir una vivienda con muros de mampostería confinada, donde el bloque es hecho con material sostenible es resistente, se diseñó también en el programa Etabs la vivienda, donde se obtuvo como resultado que las derivas inelásticas de los pisos no sobrepasan el 1% especificado por la Norma Ecuatoriana de la Construcción.

Para cálculo del análisis sísmico de la vivienda con mampostería confinada, se realizó el diseño detallado, debido a que no se cumplió con los requisitos para realizar el método simplificado. En el diseño, se verificó que el área de los muros en los sentidos X y Y fueron suficientes. Se demostró la capacidad de resistencia a la compresión y tracción de la columna más crítica del sistema estructural para cada estado, y en ambos casos cumplieron con las condiciones.

No fue necesario ejecutar el análisis a flexo-compresión del muro en la dirección paralela a su plano, debido a que los muros existentes en el sistema estructural están modelados con los elementos de borde, mismos que en ciertos casos tienen secciones transversales distintas.

Asimismo, el método simplificado de incremento de carga de compresión que presenta la NEC - SE - VIVIENDA, no es aplicable por la asimetría de resistencia de los muros conformados por dos elementos de borde de secciones diferentes. Sin embargo, la verificación de resistencia última de compresión en los elementos de borde sometidos a flexo-compresión del muro, ha sido realizada de forma independiente a cada elemento en base a las solicitaciones últimas extraídas del análisis estructural en ETABS.

La vivienda resistió el diseño a cortante en cada uno de los muros paralelos al plano, y de igual manera se verificó con el muro más crítico el aplastamiento del alma del muro, cumpliéndose que la fuerza axial que actúa sobre la biela diagonal del muro fue menor a la resistencia nominal a compresión de la mampostería sola. Se comprobó la capacidad de resistir a cortante en los elementos de confinamiento, ya que son los que reciben la fuerza de la biela de compresión en la esquina de intersección entre vigas y columnas de confinamiento.

El costo total de la vivienda fue de \$14,022.62, el cual se encuentra en un rango aceptable comparándolo con algunos planes de gobierno de casas construidas por el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, además de estar por debajo del precio máximo de los acuerdos ministeriales que establecen los costos de viviendas de interés social.

En conclusión, el diseño estructural de la vivienda cumple con las condiciones que la norma ecuatoriana dicta para que una vivienda con muros de mampostería confinada sea resistente, demostrando que es posible construir con materiales sostenibles que sean respetuosos con el medio ambiente.

Se recomienda que la sociedad incorpore materiales sostenibles en la construcción de edificaciones. Estos materiales son amigables con el medio ambiente y contribuyen a reducir la contaminación y el consumo de recursos naturales. En particular, se recomienda el uso de materiales reciclados, que pueden ser utilizados para darle una segunda vida a los residuos. Si se desea construir con un bloque que no sea de residuos de construcción y demolición, es importante que el bloque cumpla con los requisitos de resistencia establecidos en la norma ecuatoriana, en este caso, si es un bloque mayor o igual a 4.25 MPa y con las mismas dimensiones usadas en este diseño, puede ser aplicado.

La investigación y divulgación de nuevos materiales sostenibles para la construcción de viviendas de interés social es esencial para promover la sostenibilidad en el sector de la construcción. Los materiales sostenibles ofrecen una serie de ventajas frente a los materiales convencionales, con un menor impacto ambiental, mayor eficiencia energética y menor coste de mantenimiento.

La reutilización de materiales contaminantes, como los residuos de construcción y demolición, es una práctica sostenible que contribuye a reducir la contaminación y el consumo de recursos naturales. Los materiales sostenibles no limitan el diseño arquitectónico o estructural de las viviendas sostenibles.

Referencias

- Calderón, T.; Venegas, A. & Flores, A. (2023). Estrategias para la construcción sostenible de viviendas en la Asociación “Shuar Cultural Center” (Ecuador), adaptadas a su entorno rural. *Digital Publisher*, 8(1), 385-403. DOI: <https://doi.org/10.33386/593dp.2023.1-1.1684>
- Cárcel, J.; Martínez, A.; Linares, J. & Kaur, J. (2022). Alternativas ecológicas de los materiales tradicionales en la construcción sostenible. *3C Tecnología. Glosas de innovación aplicadas a la pyme*, 11(1), 17-29. DOI: <https://doi.org/10.17993/3ctecno/2022.v11n1e41.17-29>
- Chamorro, C.; Hoepfner, L.; Montañó, C. & Ríos, I. (2019). Procesos de gestión: edificios sostenibles vs. edificios tradicionales. *Revista Activos*, 17(2), 177-203. DOI: <https://doi.org/10.15332/25005278/5737>
- Chavez, M.; Vanga, M. & García, L. (2022). Diseño de un paradero turístico con caña guadua: rescatando la arquitectura vernácula. *Dominio de las Ciencias*, 8(2), 724-750. DOI: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v8i2.2672>
- Constantini, A.; Pérez, M. & Francisca, F. (2016). Evaluación del comportamiento térmico de una edificación reemplazando el material de la envolvente por suelo-cemento. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente-AVERMA*, 20, 05.33-05.43. <http://portalderevistas.unsa.edu.ar/ojs/index.php/averma/article/view/1347>
- Empresa Pública Creamos Vivienda EP. (2022). Informe de Comisión Técnica para Preselección de Oferentes proceso “Ingeniería Procura y Construcción de Viviendas de Interés Social del Segmento 1: Viviendas con subsidio total del estado en la provincia de los Ríos grupo 24”. <https://www.creamosvivienda.gob.ec/transparencia-1A-2022/G24-RIOS-INFORME-P.pdf>
- Esteban, N. (2018). Tipos de investigación. Perú: Universidad Santo Domingo de Guzmán. <http://190.117.99.173/bitstream/USDG/34/1/Tipos-de-Investigacion.pdf>

- Farfán-Intriago, P.; Solórzano-Véliz, P. & Giraldo-García, K. (2023). Análisis de un modelo de vivienda social en Ecuador. *Domino de las Ciencias*, 9(2), 724-741. <https://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/3310/7535>
- García, M. (2022). Validación analítica de resultados experimentales de vibración ambiental de casas realizadas con fardos de paja y mochetas de madera (Tesis de maestría). Universidad de las Fuerzas Armadas, Sangolquí, Ecuador. <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/bitstream/21000/31121/1/T-ESPE-052382.pdf>
- García, X. & Montoya, A. (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, Cundinamarca (Tesis de grado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/24458>
- Guerrero, B. (2021). La casa más sostenible de Europa... ¡es española! <https://www.micasarevista.com/casas/a35225121/casa-mas-sostenible-de-europa-es-espanola/>
- Hernández, R.; Fernández, C. & Baptista, M. (2016). Metodología de la Investigación (6ta ed.). México: McGRAW-HILL. <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Hernández, R. & Mendoza, C. (2018). Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. México: McGraw-Hill Interamericana. https://www.google.com.ec/books/edition/Metodolog%C3%ADa_de_la_investigaci%C3%B3n_las_ru/domjzQEACAAJ?hl=es&kptab=overview
- Mendoza, L. (2022). Fabricación de bloques de cemento con agregados de residuos de construcción y demolición (RCD) provenientes de mamposterías de ladrillo (Tesis de Grado). Universidad Católica De Cuenca, Cuenca, Ecuador. <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/12524>
- MIDUVI – Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2021). Acuerdo Nro. MIDUVI-MIDUVI-2022-0011-A. Reglamento que regula el acceso a los subsidios e incentivos para vivienda de interés social y vivienda de interés público. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2022/06/MIDUVI-MIDUVI-2022-0011-A-.pdf>

- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). Norma Técnica E.070 Albañilería - Perú. <http://jlsac.com/rnc/Albanileria.pdf>
- Naciones Unidas. (2023). Objetivo 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/>
- NEC-SE-DS - Norma ecuatoriana de la construcción. (2015a). Peligro sísmico. Diseño sismo resistente parte 1. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/2.-NEC-SE-DS-Peligro-Sismico-parte-1.pdf>
- NEC-SE-DS - Norma ecuatoriana de la construcción. (2015b). Peligro sísmico. Diseño sismo resistente parte 2. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/3.-NEC-SE-DS-Peligro-Sismico-parte-2.pdf>
- NEC-SE-VIVIENDA - Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2014). Vivienda de hasta dos pisos con luces de hasta 5m parte 3. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/14.-NEC-SE-VIVIENDA-parte-3.pdf>
- Pérez, D. & Bartra, J. (2020). Propiedades sismo resistentes del tapial y la quincha: Arquitectura vernácula sostenible. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 4(2), 1543-1556. DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v4i2.181
- Peters, C. (2023). Cómo la construcción puede hacer el cambio al concreto bajo en carbono. <https://www.construccionlatinoamericana.com/news/como-la-construccion-puede-hacer-el-cambio-al-concreto-bajo-en-carbono/8027048.article>
- Pineda, E. & Ramírez, G. (2021). Determinación de emisión de Dióxido de Carbono (CO₂) y el impacto económico y medioambiental en la construcción de viviendas de interés social de El Salvador: aplicación en sector construcción. El Salvador: ITCA Editores. <http://redicces.org.sv/jspui/bitstream/10972/4339/1/06%20Informe%20Final%20Civil%20y%20Arquitectura%202020%20ISBN%20Ebook.pdf>
- Pinzón, S. (2022). ¡Increíble! “Homeko” es la primera vivienda creada a partir del reciclaje de envases Tetra Pak en el país. <https://www.colombia.com/educacion/noticias/increible-homeko-es-la-primera-vivienda-creada-a-partir-del-reciclaje-de-envases-tetra-pak-370431>
- Postuña, J. & Vallejo, J. (2022). Aplicación de técnica constructiva contemporánea en tierra: tapia post-tensada con suelo del sector chorrera mirador- provincia de Chimborazo (Tesis de grado). Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

- Serrano, H. & Legarda, Y. (2017). Análisis de la implementación de materiales biodegradables en la industria de la construcción de Giraldot, Ricaurte y Flandes – Cundinamarca (Tesis de grado). Universidad Piloto de Colombia, Girardot, Colombia. <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/5854>
- Torres, M. & Jaramillo, A. (2019). Transición a la sostenibilidad de la arquitectura ecuatoriana contemporánea a través del uso de materiales naturales. *EIDOS*, (14), 45-53. <https://revistas.ute.edu.ec/index.php/eidos/article/view/606/469>
- Turcios, D. (2020). Comparación de diseño estructural para cimentaciones superficiales utilizando el método rígido convencional y el método Winkler por elementos finitos (Tesis de grado). Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/12457/TFG_David_Turcios_Medina.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Vanga, M.; Briones, O.; Zevallos, I. & Delgado, D. (2021). Bioconstrucción de vivienda unifamiliar de interés social con caña *Guadua angustifolia* Kunth. *Novasinergia*, 4(1), 53-73. <https://doi.org/10.37135/ns.01.07.03>
- Zambrano, L. & Ruiz, W. (2021). El enquinche como material alternativo de revestimiento en viviendas de interés social. *INGENIAR*, 4(8), 132-147. <https://journalingeniar.org/index.php/ingeniar/article/view/85#:~:text=El%20enquinche%20es%20uno%20de,con%20barro%20o%20materiales%20similares>

© 2023 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).