



ITCA
FEPADE

INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN

EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO EN DOS TIPOS DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE VIVIENDAS EN EL SALVADOR. PROPUESTA DE ÁREAS DE MEJORA EN TÉRMINOS DE SOSTENIBILIDAD Y EFICIENCIA ENERGÉTICA

**EN ASOCIO CON LA UNIVERSIDAD DE
SEVILLA, ESPAÑA Y HÁBITAT PARA LA
HUMANIDAD, EL SALVADOR**

DOCENTE INVESTIGADORA PRINCIPAL
ARQ. EVA MARGARITA PINEDA LUNA

DOCENTE COINVESTIGADOR
ING. MIGUEL ÁNGEL VEGA VÁSQUEZ

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ITCA-FEPADE SEDE CENTRAL**

ENERO 2025



MINISTERIO
DE EDUCACIÓN,
CIENCIA Y
TECNOLOGÍA



ESCUELA ESPECIALIZADA EN INGENIERÍA ITCA-FEPADE
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL
SANTA TECLA, LA LIBERTAD, EL SALVADOR, CENTRO AMÉRICA





ITCA
FEPADE

INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN

EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO EN DOS TIPOS DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE VIVIENDAS EN EL SALVADOR. PROPUESTA DE ÁREAS DE MEJORA EN TÉRMINOS DE SOSTENIBILIDAD Y EFICIENCIA ENERGÉTICA

**EN ASOCIO CON LA UNIVERSIDAD DE
SEVILLA, ESPAÑA Y HÁBITAT PARA LA
HUMANIDAD, EL SALVADOR**

DOCENTE INVESTIGADORA PRINCIPAL
ARQ. EVA MARGARITA PINEDA LUNA

DOCENTE COINVESTIGADOR
ING. MIGUEL ÁNGEL VEGA VÁSQUEZ

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ITCA-FEPADE SEDE CENTRAL

ENERO 2025



MINISTERIO
DE EDUCACIÓN,
CIENCIA Y
TECNOLOGÍA



ESCUELA ESPECIALIZADA EN INGENIERÍA ITCA-FEPADE
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL
SANTA TECLA, LA LIBERTAD, EL SALVADOR, CENTRO AMÉRICA



Rector

Ing. Carlos Alberto Arriola Martínez

Vicerrector

Ing. Christian Antonio Guevara Orantes

**Director de Investigación
y Proyección Social**

Ing. Mario W. Montes Arias

**Dirección de Investigación
y Proyección Social**

Ing. David Emmanuel Ágreda Trujillo

Inga. Jeannette Tatiana Galeas Rodríguez

Téc. Cristina Michellé Vásquez Hernández

Sra. Delmy Roxana Reyes Zepeda

**Director de Escuela de
Ingeniería Civil y Arquitectura**

Ing. Santos Jacinto Pérez

720. 47

P649e

Pineda Luna, Eva Margarita 1989 -

slv

Evaluación de la emisión de dióxido de carbono en dos tipos de procesos de constructivos de viviendas en El Salvador, Propuesta de áreas de mejora en términos de sostenibilidad y eficiencia energética (recurso electrónico). En asocio con la Universidad de Sevilla, España y hábitat para la humanidad, El Salvador / Eva Margarita Pineda Luna y Miguel Ángel Vega Vásquez. -- 1ª ed. -- Santa Tecla, La Libertad, El Salv. 1 recurso electrónico, (90 p.: il.; 28 cm.)

Datos electrónicos (1 archivo: pdf, 4 MB). --

<https://www.itca.edu.sv/produccion-academica/>

ISBN: 978-99983-69-52-8 (E-Book, pdf)

ISBN: 978-99983-69-51-1 (Impreso)

1. Arquitectura - Construcción de viviendas.
2. Arquitectura Sostenible - Análisis metalúrgico.
3. Dióxido de Carbono - viviendas - Conservación Energética. I. Vega Vásquez, Miguel Ángel 1989-, coaut. II. Título.

Autora

Arq. Eva Margarita Pineda Luna

Coautor

Ing. Miguel Ángel Vega Vásquez

Tiraje: 13 ejemplares

Año 2025

Este documento técnico es una publicación de la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE; tiene el propósito de difundir la Ciencia, la Tecnología y la Innovación CTI, entre la comunidad académica, el sector empresarial y la sociedad, como un aporte al desarrollo del país. Para referirse al contenido debe citar el nombre del autor y el título del documento. El contenido de este Informe es responsabilidad de los autores.



Atribución-No Comercial
Compartir Igual
4.0 Internacional

Esta obra está bajo una licencia Creative Commons. No se permite el uso comercial de la obra original ni de las posibles obras derivadas, cuya distribución debe hacerse mediante una licencia igual que la sujeta a la obra original.

Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE

Km 11.5 carretera a Santa Tecla, La Libertad, El Salvador, Centro América

Sitio Web: www.itca.edu.sv

TEL: (503)2132-7423

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	7
2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
2.1	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	8
2.2	ANTECEDENTES / ESTADO DE LA TÉCNICA.....	9
2.3	JUSTIFICACIÓN.....	10
3	OBJETIVOS.....	10
3.1	OBJETIVO GENERAL.....	10
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
4	HIPÓTESIS.....	11
5	MARCO TEÓRICO	11
5.1	CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE	11
	PRINCIPIOS DE LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE.....	11
	NORMATIVAS Y ESTÁNDARES INTERNACIONALES DE CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE LEED Y HAUS.....	12
	TENDENCIAS ACTUALES EN CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE A NIVEL MUNDIAL Y REGIONAL.....	12
5.2	CICLO DE VIDA DE LOS EDIFICIOS	13
	¿POR QUÉ EL CICLO DE VIDA ES RELEVANTE PARA LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN?.....	14
	¿CÓMO SE LLEVA A CABO UN ACV DE UN PRODUCTO?	15
	ACV EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN	17
	EMISIONES DE CO ₂ EN CADA ETAPA DEL CICLO DE VIDA.....	18
	ESTRATEGIAS PARA REDUCIR EL CARBONO EMBEBIDO	19
5.3	MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y SU IMPACTO AMBIENTAL	19
	MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN TRADICIONALES Y ALTERNATIVOS	19
	DEFINICIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS.....	20
	IMPACTO AMBIENTAL DE LA PRODUCCIÓN Y EL USO DE DIFERENTES MATERIALES (CEMENTO, ACERO, MADERA, ETC.).....	22
5.4	SISTEMAS CONSTRUCTIVOS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA.....	24
	IMPORTANCIA DE LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS.....	25
	RELACIÓN ENTRE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA	26
5.5	CAMBIO CLIMÁTICO Y MITIGACIÓN	27
	CAMBIO CLIMÁTICO Y SUS EFECTOS EN EL SALVADOR.....	27
	MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO A TRAVÉS DE LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CO ₂	27
	ROL DEL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN EN LA MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO.	28
5.6	VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL Y POLÍTICAS PÚBLICAS.....	29
	VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL Y SU IMPORTANCIA EN EL SALVADOR	29
	POLÍTICAS PÚBLICAS RELACIONADAS CON LA VIVIENDA Y LA CONSTRUCCIÓN EN EL SALVADOR.....	29
	PROGRAMAS GUBERNAMENTALES PARA PROMOVER LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE	30
6	METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	30

7	RESULTADOS	32
7.1	DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS EVALUADOS	32
	LADRILLO DE OBRA MACIZO	32
	PROCESO CONSTRUCTIVO CON LADRILLO DE OBRA.....	35
	RELACIÓN ENTRE EL SISTEMA CONSTRUCTIVO DE LADRILLO DE OBRA Y EL CONSUMO ENERGÉTICO DE UN EDIFICIO.	37
	SISTEMA CONSTRUCTIVO DE BLOQUES DE CONCRETO	37
	RELACIÓN ENTRE EL SISTEMA CONSTRUCTIVO Y EL CONSUMO ENERGÉTICO DE UN EDIFICIO	39
7.2	TIPOLOGÍA DE VIVIENDAS ANALIZADAS EN LA CONTABILIZACIÓN DE EMISIONES DE CO ₂ EQUIVALENTE	40
	VIVIENDA DE SISTEMA CONSTRUCTIVO DE LADRILLO DE OBRA MACIZO	40
	ESPACIOS DE VIVIENDA DE SISTEMA DE LADRILLO MACIZO	42
	VIVIENDA DE SISTEMA CONSTRUCTIVO DE BLOQUE DE CONCRETO	43
	ESPACIOS DE VIVIENDA SISTEMA DE BLOQUE DE CONCRETO	45
7.3	METODOLOGÍA DE MEDICIÓN DE EMISIONES.....	46
7.4	RESULTADOS DE EMISIONES PARA VIVIENDA DE SISTEMA DE LADRILLO MACIZO	47
	CONJUNTO DE DATOS DE CO ₂ EQ UTILIZADOS EN LA EVALUACIÓN	47
	PROCESO DE CÁLCULO REALIZADO.....	47
	CÁLCULO EMISIONES DE CO ₂ PARA NERVIO #1	48
	CÁLCULO DE PARED DE LADRILLO MACIZO	51
	CÁLCULO DE TECHO DE FIBROCEMENTO	56
	RESULTADOS DE EMISIONES VIVIENDA DE BLOQUE DE CONCRETO	59
7.5	RESULTADOS DE EMISIONES PARA VIVIENDA DE SISTEMA DE BLOQUE DE CONCRETO	62
	CONJUNTO DE DATOS DE CO ₂ EQ UTILIZADOS EN LA EVALUACIÓN	62
	PROCESO DE CÁLCULO REALIZADO.....	63
	CÁLCULO DE SOLERA DE FUNDACIÓN	63
	CÁLCULO DE PARED DE BLOQUE DE CONCRETO	67
	TECHO DE CHAPA METÁLICA	73
	INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS.....	76
	RESULTADOS DE EMISIONES VIVIENDA DE BLOQUE DE CONCRETO	76
7.6	COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE LOS DOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS	78
8	CONCLUSIONES	81
9	RECOMENDACIONES	82
10	GLOSARIO.....	83
11	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85

1 INTRODUCCIÓN

El sector de la construcción es una de las principales fuentes de emisiones de dióxido de carbono CO₂ a nivel global, debido al uso intensivo de materiales con altas cargas energéticas y procesos constructivos que dependen de combustibles fósiles. En El Salvador, la edificación de viviendas de interés social constituye una parte significativa del desarrollo urbano, pero su impacto ambiental ha sido poco estudiado en términos de huella de carbono. Ante la creciente preocupación por el cambio climático y la necesidad de promover prácticas de construcción sostenible, es fundamental evaluar las emisiones de CO₂ asociadas con distintos sistemas constructivos y proponer soluciones que reduzcan su impacto ambiental.

El impacto ambiental de la construcción se evalúa a través del Análisis de Ciclo de Vida ACV, una metodología que permite medir las emisiones de CO₂ desde la extracción de materias primas hasta la demolición o reciclaje de los materiales utilizados. En esta investigación se analiza la fase A de la A1 a A3. Comprender las emisiones asociadas con diferentes sistemas constructivos es esencial para desarrollar estrategias de mitigación del impacto ambiental y promover soluciones más sostenibles en el sector de la construcción.

Este estudio se centra en la evaluación de las emisiones de CO₂ en la construcción de dos tipos de viviendas de interés social en El Salvador, empleando sistemas constructivos distintos: el de bloque de concreto y el de ladrillo de barro cocido. A través de un análisis de bases de datos ambientales y cálculos de impacto, se identificaron las diferencias en las emisiones de carbono entre ambos sistemas.

La importancia de esta investigación radica en su contribución al conocimiento sobre la huella de carbono de la construcción en el país, proporcionando datos que pueden servir de base para la formulación de estrategias de desarrollo sostenible. Los hallazgos permitirán a arquitectos, ingenieros, urbanistas y tomadores de decisiones optar por soluciones constructivas más eficientes y amigables con el medio ambiente.

La investigación demostró que existen oportunidades para reducir la huella de carbono en la construcción de viviendas de interés social mediante la optimización de procesos constructivos y la selección de materiales con menor impacto ambiental. Los resultados del análisis de emisiones indican que la elección de materiales tiene un impacto significativo en la sostenibilidad ambiental de la construcción, lo que resalta la importancia de implementar criterios de eficiencia energética y reducción de CO₂ en la selección de insumos.

Los materiales de mayor impacto son el acero galvanizado y el concreto, por lo que es recomendable buscar alternativas con menor huella de carbono, como el uso de concreto con aditivos reciclados o sistemas de techado con materiales más sostenibles.

La colaboración con la Universidad de Sevilla, España y Hábitat para la Humanidad El Salvador fortalece la credibilidad del estudio y facilita la integración de estándares internacionales en el análisis del impacto ambiental de los materiales de construcción. Con esta investigación, se busca fomentar el uso de tecnologías constructivas más sostenibles y reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero GEI asociadas con la edificación de viviendas en El Salvador, contribuyendo a los esfuerzos globales para mitigar el cambio climático y mejorar la calidad de vida de la población.

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En El Salvador, la vivienda es una necesidad fundamental, y la construcción de viviendas es una actividad constante en todo el país. Sin embargo, la sostenibilidad ambiental y la eficiencia energética en la construcción de viviendas son aspectos que a menudo se pasan por alto. La creciente conciencia de la crisis climática y la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono CO₂, plantea un desafío significativo en la evaluación y mejora de los sistemas constructivos utilizados en viviendas.

El problema radica en la falta de información detallada y específica sobre las emisiones de CO₂ asociadas a diferentes sistemas constructivos de viviendas de interés social que son utilizados en El Salvador. Esta falta de información dificulta la toma de decisiones informadas por parte de los actores clave en la industria de la construcción y los responsables de la formulación de políticas ambientales y de vivienda. Además, la variabilidad en las prácticas constructivas y la falta de regulaciones ambientales sólidas en el sector de la construcción pueden estar contribuyendo a un impacto ambiental significativo y a un desperdicio de recursos.

En El Salvador, el sector de la construcción ha sido una parte importante de la economía del país. Algunos de los factores que han influido en este sector incluyen la inversión en infraestructura, la construcción de viviendas, el desarrollo turístico y la renovación de edificios.

Según el Banco Central de Reserva de El Salvador BCR, la economía salvadoreña avanzó entre abril y junio 2023 gracias al sector de la construcción, que creció 22.8% por la ejecución de proyectos públicos en infraestructura vial y escenarios deportivos. En segundo lugar, aparece electricidad con 16.8%, actividad que representa un 3.1% del PIB nacional.

El presidente del BCR manifestó que el sector construcción se vio influenciado por el aumento en las inversiones privadas de tipo residencial, corporativo y turístico. Asimismo, por el aumento en el empleo y la estabilización de precios de sus insumos. [1]



Figura 1. Actividades económicas.

Fuente. Banco Central de Reserva de El Salvador.

Como arquitectos e ingenieros estamos capacitados para poder generar un documento con información técnica que contenga planos, materiales, procesos constructivos, ventilación, iluminación, entre otros factores que son determinantes para el diseño y construcción de una vivienda, y a través de ellos medir el impacto económico que se genera en la familia que desea adquirir la vivienda, ya que deberán cancelar una cuota en un banco o en alguna otra institución financiera, así también es necesario determinar el impacto que generará esa construcción al medio ambiente, a través de conocer el ciclo de vida útil de la materia prima, la energía utilizada para extracción de materiales y la huella de carbono.

2.2 ANTECEDENTES / ESTADO DE LA TÉCNICA

La construcción es una actividad fundamental en la sociedad, ya que proporciona viviendas, infraestructuras y edificios que son esenciales para el funcionamiento de nuestras ciudades y comunidades. Sin embargo, este proceso de construcción no está exento de impactos ambientales, y uno de los más significativos es la emisión de dióxido de carbono CO₂ a la atmósfera. Las edificaciones en sí también contribuyen a las emisiones de CO₂ a lo largo de su ciclo de vida. Para abordar el problema de las emisiones de CO₂ en la construcción, es necesario adoptar enfoques más sostenibles y eficientes. Esto incluye la elección de materiales de construcción con menor huella de carbono, el diseño de edificios más eficientes energéticamente, la reducción de residuos y la transición hacia fuentes de energía renovable en el proceso de construcción. Además, es esencial fomentar la conciencia y la educación sobre la importancia de la construcción sostenible entre profesionales del sector y la sociedad en general.

Diferentes investigaciones, como se muestra a continuación, exploran el proceso de construcción y las causas que generan la emisión de CO₂, y cómo estas emisiones impactan nuestro entorno y la lucha contra el cambio climático.

Una investigación realizada en México sobre el tema es: “Procesos de construcción, emisión de dióxido de carbono y resultados socioeconómicos durante la pandemia del Covid-19 en México”. Esta investigación concluye que es muy importante crear indicadores que proporcionen información sobre la cantidad de Ton-CO generada en los procesos constructivos en general y especialmente, ahora que muchos de estos procesos se han detenido a raíz de la emergencia sanitaria del Covid-19. Por lo cual, se busca describir cómo son llevados a cabo los procesos de construcción y las emisiones de Dióxido de Carbono que influyen en los resultados socioeconómicos de México, especialmente, durante el tiempo de pandemia del Covid-19. Los autores que fundamentan los aspectos teóricos de esta investigación son: Hepburn & Stern (2008); Moreno Sánchez y Urbina Soria (2008), Magrin, et al, (2007), entre otros. La metodología aplicada es de carácter descriptiva, documental, tomando como población de estudio el fraccionamiento “Cantabria” de Ciudad Obregón de México.

Usando esta adaptación también se diseñó una hoja de cálculo para medir la huella en edificaciones de Costa Rica, que se ha nombrado Metodología de medición de la huella de carbono para edificaciones en Costa Rica y su aplicación en el módulo habitacional Trópika. Se analizaron metodologías internacionales de medición de huella de carbono para productos, con el fin de identificar la que mejor se ajusta al sector de la construcción costarricense. Se concluyó que la metodología ISO/TS 14067:2013 Carbon Footprint of products-Requirements and guidelines for quantification and communication es la que mejor se adapta al contexto nacional, y se ajusta para su utilización en procesos constructivos en el país.

El proceso de construcción es una fuente significativa de emisiones de dióxido de carbono. Sin embargo, mediante la adopción de prácticas más sostenibles y eficientes, se puede reducir el impacto ambiental de la construcción y contribuir a la lucha contra el cambio climático. Es esencial reconocer el papel crucial que desempeña la construcción en la gestión de las emisiones de CO₂ y tomar medidas concretas para mitigar su impacto en nuestro entorno y en el futuro de nuestro planeta.

De esta manera ITCA-FEPADE, estaría aportando al sector de la construcción en investigaciones que benefician a la población en general y específicamente conocer cómo minimizar el impacto que se tiene sobre el medio ambiente en el país.

2.3 JUSTIFICACIÓN

La medición de las emisiones de dióxido de carbono en viviendas con sistema constructivo de bloque de concreto y de ladrillo de barro cocido en El Salvador, es necesario para comprender y abordar el impacto ambiental de los materiales de construcción de viviendas en la región. Esta investigación es esencial para mitigar el cambio climático, gestionar de manera sostenible los recursos naturales, mejorar la calidad del aire interior y promover prácticas de construcción más eficientes y económicas, contribuyendo así al desarrollo sostenible y al bienestar de las comunidades en El Salvador.

El estudio proporcionará información valiosa para respaldar la toma de decisiones en la formulación de políticas ambientales y de vivienda en El Salvador. La colaboración con instituciones académicas y organizaciones no gubernamentales de renombre, como la Universidad de Sevilla en España y Hábitat para la Humanidad, agrega experiencia y credibilidad a la investigación, lo que la hace aún más significativa y prometedora en términos de resultados y aplicabilidad práctica. En última instancia, esta evaluación busca contribuir a un enfoque más sostenible y consciente del medio ambiente en el sector de la construcción, beneficiando tanto al entorno natural como a las comunidades locales en El Salvador.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar las emisiones de dióxido de carbono CO₂ en dos tipos de viviendas que emplean sistemas constructivos diferentes en El Salvador, comprendiendo y comparando el impacto ambiental de ambos, identificando áreas de mejora en términos de sostenibilidad y eficiencia energética, y contribuyendo al desarrollo de prácticas constructivas más eficientes con el medio ambiente en la región.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Evaluar las emisiones de dióxido de carbono CO₂ de manera cuantitativa y cualitativa en una vivienda de bloque de concreto y una de ladrillo de barro, considerando las variaciones en materiales, técnicas constructivas y condiciones climáticas locales.
2. Identificar los factores clave que contribuyen a las diferencias en las emisiones de CO₂ entre los sistemas constructivos estudiados, incluyendo el análisis de las fuentes de emisiones de los materiales y las actividades de los ocupantes.
3. Proponer recomendaciones específicas y prácticas, basadas en los hallazgos de la evaluación, que promuevan la reducción de emisiones de CO₂ en la construcción de viviendas en El Salvador,

fomenten la eficiencia energética y respalden la sostenibilidad ambiental en el sector de la construcción.

4 HIPÓTESIS

¿Cuáles son las implicaciones prácticas y las oportunidades de mejora en la construcción de viviendas sostenibles en El Salvador, en términos de reducción de emisiones de CO₂, eficiencia energética y calidad del aire interior?

5 MARCO TEÓRICO

5.1 CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE

El término de construcción sostenible abarca, no sólo los edificios propiamente dichos, sino también cuenta el entorno y la manera cómo se integran para formar las ciudades. El desarrollo urbano sostenible (urbanismo sostenible) tiene el objetivo de crear un entorno urbano que no atente contra el medio ambiente, y que proporcione recursos urbanísticos suficientes, no sólo en cuanto a las formas y la eficiencia energética y del agua, sino también para su funcionalidad, como un lugar que sea mejor para vivir.

La experiencia ha demostrado que no resulta fácil cambiar el sistema de construcción de los edificios y de gestionar su funcionamiento. Para ello debe romperse con la rutina y los hábitos adquiridos por décadas por el actual sistema de construcción que no ha tenido en cuenta el papel finito de los recursos naturales.

Fenómenos como el cambio climático, el deterioro de la capa de ozono, la lluvia ácida, la deforestación o la pérdida de biodiversidad, parecen estar provocados por las actuales actividades industriales y económicas.

Sin embargo, es un error atribuir exclusivamente a la industria y al transporte el origen principal de la contaminación. El entorno construido, donde pasamos más del 90% de la nuestra vida, es en gran medida culpable de dicha contaminación. Los edificios consumen entre el 20% y el 50% de los recursos naturales, dependiendo del entorno en donde están situados, siendo la construcción un gran consumidor de recursos naturales como; madera, minerales, agua y combustibles fósil. [2]

Principios de la construcción sostenible

La sociedad debe sentir la necesidad de recuperar el concepto de ciudad próspera y cohesionada de manera que mejorando su integración en el territorio y el medio natural se reduzca su impacto ambiental. Para ello, hay que tener en cuenta algunos aspectos, como el planeamiento urbano, la reducción de las demandas derivadas del transporte, el ahorro de agua y energía, el tratamiento de los residuos, de forma especial los materiales de construcción, la mejora del medioambiente interior de los edificios, el mantenimiento de las viviendas existentes y/o rehabilitación de estas, la utilización de nuevos materiales constructivos bajo el concepto de sostenibilidad, etc.

La sostenibilidad tiene en cuenta los efectos que la construcción producirá en las personas que viven y/o trabajan en los edificios. Así, pues, se trata de avanzar en instrumentalizar una serie de principios como, por ejemplo:

- Conservación de recursos (materiales, agua, energías).
- Principio de las tres “R”: reciclar, recuperar, reusar.
- Análisis de la gestión del ciclo de vida de las materias primas utilizadas, con el objetivo de reducir la generación de residuos y de emisiones de Gas Efecto Invernadero GEI.
- Uso racional de la energía.
- Uso racional del agua.
- Incremento de la calidad y salud de vida para el usuario / propietario y la comunidad en la que se asienta (urbanización).
- Protección general medioambiental del entorno en el que se asienta. [2]

Normativas y estándares internacionales de construcción sostenible LEED y HAUS

En El Salvador, las normativas y estándares internacionales de construcción sostenible, como LEED y HAUS, se aplican a través de diversas estrategias y políticas para promover prácticas sostenibles en la construcción.

LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), es un sistema de certificación internacionalmente reconocido que evalúa la sostenibilidad de los edificios en función de criterios como eficiencia energética, calidad del aire interior, uso de materiales sostenibles y diseño innovador. Los edificios pueden obtener diferentes niveles de certificación: Plata, Oro o Platino, según la cantidad de puntos obtenidos en estas áreas [3]. En El Salvador, la Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador OPAMSS ha implementado programas y políticas que alinean los proyectos con los criterios de LEED, promoviendo la eficiencia energética, la calidad del aire interior y el uso de materiales sostenibles.

HAUS (Hábitats Urbanos Sostenibles), es una guía desarrollada por la Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador (OPAMSS) que promueve la construcción de edificaciones más sostenibles y resilientes. Incluye estrategias para la selección del sitio, eficiencia energética, manejo de agua, uso de materiales sostenibles y diseño integrativo [4]. La guía HAUS, es una herramienta clave para la construcción sostenible en el Área Metropolitana de San Salvador. HAUS incentiva la transición hacia edificaciones más sostenibles mediante estrategias como la selección del sitio, el manejo de agua, la eficiencia energética y el uso de materiales renovables. Además, ofrece incentivos financieros y formativos para proyectos que adopten estas prácticas.

Ambos estándares buscan minimizar el impacto ambiental de la construcción y promover prácticas sostenibles que beneficien tanto al medio ambiente como a la sociedad.

Tendencias actuales en construcción sostenible a nivel mundial y regional

Cuando hablamos de tendencias actuales en construcción sostenible, nos referimos a las prácticas, tecnologías y enfoques más recientes que buscan hacer que la construcción de viviendas sea más respetuosa con el medio ambiente y más eficiente en términos de recursos. Estas tendencias no solo se aplican a nivel mundial, sino que también tienen un impacto regional, incluido El Salvador.

Tendencias Mundiales en Construcción Sostenible

- **Arquitectura Regenerativa.** Busca restaurar ecosistemas dañados y reducir el impacto ambiental

de los edificios.

- **Materiales Inteligentes.** Uso de materiales que mejoran el aislamiento o absorben CO₂, promoviendo la autosuficiencia energética.
- **Ciudades Inteligentes.** Integración de tecnologías conectadas para gestionar eficientemente recursos como el agua y la electricidad.
- **Economía Circular.** Reutilización de materiales y reducción de residuos, transformando los desechos de construcción en nuevos productos.
- **Bienestar y Salud en el Entorno Edificado.** Creación de espacios saludables con ventilación natural, iluminación adecuada y materiales no tóxicos. [5]

Tendencias en El Salvador

En El Salvador, la construcción sostenible está ganando terreno, aunque todavía está en etapas iniciales. Algunas tendencias incluyen:

- **Uso de Materiales Locales.** Promoción del uso de materiales locales y reciclados para reducir la huella de carbono.
- **Energías Renovables.** Integración de paneles solares y sistemas de energía renovable en nuevas construcciones.
- **Rehabilitación de Edificios.** Remodelación de edificios antiguos para mejorar su eficiencia energética y sostenibilidad.
- **Construcción Biofílica.** Incorporación de elementos naturales en los edificios para mejorar el bienestar de los ocupantes [6].

Estas tendencias no solo benefician al medio ambiente, sino que también mejoran la calidad de vida de las personas y promueven una mayor conciencia ambiental.

5.2 CICLO DE VIDA DE LOS EDIFICIOS

El ciclo de vida de un edificio es un proceso que permite evaluar todos los aspectos ambientales, estructurales, productivos, de transporte, etc. Estas variables tienen que ver con el tiempo de duración de dicha edificación y su impacto en el medio ambiente.

A este proceso se le conoce como análisis de ciclo de vida (ACV) y se basa en cuatro aspectos relacionados con las edificaciones: análisis de eficiencia, energía, materias primas y uso de los residuos y desechos.

El ACV constituye a su vez una poderosa herramienta para la evaluación «verde» de las edificaciones actuales. Y es la base para la mayoría de las certificaciones que pretenden reducir el impacto ecológico de los modelos de construcción contemporáneos.

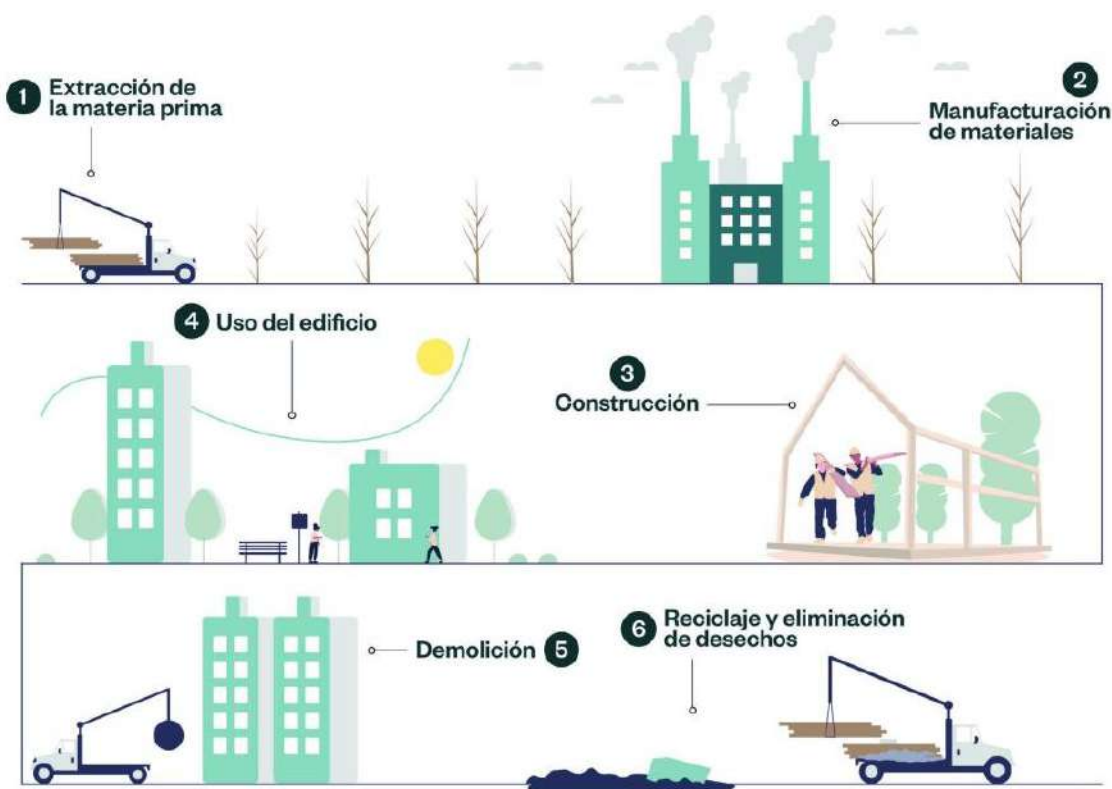


Figura 2. Ciclo de vida de un edificio.

Fuente. Econova Institute of Architecture and Engineering (ECONOVA)

Los principales objetivos del Análisis del Ciclo de Vida son:

- **Cuantificar:** conocer cuál es el impacto ambiental por unidad de producto y poderlo comparar con productos similares.
- **Identificar oportunidades de mejora:** el análisis permite identificar el desempeño ambiental en cada etapa y determinar qué acciones son los más beneficios.
- **Informar de forma objetiva:** la aportación de información objetiva a quienes toman decisiones en la industria, gobiernos, entes locales, consumidor, etc. permite ofrecer datos reales sobre el impacto ambiental de nuestras actividades.
- **Fomentar la competencia medioambiental:** la publicación de los datos del ACV mediante la declaración ambiental de producto (DAP) y que estos datos se puedan comparar entre fabricantes promueve que estos trabajen en la reducción del impacto ambiental de sus procesos productivos. [7]

¿Por qué el ciclo de vida es relevante para la industria de la construcción?

La industria de la construcción ha venido utilizando materiales como la piedra, los ladrillos, la madera, el hormigón, el vidrio o el metal, que se comportan de forma diferente según el lugar, el clima o la calidad de la obra. Este uso devuelve diferentes impactos ambientales teniendo en cuenta los factores anteriores y el ciclo de vida.

El uso de materiales más globales (PVC, aluminio, acero, cerámica, cemento) ha incrementado el coste energético a todos los niveles, además de suponer un mayor impacto en el medio ambiente, siendo aquellos más difíciles de reciclar, reutilizar o recuperar. El diseño del edificio depende de muchos factores, pero en términos generales, 1 metro cuadrado de edificio equivale a media tonelada de CO₂ emitida al aire, consumiendo 1.600 kWh de energía. El sector de la construcción tiene un impacto significativo sobre los recursos naturales, ya que utiliza 50 de cada 100 toneladas extraídas. El coste energético en este proceso asciende al 40% del consumo total de energía y al 50% del total de residuos. [8]

¿Cómo se lleva a cabo un ACV de un producto?

El proceso de ACV de cualquier producto se desarrolla en cuatro fases principales:

1. Definición del objetivo y alcance.
2. Análisis del inventario.
3. Evaluación del impacto ambiental.
4. Interpretación de los resultados.

En el apartado "ACV en el sector de la construcción", entramos en detalle en la metodología que seguimos desde para llevar a cabo Análisis del Ciclo de Vida de edificios sostenibles.

1. Definición del objetivo y alcance

Depende del objetivo y del uso previsto del estudio. Podemos elegir entre varios alcances: de la puerta a la puerta, de la cuna a la puerta, de la cuna a la tumba y de la cuna a la cuna.



Figura 3. Alcances de Análisis del Ciclo de Vida (ACV).

Fuente. Zero consulting

2. Análisis del inventario

Consiste en la recogida de datos que vamos a utilizar. Se conocen como inputs/outputs (entradas/salidas):

- Inputs o entradas: uso de recursos y materias primas y energía (transporte, electricidad...) que se utilizan en cada fase del sistema.
- Outputs o salidas: emisiones de aire, agua y suelo, residuos y subproductos.

Los datos usados para el análisis provienen de bases de datos internacionales.

3. Evaluación del impacto ambiental

Está dirigido a evaluar la importancia de los potenciales impactos ambientales utilizando los resultados del inventario realizado. En general, este proceso implica la asociación de datos del inventario con impactos ambientales específicos, tratando de valorar dichos impactos. Su objetivo es proporcionar información adicional para ayudar a evaluar los resultados del inventario del ciclo de vida y comprender mejor su importancia ambiental.

Tabla 1. Categorías de Análisis del Ciclo de Vida (ACV).

Fuente. Zero consulting.

CATEGORÍA DEL IMPACTO AMBIENTAL		UNIDAD DE REFERENCIA
CALENTAMIENTO GLOBAL (GWP)	Aumento gradual observado en más de un siglo de las temperaturas de la atmósfera y océanos de la Tierra y los efectos de dicho aumento.	Kg. Eq. CO ₂
AGOTAMIENTO DE LA CAPA DE OZONO (ODP)	Descenso de la cantidad de ozono que se encuentra en la estratosfera terrestre debido a la liberación de gases como refrigerantes halocarbonados, disolventes, propelentes y agentes espumantes.	Kg. Eq. CFC-11
ACIDIFICACIÓN DEL SUELO Y DE LOS RECURSOS DEL AGUA (AP)	Alteración de la composición química y pérdida de la capacidad neutralizante del suelo y agua. Esto se debe a la lluvia ácida (precipitación de ácidos en la superficie con motivo de la emisión de gases contaminantes a la atmósfera).	Kg. Eq. SO ₂
POTENCIAL DE EUTROFIZACIÓN (EP)	Crecimiento excesivo de plantas y algas debido a la mayor disponibilidad de uno o más factores limitantes de crecimiento necesarios para la fotosíntesis, como la luz solar, CO ₂ y los fertilizantes nutrientes. Afecta al abastecimiento de agua potable y riego, entre otros.	Kg. Eq. (PO ₄) ₃
POTENCIAL DE FORMACIÓN DE OZONO TROPOSFÉRICO (POPC)	Este impacto mide la formación de ozono en la troposfera debido a la presencia de contaminantes como los óxidos de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles.	Kg. Eq. SMOG
AGOTAMIENTO DE RECURSOS ABIÓTICOS (ADP)	Este impacto mide la disminución de recursos no renovables como los minerales y los combustibles fósiles debido a su extracción y uso en procesos industriales y de construcción.	Kg. Eq. Sb

4. Interpretación de los resultados

Los resultados obtenidos se comparan con otros estudios, soluciones o productos que cumplen con la misma finalidad o tienen las mismas prestaciones. A partir del resultado de la comparación, se toman decisiones para mejorar los resultados y reducir el impacto ambiental. [7]

ACV en el sector de la construcción

En Análisis del Ciclo de Vida de un edificio se centra en la medición del impacto de cada uno de los materiales que integran el edificio, desde su fabricación hasta una posible nueva vida de estos materiales. Es importante diferenciar entre las diferentes fases a evaluar dentro de un Análisis del Ciclo de Vida de un edificio.

El Análisis del Ciclo de Vida completo se comprende entre las fases A y D, según la etapa en la que se encuentre cada material:

- Fabricación del producto (A).
- Construcción (A).
- Uso (B).
- Fin de vida (C).
- Beneficios fuera de los límites del producto (D).

Es importante evaluar cada una de las fases para identificar oportunidades de mejora en términos de sostenibilidad y reducción del impacto ambiental. También se debe tener en cuenta que las fases a evaluar en un ACV se determinan a partir de los objetivos de cada proyecto o de la certificación sostenible que se pretende conseguir, por lo que no todos ellos analizarán cada una de las etapas. [7]

Tabla 2. Fases de Análisis del Ciclo de Vida (ACV).

Fuente. Zero consulting.

FABRICACIÓN DEL PRODUCTO	A1	Extracción materias primas
	A2	Transporte a fábrica
	A3	Fabricación
CONSTRUCCIÓN	A4	Transporte del producto
	A5	Instalación y construcción
USO	B1	Uso
	B2	Mantenimiento
	B3	Reparación
	B4	Sustitución
	B5	Rehabilitación
	B6	Energía operacional
	B7	Agua operacional
FIN DE VIDA	C1	Deconstrucción y derribo
	C2	Transporte
	C3	Gestión de residuos
	C4	Eliminación final
BENEFICIOS FUERA DE LOS LÍMITES DEL PRODUCTO	D	Reúso Recuperación Reciclaje Energía exportada

Emisiones de CO₂ en cada etapa del ciclo de vida

¿Cómo se mide la huella de carbono?

La unidad de medida más popular actualmente para cuantificar el impacto ambiental es la huella de carbono. Es una medida de los gases de efecto invernadero que se liberan a la atmósfera a causa de nuestras actividades, por eso se le llama también Global Warming Potential (GWP). Por ejemplo, el transporte de materiales o consumo de electricidad (ya que para producirla se libera CO₂ a la atmósfera) son actividades generadoras de emisiones de carbono.

El GWP es el indicador que se tiene en cuenta para los criterios ESG (Eviromental, Social, Governance) y también para los cálculos de ahorro energéticos definidos por la Unión Europea (Taxonomy EU). [9]

Etapas del ciclo de vida.

Cuando hablamos de edificios, su huella de carbono se compone de dos partes fundamentales: el carbono embebido y el carbono operacional.

- **El carbono embebido** es aquel que está incorporado en los materiales del edificio, el generado por el trasporte de dichos materiales y durante los trabajos de construcción.
- **El carbono operacional** es el que se desprende en la fase de uso del edificio, bien sea por la energía consumida, el reemplazo de materiales o el mantenimiento.

Finalmente, el carbono embebido al llegar el edificio al fin de vida podemos hablar de carbono embebido residual. Dicho carbono es el que podemos reutilizar o reciclar evitando futuros impactos en edificios nuevos, por ejemplo, rehabilitando el edificio o reutilizando y reciclando sus materiales.

El proceso de construcción es la etapa del ciclo de vida de un edificio que más huella de carbono produce, ocupando el 20% del total.

Para reducir las emisiones de CO₂ de los edificios, se puede: Mejorar la eficiencia energética, Utilizar fuentes de energía renovables, Rehabilitar el edificio o reutilizar y reciclar sus materiales.

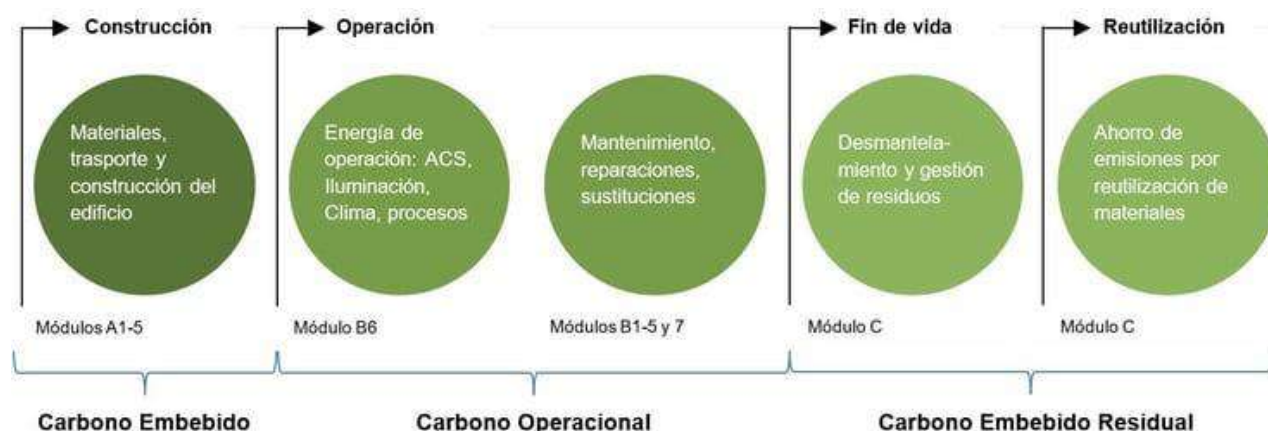


Figura 4. Etapas de Análisis del Ciclo de Vida (ACV).

Fuente. Zero consulting.

Estrategias para reducir el Carbono embebido

También llamado carbono incorporado, es el carbono que el edificio ha acumulado durante su proceso de construcción. Esto incluye, entre otros, el carbono embebido de los materiales utilizados (relacionado con su extracción, transporte a fábrica, fabricación) o el CO₂ emitido por los transportes de materiales y los trabajos en la obra. Algunas estrategias básicas para actuar sobre el carbono incorporado de nuestro edificio son las que siguen:

1. **Minimización de materiales.** En primer lugar, intentar reducir al máximo el repertorio de materiales y las cantidades. Trabajar con un número reducido de materiales facilitará el proceso de construcción y minimizará los costes de transporte (económicos y medioambientales) y simplificará los cálculos del análisis del ciclo de vida que hay que hacer.

También se debe tener cuidado con sobredimensionar innecesariamente, ya que cuanto más cantidad de material, más carbono embebido se estará incorporando al edificio. Por ejemplo, si un Sistema de Aislamiento de Térmico Exterior (SATE) de 6 cm permite alcanzar el confort térmico y no hay un retorno de inversión ni de emisiones durante la vida del edificio, no es necesario colocarlo de 10 cm.

2. **Materiales de proximidad.** Se debe minimizar la distancia de transporte de la fábrica a la obra, ya que por mucho que se escoja un producto de bajo impacto (prefabricados de madera, por ejemplo), no tendrá ningún sentido si debe traerse de miles de kilómetros de distancia. Antes de seleccionar los materiales de construcción, es muy recomendable hacer un estudio sobre qué recursos (naturales e industriales) están disponibles en el entorno cercano. Esto hará posible optimizar la estrategia de materiales de kilómetro cero, que agradecerá tanto el medioambiente como nuestro bolsillo. [9]

5.3 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y SU IMPACTO AMBIENTAL

Materiales de construcción tradicionales y alternativos

Materiales de construcción tradicionales.

Los materiales tradicionales son aquellos que, por venirse utilizando desde tiempo atrás, aparecen regulados por una norma o especificación. La construcción con piedra, ladrillo y otros materiales es lo que llamamos albañilería. Estos elementos se pueden trabar sólo con el efecto de la gravedad (a hueso), o mediante juntas de mortero, pasta compuesta por arena y cal (u otro aglutinante).

1. Piedra Caliza
 - Base principal de construcciones por su resistencia y durabilidad.
 - Usada desde la prehistoria para reforzar cuevas y construir muros.
 - La piedra toba se empleaba en esquinas, hornos y muros por ser fácil de trabajar y moldear.
2. Madera
 - Material versátil con alta resistencia mecánica y elasticidad.
 - Soporta condiciones extremas de frío y calor, es fácil de trabajar y unir.
 - Compuesta por celdas largas y organizadas que definen sus propiedades estructurales.

3. Barro o Arcilla

- Usado para unir piedras y reforzar grietas en hornos y muros.
- Preparado en amasaderos y aplicado como argamasa para dar consistencia a las construcciones.

4. Adobes

- Ladrillos macizos de arcilla y paja secados al sol.
- Usados en tabiques interiores y reforzados con cal o rollizos.
- Problema principal: absorben humedad, debilitando su capacidad de carga.

5. Cal

- Producida al calentar piedra caliza en hornos (calerías).
- Usada en argamasas, blanqueo de fachadas y por sus propiedades desinfectantes y ecológicas.

6. Cañas y Vegetales

- Utilizadas en riberas de ríos (cáñamo, jaras, juncos, etc.).
- Empleadas en techos, paredes y elementos constructivos sostenibles.

7. Teja

- Fabricada con barro moldeado, secado al sol y curvado en moldes.
- Elemento distintivo de techos tradicionales, junto con el blanco de cal en fachadas.

8. Techos o Revoltón

- Evolucionaron de fibras vegetales a madera, conchas de pino, cal o yeso.
- En remodelaciones, se sustituyen por vigas de cemento o hierro, alterando su estética original.

Definición de materiales alternativos

Materiales alternativos, pueden ser naturales o artificiales, pueden provenir del reciclaje o no. La tierra, la madera, la piedra, restos vegetales son materiales naturales.

Dentro de los materiales reciclados, los mismos pueden provenir de desechos domésticos, latas, papel, plástico, etc., industriales, e incluso de la industria de la construcción.

Algunos han sido empleados durante mucho tiempo, y existe una vasta experiencia en su uso, es el caso de la tierra que, si bien se ha perdido mucha cultura de cómo construir con ella, aún subsisten mucho del bagaje cultural referente a su empleo en la construcción.

Otros no han sido empleados o existe muy poca experiencia en su uso. Aun así, todos ellos, son alternativas válidas al uso de los llamados materiales tradicionales.

Todos en mayor o menor medida reúnen, características que los hacen ventajosos al momento de elegirlos. Ya sea por ser reciclables, biodegradables, que no necesiten mucha o nada de energía en su producción, que tengan características constructivas ventajosas, que sean más económicos, o que no requieran mano de obra especializada en su uso. [10]

TIPOS DE MATERIALES ALTERNATIVOS

Materiales Naturales

El uso de materiales naturales dependerá de la disponibilidad de estos según la posición geográfica, así también las técnicas a usar.

Así, por ejemplo, en las zonas rurales de Irán el uso de la tierra está muy arraigado, pero la escasez de madera en algunas regiones obligó a sus pobladores a desarrollar técnicas constructivas particulares.

Los edificios contruidos con materiales naturales, y con técnicas apropiadas, resultan ser más confortables que aquellos contruidos con "materiales tradicionales", además de requerir menos gastos energéticos para su acondicionamiento, siempre y cuando el uso de estos materiales sea acompañado con un diseño acorde.

Dentro de esta rama de materiales, hay experiencias particulares como el uso de la puzolana (una especie de ceniza volcánica utilizada como cemento hidráulico), en Sudán, materiales vegetales como la caña tacuara, usada como ciellorraso, o la paja como cerramiento de techos, o cáscara de arroz para alivianar el barro usado para levantar muros, etc.

Materiales artificiales

La mayoría provienen de desechos, cualquiera sea su origen, industriales o domésticos, la necesidad de dar nuevos usos a la basura, llevó a la posibilidad de que algunos materiales pudieran ser usados en la industria de la construcción, así gomas viejas, se transforman en cubiertas impermeables, el cartón forma parte de las paredes de muchos hogares, etc., con resultados satisfactorios.

Muchas ciudades están enfocando sus esfuerzos en generar propuestas encaminadas a qué hacer con estos desperdicios, esto ha permitido el desarrollo y la implementación de técnicas orientadas a la disposición de residuos. Sin embargo, el establecer como cultura medioambiental amigable solo el reciclaje de productos valorados por la industria actual, como es el caso del vidrio, papel, aluminio, algunos tipos de plásticos, deja de lado el problema mayor, y es el concerniente con aquellos desechos con alta tasa de producción, de difícil manejo.

Materiales reciclados

Una de las preocupaciones contemporáneas es qué uso dar y qué hacer con la creciente cantidad de residuos que generan los procesos industriales, agroindustriales, domésticos y de consumo, la afectación se siente especialmente en centros urbanos, los cuales hoy por hoy se ven agobiados por los impactos que se observan como consecuencias de estos desechos.

Existen diversas alternativas que desde los aspectos ambiental, económico, social, técnico y tecnológico permiten generar soluciones que posibilitan la utilización de elementos que hoy son considerados desechos.

Estos pueden provenir también de edificios demolidos, entrando dentro el concepto de ciclo de vida de los edificios. [10]

Impacto ambiental de la producción y el uso de diferentes materiales (cemento, acero, madera, etc.)

Cemento

La producción de cemento es una de las principales fuentes de emisiones de CO₂ en el sector de la construcción. Este proceso implica la calcinación de piedra caliza, lo que libera grandes cantidades de CO₂. Además, la fabricación de cemento consume mucha energía, generalmente procedente de combustibles fósiles, lo que agrava el impacto ambiental. También se emiten otros contaminantes del aire como óxidos de nitrógeno y azufre, y la extracción de materiales puede causar la degradación del suelo y la contaminación del agua.

Emisiones de CO₂. La producción de cemento es responsable de aproximadamente el 5% de las emisiones mundiales de dióxido de carbono (CO₂). Esto se debe a la calcinación de la piedra caliza y la combustión de combustibles fósiles en los hornos [11].

Contaminación del aire. Las plantas de cemento emiten partículas, dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), hidrocarburos, aldehídos, cetonas, óxidos de azufre y nitrógeno.

Contaminación del agua. Los derrames y lixiviados de los materiales y desechos pueden contaminar las aguas superficiales y freáticas.

Uso de recursos. La extracción de materiales como piedra caliza y arena de sílice requiere grandes cantidades de energía y agua. [12]

La fabricación de clínker supone la mayor parte de las emisiones de CO₂ de la producción de cemento

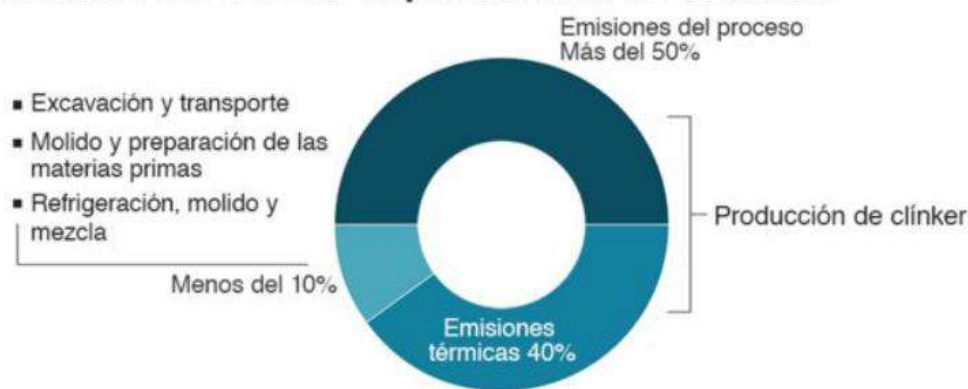


Figura 5. Emisiones de CO₂ en producción de cemento

Fuente. Chatham House, BBC

Acero

La producción de acero también tiene un alto impacto ambiental debido a las grandes cantidades de energía requeridas para la extracción y refinación del mineral de hierro, así como para los procesos de fabricación. Las emisiones de CO₂ son significativas, aunque el acero tiene una alta capacidad de reciclaje, lo que puede mitigar algunos de sus impactos. Sin embargo, durante su producción, también se emiten otros contaminantes del aire, y los procesos pueden liberar contaminantes en el agua.

Emisiones de CO₂: La producción de acero también contribuye significativamente a las emisiones de CO₂, aunque es reciclable y tiene un potencial de circularidad.

Contaminación del aire. La fabricación de acero genera partículas, dióxido de carbono (CO₂), óxidos de azufre y nitrógeno.

Contaminación del agua. Los procesos de producción pueden liberar contaminantes en cuerpos de agua cercanos.

Uso de recursos. La extracción de hierro y el uso de grandes cantidades de energía son necesarios para la producción de acero [13].

Madera

La madera es un material renovable y, si se maneja de manera sostenible, puede tener un menor impacto ambiental en comparación con el cemento y el acero. Sin embargo, la tala de árboles puede llevar a la deforestación, la pérdida de biodiversidad y la degradación del suelo si no se realiza de manera responsable. La producción de madera también implica el uso de energía y puede generar residuos y contaminantes, aunque en menor medida que los materiales no renovables.

Deforestación. La tala de árboles para la producción de madera puede llevar a la pérdida de biodiversidad y degradación de hábitats naturales.

Emisiones de CO₂. La tala y procesamiento de madera también contribuyen a las emisiones de CO₂, aunque en menor medida que el cemento y el acero.

Contaminación del agua. El tratamiento y procesamiento de la madera pueden liberar contaminantes en cuerpos de agua cercanos.

Uso de recursos. La madera es un recurso renovable, pero su uso sostenible requiere prácticas de manejo forestal responsable.

Lámina Galvanizada

La producción de lámina galvanizada implica la fabricación de acero seguida de un proceso de galvanización, donde se aplica una capa de zinc para prevenir la corrosión. Este proceso es intensivo en energía y emite CO₂, así como otros contaminantes del aire y agua. La extracción de zinc también tiene su propio impacto ambiental, incluyendo la contaminación del suelo y el agua.

Emisiones de CO₂. Altas durante la producción de acero y el proceso de galvanización.

Contaminación del aire. Emisiones de partículas y gases tóxicos.

Contaminación del agua. Riesgo de contaminación por productos químicos usados en el proceso de galvanización.

Uso de recursos. Requiere acero y zinc.

Lámina de Fibrocemento

El fibrocemento combina cemento con fibras naturales o artificiales, lo que puede reducir el uso exclusivo de cemento. Aunque su producción es menos intensiva en energía que la del acero, sigue siendo responsable de emisiones de CO₂ y contaminantes del aire debido al uso de cemento. La fabricación de fibrocemento también puede generar polvo y otros residuos que necesitan ser gestionados adecuadamente para evitar la contaminación del aire y el agua.

Emisiones de CO₂. Moderadas, producción menos intensiva que el acero.

Contaminación del aire. Emisiones de partículas durante la fabricación.

Contaminación del agua: Baja.

Uso de recursos. Uso de cemento y fibras, reciclable en cierta medida.

Comparativo del Impacto Ambiental entre los Diferentes Materiales

Tabla 3. Impacto ambiental de materiales de construcción.

Fuente. Elaboración propia.

Impacto Ambiental	Cemento	Acero	Madera	Ladrillo de Barro Cocido	Lámina Galvanizada	Lámina de Fibrocemento
Emisiones de CO ₂	Muy alto	Alto	Moderado	Moderado	Alto	Moderado
Contaminación del aire	Alta	Alta	Moderada	Moderada	Alta	Moderada
Contaminación del agua	Alta	Alta	Moderada	Baja	Moderada	Baja
Uso de recursos	Alto	Alto	Moderado	Alto	Alto	Moderado
Reciclabilidad	Baja	Alta	Alta	Baja	Moderada	Moderada

5.4 SISTEMAS CONSTRUCTIVOS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA

La eficiencia energética en la construcción se ha convertido en una prioridad mundial, impulsada por la creciente preocupación por el cambio climático y la búsqueda de soluciones sostenibles. Los sistemas constructivos desempeñan un papel fundamental en este contexto, ya que influyen directamente en el rendimiento energético de los edificios.

Un sistema constructivo es un conjunto de elementos, materiales, técnicas, herramientas, procedimientos y equipos que se utilizan para llevar a cabo la construcción de una estructura. En otras palabras, es la manera en que se combinan los materiales para conformar los distintos componentes de un edificio, desde los cimientos hasta el techo.

Importancia de los sistemas constructivos

- **Eficiencia.** Optimizan el uso de materiales y mano de obra, reduciendo costos y tiempos de construcción.
- **Calidad.** Permiten un mayor control de calidad en cada etapa del proceso constructivo.
- **Sostenibilidad.** Facilitan la implementación de materiales y técnicas más amigables con el medio ambiente.
- **Innovación.** Impulsan el desarrollo de nuevas soluciones constructivas, adaptadas a las necesidades actuales.

Tipos de sistemas constructivos

Existen diversos sistemas constructivos, cada uno con sus propias características y aplicaciones:

- **Tradicional.** Emplea materiales como ladrillo, bloque, hormigón y acero, y se caracteriza por ser un sistema de obra húmeda.
- **Industrializado.** Se basa en la fabricación de elementos prefabricados en planta, que luego se ensamblan en obra.
- **Mixto.** Combina elementos de los sistemas tradicionales e industrializados.
- **Ligeros:** Utilizan materiales de baja densidad, como paneles de madera o acero, lo que reduce el peso de la estructura.
- **Sostenibles:** Priorizan el uso de materiales reciclados, energías renovables y técnicas de construcción que minimizan el impacto ambiental.
 - ✓ **madera certificada** (proviene de bosques gestionados de manera sostenible);
 - ✓ **bambú** (crece rápidamente y no necesita replantación);
 - ✓ **adobe**
 - ✓ **bloques de tierra comprimida**
 - ✓ **piedra natural** (debe obtenerse de canteras gestionadas ambientalmente);
 - ✓ **vidrio reciclado**
 - ✓ **acero reciclado** (contiene hasta un 95% de acero recuperado de la construcción o industrias y es 100% reciclable);
 - ✓ **hormigón con áridos reciclados** (reemplaza parte del árido natural con escombros). [14]

Factores que considerar al elegir un sistema constructivo

- **Tipo de edificación:** Residencial, comercial, industrial.

- **Ubicación geográfica:** Condiciones climáticas, sismicidad.
- **Presupuesto:** Costo de materiales, mano de obra y equipos.
- **Tiempo de construcción:** Rapidez de ejecución.
- **Sostenibilidad:** Compromiso con el medio ambiente.
- **Normativa:** Cumplimiento de los requisitos legales.

Relación entre sistemas constructivos y eficiencia energética

La elección del sistema constructivo tiene un impacto directo en la eficiencia energética de un edificio. Algunos aspectos clave a considerar son:

- **Aislamiento térmico:** Materiales y técnicas de aislamiento adecuadas minimizan las pérdidas de calor en invierno y las ganancias de calor en verano, reduciendo así la demanda de energía para climatización.
- **Hermeticidad:** Un edificio hermético evita las infiltraciones de aire, lo que contribuye a un mejor control de la temperatura y reduce las pérdidas energéticas.
- **Orientación:** La orientación de un edificio en relación con el sol permite aprovechar la energía solar para calefacción pasiva y reducir la necesidad de iluminación artificial.
- **Ventanas:** El tipo de ventanas, su tamaño y su ubicación influyen en la ganancia de calor solar y las pérdidas térmicas.
- **Sistemas de climatización:** La elección de sistemas de calefacción y refrigeración eficientes es crucial para optimizar el consumo energético. [15]

Sistemas constructivos y eficiencia energética: ejemplos

- **Construcción tradicional:** Aunque puede ser adaptada para mejorar su eficiencia, la construcción tradicional suele presentar mayores desafíos en términos de aislamiento térmico y hermeticidad.
- **Construcción modular:** Los sistemas modulares permiten una mayor precisión en la fabricación de componentes y una mejor integración de sistemas de aislamiento y ventilación.
- **Construcción prefabricada:** La construcción prefabricada ofrece un alto grado de control sobre la calidad de los materiales y la eficiencia energética de los edificios.
- **Construcción pasiva:** Este enfoque se basa en el uso de estrategias pasivas para aprovechar la energía solar y reducir al mínimo la necesidad de sistemas de climatización activa.

5.5 CAMBIO CLIMÁTICO Y MITIGACIÓN

Cambio climático y sus efectos en El Salvador.

El cambio climático tiene efectos negativos en El Salvador, especialmente en la población, la infraestructura y la economía:

Eventos climáticos extremos: tormentas, inundaciones, olas de calor y sequías se están volviendo más frecuentes e intensos. Entre 2000 y 2021, el número de personas afectadas anualmente pasó de 10 mil a 97 mil. [16]

Pérdidas en los sectores agrícola y ganadero: los cambios en las lluvias han provocado pérdidas importantes en estos sectores. [17]

Aumento de la factura de la energía eléctrica: el calentamiento global afecta la factura de la energía eléctrica, lo que dispara el costo de vida de las familias y del sector industrial.

Vulnerabilidad del país: El Salvador se encuentra en una posición de alta vulnerabilidad frente a los efectos del cambio climático, debido a su ubicación geográfica y condiciones socioeconómicas. [16]

Mitigación del cambio climático a través de la reducción de emisiones de CO₂

El Salvador se ha comprometido a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) para mitigar el cambio climático. Para ello, ha establecido metas y acciones en los siguientes sectores:

- **Energía**

Reducir las emisiones de 640 kilotoneladas de CO₂ equivalente para el año 2030, a través de la eficiencia energética y la electromovilidad. [16]

- **Agricultura, silvicultura y otros usos del suelo (AFOLU)**

Reducir las emisiones en 50.857,5 kilotoneladas de CO₂ equivalente entre 2035 y 2040. [18]

- **Normativa**

Reformar la normativa institucional para mejorar la capacidad de afrontar el cambio climático.

- **Financiamiento**

Establecer los medios necesarios para la implementación de la acción climática.

- **Global Methane Pledge**

Reducir las emisiones globales de metano en un 30% para 2030. [19]

El Salvador también ha desarrollado reglamentos técnicos sobre calidad ambiental y está fortaleciendo sus instrumentos regulatorios para prevenir y reducir la contaminación del aire.

El país ha organizado eventos para promover la mitigación y adaptación al cambio climático, como ferias con stands, ponencias y paneles de discusión.

Estrategias de Mitigación

Actualización de Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDC): El Salvador ha actualizado sus NDC bajo el Acuerdo de París, estableciendo medidas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en sectores como la agricultura, la generación de energía y el uso de suelo.

- **Promoción de Energías Renovables:** Se está fomentando el uso de energías renovables, como la energía solar y eólica, para reducir la dependencia de combustibles fósiles.
- **Reforestación y Conservación de Bosques:** Se están llevando a cabo proyectos de reforestación y conservación de bosques para aumentar los sumideros de carbono y mejorar la biodiversidad.
- **Eficiencia Energética:** Se están implementando programas para mejorar la eficiencia energética en edificios y procesos industriales, reduciendo así las emisiones de CO₂.
- **Educación y Concienciación:** Se están realizando campañas de educación y concienciación para promover prácticas sostenibles y reducir el impacto ambiental. [20]

Ejemplos de Acciones

Proyectos de Energía Solar: Se han instalado paneles solares en comunidades rurales y urbanas para proporcionar energía limpia y reducir las emisiones.

Reforestación: Se han plantado miles de árboles en áreas deforestadas para absorber CO₂ y mejorar el entorno natural.

Mejora de Infraestructura: Se están renovando sistemas de transporte y gestión de residuos para reducir las emisiones y mejorar la sostenibilidad. [20]

Rol del sector de la construcción en la mitigación del cambio climático.

El sector de la construcción juega un papel crucial en la mitigación del cambio climático en El Salvador. Aquí hay algunas formas en las que este sector contribuye a la reducción de emisiones de CO₂:

Estrategias de Mitigación en la Construcción

- **Uso de Materiales Sostenibles.** La adopción de materiales de construcción sostenibles, como el concreto reciclado y la madera certificada, ayuda a reducir la huella de carbono.
- **Eficiencia Energética.** Diseñar edificios que requieran menos energía para calentar, enfriar y iluminar reduce significativamente las emisiones de CO₂.
- **Energías Renovables.** Integrar paneles solares y otras tecnologías de energía renovable en los edificios reduce la dependencia de combustibles fósiles.
- **Reforestación y Conservación.** Proyectos de reforestación y conservación de bosques ayudan a absorber CO₂ y mejorar la biodiversidad. [21]
- **Construcción Biofílica.** Incorporar elementos naturales en los edificios, como jardines verticales y techos verdes, mejora la calidad del aire y reduce las emisiones.

Ejemplos de Acciones en El Salvador

Proyectos de Energía Solar. Se han instalado paneles solares en comunidades rurales y urbanas para proporcionar energía limpia y reducir las emisiones.

Reforestación. Se han plantado miles de árboles en áreas deforestadas para absorber CO₂ y mejorar el entorno natural.

Mejora de Infraestructura. Se están renovando sistemas de transporte y gestión de residuos para reducir las emisiones y mejorar la sostenibilidad. [21]

5.6 VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL Y POLÍTICAS PÚBLICAS

Vivienda de interés social y su importancia en El Salvador

Una vivienda de interés social es un tipo de vivienda que se destina a personas con bajos ingresos o a quienes no pueden acceder a viviendas a precios de mercado. Estas viviendas cuentan con subsidios o facilidades de financiamiento para mejorar su accesibilidad, están destinadas a las personas menos favorecidas o a los afectados por alguna cuestión ambiental. Definitivamente, es un tipo de vivienda que se destina a aquellas personas que ganen menos de cuatro salarios mínimos legales.

En El Salvador, existieron varios factores que fueron los ingredientes principales para el planteamiento de una sociedad que tuviera al ser humano como un recurso de bienestar, haciéndolo parte y figura de las propias metas establecidas. Este ideal renovador inició a principios del siglo XX, cuando en El Salvador se dieron transformaciones en el ámbito social, cultural, económico y arquitectónico; debido a cambios demográficos; migraciones masivas del campo a la ciudad que se originaron por la presión de grupos económicos y hegemónicos que afectaban a la ciudad, ya que no existían las políticas públicas ni las condiciones socioeconómicas adecuadas para solventar la demanda de vivienda.

Los programas de Vivienda de Interés Social se orientan a resolver la necesidad habitacional de las familias de menores ingresos, definidos estos últimos como aquellos que perciben hasta 4 salarios mínimos mensuales. Asimismo, el Fondo Social para la Vivienda (FSV) financia viviendas sin límite de precio con un monto máximo de hasta US\$50,000 (Hasta 10 salarios mínimos). [22]

Políticas públicas relacionadas con la vivienda y la construcción en El Salvador

El Salvador cuenta con varias políticas públicas relacionadas con la vivienda y la construcción, entre ellas:

- Política Nacional de Vivienda y Hábitat. Esta política tiene como objetivo reducir el déficit habitacional y mejorar la calidad de vida de la población. Entre sus objetivos se encuentran:
 - Promover el acceso al suelo, servicios básicos, espacios públicos y equipamientos.
 - Establecer un sistema de financiamiento de la vivienda y el hábitat.
 - Fortalecer la competitividad y el uso de tecnologías Contribuir a la cohesión social.
 - Crear un marco legal y un sistema institucional.
- Programa de mejoramiento de viviendas. Este programa entrega kits de materiales para la construcción o el mejoramiento de viviendas a familias de escasos recursos.
- Fondo Nacional de Vivienda Popular FONAVIPO. Una institución nacional relacionada con la vivienda.

- Fondo Social para la Vivienda de El Salvador FSV. Una institución nacional relacionada con la vivienda.
- Fundación Salvadoreña de Desarrollo y Vivienda Mínima FUNDASAL. Una institución nacional relacionada con la vivienda.
- Viceministerio de Vivienda y Desarrollo Urbano: Una institución nacional relacionada con la vivienda.

Programas gubernamentales para promover la construcción sostenible

1. El sector construcción continúa apostando por la ejecución de proyectos sostenibles, y como parte de ese esfuerzo, la Cámara Salvadoreña de la Industria de la Construcción (CASALCO), entrego en septiembre 2023, el Premio a la Construcción Sostenible (PCS), en su cuarta edición, a cinco proyectos, de 45 que se postularon. José Antonio Velásquez, director ejecutivo de CASALCO, afirmó que la sostenibilidad no es una moda, sino una tendencia y que la construcción, como parte activa de la economía, también la impulsa. [23]
2. El COAMSS-OPAMSS como una instancia comprometida con el desarrollo sostenible del AMSS, promueve a través de la normativa HAUS la aplicación de los objetivos de desarrollo sostenible, la nueva agenda urbana de Hábitat III y las contribuciones nacionales determinadas de El Salvador derivadas de la Convención marco de Naciones Unidas, sobre el cambio climático. Dichos instrumentos reconocen el papel del sector privado, como motor de la productividad, del crecimiento económico inclusivo y de la creación de empleo y que, desde el nivel de micro, mediada, gran empresa hasta las multinacionales puede aportar soluciones creativas e innovadoras que faciliten el desarrollo sostenible en el país.

En este contexto la OPAMSS, tiene como apuesta estratégica favorecer el desarrollo sostenible del AMSS, con la aplicación de la norma HAUS, con lo cual espera generar beneficios a la ciudad, a los desarrolladores e inversionistas. [24]

6 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

1. Introducción al Proceso Metodológico

La presente investigación se basa en un proceso metodológico estructurado, diseñado para facilitar el análisis y desarrollo de propuestas que minimicen el impacto ambiental (costo ambiental) de viviendas de interés social en El Salvador. Este enfoque se organiza en fases lógicas que permiten comprender y abordar el problema de manera integral, generando resultados aplicables al contexto nacional.

2. Fases de la Metodología

Fase 1. Investigación Técnica y Contextualización

En esta fase, se recopiló información clave sobre:

- Materiales de construcción y sus procesos de extracción.
- Métodos constructivos empleados en viviendas de interés social.
- Cuantificación de CO₂ asociado a los materiales y procesos.
- Normativas ambientales nacionales e internacionales.

Además, se analizaron metodologías internacionales que puedan ser adaptadas al contexto salvadoreño. Este proceso será respaldado por la colaboración con investigadores de la Universidad de Sevilla, quienes ofrecieron asesoría en métodos de cuantificación de CO₂ y criterios de evaluación ambiental.

Fase 2. Capacitación de Estudiantes

Se capacitó a estudiantes interesados en la investigación para garantizar su participación efectiva en actividades como levantamiento arquitectónico, toma de medidas, identificación de materiales y descripción técnica de las viviendas. Esta etapa busca garantizar la precisión en la recolección de datos de campo.

Fase 3. Recolección de Datos en Campo

Se realizaron visitas a diversas viviendas de interés social en diferentes regiones de El Salvador. Durante estas visitas se registraron:

- Tipos y características de los materiales constructivos.
- Dimensiones de las viviendas.
- Consumo energético y hábitos de uso por parte de los habitantes.
- Factores climáticos y su relación con el diseño y uso de las viviendas.
- Estos datos permitirán un análisis detallado del impacto ambiental asociado a cada tipología.

Fase 4. Análisis Ambiental

Con la información recopilada, se llevó a cabo un análisis del impacto ambiental de las viviendas, empleando herramientas como el Análisis de Ciclo de Vida ACV para evaluar las emisiones de CO₂ en cada etapa del ciclo de vida de los materiales y de las viviendas. Este análisis se desarrollará con el apoyo técnico de expertos de la Universidad de Sevilla.

Fase 5. Formulación de Propuestas y Recomendaciones

Con base en el análisis ambiental, se generaron recomendaciones orientadas a:

- Identificar tipologías de viviendas que minimicen las emisiones de CO₂.
- Proponer alternativas constructivas que combinen diferentes criterios técnicos y ambientales para optimizar el diseño de viviendas sostenibles.

Estas propuestas se diseñaron considerando la viabilidad de implementación en el contexto salvadoreño.

Fase 6: Informe Final

El Informe Final que integra los hallazgos y recomendaciones de la investigación, se compartirá con instituciones y actores clave gubernamentales y no gubernamentales, que puedan utilizarlo como referencia para la toma de decisiones en proyectos de construcción de viviendas de interés social.

Fase 7. Difusión y Socialización del Proyecto

Finalmente, se presentarán los resultados de la investigación en congresos, talleres y publicaciones científicas, con el objetivo de promover su adopción y generar un impacto positivo en el sector de la construcción.

A través de este proceso metodológico, se busca generar conocimiento técnico y práctico que contribuya a la construcción de viviendas de interés social con menor impacto ambiental, fomentando prácticas sostenibles en el sector.

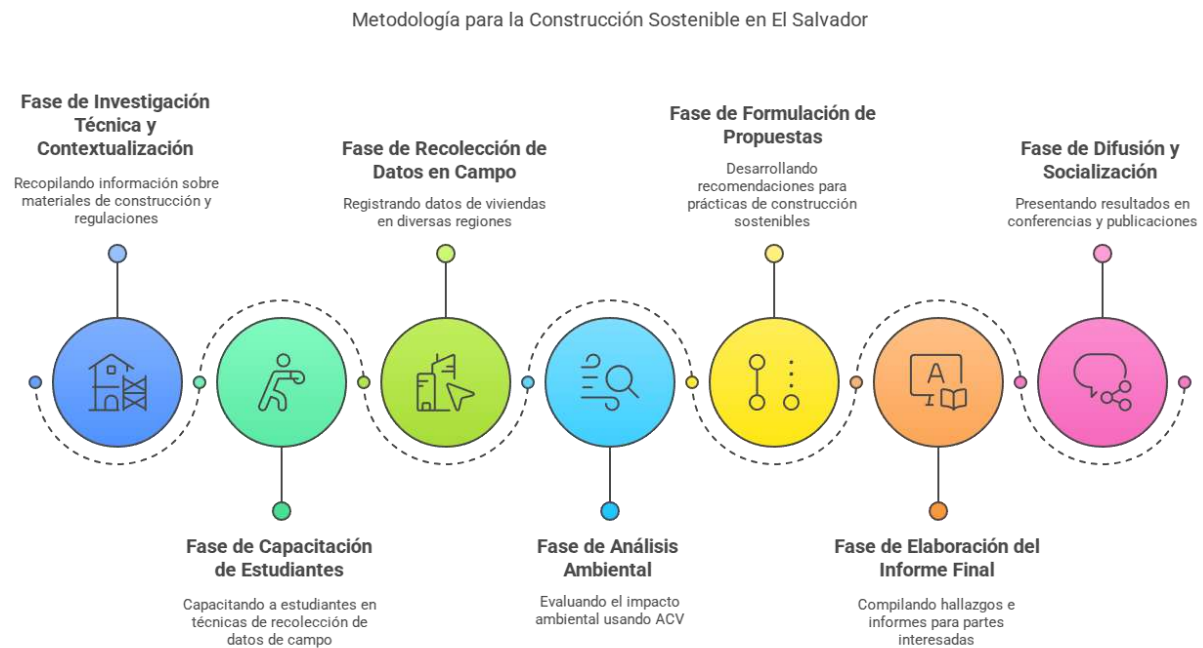


Diagrama 1. Esquema metodológico de la investigación desarrollada.
Fuente. Elaboración propia, 2025

7 RESULTADOS

7.1 DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS EVALUADOS

Ladrillo de obra macizo

Empleado generalmente en la albañilería, este es un producto hecho fundamentalmente de arcilla (comúnmente llamado barro) con o sin adición de otros materiales e igual de importantes dependiendo de la calidad de la arcilla, y endurecido por medio de fuego de hasta los 700°C a 850°C de temperatura promedio.

La presencia de ladrillo de obra en El Salvador se encuentra desde la época colonial, en el pleno proceso de conquista, este se utiliza como parte del proceso de urbanización en el territorio nacional.



Figura 6. Ladrillo de arcilla macizo.

Fuente. Arte Logic.

Debilidades

- Puede tener problemas de durabilidad si no se le da mantenimiento, sobre todo si se expone al agua y si no se utiliza la técnica correcta.
- Gran espesor de los muros, que disminuye el área útil.
- Prejuicios sobre su eficacia, resistencia y durabilidad.
- El no aplicar una técnica constructiva de manera adecuada o combinar materiales en proporciones no recomendadas, es una de las principales causas de las fallas de las construcciones con tierra durante los sismos. No es el material como tal el que falla; sino el uso que se le da y el mantenimiento necesario que constantemente debe tenerse con este tipo de materiales que con el paso del tiempo se degradan.

Fortalezas

- La tierra base del ladrillo, así como la toba es un material natural y reutilizable.
- Se reduce costos al ser material local.
- Facilita la autoconstrucción con la asesoría adecuada.
- Construcciones sustentables.
- Con el mantenimiento adecuado es altamente durable.

El ladrillo de barro sólido, elaborado de forma artesanal, dependiendo de sus dimensiones este adquiere las siguientes nominaciones:

- ✓ Ladrillo de barro tipo calavera con dimensiones (a) 13 cm x (b) 14 cm x (c) 28 cm.
- ✓ Ladrillo de barro de obra tipo calavera con dimensiones (a) 9 cm x (b) 14 cm x (c) 28 cm.

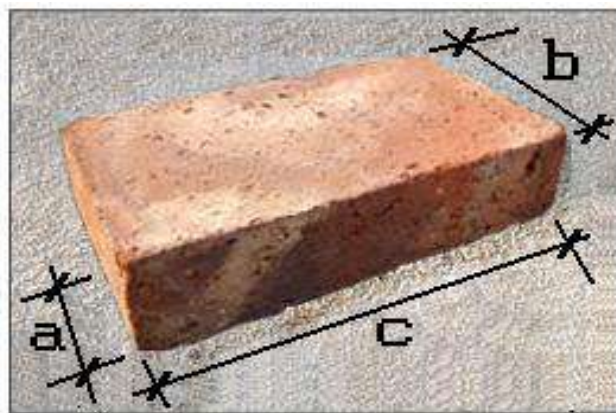


Figura 7. Dimensiones ladrillo de arcilla sólido.

Fuente. Manual de procesos constructivos en vivienda ITCA-FEPADE

Ladrillo de barro tipo obra con dimensiones (a) 7 cm x (b) 14 cm x 8 c) 28 cm. (es el que se fabrica en la actualidad y sus dimensiones varían dependiendo de la zona donde se fabrique).

La mampostería confinada, es conocida en nuestro medio como sistema mixto, el cual consiste en paredes de ladrillo de barro sólido cocido, elaborado de forma artesanal, reforzado (confinados) con elementos de concreto armado llamados nervaduras puestas en forma horizontal y vertical formando marcos. [25]

Espesores del muro o pared

Existen varias formas de colocación de los ladrillos, es lo que se conoce como aparejo. El entramado o forma de unir unos ladrillos con otros, sirve además para distribuir la carga estática de la pared.

Dependiendo de la forma como se coloquen los ladrillos o tabiques estos pueden ser:

- Lazo, paredes de 15 cm de espesor
- Canto, paredes de 10 cm de espesor
- Trinchera paredes de 30 cm de espesor nominal.

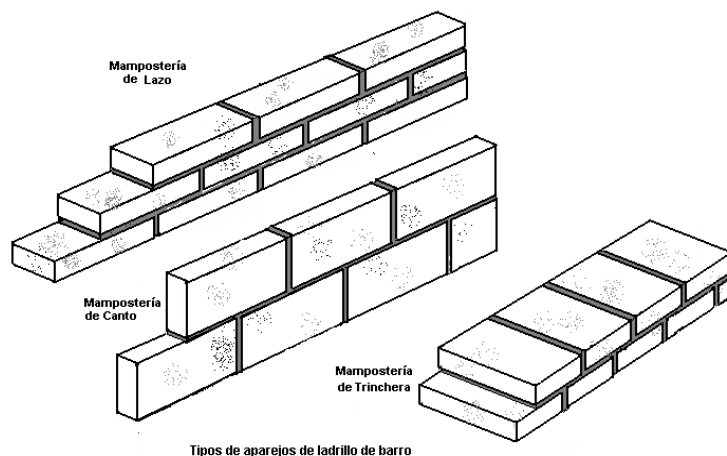


Figura 8. Posición de ladrillo de arcilla sólido.

Fuente. Manual de procesos constructivos en vivienda ITCA-FEPADE

Proceso constructivo con ladrillo de obra

1. Verificación y rectificación del trazo

Construir el muro de ladrillo a partir del sobrecimiento, se debe revisar antes que la superficie de éste se encuentre limpia y nivelada. Si hay imperfecciones deberán ser rellenadas con mortero. Después plantea el diseño del sobrecimiento, revisar sus dimensiones y marca todas las referencias que delimitan la zona donde se van a levantar las paredes, así como la posición de las puertas. Se puede emplear la plomada, nivel y cordel.

2. Emplantillado

Llamamos emplantillado a la primera fila de ladrillos colocados sobre la superficie. En el primer piso, el emplantillado se hace sobre el sobrecimiento.



Figura 9. Emplantillado de ladrillo de arcilla sólido.

Fuente. Manual de procesos constructivos en vivienda ITCA-FEPADE

3. Colocación de ladrillos maestros

Los ladrillos maestros se ubican en los extremos del muro de ladrillo a levantar. Se deben asentar con toda perfección, es decir, aplomados, nivelados y con la altura de junta correspondiente.

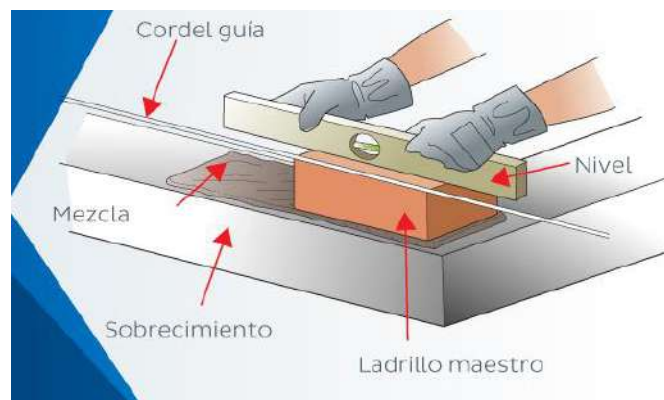


Figura 10. Colocación de ladrillo de arcilla sólido.

Fuente. Manual de procesos constructivos en vivienda ITCA-FEPADE

Luego se estira un cordel entre los ladrillos maestros para asentar cada hilada. Debes colocar los ladrillos de tal manera que coincidan el borde externo con el cordel, así garantizarás que todos los ladrillos queden nivelados, alineados y aplomados.

4. Colocación del mortero horizontal

Utilizando el badilejo toma una porción de mezcla de la batea y coloca una capa uniforme en el sobrecimiento o hilada inferior de ladrillos, distribuyéndola en sentido longitudinal. Después el exceso de mezcla se limpia con el badilejo, luego se coloca el ladrillo en la posición correspondiente, se mueve ligeramente, y presiona hacia abajo hasta lograr su correcto asentado, con el cuidado de dejar el espacio conveniente para formar la junta vertical.

Se toma en cuenta que el espesor del mortero en las juntas verticales debe ser en promedio de 1.5 cm y en las juntas horizontales de 1.0 a 1.5 cm, es importante revisar que las juntas verticales queden en medio del ladrillo de la fila inferior. Esto garantizará un buen amarre de los ladrillos. Los extremos de los paños que terminan contra una columna de amarre deben quedar “endentados” en 5 cm como máximo.

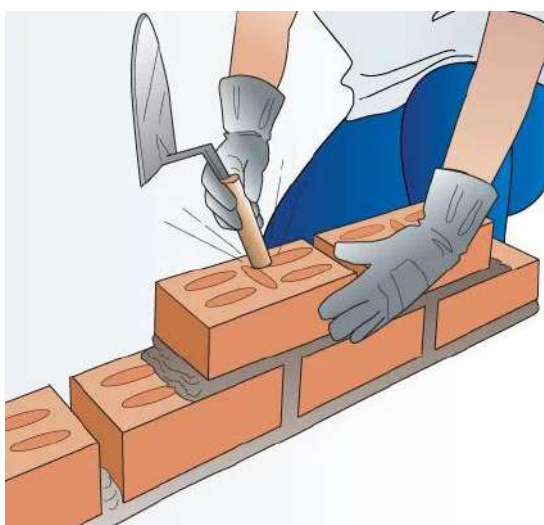


Figura 11. Afinación del nivelado de ladrillo.

Fuente. Manual de procesos constructivos en vivienda ITCA-FEPADE.

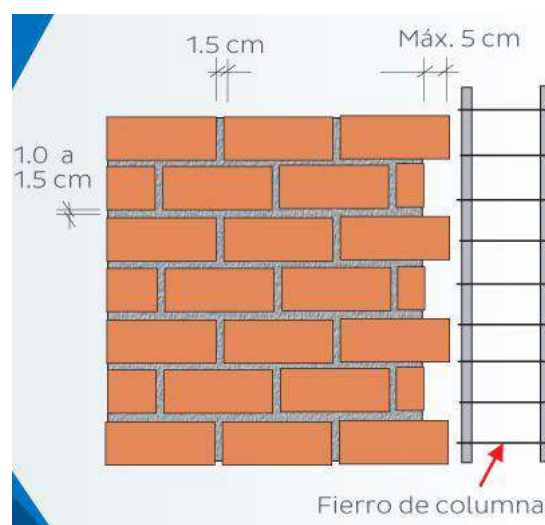


Figura 12. Espesor de mortero y endentado.

Fuente. Manual de procesos constructivos en vivienda ITCA-FEPADE.

5. Colocación de mechas y verificación de plomo

Si las hiladas de ladrillo terminan a ras y no de forma “endentada”, se debe incluir “chicotes” o “mechas” de anclaje, compuestas por varillas de 6 mm de diámetro, que penetren por lo menos 40 cm al interior de la albañilería y 12.5 cm al interior de la columna, terminando en un gancho de longitud de 10 cm. Estas mechas deben adicionarse cada 3 hiladas.

Utilizando la plomada se debe controlar la verticalidad del muro de ladrillo. No permitiendo un desplome mayor de 4 mm en toda la altura del muro. Es aconsejable controlar la verticalidad cada 4 hiladas. [25]

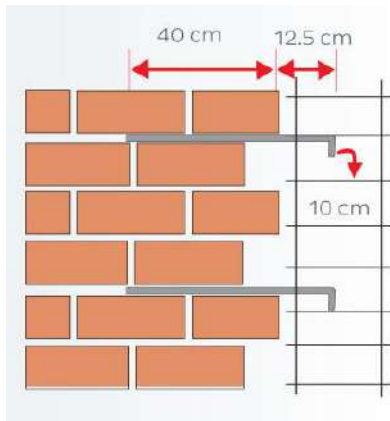


Figura 13. Colocación de mechas de anclaje.

Fuente. Manual de procesos constructivos en vivienda ITCA-FEPADE.

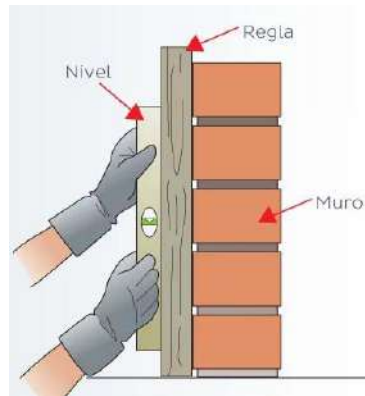


Figura 14. Verificación de plomo vertical.

Fuente. Manual de procesos constructivos en vivienda ITCA-FEPADE.

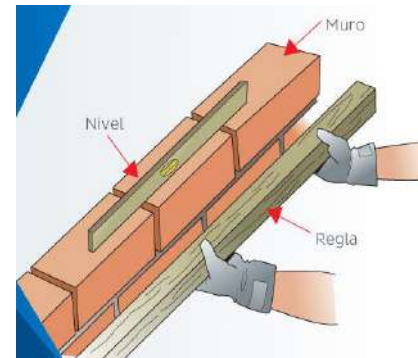


Figura 15. Verificación de plomo horizontal.

Fuente. Manual de procesos constructivos en vivienda ITCA-FEPADE.

Relación entre el sistema constructivo de ladrillo de obra y el consumo energético de un edificio.

Los ladrillos de obra o ladrillo rojo tienen una relación con el consumo energético de un edificio porque, gracias a su inercia térmica, pueden ayudar a regular la temperatura y a reducir el consumo de energía del sistema de climatización:

Inercia térmica. Los ladrillos son materiales cerámicos con alta densidad, espesor y calor específico, lo que les permite almacenar energía térmica y liberarla de forma gradual al ambiente.

Aislamiento. Los ladrillos ayudan a regular la temperatura y a mantener un clima interior confortable.

Transpirabilidad. Los ladrillos son transpirables, lo que les permite regular la temperatura.

Para mejorar la eficiencia energética de un edificio, se pueden utilizar materiales que: Tengan bajo contenido energético, Emitan pocos gases de efecto invernadero, Sean reciclables, Contengan el mayor porcentaje de materiales de reutilización. [26]

Sistema constructivo de bloques de concreto

La mampostería de bloques de hormigón puede ser considerada como un sistema constructivo factible de desarrollar múltiples funciones, ya que es un cerramiento generador de espacios arquitectónicos, estructuralmente resistente y cuya textura exterior brinda una óptima terminación superficial. Básicamente se conforma con bloques huecos de hormigón vibro comprimidos, yuxtapuestos manualmente y vinculados por medio de juntas de mortero y armaduras de refuerzos. Según sean las especificaciones del mortero utilizado, la disposición de las armaduras y las cuantías adoptadas se puede clasificar en mampostería simple y mampostería resistente.

Ventajas del bloque de concreto:

- Es más económico que el ladrillo.
- Permite una construcción más rápida.
- Es más fácil de alinear en construcciones en serie.

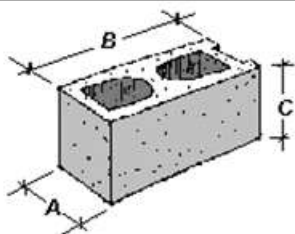
Desventajas del bloque de concreto

- No es un buen aislante térmico.
- No es muy resistente a la humedad.
- Es un material pesado.
- Puede contener sales solubles.

Modulación de pared de bloque.

Tabla 4. Dimensiones del bloque de concreto.

Fuente. Manual de procesos constructivos en vivienda ITCA-FEPADE.

Dimensión Nominal Modular (cm)	Dimensión Real (cm)	Esquema de bloque
10 x 20 x 40	10 x 19 x 39	
15 x 20 x 40	15 x 19 x 39	
20 x 20 x 40	20 x 19 x 39	
En las dimensiones modulares se incluye el espesor modular de la junta, de 1 cm.		

Proceso constructivo:

1. Colocación de bastones de refuerzo en solera de fundación.

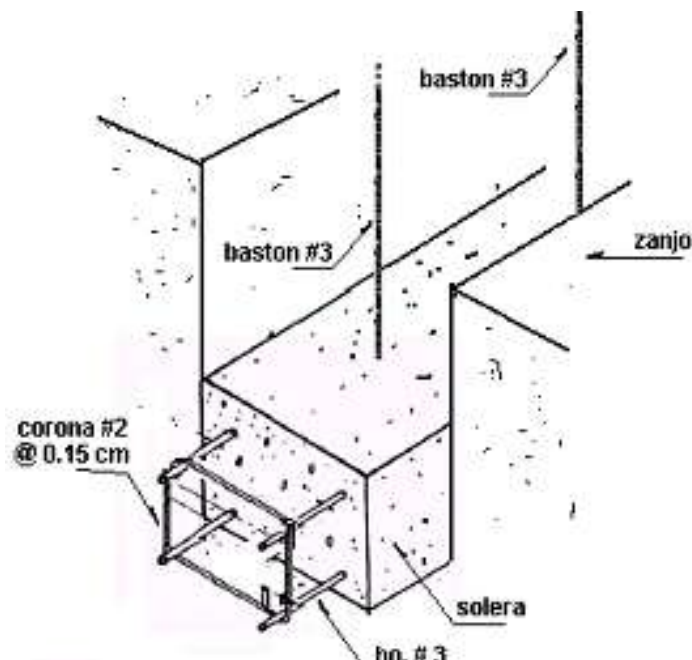


Figura 16. Solera de fundación y bastones para pared de bloque.

Fuente. Manual de procesos constructivos en vivienda ITCA-FEPADE.

2. Colocar las reglas canteadas, chequear el nivel de la fundación, repartir las hiladas de 20 cm. cada una, colocar clavos en las marcas de cada hilada.

3. Ensayase la primera hilada sin mezcla, a efecto de controlar su alineamiento y separación marcados en la fundación.
4. Colocar una buena base de mortero a lo largo del tramo, elevando los bordes y dejando un canal en el centro donde se asentará el bloque, sisándose con la cuchara para que la hilada quede fuerte.
5. Pegar los bloques de las esquinas primero, asegurándose de su correcta posición y alineamiento.

Todos los bloques deben pegarse con la parte más gruesa de la membrana hacia arriba (para asegurar una mayor base de mezcla); si el bloque se pega entrelazado (cuatrapeado) únicamente se colocará mezcla en los extremos de las juntas verticales, debe de llenarse de mortero toda la junta vertical del bloque a cada cuatro o cinco hilas de un solo.

La primera hilada de bloques debe pegarse con sumo cuidado, (teniendo presente su alineamiento, nivel y plomo) porque es la base para levantar la pared.

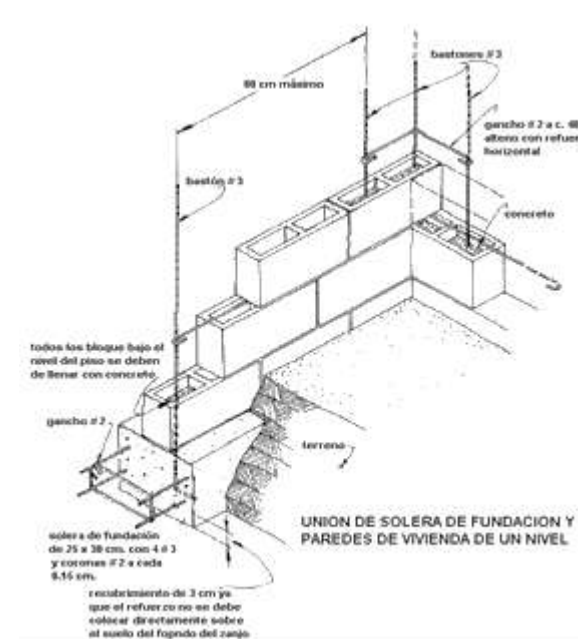


Figura 17. Unión de solera de fundación y pared.

Fuente. Manual de procesos constructivos en vivienda ITCA-FEPADE.

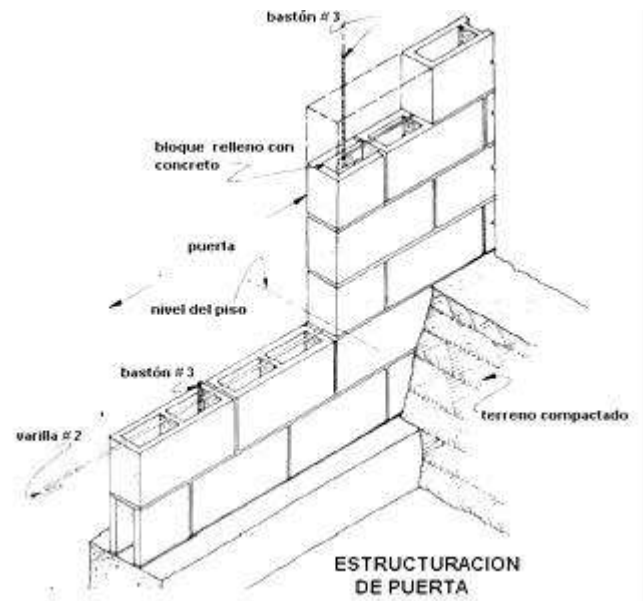


Figura 18. Estructura de puerta en pared de bloque.

Fuente. Manual de procesos constructivos en vivienda ITCA-FEPADE.

Relación entre el sistema constructivo y el consumo energético de un edificio

El sistema constructivo de un edificio, como el uso de hormigón, puede afectar su consumo energético de varias maneras, entre ellas:

Inercia térmica. El hormigón tiene una elevada masa térmica, lo que ayuda a estabilizar la temperatura del edificio y ahorrar energía.

Materiales. Los materiales adecuados para edificios sustentables tienen bajo contenido energético, emiten pocos gases de efecto invernadero, son reciclables y reutilizables.

El consumo energético de un edificio se refiere a la cantidad de energía que se utiliza para: Calefacción, Agua caliente sanitaria, Iluminación, Ventilación, Climatización.

Para medir la eficiencia energética de un edificio, se considera: Las emisiones anuales de CO₂, El consumo anual de energía, Las condiciones de uso y ocupación normales.

7.2 TIPOLOGÍA DE VIVIENDAS ANALIZADAS EN LA CONTABILIZACIÓN DE EMISIONES DE CO₂ EQUIVALENTE

Vivienda de sistema constructivo de ladrillo de obra macizo

Para evaluar el impacto ambiental asociado a los materiales de construcción tradicionales en viviendas de interés social, se seleccionó una vivienda unifamiliar ubicada en Santa Ana, El Salvador. Esta unidad habitacional, con un área de 25 m², presenta una tipología constructiva característica de las zonas rurales de la región, con muros de carga de ladrillo de barro cocido de 9 cm de espesor, estructura de concreto reforzado, piso de ladrillo de cemento y techo de fibrocemento. La ausencia de sistemas de aislamiento, la presencia de ventanas y puertas metálicas, así como la falta de acabados en las paredes interiores, revelan una construcción básica y tradicional. La vivienda, habitada por dos personas y con una distribución interior que integra las áreas de dormitorio, sala, cocina y comedor en un único espacio, proporciona un escenario ideal para cuantificar las emisiones de CO₂ asociadas a los materiales empleados en su construcción. Al carecer de modificaciones o adiciones posteriores, esta vivienda permite realizar un análisis preciso del inventario de emisiones desde su origen, facilitando la evaluación del impacto ambiental de los materiales tradicionales utilizados en la construcción de viviendas de interés social en la región.

Características de la vivienda:

Tipo de vivienda. Unifamiliar, de interés social, rural.

Ubicación. Santa Ana, El Salvador.

Características constructivas. Materiales (ladrillo de barro cocido, concreto reforzado, fibrocemento), espesor de muros, tipo de piso y techo.

Distribución. Planta libre, un solo espacio para todas las actividades.

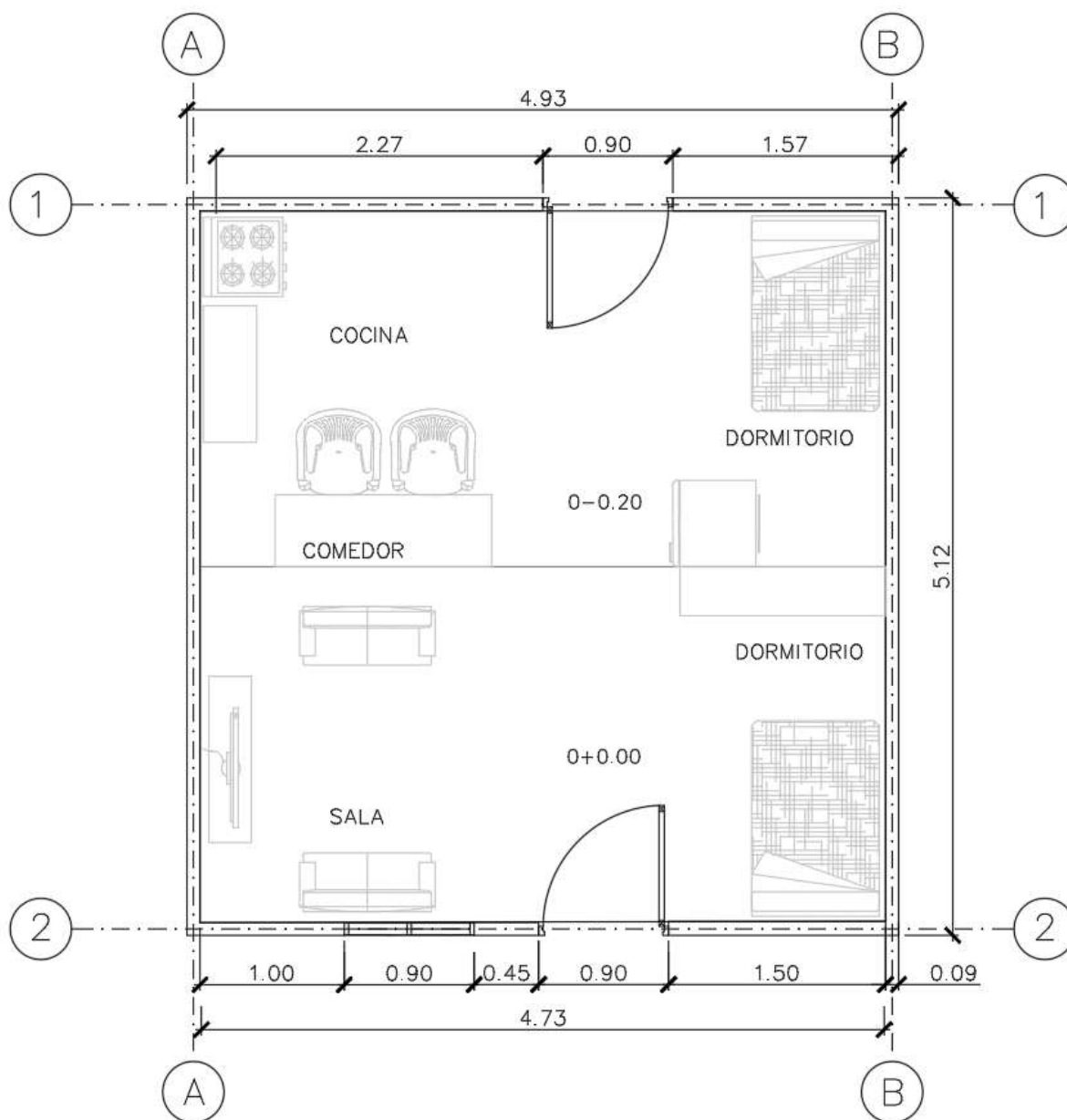
Sistemas. Ausencia de aislamiento y climatización.

Aberturas. Ventanas y puertas metálicas.

Acabados. Paredes sin revestimiento.

Ocupación. Dos personas.

Iluminación. Natural y artificial.



PLANO ARQUITECTONICO SIN ESCALA

Plano 1. Planta arquitectónica casa sistema ladrillo de barro cocido macizo, distribución de espacios internos.

Fuente. Elaboración propia.

Espacios de vivienda de sistema de ladrillo macizo



Fachada principal vivienda ladrillo macizo



Fachada posterior vivienda ladrillo macizo

Figura 19. Espacios de vivienda en estudio

Fuente. Elaboración Propia



Habitación 1 de vivienda ladrillo macizo



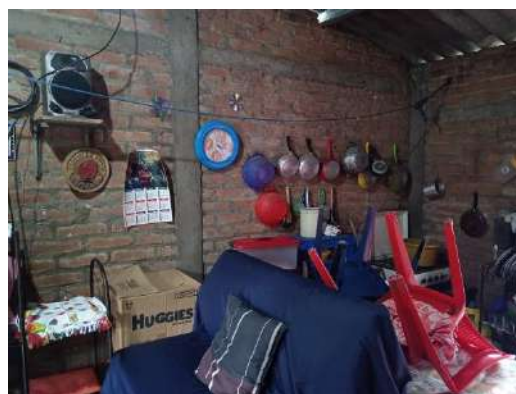
Habitación 2 de vivienda ladrillo macizo

Figura 20. Espacios de vivienda en estudio

Fuente. Elaboración Propia



Sala de vivienda ladrillo macizo



Cocina de vivienda ladrillo macizo

Figura 21. Espacios de vivienda en estudio

Fuente. Elaboración Propia

Vivienda de sistema constructivo de bloque de concreto

Descripción de la Vivienda Objeto de Estudio

La vivienda seleccionada para este estudio se encuentra ubicada en el Caserío Chaparrastique, Cantón El Niño, departamento de San Miguel, El Salvador. Se trata de una vivienda unifamiliar representativa de la tipología constructiva predominante en la zona.

Características Generales

Dimensiones: La vivienda presenta un diseño rectangular, con dimensiones de 5.60 metros de ancho por 8.64 metros de largo, lo que resulta en un área interna aproximada de 43 metros cuadrados.

Distribución: La distribución interior se organiza en dos habitaciones, un espacio compartido que integra sala, comedor y cocina, un baño, un área de lavado exterior y un pasillo frontal.

Sistema Constructivo: La vivienda está construida con un sistema de mampostería de bloque de concreto de 12x20x40 cm, reforzada con elementos estructurales de concreto armado como columnas y fundaciones.

Cubierta: El techo es de tipo a dos aguas, cubierto con lámina galvanizada sobre una estructura de polín C, lo que garantiza una adecuada evacuación de aguas pluviales y resistencia a las cargas climáticas.

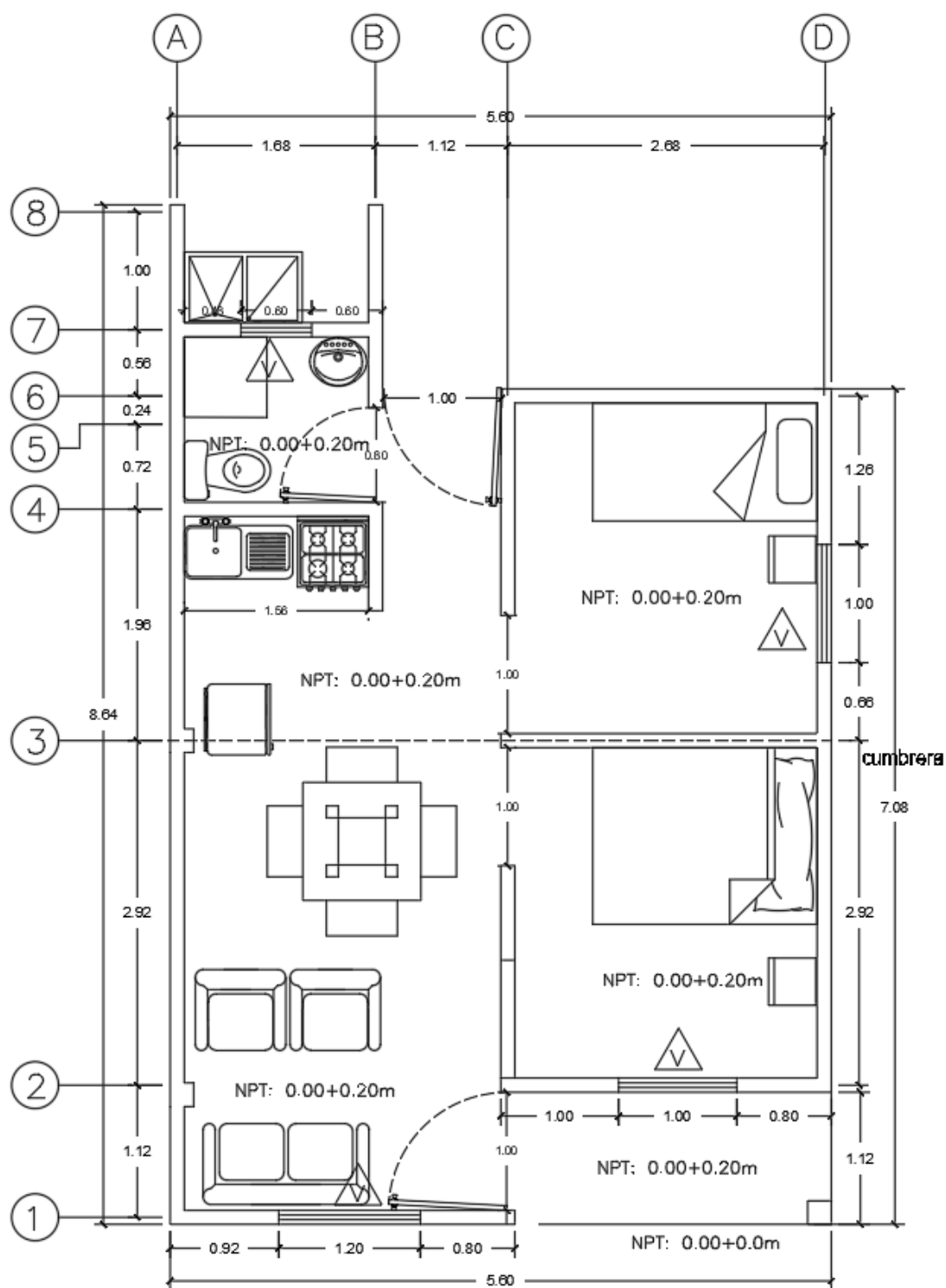
Ventilación: Cada espacio de la vivienda cuenta con al menos un hueco de ventilación, permitiendo la entrada de luz natural y la renovación del aire interior.

Materiales de Construcción y Acabados

Los materiales de construcción predominantes en la vivienda son el bloque de concreto, el concreto reforzado y la lámina galvanizada. Los acabados interiores son predominantemente pintados, mientras que los exteriores presentan un acabado rústico característico de las construcciones de la zona.

Importancia de la Vivienda en el Estudio

La selección de esta vivienda se justifica por su representatividad de la tipología constructiva más común en la zona de estudio. Sus características constructivas, materiales empleados y condiciones de ocupación permiten realizar un análisis detallado del inventario de emisiones de CO₂ asociado a los materiales de construcción, lo que contribuirá a cuantificar el impacto ambiental de este tipo de edificaciones en el contexto de la construcción de viviendas de interés social en El Salvador.



Planta Arquitectonica, vivienda tradicional

Plano 2. Planta arquitectónica casa sistema bloque de concreto, distribución de espacios internos.

Fuente. Elaboración propia.

Espacios de vivienda sistema de bloque de concreto



Fachada principal vivienda bioclimática.



Fachada posterior vivienda bioclimática.

Figura 22. Espacios de vivienda en estudio.
Fuente. Elaboración Propia.



Habitación 1 de vivienda bioclimática.



Sala de vivienda bioclimática.

Figura 23. Espacios de vivienda en estudio.
Fuente. Elaboración Propia.



Comedor de vivienda bioclimática.



Dormitorio (cocina) de vivienda bioclimática.

Figura 24. Espacios de vivienda en estudio.
Fuente. Elaboración Propia.

7.3 METODOLOGÍA DE MEDICIÓN DE EMISIONES

La metodología para calcular las emisiones de CO₂ asociadas a los materiales de construcción se basa en el análisis del ciclo de vida (ACV) de cada producto, utilizando las Declaraciones Ambientales de Producto (DAP) como fuente principal de datos. A continuación, se detallan los pasos fundamentales de este proceso:

1. Alcance del Estudio

Ciclo de Vida. Se ha evaluado el impacto ambiental de los materiales de construcción considerando las etapas A1-A3 del ciclo de vida, es decir, desde la extracción de materias primas hasta la fabricación del producto.

Alcance Constructivo. El análisis se ha centrado en la obra gris, excluyendo las instalaciones eléctricas e hidráulicas. Esta delimitación permite obtener una estimación inicial de las emisiones asociadas a la estructura del edificio.

2. Recopilación de Datos

Declaraciones Ambientales de Producto (DAP). Se recopilaron las Declaraciones Ambientales de Producto (DAP) correspondientes a los materiales de construcción empleados en el proyecto, con un enfoque particular en los datos relativos a las emisiones de CO₂ equivalente (CO₂eq) asociadas a cada material. Las DAP obtenidas corresponden a materiales fabricados en Europa, los cuales siguen un proceso de fabricación estandarizado. Es relevante señalar que, en el contexto nacional, no existen disponibles declaraciones ambientales específicas para los materiales de construcción. No obstante, la pintura es un material que sí cuenta con información ambiental proporcionada directamente por los fabricantes nacionales.

Debido a lo anterior se elaboró una lista de datos ambientales considerando las DAP europeas.

Cuantificación de Materiales. Se elabora un inventario detallado de todos los materiales que se emplearán en el proyecto, ya sea por peso, volumen o unidades, según lo especificado en los planos y documentos de obra.

Planos y Documentos de Obra. Se analizaron los planos arquitectónicos y estructurales para determinar las cantidades exactas de cada material utilizado en la construcción.

3. Cálculo de Emisiones de CO₂eq por Material

Multiplicación de Cantidades por Factor de Emisión. Se multiplicaron las cantidades de cada material por su correspondiente factor de emisión de CO₂eq, obtenido de las DAP. Este factor representa las emisiones de CO₂eq asociadas a la producción de una unidad del material.

Suma de Emisiones Totales. Se sumaron las emisiones de CO₂eq de todos los materiales utilizados en el proyecto para obtener el total de emisiones de CO₂eq asociadas a los materiales de construcción.

4. Cálculo de Emisiones de CO₂eq por Metro Cuadrado

Cálculo del Área Construida. Se calculó el área construida total del proyecto, considerando los diferentes niveles y espacios.

División de Emisiones Totales entre Área Construida. Se dividió el total de emisiones de CO₂eq entre el área construida total para obtener el valor de emisiones de CO₂eq por metro cuadrado.

Fórmula:

$$\text{CO}_2\text{eq/m}^2 = (\sum (\text{Cantidad de material} * \text{Factor de emisión de CO}_2\text{eq de material})) / \text{Área construida}$$

7.4 RESULTADOS DE EMISIONES PARA VIVIENDA DE SISTEMA DE LADRILLO MACIZO

Conjunto de datos de CO₂eq utilizados en la evaluación

El interés de la presentación de datos de CO₂eq, es calcular y determinar el impacto ambiental de la vivienda construido de ladrillo macizo a lo largo de su tiempo de vida, desde la extracción de materias primas hasta su fabricación. Al realizar el estudio, se busca:

Calcular: Determinar la cantidad precisa de CO₂eq, relacionada a la vivienda de ladrillo macizo.

Analizar: Comprobar el impacto ambiental de la vivienda, en comparativos de otros estándares.

Reportar: Proveer la información fundamental a los expertos en construcción, investigadores y población en general.

Renovar: Reconocer las zonas de mejora en el proceso de constructivo para la reducción de huella de carbono.

El análisis de los gases emitidos, y expresada en equivalentes de CO₂ en los materiales, es importante para entender y gestionar los impactos ambientales que tendrán en los materiales y productos. La inclusión en las Declaraciones Ambientales de Producto (DAP), facilita una evaluación cuantitativa y objetiva del desempeño ambiental, y promueve una serie de usos y aplicaciones prácticas para la sostenibilidad global.

Proceso de Cálculo Realizado

En el presente estudio, se analizó y verificó la emisión de CO₂ de los materiales de construcción, se ha considerado las etapas del ciclo de vida A1-A3, que consiste, desde la extracción de materias primas hasta la producción del material para su uso en la obra. Se ha utilizado la información proporcionada por las Declaraciones Ambientales de Producto (DAP).

Para mostrar el método de cálculo, se presentan tres partidas constructivas en las que se detallan los volúmenes de obra, iniciando con cálculo de nervio #1, seguido de las Paredes y por último el Techo, las unidades funcionales de las DAP y el proceso de obtención de los totales de kgCO₂ equivalente (kgCO₂eq) de cada partida constructiva.

El procedimiento es el siguiente:

Identificación de Materiales. Se verificó el detalle constructivo en cada partida para la realización del cálculo, se realizó una lista de materiales involucrados en su ejecución.

Obtención de Datos de Emisión. Se recolectó la información de las DAP, identificando la unidad funcional correspondiente a cada material, se analizó su factor de emisión de CO₂ por dicha unidad (m, m² o kg, según corresponda).

Cálculo de Emisiones. Se realizó la multiplicación de la cantidad de cada material utilizado en la partida por su factor de emisión de CO₂, determinado en las DAP.

Suma total de Emisiones. Se suman las emisiones individuales de cada material para obtener el total de CO₂ emitido en la partida constructiva seleccionada o analizada.

Esto permite una cuantificación completa de las emisiones de CO₂ asociadas a cada material de construcción, y facilita la comparación de los distintos sistemas constructivos en términos de impacto ambiental.

Tabla de Gases Emitidos CO₂ por Material

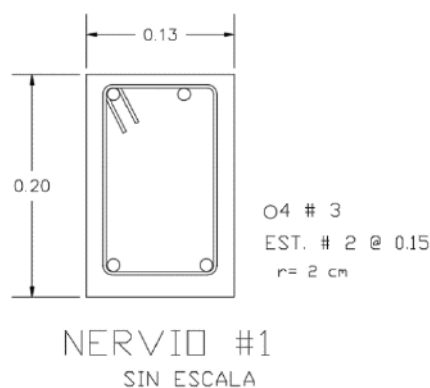
Tabla 5. Masa de gases emitidos en medida por su equivalencia en CO₂ (dióxido de carbono).

Fuente. Elaboración Propia.

Item	Materiales	Fases ACV	Unidad	Cantidad
1	Lamina Acero Galvanizado	A1-A3	KgCO ₂ eq	7.264
2	Tubo Cuadrado	A1-A3	KgCO ₂ eq	30.24
3	Perfiles de Acero Laminado	A1-A3	KgCO ₂ eq	298
4	Perfil C Galvanizado	A1-A3	KgCO ₂ eq/m	37.07
5	Madera Aserrada Estructural	A1-A3	KgCO ₂ eq	159
6	Lamina de Fibrocemento	A1-A3	KgCO ₂ eq	702
7	Barras de Acero Corrugado	A1-A3	KgCO ₂ eq	0.53
8	Mortero o Cemento para Albañilería (1000 <P> 1250)	A1-A3	KgCO ₂ eq	0.1
9	Baldosa de Cerámica de Gres Extruido	A1-A3	KgCO ₂ eq/m ²	7.8
10	Mortero prefabricado	A1-A3	KgCO ₂ eq	20.81
11	Ladrillo	A1-A3	KgCO ₂ eq	0.2
12	Hormigón Armado	A1-A3	KgCO ₂ eq	0.1

Cálculo emisiones de CO₂ para Nervio #1

- Identificación del elemento estructural a utilizar en la cuantificación.** En este cálculo, se seleccionará el nervio #1, como elemento principal para la cuantificación de CO₂.



Plano 3. Detalle de solera de nervio #1.

Fuente. Elaboración propia.

2. **Determinación de la altura del Nervio #1.** Se contabilizó un total de 20.18 m, para toda la obra, como se muestra en la tabla 6. Se calculó el volumen de concreto para 1 m³. Estos datos serán utilizados en el cálculo posterior de CO₂.

Tabla 6. Metros lineales de Nervio #1.

Fuente. Elaboración Propia.

CANTIDAD DE OBRA	
UBICACIÓN	MEDIDA (m)
EJE 1	3.63
EJE 1-1	3.63
EJE 2	3.63
EJE 2-2	3.63
Nerv. Puerta eje 1-1	2.83
Nerv. Puerta eje 2-2	2.83
TOTAL	20.18

Tabla 7. Cálculo de volumen de Nervio #1.

Fuente. Elaboración Propia.

VOLUMEN DE CONCRETO (m3)			
ANCHO	LARGO	ALTO	VOLUMEN
m	m	m	m3
0.13500	1.00000	0.20000	0.02700

3. **Datos de DAP.** En el proceso de la investigación, se recopilaron los datos de las Declaraciones Ambientales de Producto (DAP) para los materiales utilizados en esta partida del Nervio #1. Estos DAP, son de origen europeo, y deben especificar las etapas del ciclo de vida que se están considerando. Cálculo de CO₂, para el acero (barras de acero).

Tabla 8. Datos de DAP de acero corrugado.

Fuente. https://www.aenor.com/Producto_DAP_pdf/GlobalE.PD_001_002_r2_ESP.pdf

FASES A1-A3		BARRA CORRUGADA
		POR 1000 KG
GWP Potencial de calentamiento global	[kg CO2 eq]	533.04
A1 Producción de materias primas	148.08	
A2 A2 Transporte	44.27	
A3 (acería)	218.01	
A3 (laminación)	122.68	
A4 Transporte al lugar de utilización		

1Kg	0.533
-----	-------

Unidad Funcional o Declarada del Acero Corrugado

Para la producción de las barras corrugadas de acero, la unidad declarada, es de **1000 kg (1 tonelada)** de producto.

Tabla 9. Datos de DAP de acero corrugado.

Fuente. https://www.aenor.com/Producto_DAP_pdf/ANEFHOP.pdf.

FASES A1-A4		CONCRETO
		POR M3
GWP Potencial de calentamiento global	[kg CO2 eq]	224.00
A1 extracción y adquisición de constituyentes	214.00	
A2 transporte de constituyentes	7.22	
A3 producción	261.00	
A4 transporte		

Unidad Funcional o Declarada del Concreto

La unidad declarada es **1 m³ de concreto**.

Tomando la densidad como 2.300 kg/m³

1 m³ de concreto pesa = 2.300 kg

1Kg de Concreto emite 238,13 / 2.300 = **0,10 kg CO₂ eq**

- Sumatoria de emisiones:** Una vez obtenidos los datos de emisión de CO₂ de cada material, se realiza las sumatorias de todos los materiales para obtener el total de emisiones del Nervio #1.

Tabla 10. Cálculo de peso en kilogramos de acero de Nervio.

Fuente. Elaboración Propia.

CUANTIFICACION DE CO2 DE MATERIALES					
BARRAS DE ACERO CORRUGADO		POR METRO LINEAL	Longitud	Total Kg	TOTAL Kg
1 Barra de 3/8"	peso/ml:	0.56	1	2.24	3.29
1 Barra de 1/4"	peso/ml:	0.25	4.2	1.05	

Tabla 11. Cálculo de KCO₂ de Nervio #1.

Fuente. Elaboración Propia.

NERVIO #1											
MATERIALES	DIMENSIONES EN (m)			DENSIDAD	CUANTIFICACION		TOTAL EN OBRA	UNIDAD FUNCIONAL	PARCIAL	TOTAL (1 ml DE FUNDACIÓN)	TOTAL
	ANCHO	LARGO	ALTO	kg/m3	m³	Kg	ML		KCO₂	KCO₂	KCO₂
CONCRETO (25MPA)	0.135	1	0.2				20.18	1 Kg	0.103535	6.43	129.75
				2300	0.027	62.1		1Kg	0.56317	1.85	37.39
ACERO CORRUGADO						3.29		TOTAL NERVIO #1		8.28	167.14

La tabla presentada muestra el impacto ambiental en términos de emisiones de CO₂ de los materiales utilizados en la construcción del Nervio #1, específicamente concreto (25MPa) y acero corrugado. Se detallan sus dimensiones, densidad, cuantificación en obra y el cálculo de emisiones de CO₂ por cada metro lineal (ml) de fundación.

Materiales Analizados

1. Concreto (25 MPa)

- Se calcula con un volumen de **0.027 m³** y una densidad de 2300 kg/m³, resultando en **62.1 kg** de concreto por nervio.
- Para la cantidad total en obra (**20.18 ML**), el CO₂ total generado es de **129.75 kgCO₂**.
- La emisión parcial de CO₂ por kg es **0.103535 kgCO₂**, lo que equivale a **6.43 kgCO₂** por metro lineal de fundación.

2. Acero Corrugado

- Se reporta una cantidad de **3.29 kg** de acero por nervio.
- Con una emisión parcial de **0.56317 kgCO₂/kg**, se obtiene un total de 1.85 kgCO₂ por metro lineal.
- Para la totalidad de la obra, el CO₂ generado por el acero corrugado asciende a **37.39 kgCO₂**.

Total de Emisiones del Nervio #1

Sumando las emisiones de ambos materiales, se obtiene un total de:

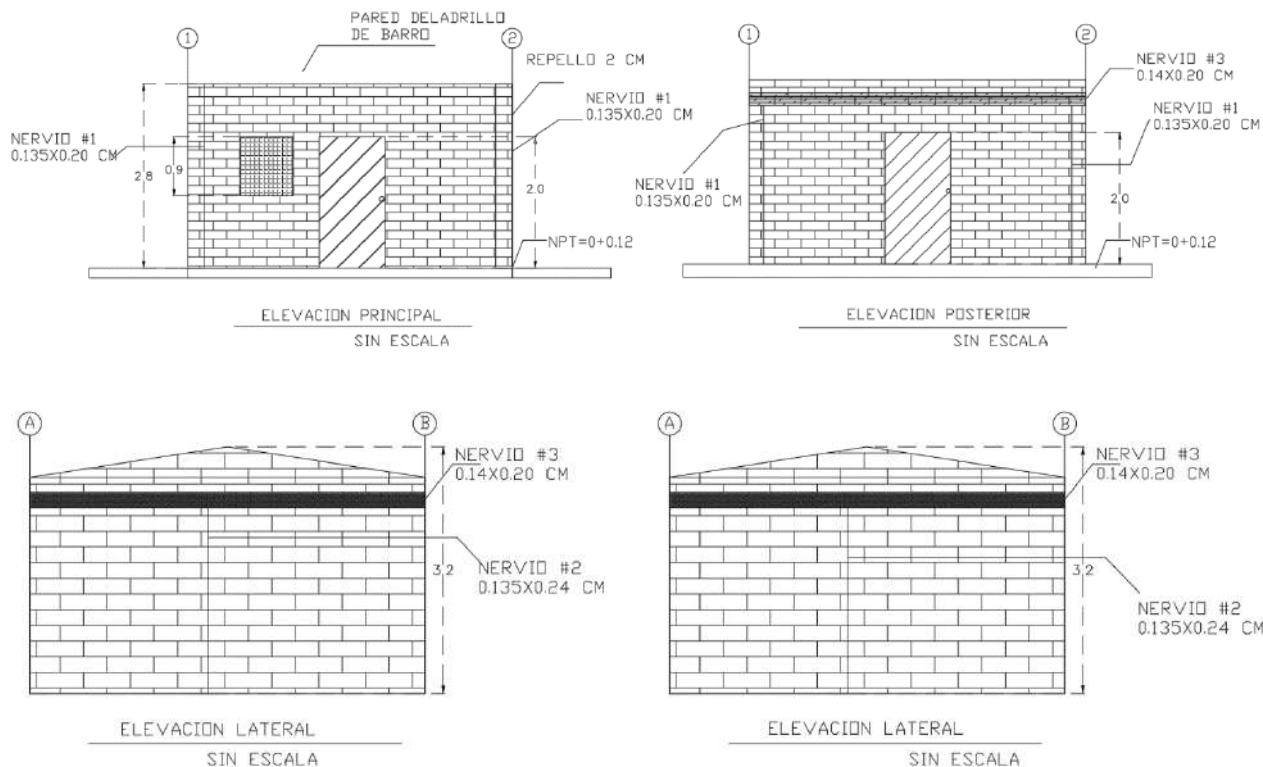
- **8.28 kgCO₂** por metro lineal de fundación.
- **167.14 kgCO₂** para la totalidad de la obra del Nervio #1.

El análisis muestra que el concreto (25 MPa) es el material con mayor contribución a las emisiones de CO₂ en el nervio, representando aproximadamente 77.7% del total de emisiones. Por otro lado, el acero corrugado contribuye con 22.3%, lo que sugiere que cualquier estrategia de reducción de emisiones debería enfocarse en la optimización del concreto utilizado o en la búsqueda de alternativas con menor huella de carbono.

Este estudio permite evidenciar el impacto ambiental de los materiales de construcción y es un paso importante hacia el diseño sostenible de viviendas con menor impacto ecológico.

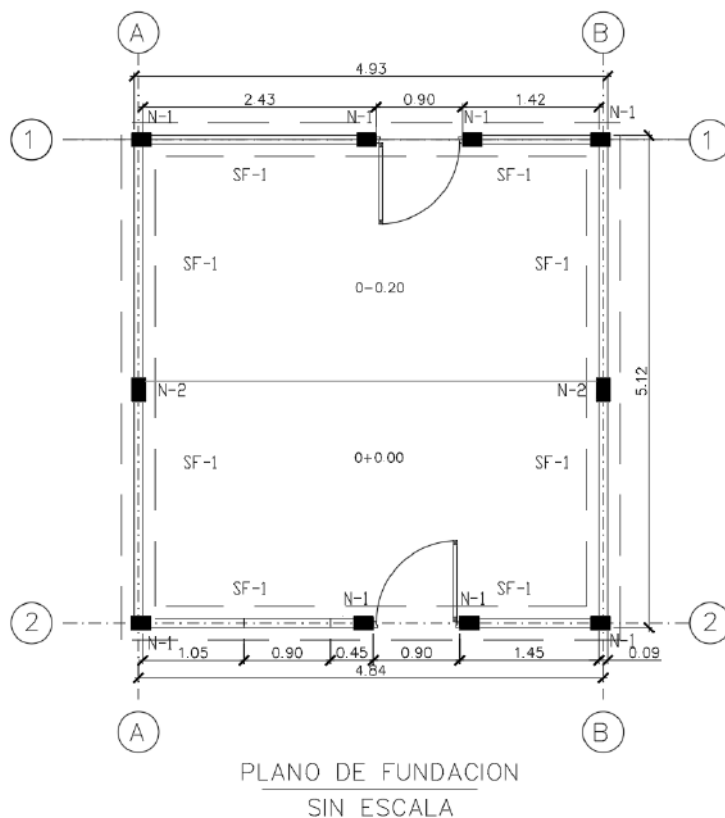
Cálculo de Pared de Ladrillo Macizo

1. **Identificación del detalle a utilizar en la cuantificación:** En este proceso de cálculo se cuantificó la cantidad de pared de ladrillo Macizo, se incluye el mortero de pegado.



Plano 4. Detalle de Elevación.

Fuente. Elaboración Propia.



Plano 5. Plano de Modulación de ladrillo macizo.

Fuente. Elaboración Propia.

2. **Determinación de la cantidad de m2 de pared.** En este proceso, se va a determinar los metros cuadrados de pared. Se ha calculado la cantidad de 55.54 m² para toda la obra, a continuación, se muestra en siguiente tabla 12. Estos datos serán empleados en el cálculo posterior de CO₂.

Tabla 12. Cálculo de metros cuadrados de pared de ladrillo.

Fuente. Elaboración Propia.

CANTIDAD DE M2 DE LADRILLOS										
EJES	LARGO M	ALTO M	AREA DE PARED M2	NERVIO #1 M2 (-)	NERVIO #2 M2 (-)	NERVIO #3 M2 (-)	PUERTA M2 (-)	VENTANA M2 (-)	H MOJINETE M2 (+)	TOTAL M2
1-2A	4.66	3.2	14.91	1.51			2	0.72		10.68
2-1A	4.66	3.2	14.91	1.51			2			11.40
1-1A	5.12	3.6	18.43		1.73				1.02	17.72
2-2A	5.12	3.6	18.43			3.72			1.02	15.73
TOTAL M2 PARED										55.54

3. **Datos de DAP:** En el proceso de la investigación, se recolectaron información de las Declaraciones Ambientales de Producto (DAP) para los materiales utilizados en esta partida de paredes de ladrillos macizo. Las DAP, son de origen europeo, donde especifican las etapas del ciclo de vida.

Tabla 13. Cálculo de Ladrillo por metro cuadrado

Fuente. https://www.aenor.com/Producto_DAP_pdf/ANEFHOP.pdf UNE-EN771-1

Cantidad de Ladrillo por M2		
1	m2/ladrillo	40.04
Total		40.04

Tabla 14. Datos de DAP de ladrillos.

Fuente. emisiones%20CO₂%20construccion%20en%20el%20salvador.pdf

Datos de Emision de DAP			
1	kg/ladrillo	0.2	kgCO ₂ eq

Tabla 15. Calculo total de ladrillos por unidad.

Fuente. Elaboración propia.

Cantidad de Ladrillos por M2			
1	m2 de Ladrillos	40.04	kgCO ₂ eq
55.54	m2/Ladrillos	2223.82	kgCO ₂ eq
Total M2		2223.82	kgCO₂eq

Tabla 16. Cálculo de CO₂ de Ladrillo.

Fuente. Elaboración propia.

Emision de CO2 de Ladrillo			
1	kg ladrillo	0.20	kgCO2eq
2223.82	kg ladrillo	444.76	kgCO2eq
TOTAL		444.76	kgCO2eq

Tabla 17. Cálculo de CO₂ de mortero de DAP.

Fuente. Elaboración propia.

Mortero (m3)		
Cantidad de obra	Producción CO2	Unidad
1.00 (m3)	2.99	kgCO2eq
59.15	177	kgCO2eq
Total	177	kgCO2eq

Tabla 18. Datos de DAP de concreto.

Fuente. https://www.aenor.com/Producto_DAP_pdf/ANEFHOP.pdf

FASES A1-A4		CONCRETO
		POR M3
GWP Potencial de calentamiento global	[kg CO2 eq]	224.00
A1 extracción y adquisición de constituyentes	214.00	
A2 transporte de constituyentes	7.22	
A3 producción	261.00	
A4 transporte		

Unidad funcional del concreto

La unidad declarada es **1 m³ de concreto**.

Tomando la densidad como 2.300 kg/m³

1 m³ de concreto pesa = 2.300 kg

1Kg de Concreto emite 224,00 / 2.300 = **0,10 kg CO₂ eq**

- Sumatoria de emisiones:** Habiendo obtenido los datos de emisión de CO₂ de cada material, se realiza la sumatoria de todos los materiales para la obtención total de emisiones de la pared ladrillo macizo.

Tabla 19. Cálculo de KCO₂ de ladrillo macizo.

Fuente. Elaboración Propia.

Ladrillo Macizo de 0.25*0.135*0.07									PARCIAL	TOTAL (1 m3)	TOTAL
MATERIALES	DIMENSIONES			DENSIDAD	CUANTIFICACION		TOTAL EN OBRA	UD funcional	KCO2	KCO2	KCO2
	Ancho	Largo	Espesor	kg/m3	m3	Kg	M3				
Mortero			0.00064350	1125	0.027	29.92	59.147	1 kg	0.1	2.99	177
Ladrillo Macizo										8.00	444.32
Total										10.99	621.3

Tabla 20. Cálculo de volumen de mortero para pared de ladrillo.

Fuente. Elaboración Propia.

Mortero		
Ladrillo m2	Volumen Mortero	Volumen Total Mortero
40.04	0.00064350	0.02576574

Unidad funcional o declarada del bloque

La unidad declarada es de 8.08, por metro cuadrado.

Análisis de la Producción de CO₂ en la Construcción de Paredes de ladrillo macizo

La presente sección expone el análisis de emisiones de dióxido de carbono CO₂ generadas por los materiales utilizados en la construcción con ladrillo macizo de dimensiones 0.25 × 0.135 × 0.07 m, con especial énfasis en el mortero y el ladrillo macizo.

1. Análisis del Mortero. El mortero es un componente esencial en la unión de los ladrillos, y su impacto ambiental en términos de emisiones de CO₂ depende de su densidad y volumen utilizado.
 - **Dimensiones y densidad.** El mortero utilizado tiene un espesor de 0.00064350 m y una densidad de 1125 kg/m³.
 - **Cuantificación en la obra.** Se determinó un volumen unitario de 0.027 m³, lo que equivale a 29.92 kg de mortero por metro cúbico de construcción.
 - Emisiones de CO₂:
 - **Por unidad funcional** (1 kg de mortero), la emisión de CO₂ es de 0.1 kgCO₂.
 - **Por metro cúbico**, el total de emisiones asciende a 2.99 kgCO₂.
 - **Para la totalidad de la obra**, la emisión generada por el mortero es de 177 kgCO₂.
2. Análisis del Ladrillo Macizo. El ladrillo macizo representa una proporción significativa de la estructura en términos de volumen y peso, lo que se traduce en un mayor impacto en las emisiones de CO₂.
 - Emisiones de CO₂.

- Por metro cúbico de material, el ladrillo macizo emite 8 kgCO₂.
- **Para la totalidad de la obra, la emisión generada asciende a 444.32 kgCO₂.**

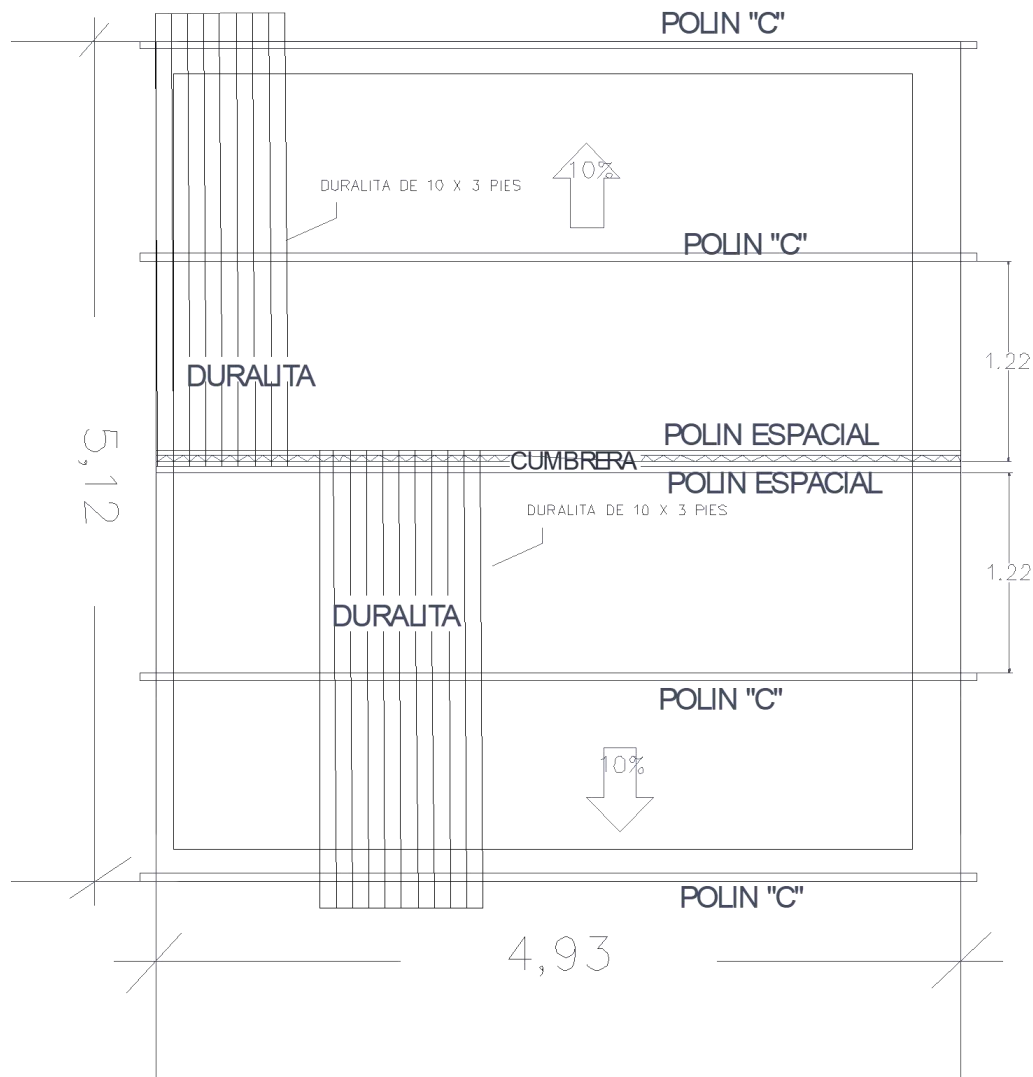
3. Total de Emisiones de CO₂ en la Construcción con Ladrillo Macizo.

Sumando las emisiones generadas por el mortero y el ladrillo macizo, se obtiene un total de 10.99 kgCO₂ por metro cúbico de construcción. En términos de la obra completa, las emisiones de CO₂ alcanzan 621.32 kgCO₂.

El análisis de emisiones de CO₂ en la construcción con ladrillo macizo indica que el mayor impacto ambiental proviene del ladrillo macizo, que representa aproximadamente **71.5%** del total de emisiones, seguido del mortero, con un **28.5%**. Estos resultados resaltan la necesidad de evaluar alternativas en la selección de materiales para la reducción del impacto ambiental en la construcción.

Cálculo de Techo de Fibrocemento

1. Para el proceso de cuantificación se identificará el material a utilizar en el cálculo.



Plano 6. Plano de detalle de techo de vivienda de ladrillo macizo.

Fuente. Elaboración Propia.

2. **La medición se hizo de la superficie del techo.** En este proceso de cálculo, se cuantificará la cantidad de metros cuadrados que ocupará el techo. Se ha calculado un total de 34.72 m² para toda la obra. Estos datos se usarán en el cálculo posterior de CO₂.

Tabla 21. Cantidad de materiales.

Fuente. Elaboración Propia.

Materiales de Techo	
Area de Cubierta de Fibrocemento	34.72 m2
Polines Galvanizado	24.43 ml
Polin espacial	21.21 ml

3. **Estos son los resultados en la obtención de Datos de DAP.** En el proceso que se investigó, se recopilaron datos de las Declaraciones Ambientales de Producto (DAP) para los materiales a utilizar esta partida de techos.

Tabla 22. Datos obtenidos de DAP de Cubierta y polín C.

Fuente. <https://plycem.com/wp-content/uploads/2022/02/Ficha-tecnica-Techos-Eureka.pdf>

Datos de Materiales de DAP		
Cubierta de techo Fibrocemento	702	kgCO ₂ eq
Polin Galvanizado	37.07	kgCO ₂ eq
Barra corrugada	1.095	kgCO ₂ eq

4. **Sumando las emisiones:** una vez calculados los datos de emisión de CO₂ de cada material, se procede hacer un sumatorio total de los materiales para obtener el total de emisiones de la cubierta de techo de fibrocemento.

Tabla 23. Cálculo de CO₂ Cubierta de Fibrocemento.

Fuente. <https://plycem.com/wp-content/uploads/2022/02/Ficha-tecnica-Techos-Eureka.pdf>

Total, M2 Cubierta de Fibrocemento			
1	m2	7020	kg/m2
34.72	m2	243734.4	kgCO ₂ eq
Total:		243.7344	kgCO ₂ eq

Tabla 24. Cálculo de CO₂ polín C galvanizado.

Fuente. Elaboración Propia.

Polin Galvanizado			
1	m	37.07	kgCO ₂ /m
24.43	m	905.6201	kgCO ₂ /m
TOTAL		905.6201	kgCO ₂ eq

Tabla 25. Cálculo de KCO₂ de Barra corrugado.

Fuente. Elaboración Propia.

Barra corrugado (Polin Espacial)			
1	ml	0.62	kgCO ₂ eq
21.21	ml	13.08	kgCO ₂ eq
Total CO ₂		13.08	kgCO ₂ eq

Tabla 26. Cálculo de KCO₂ emitida por techo.

Fuente. Elaboración Propia.

Total Emision de CO ₂ producida por el area de techo		
Lamina Fibrocemento	243.7344	kgCO ₂ eq
Polin C	905.62	kgCO ₂ eq
Barra corrugado	13.080	kgCO ₂ eq
Total	1162.434095	kgCO ₂ eq

Interpretación de CO₂ de la Cubierta de Fibrocemento

En esta sección se presentan los resultados obtenidos del cálculo de emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO₂eq) asociadas a los materiales empleados en la construcción de un techo de fibrocemento. La evaluación se basa en los datos de emisión de tres materiales clave: lámina de fibrocemento, Polín C y barra corrugada, cuyos valores han sido cuantificados en kilogramos de CO₂ equivalente (kgCO₂eq).

1. Evaluación de las Emisiones por Material.

1. Lámina de Fibrocemento:

- Se ha determinado que este material genera una emisión de **243.73 kgCO₂eq**.
- Representa 21% del total de emisiones generadas en el techo.

- Su impacto se debe a la producción de cemento y fibras utilizadas en su fabricación, lo que implica un consumo energético significativo en su proceso industrial.

2. Polín C:

- Con un valor de **905.62 kgCO₂eq**, el Polín C es el material con mayor impacto en la huella de carbono del techo.
- Representa 77.9% del total de las emisiones.
- El alto consumo energético en la extracción, fundición y procesamiento del acero estructural contribuye al elevado nivel de emisiones de CO₂.

3. Barra Corrugada:

- Genera una emisión de **13.08 kgCO₂eq**, la más baja entre los materiales analizados.
- Representa únicamente 1.1% del total de emisiones del techo.
- Su menor impacto se debe a su proporción reducida en la estructura del techo.

2. Total de Emisiones de CO₂ en el Techo de Fibrocemento.

La sumatoria de las emisiones de CO₂eq generadas por los materiales empleados asciende a **1162.43 kgCO₂eq**. Como se observa en el análisis, **el Polín C es el principal contribuyente a la huella de carbono del techo**, seguido por la lámina de fibrocemento, mientras que la barra corrugada tiene un impacto menor.

3. Implicaciones Ambientales y Consideraciones para la Construcción Sostenible. El análisis demuestra que el uso de estructuras metálicas como el Polín C representa una carga ambiental significativa debido a los procesos industriales asociados con la fabricación del acero. La lámina de fibrocemento, aunque con menor impacto, también contribuye de manera considerable a la huella de carbono total.

Para mitigar estas emisiones, se recomienda explorar opciones sostenibles como:

- La optimización del diseño estructural para reducir la cantidad de material utilizado.
- El uso de materiales reciclados o con menor impacto ambiental.
- La implementación de procesos de producción más eficientes y menos contaminantes.

Estos resultados refuerzan la necesidad de una planificación más sostenible en la selección de materiales para la construcción de techos, priorizando soluciones con menor impacto ambiental sin comprometer la funcionalidad estructural.

Resultados de Emisiones Vivienda de Bloque de Concreto

En esta sección se presentan los resultados obtenidos del análisis de las emisiones de CO₂ relacionadas con la construcción de una vivienda utilizando Ladrillos de Barro cocido Macizo. A través de una exploración detallada de cada etapa del proceso constructivo, se ha cuantificado el impacto ambiental de cada material, considerando la producción de los materiales (Ciclo A1-A3), incluye la extracción de materias primas, transporte a fábrica y fabricación. Los datos e información recopilados nos permiten identificar las principales fuentes de emisiones, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones para reducir la huella de carbono en el sector de la construcción.

Tabla 27. Total, de CO₂eq emitido por la vivienda de Ladrillo Rojo Macizo.

Fuente. Elaboración Propia.

CO ₂ eq EMITIDO PARA VIVIENDA DE LADRILLO ROJO MACIZO				
Item	Partida Constructiva	Unidad	Cantidad	KGCO ₂ eq
1	Estructura Metalica (Puerta, Ventana)	ml	53.27	KGCO ₂ eq
2	Derivados de Madera (Puerta, Marco)	m ³	25.44	KGCO ₂ eq
3	Techo de Fibrocemento (5 mm)	m ²	1,163.05	KGCO ₂ eq
4	Repello de Pared de Ladrillo Rojo Macizo (Una cara EJE 1-2)	m ²	27.19	KGCO ₂ eq
5	Piso de Ladrillo Rojo Revestido Extruido	m ²	1,504.03	KGCO ₂ eq
6	Pared de Ladrillo Macizo (0.135*0.07*0.25)	m ²	632.29	KGCO ₂ eq
7	Solera Fundacion (0.35*0.35)	ml	698.42	KGCO ₂ eq
8	Nervio #1 Refuerzo Vertical , (0.135*0.20 cm)	ml	175.42	KGCO ₂ eq
9	Nervio #3, Refuerzo Horizontal (0.14*0.20 cm)	ml	190.80	KGCO ₂ eq
10	Nervio #2, Refuerzo Vertical, (0.135*0.24 cm)	ml	94.87	KGCO ₂ eq
Total CO ₂			4564.78	KGCO ₂ eq

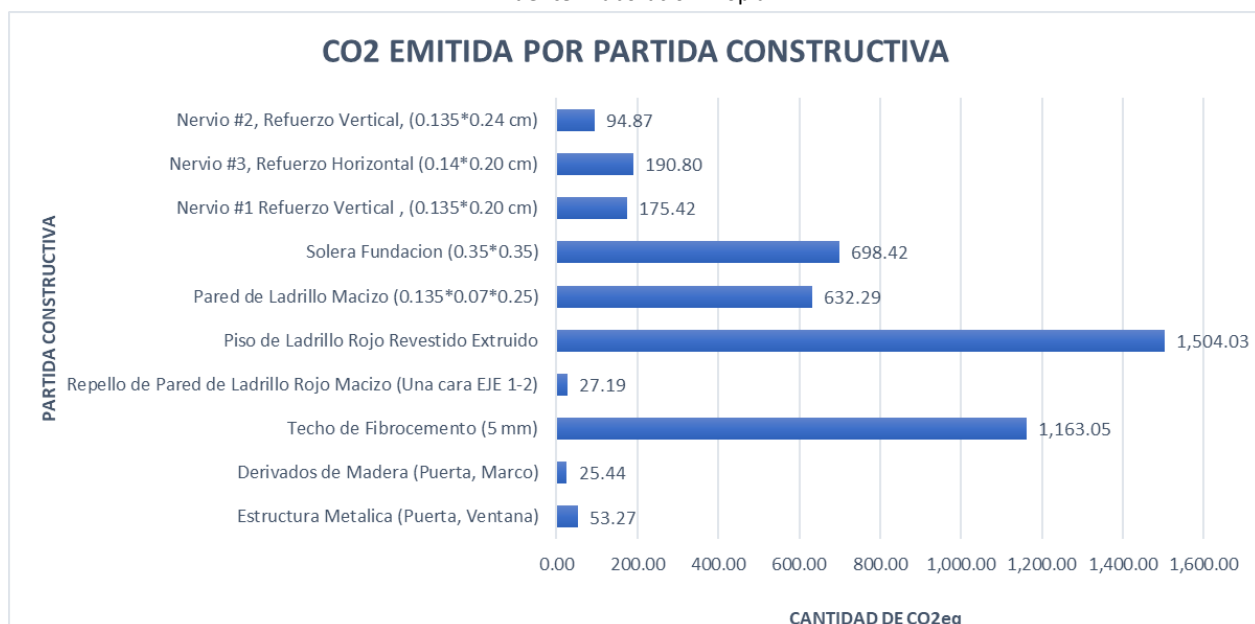
Tabla 28. Cantidad de CO₂eq por metro cuadrado en vivienda de ladrillo Rojo Macizo.

Fuente. Elaboración Propia.

Cantidad de CO ₂ eq por m ² de la Vivienda		
Area de Vivienda	25.24	m ²
Total de KGCO ₂ eq	4564.78	KGCO ₂ eq
Unidad	180.85483	KGCO ₂ eq

Grafica 1. Cantidad de CO₂eq por partida constructiva de Vivienda.

Fuente. Elaboración Propia.



Análisis de la Huella de Carbono en una Vivienda de Ladrillo de Barro Macizo

Los resultados obtenidos evidencian el impacto ambiental generado por la construcción de una vivienda de ladrillo rojo macizo en términos de emisiones de CO₂ equivalente (CO₂eq). Se han considerado diversas partidas constructivas, cuantificando la cantidad de material utilizado y su correspondiente emisión de gases de efecto invernadero.

Partidas constructivas con mayor emisión de CO₂eq. Del análisis de los datos, se identifican las partidas constructivas que generan mayores emisiones de CO₂eq:

1. **Techo de Fibrocemento (5 mm).** Con una emisión de **1,163.05 kgCO₂eq**, representa la fuente más significativa de emisiones dentro de la construcción. Esto se debe a los procesos industriales involucrados en la fabricación del fibrocemento, incluyendo la extracción de materias primas y la transformación del material.
2. **Solera Fundación (0.35*0.35 m).** Contribuye con **698.42 kgCO₂eq**, convirtiéndose en la segunda partida con mayor impacto. Lo que refleja el impacto del uso de concreto en la cimentación, un material que requiere grandes cantidades de cemento, cuya producción es altamente emisora de CO₂ debido al proceso de calcinación del clinker.
3. **Pared de Ladrillo Macizo (0.135*0.07*0.25 m).** Genera **632.29 kgCO₂eq**, La cocción del ladrillo, un proceso intensivo en el consumo de energía es el principal factor que contribuye a esta elevada huella de carbono.

Partidas constructivas con menor emisión de CO₂eq

Por otro lado, los elementos que presentan menores emisiones de CO₂eq son:

1. **Nervio #2, Refuerzo Vertical (0.135*0.24 cm):** Emite **94.87 kgCO₂eq**, siendo la partida con menor impacto en la tabla. Su contribución reducida se debe a su menor volumen de material utilizado.
2. **Estructura Metálica (Puerta, Ventana):** Con **53.27 kgCO₂eq**, esta partida genera emisiones moderadas debido a la fabricación del acero, aunque en menor proporción en comparación con otros elementos estructurales.
3. **Derivados de Madera (Puerta, Marco):** Representa **25.44 kgCO₂eq**, siendo la partida con menor impacto en toda la construcción. La madera, al ser un material renovable, tiene una menor huella de carbono en comparación con materiales de origen industrial como el cemento o el ladrillo.

Impacto en la construcción y el medio ambiente

Las emisiones totales de la construcción ascienden a **4,564.78 kgCO₂eq**, lo que resalta la contribución del sector de la construcción al cambio climático. La fabricación de materiales como el cemento, el acero y el fibrocemento demanda procesos industriales de alto consumo energético, liberando grandes cantidades de CO₂ a la atmósfera.

Desde una perspectiva ambiental, estos resultados subrayan la necesidad de adoptar estrategias de diseño sostenible, como:

- **Uso de materiales alternativos.** La incorporación de materiales con menor huella de carbono, como bloques de tierra comprimida o madera certificada, puede reducir significativamente las emisiones.
- **Optimización del diseño estructural.** Minimizar el uso innecesario de materiales emisores de CO₂ mediante el diseño eficiente de los elementos constructivos.

7.5 RESULTADOS DE EMISIONES PARA VIVIENDA DE SISTEMA DE BLOQUE DE CONCRETO

Conjunto de datos de CO₂eq utilizados en la evaluación

El propósito de la presentación de datos de CO₂eq es cuantificar y evaluar el impacto ambiental de la vivienda de bloque de concreto a lo largo de su ciclo de vida, desde la extracción de materias primas hasta la fabricación del producto. Al realizar este análisis, se busca:

Cuantificar: Determinar la cantidad exacta de emisiones de CO₂eq asociadas a la vivienda.

Evaluar: Valorar el impacto ambiental de la vivienda en comparación con otros estándares o referencias.

Informar: Proporcionar información relevante para profesionales de la construcción, tomadores de decisiones y el público en general.

Mejorar: Identificar áreas de mejora en el proceso constructivo para reducir la huella de carbono.

La metodología utilizada, que se centra en las etapas iniciales del ciclo de vida y en la obra gris, permite obtener una estimación inicial y comparable del impacto ambiental de la vivienda.

Tabla de Gases Emitidos CO₂ por Material

Tabla 29. Masa de gases emitidos en medida por su equivalencia en CO₂ (dióxido de carbono).

Fuente. Elaboración Propia.

Item	Materiales	Fases ACV	Unidad	Cantidad
1	Hormigón armado (2300 < p > 2500)	A1 - A3	KgCO ₂ eq	0.10
2	Barras corrugadas de acero.	A1 - A3	KgCO ₂ eq	0.53
3	Bloques prefabricados en concreto	A1 - A3	KgCO ₂ eq	0.08
4	Mortero o cemento para albañilería (1000 < p > 1250)	A1 - A3	KgCO ₂ eq	0.10
5	Pintura de interior (Super Paint Sherwin Williams)	A1 - A3	KgCO ₂ eq	2.03
6	Perfil C Galvanizado	A1 - A3	KgCO ₂ eq/m	37.07
7	Chapa de acero galvanizado	A1 - A3	KgCO ₂ eq/m ²	18.32
8	Baldosa de cerámica	A1 - A3	KgCO ₂ eq/m ²	11.30
9	Mortero prefabricado	A1 - A3	KgCO ₂ eq/m ²	20.81
10	Acero estructural y laminado	A1 - A3	KgCO ₂ eq	2.80

El análisis de la masa de gases emitidos, expresada en equivalentes de CO₂, es indispensable para comprender y gestionar los impactos ambientales de materiales y productos. Su inclusión en las Declaraciones Ambientales de Producto (DAP) no solo facilita una evaluación cuantitativa y objetiva del desempeño ambiental, sino que también promueve una serie de aplicaciones prácticas clave para la sostenibilidad global.

En este estudio, se analizó la emisión de CO₂ de los materiales de construcción considerando únicamente las etapas del ciclo de vida A1-A3, es decir, desde la extracción de materias primas hasta la producción del material listo para su uso en obra. Para ello, se utilizó la información proporcionada por las Declaraciones Ambientales de Producto (DAP), asegurando una cuantificación precisa basada en datos verificados. Para ejemplificar el método de cálculo, se presentan tres partidas constructivas en las que se detallan los volúmenes de obra, las unidades funcionales de las DAP y el proceso de obtención de los totales de kgCO₂ equivalente (kgCO₂eq) de cada partida.

- **Identificación de materiales.** Se analizó el detalle constructivo de cada partida para enlistar los materiales involucrados en su ejecución.
- **Obtención de datos de emisión.** Se recopiló la información de las DAP, identificando la unidad funcional correspondiente a cada material y su factor de emisión de CO₂ por dicha unidad (m, m² o kg, según corresponda).
- **Cálculo de emisiones.** Se multiplicó la cantidad de cada material utilizado en la partida por su factor de emisión de CO₂, determinado en las DAP.
- **Suma total de emisiones.** Se sumaron las emisiones individuales de cada material para obtener el total de CO₂ emitido en la partida constructiva analizada.

Cálculo de solera de fundación

REF. HORIZONTAL
 $\varnothing \frac{1}{4}" \approx 0.40$

N.P.T.

0.15

0.25

0.80

0.20

0.45

$\varnothing \frac{3}{8}"$
 $\varnothing \frac{1}{4}" \approx 0.15$

SUELO CEMENTIC

MÍNIMO 20 CM.

0.30

— LA ALTURA DE COMPACTACION PODRÁ INCREMENTARSE DE ACUERDO A LA RESISTENCIA DEL SUELO.

SF-1
SIN ESCALA

Fuente. Elaboración de HPH ES.

4. **Determinación de la longitud de los ejes con solera de fundación.** Se contabilizó un total de 48.84 m para toda la obra, como se muestra en la tabla 5. Asimismo, se calculó el volumen de concreto para 1 m³. Estos datos serán utilizados en el cálculo posterior de CO₂.

Tabla 30. Metros lineales de solera de fundación.

Fuente. Elaboración Propia.

CANTIDAD DE OBRA		
EJE A	8.82	m
EJE B	4.50	m
EJE C	6.66	m
EJE D	7.26	m
EJE 1	5.30	m
EJE 2	5.00	m
EJE 3	5.00	m
EJE 4	1.30	m
EJE 6	3.70	m
EJE 7	1.30	m
Total	48.84	m

Tabla 31. Cálculo de volumen de solera de fundación.

Fuente. Elaboración Propia.

VOLUMEN DE CONCRETO (m ³)			
LARGO	ALTO	ANCHO	VOLUMEN
m	m	m	m ³
1.0	0.2	0.3	0.06

5. **Datos de DAP.** Durante el proceso de investigación, se recopilaron datos de las Declaraciones Ambientales de Producto (DAP) para los materiales utilizados en esta partida de solera de fundación. Estos DAP, de origen europeo, deben especificar las etapas del ciclo de vida que se están considerando.

Tabla 32. Datos de DAP de acero corrugado

Fuente. https://www.aenor.com/Producto_DAP_pdf/GlobalEPD_001_002_r2_ESP.pdf

FASES A1-A3		BARRA CORRUGADA
		POR 1000 KG
GWP Potencial de calentamiento global	[kg CO2 eq]	533.04
A1 Producción de materias primas	148.08	
A2 A2 Transporte	44.27	
A3 (acería)	218.01	
A3 (laminación)	122.68	
A4 Transporte al lugar de utilización		

1Kg	0.533
-----	-------

Unidad funcional o declarada del acero corrugado

Para la producción de las barras corrugadas de acero, la unidad declarada es la producción de **1000 kg (1 tonelada)** de producto.

Tabla 33. Datos de DAP de concreto.

Fuente. https://www.aenor.com/Producto_DAP_pdf/ANEFHOP.pdf

FASES A1-A4		CONCRETO
		POR M3
GWP Potencial de calentamiento global	[kg CO2 eq]	224.00
A1 extracción y adquisición de constituyentes	214.00	
A2 transporte de constituyentes	7.22	
A3 producción	261.00	
A4 transporte		

Unidad funcional o declarada del concreto

La unidad declarada es 1 m³ de concreto preparado.

Tomando la densidad como 2.300 kg/m³

1 m³ de concreto pesa = 2.300 kg

1Kg de Concreto emite 238,13 / 2.300 = **0,10 kg CO₂ eq**

6. **Sumatoria de emisiones.** Una vez obtenidos los datos de emisión de CO₂ de cada material, se realiza la sumatoria de todos los materiales para obtener el total de emisiones de la solera.

Tabla 34. Cálculo de peso en kilogramos de acero de solera de fundación.

Fuente. Elaboración Propia.

CUANTIFICACIÓN DE CO2 DE MATERIALES					
Barras de acero corrugado por metro lineal					
Materiales	Unidad	Kg Co2	Longitud	Total Kg	TOTAL Kg
1 barra del 3/8" (#3)	peso/ml:	0.56	1	2.24	3.472
Estribos del 1/4" (#2)	peso/ml:	0.22	5.6	1.232	

Tabla 35. Cálculo de KCO₂ de solera de fundación.

Fuente. Elaboración Propia.

SOLERA DE FUNDACIÓN											
MATERIALES	DIMENSIONES (m)			Densidad	CUANTIFICACIÓN		TOTAL OBRA	Unidad funcional	PARCIAL	TOTAL (1 ml DE FUNDACIÓN)	TOTAL
	Ancho	Largo	Profundidad		m³	Kg			KCO ₂	KCO ₂	KCO ₂
	0.3	1.0	0.2								
CONCRETO (25MPA)				2300	0.06	138	ml	1 kg	0.100	13.80	673.99
ACERO CORRUGADO						3.472	48.84	1 kg	0.533	1.85	90.38
									TOTAL SOLERA	15.65	764.37

La tabla presentada cuantifica la cantidad de CO₂ emitido por los materiales utilizados en la construcción de una solera de fundación, considerando dos insumos principales: concreto (25 MPa) y acero corrugado.

1. Dimensiones y Cantidades de Materiales.

- La solera tiene un ancho de **0.3 m**, un largo de **1.0 m** y una profundidad de **0.2 m**, lo que permite calcular el volumen total de concreto requerido.
- La densidad del concreto se considera **2300 kg/m³**, y con base en esto, la cantidad utilizada es de **138 kg**.
- La cantidad de acero corrugado requerida es de **3.472 kg**.

2. Emisiones de CO₂ por Material.

Concreto (25 MPa):

- La cantidad de CO₂ generado por cada kg de concreto es **0.10 kgCO₂**.
- Para la cantidad utilizada en la solera, el total de emisiones es de **13.80 kgCO₂**.
- Considerando la totalidad de la fundación (48.84 ml de solera), las emisiones ascienden a **673.99 kgCO₂**.

Acero Corrugado:

- La emisión específica del acero corrugado es de **0.533 kgCO₂/kg**.
- Para los 3.472 kg utilizados, la emisión es de **1.85 kgCO₂**.
- Para toda la fundación, se generan **90.38 kgCO₂**.

3. Total de Emisiones de CO₂ en la Solera de Fundación.

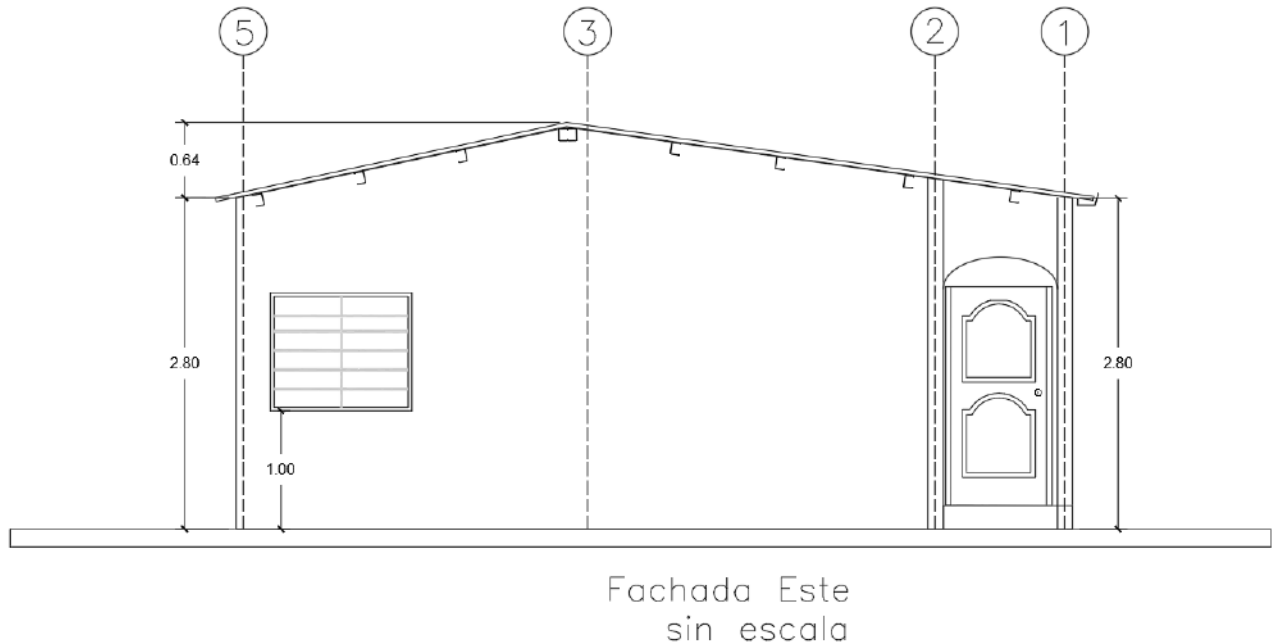
- Sumando ambos materiales, el total de CO₂ emitido en la construcción de la solera de 1 metro lineal es de **15.65 kgCO₂**.
- Para la totalidad de la fundación, la emisión asciende a **764.37 kgCO₂**.

4. Interpretación y Consideraciones Ambientales

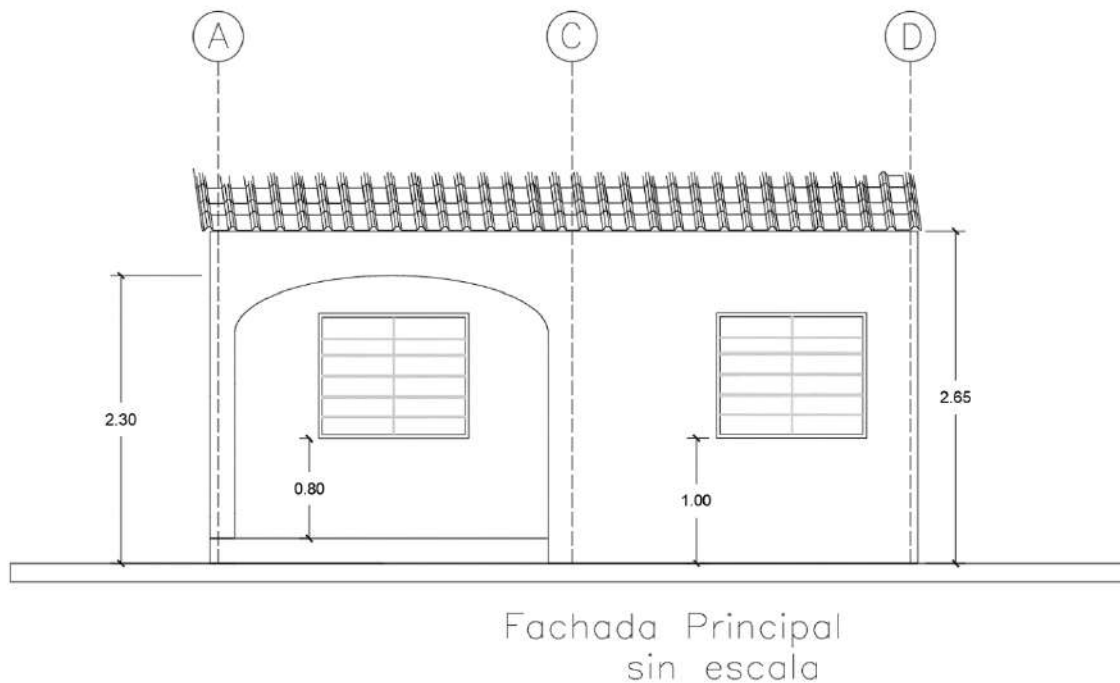
- Se observa que el concreto es el material con mayor impacto en la emisión de CO₂, representando aproximadamente **88.5% del total**, debido a su gran cantidad utilizada.
- El acero corrugado, aunque en menor proporción, tiene un **factor de emisión más alto (0.533 kgCO₂/kg frente a 0.10 kgCO₂/kg del concreto)**, lo que indica que su producción genera un impacto significativo.
- Para reducir el impacto ambiental de la construcción de la solera de fundación, se podrían considerar opciones como el **uso de concretos con materiales reciclados**, optimización en el uso de acero, o tecnologías de producción más sostenibles.

Cálculo de pared de bloque de concreto

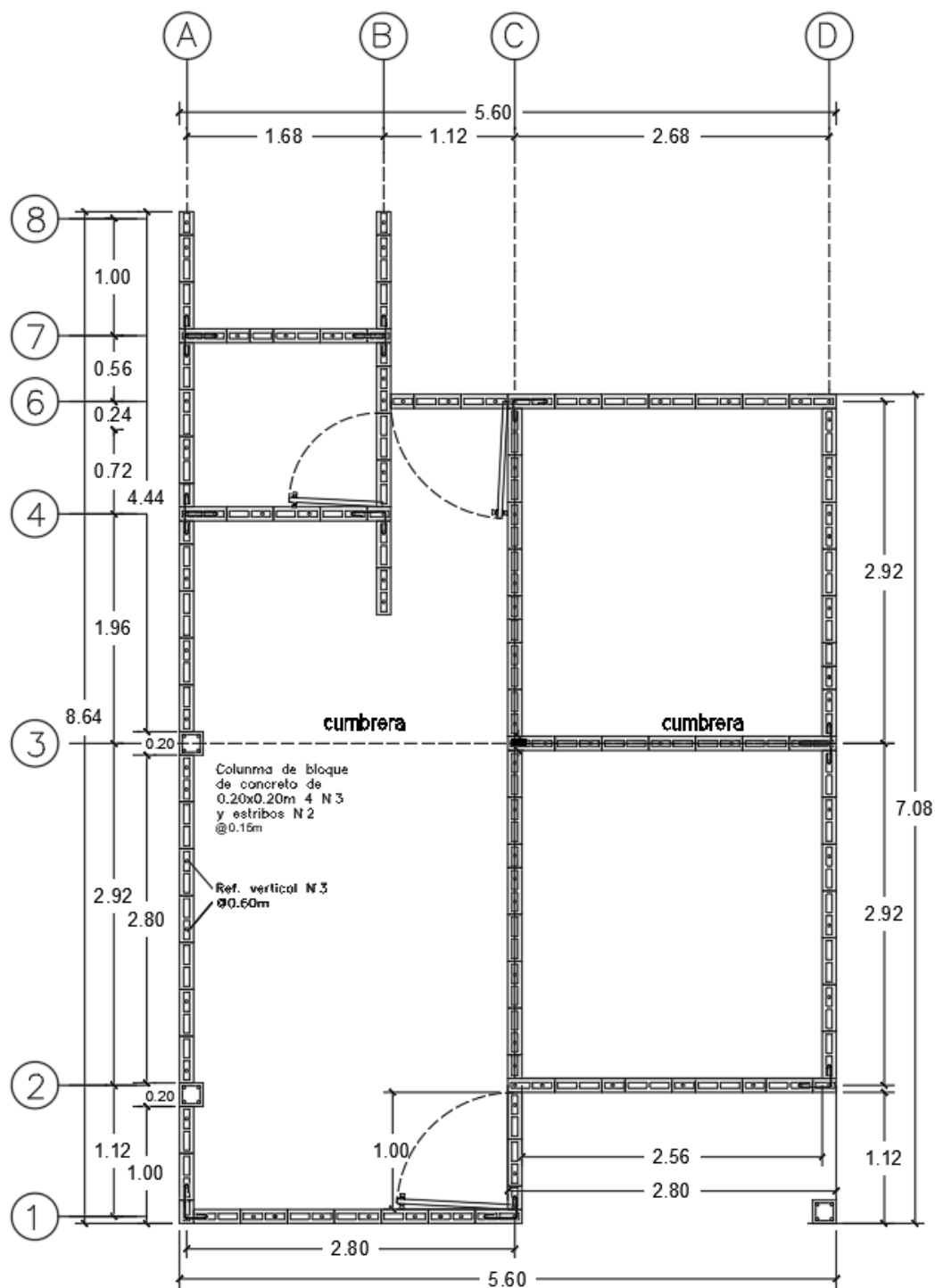
4. **Identificación del detalle a utilizar en la cuantificación.** En este cálculo, se cuantificará la cantidad de pared de bloque de concreto, incluyendo el mortero de pegado y el relleno de bastones. Además, se considerará el refuerzo de acero transversal (bastones) y longitudinal como componentes principales en la cuantificación del CO₂.



Plano 9. Fachada Este
Fuente. Elaboración de HPH ES.



Plano 10. Plano de modulación.
Fuente. Elaboración de HPH ES.



Planta Modulada, Modelo A2
sin escala

Plano 8. Plano de modulación.

Fuente. Elaboración de HPH ES.

5. **Determinación de la cantidad de m2 de pared.** En este cálculo, se determinará la cantidad de metros cuadrados de pared. Se ha contabilizado un total de 112 m² para toda la obra, según se muestra en la tabla 10. Estos datos serán empleados en el cálculo posterior de CO₂.

Tabla 36. Cálculo de metros cuadrados de pared.

Fuente. Elaboración Propia.

EJE	LARGO	H menor	H mayor	AREA PARED	Puerta	Ventana	Área Final
	m	m	m	m ²	m ²	m ²	
EJE A 1	4.1	3.0	3.6	13.5			13.5
EJE A 2	4.5	3.2	3.6	15.3			15.3
EJE B 2	3.4	3.2	3.4	11.2	1.7		9.5
EJE C 1	3.9	3.0	3.6	12.9	2.1	2.1	8.7
EJE C 2	2.8	3.2	3.6	9.5	2.1		7.4
EJE D 1	2.8	3.2	3.6	9.5		1.0	8.5
EJE D 2	2.8	3.2	3.6	9.5			9.5
						TOTAL	72.6

EJE	LARGO	ALTO	AREA PARED	Puerta	Ventana	Área Final
	m	m	m ²	m ²	m ²	
EJE 1	2.68	3.00	8.04		1.2	6.8
EJE 2	2.56	3.20	8.19		1.0	7.2
EJE 3	2.56	3.60	9.22			9.2
EJE 4	1.56	3.40	5.30			5.3
EJE 6	2.56	3.20	8.19	2.1		6.1
EJE 7	1.56	3.20	4.99		0.24	4.8
					TOTAL	39.4
						Total pared m2 112.0

6. **Datos de DAP.** Durante el proceso de investigación, se recopilaron datos de las Declaraciones Ambientales de Producto (DAP) para los materiales utilizados en esta partida de paredes de bloque de concreto. Estos DAP, de origen europeo, se especifica las etapas del ciclo de vida que se están considerando.

Tabla 37. Datos de DAP de bloque de concreto

Fuente. www.icontec.org/wp-content/uploads/2024/08/dap-cer-2024-78561-bloque-prefabricado-en-concreto-indural.pdf

Bloques 0.12			
8.41E-02	8.41x10-2	0.0841	CO2eq/kg

Tabla 38. Datos de DAP de acero corrugado

Fuente. https://www.aenor.com/Producto_DAP_pdf/GlobalE_PD_001_002_r2_ESP.pdf

FASES A1-A3		BARRA CORRUGADA
		POR 1000 KG
GWP Potencial de calentamiento global	[kg CO2 eq]	533.04
A1 Producción de materias primas	148.08	
A2 A2 Transporte	44.27	
A3 (acería)	218.01	
A3 (laminación)	122.68	
A4 Transporte al lugar de utilización		

1Kg	0.533
-----	-------

Unidad funcional o declarada del acero corrugado

Para la producción de las barras corrugadas de acero, la unidad declarada es la producción de **1000 kg (1 tonelada)** de producto.

Tabla 39. Datos de DAP de acero corrugado.

Fuente. https://www.aenor.com/Producto_DAP_pdf/ANEFHOP.pdf

FASES A1-A4		CONCRETO
		POR M3
GWP Potencial de calentamiento global	[kg CO2 eq]	224.00
A1 extracción y adquisición de constituyentes	214.00	
A2 transporte de constituyentes	7.22	
A3 producción	261.00	
A4 transporte		

Unidad funcional o declarada del concreto

La unidad declarada es 1 m³ de concreto preparado.

Tomando la densidad como 2.300 kg/m³

1 m³ de concreto pesa = 2.300 kg

1Kg de Concreto emite 224,00 / 2.300 = **0,10 kg CO₂ eq**

- Sumatoria de emisiones.** Una vez obtenidos los datos de emisión de CO₂ de cada material, se realiza la sumatoria de todos los materiales para obtener el total de emisiones de la pared de bloque de concreto.

Tabla 40. Cálculo de KCO₂ de bloque de concreto.

Fuente. Elaboración Propia.

Peso de bloques			
1	bloques	12.3	kg
12.5	bloques	153.75	kg
Emisión CO2			
1	kg bloque	0.0841	kgCO ₂ eq
153.75	kg bloque	12.93	kgCO₂eq/m²
Emisión Total			
1	m ²	12.93	kgCO ₂ eq/m ²
112	m ²	1448.202	kgCO₂eq/m²

Tabla 41. Cálculo de peso en kilogramos de acero de para refuerzo pared.

Fuente. Elaboración Propia.

CUANTIFICACIÓN DE CO2 DE MATERIALES					
Barras de acero corrugado por metro lineal					
Materiales			Longitud	Total Kg	TOTAL Kg
Barra del # 3 Baston @0.6	peso/ml:	0.56	1	1.12	1.87
Refuerzo del #2 @0.4	peso/ml:	0.25	1	0.75	

Tabla 42. Cálculo de mezcla de mortero para m².

Fuente. Elaboración Propia.

Mortero 1:6		
Bloques m ²	Vol. mortero	Vol. total mortero
12.5	0.000496	0.0062
Llenado de celdas		
Bastones m ²	Vol. Mortero	Vol. total mortero
2	0.0112	0.018704

Unidad funcional o declarada del bloque.

La unidad declarada es **1kg de bloques prefabricados** en concreto.

Tabla 43. Cálculo de KCO₂ de pared bloque 12.

Fuente. Elaboración Propia.

PARED DE BLOQUE 12									
MATERIALES		Densidad	CUANTIFICACIÓN		TOTAL OBRA	Unidad Funcional	PARCIAL	TOTAL	TOTAL
			m³	Kg				(1 ml DE PARED)	
					ml		KCO₂	KCO₂	KCO₂
Mortero Pegado	CONCRETO (25MPA)	1125	0.0062	6.98	34.68	1 kg	0.100	0.70	24.19
Mortero Llenado	CONCRETO (25MPA)	1125	0.018704	21.04		1 kg	0.100	2.10	72.97
Longitudinal y transversal	ACERO CORRUGADO			1.87		1 kg	0.533	1.00	34.57
Bloque de concreto	Bloques 12*20*40					1 kg		12.93	1448.20
							TOTAL PARED	16.73	1579.93

Análisis de la Producción de CO₂ en la Construcción de Paredes de Bloque de Concreto (12 cm de Espesor).

La tabla presentada muestra la cuantificación de las emisiones de CO₂ generadas por los materiales utilizados en la construcción de una pared de bloque de concreto de 12 cm de espesor, considerando insumos clave como el mortero de pegado, mortero de llenado, acero corrugado y bloques de concreto.

1. Cuantificación de Materiales Utilizados

Se analizaron los siguientes materiales con sus respectivas cantidades:

- Mortero de Pegado:
- Compuesto por **concreto de 25 MPa** con una densidad de **1125 kg/m³**.
- Se utilizaron **6.98 kg** de mortero por metro lineal de pared.
- Mortero de Llenado:
- También conformado por **concreto de 25 MPa** con la misma densidad.
- Se cuantificaron **21.04 kg** por metro lineal de pared.
- Refuerzo con Acero Corrugado:
- Se utilizó un total de **1.87 kg** de acero por metro lineal.
- Bloques de Concreto:
- Se emplearon bloques de dimensiones **12x20x40 cm** en la construcción de la pared.

2. Emisiones de CO₂ por Material

El análisis de emisiones de dióxido de carbono indica lo siguiente:

- Mortero de Pegado:
- Factor de emisión de **0.100 kgCO₂/kg**.
- Emisión total de 0.70 kgCO₂ por metro lineal.
- Para la totalidad de la obra (**34.68 ml de pared**), se generaron **24.19 kgCO₂**.
- Mortero de Llenado:
- Factor de emisión de **0.100 kgCO₂/kg**.
- Emisión total de 2.10 kgCO₂ por metro lineal.
- Para la obra completa, se generaron **72.97 kgCO₂**.
- Acero Corrugado:
- Factor de emisión de **0.533 kgCO₂/kg**.
- Emisión total de 1.00 kgCO₂ por metro lineal.
- Para la totalidad de la obra, la emisión fue de **34.57 kgCO₂**.
- Bloques de Concreto:
- Este material representa la mayor fuente de emisiones, con **12.93 kgCO₂ por metro lineal**.
- Para la obra completa, se generaron **1448.20 kgCO₂**.

3. Total de Emisiones de CO₂ en la Pared de Bloque

Sumando todos los materiales, se obtiene:

- Emisión total por metro lineal de pared: 16.72 kgCO₂.
- Emisión total en toda la obra: 1579.62 kgCO₂.

4. Análisis del Impacto Ambiental y Consideraciones

- Los bloques de concreto son los principales responsables de las emisiones de CO₂, representando aproximadamente 91.7% del total.
- El acero corrugado, aunque en menor cantidad, tiene un **alto factor de emisión (0.533 kgCO₂/kg)**, lo que resalta la importancia de optimizar su uso.
- El uso de concretos con menor impacto ambiental, así como la incorporación de bloques fabricados con agregados reciclados o técnicas más eficientes, podría reducir significativamente las emisiones.
- Se pueden explorar alternativas como bloques de tierra comprimida o prefabricados con menor contenido de cemento, para reducir la huella de carbono de la construcción.

Techo de chapa metálica

1. **Identificación del detalle a utilizar en la cuantificación.** En este cálculo, se medirá la cantidad de techo de chapa metálica, incluyendo los polines.
2. **Medición de la superficie del techo.** Para este cálculo, se evaluará la cantidad de metros cuadrados del techo. Se ha registrado un total de 53.32 m² para toda la obra. Estos datos se utilizarán en el cálculo posterior de CO₂.

Tabla 44. Cantidad de materiales.

Fuente. Elaboración Propia.

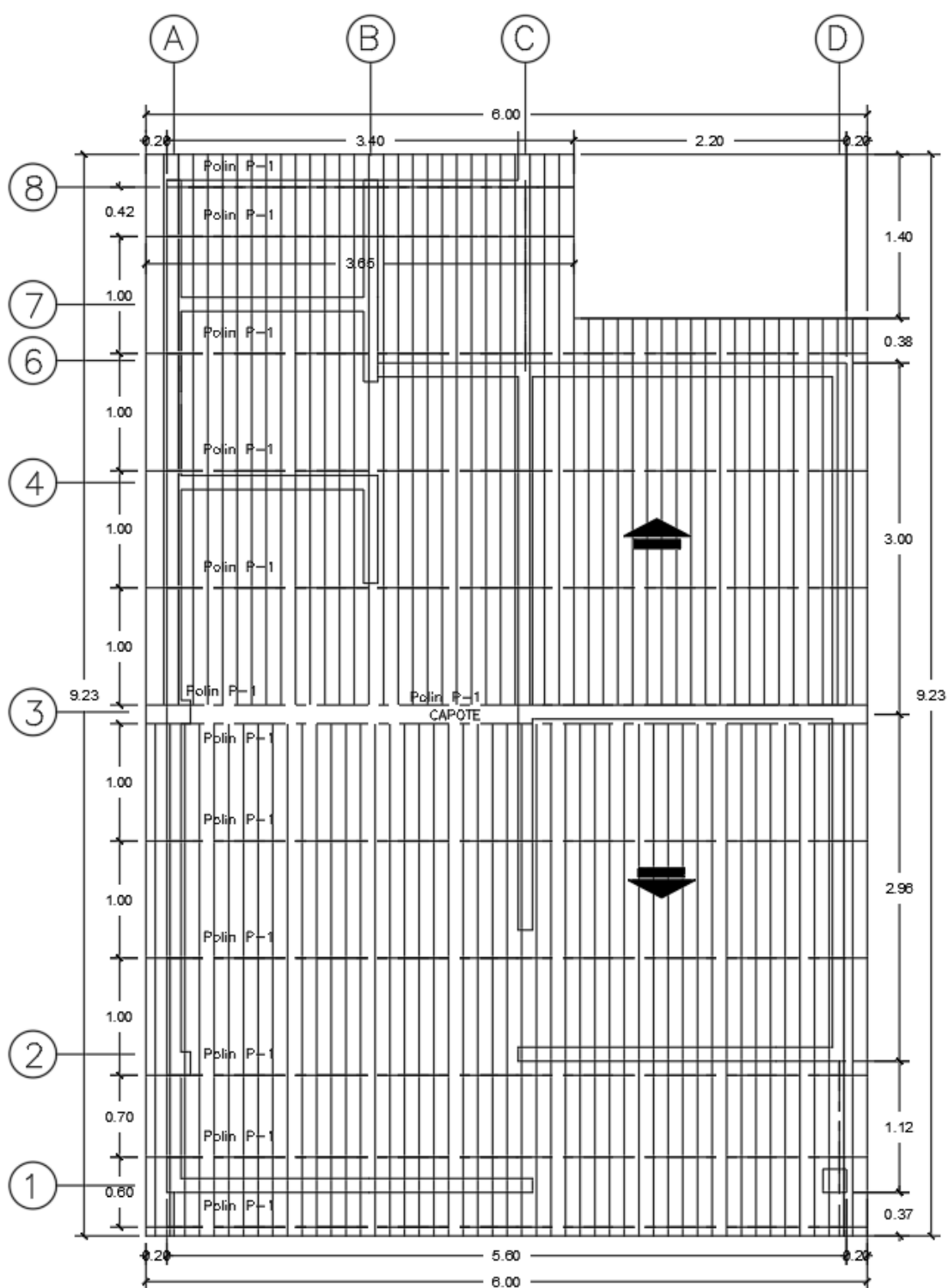
Materiales de Techo	
Área de Cubierta de Chapa Galvanizada	52.83 m ²
Polines galvanizados	68.90 m

3. **Datos de DAP.** Durante el proceso de investigación, se recopilaron datos de las Declaraciones Ambientales de Producto (DAP) para los materiales utilizados en esta partida de techos de chapa metálica.

Tabla 45. Datos de DAP de Cubierta y polín C.

Fuente. <https://metalco.net/wp-content/uploads/2022/09/DAP-Perfil-C-Z-Galvanizado-080922-2.pdf> / <https://metabase.itec.cat/vid/e/es/bedec/itec/section/2500783%7C2501283>

Datos DAP Materiales		
Cubierta de Perfil nervado de chapa de acero galvanizado	18.3197	kgCo2/m ²
Polín C galvanizado	12.62	KgCo2/m



Planta de Techo, Modelo A2
sin escala

Plano 11. Plano de techo.
Fuente. Elaboración de HPH ES.

4. **Sumatoria de emisiones:** Una vez obtenidos los datos de emisión de CO₂ de cada material, se realiza la sumatoria de todos los materiales para obtener el total de emisiones de la cubierta de techo de chapa galvanizada.

Tabla 46. Cálculo de CO₂ Cubierta de chapa galvanizada.

Fuente. Elaboración Propia.

Perfil nervado de chapa de acero galvanizado			
1.00	m ²	18.3197	kgCO ₂ /m ²
52.83	m ²	967.830	kgCO₂/m²

Tabla 47. Cálculo de CO₂ polín C galvanizado.

Fuente. Elaboración Propia.

Polín C galvanizado			
1.00	m	37.07	kgCO ₂ /m
68.90	m	2554.12	kgCO₂/m

Tabla 48. Cálculo de KCO₂ de Chapa galvanizada.

Fuente. Elaboración Propia.

CUBIERTA DE PERFIL NERVADO DE CHAPA DE ACERO GALVANIZADO		
Chapa de acero galvanizado	967.83	kgCO ₂ /m ²
Polín C	2554.12	kgCO ₂ /m
Total de CO₂	3521.95	kgCO₂/m

Análisis de la Huella de Carbono en la Cubierta de Perfil Nervado de Chapa de Acero Galvanizado.

En la presente investigación se ha cuantificado la cantidad de CO₂ emitido en la fabricación de los materiales empleados en la construcción de una cubierta de perfil nervado de chapa de acero galvanizado. Los resultados muestran la contribución de cada material a la huella de carbono total de este sistema constructivo.

1. **Chapa de acero galvanizado.** Se ha determinado que la emisión asociada a este material es de 967.83 kgCO₂/m², lo que indica una considerable carga ambiental debido a los procesos industriales implicados en la producción y galvanización del acero.
2. **Polín C.** Este elemento estructural genera una emisión significativamente más alta, alcanzando 2554.12 kgCO₂/m, lo que sugiere que su fabricación y transporte pueden representar un mayor impacto ambiental que la chapa de acero galvanizado.
3. **Total de CO₂.** Al sumar ambos materiales, se obtiene un total de 3521.95 kgCO₂/m, lo que refleja el impacto ambiental de la estructura completa de la cubierta.

Interpretación de los datos

- La diferencia en las unidades de medida (kgCO_2/m^2 para la chapa y kgCO_2/m para el polín) indica que se deben considerar las dimensiones específicas de cada material para obtener un análisis más detallado de su impacto en función del área cubierta.
- La elevada huella de carbono del polín C podría estar relacionada con el uso de acero estructural, que requiere procesos de laminación en caliente y galvanización.
- La comparación de estos valores con alternativas constructivas más sostenibles permitiría evaluar opciones que reduzcan el impacto ambiental de la edificación, como el uso de materiales reciclados o sistemas de techado con menor requerimiento de acero.

Resultados de Emisiones Vivienda de Bloque de Concreto

En esta sección se presentan los resultados obtenidos del análisis de las emisiones de CO_2 asociadas con la construcción de una vivienda utilizando bloques de concreto. A través de una evaluación detallada de cada etapa del proceso constructivo, se ha cuantificado el impacto ambiental de cada material, considerando la producción de los materiales (Ciclo A1-A3), que incluyen la extracción de materias primas, transporte a fábrica y fabricación de este. Los datos recopilados permiten identificar las principales fuentes de emisiones, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones orientadas a reducir la huella de carbono en el sector de la construcción.

Tabla 49. Total de CO_2eq emitido por la vivienda de bloque de concreto ligero.

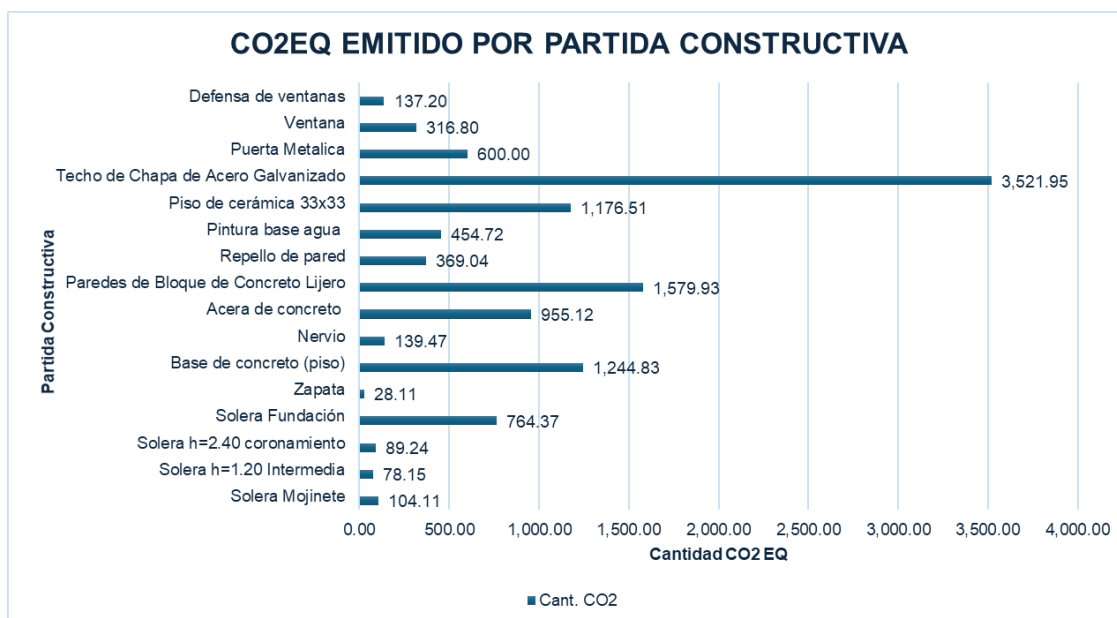
Fuente. Elaboración Propia

CO2EQ EMITIDO POR VIVIENDA DE BLOQUE DE CONCRETO LIGERO				
Item	Partida Constructiva	Unidad	Cant. CO2	
1	Solera Mojinete	ml	104.11	Kg CO2 eq
2	Solera h=1.20 Intermedia	ml	78.15	Kg CO2 eq
3	Solera h=2.40 coronamiento	ml	89.24	Kg CO2 eq
4	Solera Fundación	ml	764.37	Kg CO2 eq
5	Zapata	m^3	28.11	Kg CO2 eq
6	Base de concreto (piso)	m^3	1,244.83	Kg CO2 eq
7	Nervio	ml	139.47	Kg CO2 eq
8	Acera de concreto	m^3	955.12	Kg CO2 eq
9	Paredes de Bloque de Concreto Lijero	m^2	1,579.93	Kg CO2 eq
10	Repello de pared	m^3	369.04	Kg CO2 eq
11	Pintura base agua	m^2	454.72	Kg CO2 eq
12	Piso de cerámica 33x33	m^2	1,176.51	Kg CO2 eq
13	Techo de Chapa de Acero Galvanizado	m^2	3,521.95	Kg CO2 eq
14	Puerta Metalica	U	600.00	Kg CO2 eq
15	Ventana	m^2	316.80	Kg CO2 eq
16	Defensa de ventanas	m^2	137.20	Kg CO2 eq
		Total	11,559.57	Kg CO2 eq

Tabla 50. Cantidad de CO_2eq por metro cuadrado en vivienda de bloque de concreto ligero.

Fuente. Elaboración Propia.

Cantidad de CO2 por m^2 de la vivienda		
Área de vivienda	42.45	m^2
Total de Kg Co2 eq	11,559.57	Kg CO2 eq
Unidad	272	KgCO2eq/m^2



Grafica 2. Cantidad de CO2eq por partida constructiva.

Fuente. Elaboración Propia.

Análisis de la Huella de Carbono en una Vivienda de Bloque de Concreto Ligero

Se ha cuantificado la cantidad de CO₂ equivalente (CO₂eq) emitido en la producción de los materiales utilizados en la construcción de una vivienda de bloque de concreto ligero. Los datos reflejan el impacto ambiental de cada partida constructiva y permiten identificar los elementos con mayor contribución a la huella de carbono total.

Principales Contribuyentes a la Emisión de CO₂

1. Paredes de Bloque de Concreto Ligero (1579.93 kg CO₂eq).
 - Representan una de las partidas con mayor impacto debido a la gran cantidad de material requerido para la construcción de los muros estructurales.
 - El concreto, aunque es un material durable, tiene una huella de carbono considerable debido a la producción de cemento.
2. Techo de Chapa de Acero Galvanizado (3521.95 kg CO₂ eq).
 - Es la partida constructiva con la mayor emisión de CO₂, lo que se explica por el uso de acero galvanizado, un material que requiere procesos intensivos en energía y recursos.
 - La posibilidad de reducir su impacto podría explorarse con materiales alternativos o con acero reciclado.
3. Base de Concreto (piso) (1244.83 kg CO₂ eq).
 - Al ser un elemento fundamental para la estabilidad de la estructura, su impacto es considerable.
 - El concreto sigue siendo un material de alto consumo energético en su producción, lo que contribuye significativamente a la huella de carbono.
4. Piso de Cerámica 33x33 (1176.51 kg CO₂ eq).

- Su impacto es notable, lo que puede estar relacionado con los procesos industriales de fabricación de la cerámica y el consumo de energía en su cocción.
5. Acera de Concreto (955.12 kg CO₂ eq).
- Similar a la base del piso, su impacto proviene del uso del concreto.

Partidas con Impacto Moderado o Bajo.

1. **Soleras y Zapatas:** Aunque son elementos estructurales esenciales, su impacto es menor en comparación con los muros y la cubierta.
2. **Pintura base agua (454.72 kg CO₂ eq):** Aunque tiene un impacto medio, la elección de pinturas ecológicas podría reducirlo.
3. **Ventanas y Puertas Metálicas:** Tienen una huella de carbono considerable debido a la producción del metal, aunque en menor medida en comparación con otros elementos estructurales.

Total de CO₂ Emitido y Relación con el Área Construida.

El total de emisiones de CO₂ de la vivienda es de **11,559.57 kg CO₂ eq**, con una huella de carbono específica de **272 kg CO₂/m²**. Este valor proporciona un parámetro de referencia para comparar con otras edificaciones y evaluar estrategias de reducción de impacto ambiental.

7.6 COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE LOS DOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

En este estudio se llevó a cabo un análisis comparativo entre los dos tipos de viviendas construidas con ladrillo de arcilla sólido y bloque de concreto ligero. Tras completar los cálculos necesarios, se evaluaron los efectos de estos materiales en las construcciones. Aunque las viviendas no poseen los mismos elementos constructivos en su totalidad, se realizó una revisión detallada de componentes esenciales como paredes, techos, pisos, entre otros. Esta revisión permitió identificar cómo cada material influye en la emisión de CO₂, observando que ciertos materiales generan mayores o menores cantidades de este gas en comparación con otros. A continuación, se presenta una tabla con los datos obtenidos sobre la producción de CO₂ en cada tipo de vivienda.

Tabla 51. Comparación de cantidad de CO₂ eq por metro cuadrado.

Fuente. Elaboración Propia.

CALCULOS CO2 POR M2		
PARTIDA CONSTRUCTIVA	C. CONCRETO	C. LADRILLO
TECHOS	82.97	46.08
PAREDES	37.22	25.05
PISO	27.72	26.19
REPELO	8.69	1.08
SOLERA DE FUNDACION	18.11	27.67
REFUERZOS DE CONCRETO	10.34	18.27
BASE PISO CONCRETO	29.31	33.40
ACERA CONCRETO	22.50	-
VENTANAS	7.46	-
PINTURA	10.71	-
PUERTAS	14.13	2.11
DEFENSAS VENTANAS	3.23	-
MADERA		1.01
Cantidad de CO2 por m² de la vivienda	272.39	180.85

La tabla presentada muestra el cálculo de emisiones de CO₂ por metro cuadrado en dos viviendas de interés social construidas con diferentes sistemas constructivos: concreto y ladrillo. A partir de los datos obtenidos, se pueden analizar las diferencias en impacto ambiental entre ambas tipologías constructivas.

Comparación General de Emisiones

Se observa que la vivienda construida con concreto genera una mayor cantidad de emisiones de CO₂ por metro cuadrado (272.39 kg de CO₂/m²) en comparación con la vivienda construida con ladrillo (180.85kg de CO₂/m²). Esto sugiere que el sistema de construcción con concreto tiene un mayor impacto ambiental en términos de emisiones de carbono.

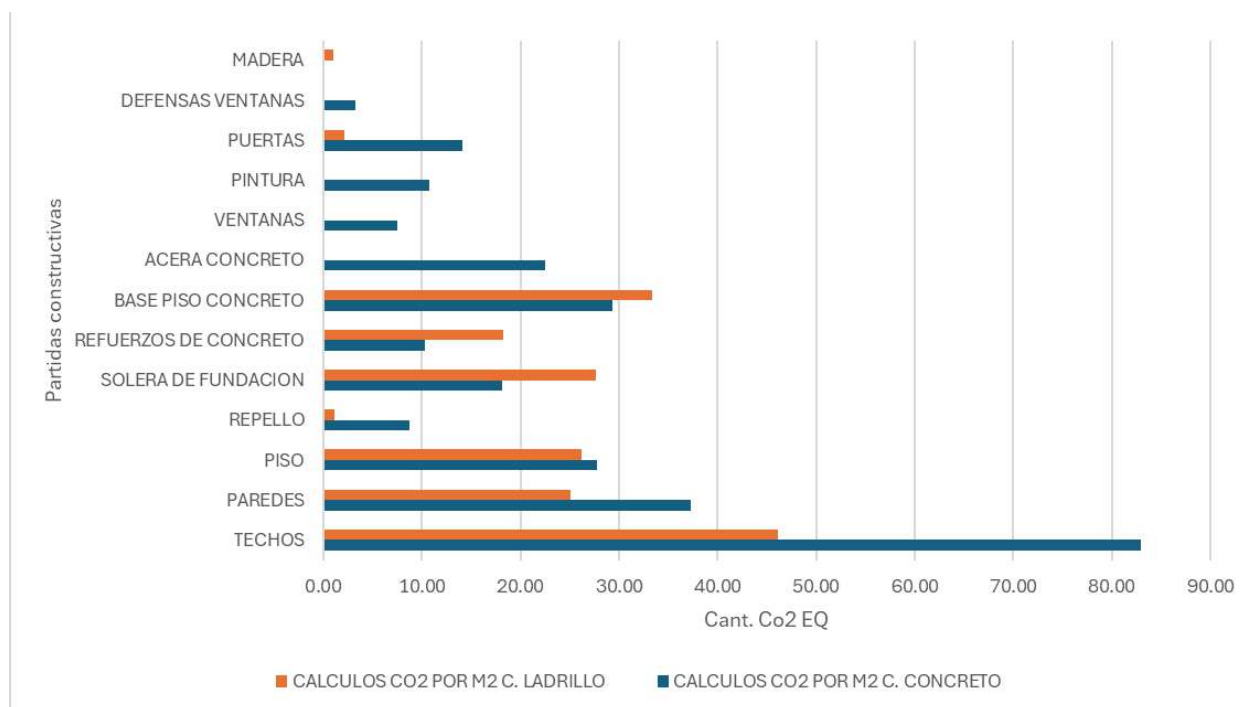
Comparación de Paredes, Techo y Piso

1. **Techo.** La vivienda de concreto genera 82.97 kg CO₂/m², mientras que la de ladrillo produce 46.08 kg CO₂/m². El techo representa aproximadamente el **30.46%** de las emisiones de CO₂ en la vivienda de concreto, mientras que en la vivienda de ladrillo su contribución es del **25.48%**.
2. **Paredes.** Las emisiones para paredes en la vivienda de concreto son de 37.22 kg CO₂/m², mientras que en la de ladrillo es de 25.05 kg CO₂/m², representan el **59.76%** de las emisiones de CO₂ en comparación con el **40.24%** de las paredes de ladrillo, lo que indica que las paredes de concreto generan una mayor cantidad de emisiones en la construcción de viviendas.
3. **Piso.** En este rubro, la diferencia es menor, con 27.72 kg CO₂/m² para la vivienda de concreto y 26.19 kg CO₂/m² para la de ladrillo, emiten aproximadamente el **51.42%** del CO₂ total generado por los pisos, mientras que los pisos de las casas de ladrillo emiten el **48.58%**.

Análisis por Partida Constructiva

1. **Repello.** La vivienda de concreto emite **8.69 kgCO₂/m²**, mientras que la de ladrillo solo **1.08 kgCO₂/m²**. Esto indica que el repello en la vivienda de concreto genera aproximadamente **8 veces más** emisiones en comparación con la vivienda de ladrillo. La diferencia se debe a la cantidad de área a repellar que es mayor en la vivienda de concreto.
2. **Solera de Fundación.** En la vivienda de concreto, la solera de fundación emite **18.11 kgCO₂/m²**, mientras que en la de ladrillo alcanza los **27.67 kgCO₂/m²**. En este caso, la vivienda de ladrillo genera **52.8% más CO₂** que la de concreto, debido a la dimensión de la solera en la vivienda de ladrillo ya que es mayor que la de concreto, esto hace que se utilice más materiales.
3. **Refuerzos de Concreto.** La vivienda de concreto emite **10.34 kgCO₂/m²**, mientras que la de ladrillo emite **18.27 kgCO₂/m²**. Esto representa un **76.7% más** de emisiones en la vivienda de ladrillo, lo cual se debe a una mayor cantidad de acero en su estructura.
4. **Base de Piso.** La base de piso en la vivienda de concreto genera **29.31 kgCO₂/m²**, mientras que en la de ladrillo 33.40 kgCO₂/m². La diferencia es menor, pero la vivienda de ladrillo sigue generando **13.9% más CO₂** en esta partida. Esto debido a una mayor altura en la base del piso en la vivienda de ladrillo y esto genera mayor volumen de concreto.
5. **Elementos No Presentes en Ambas Viviendas.** Algunas partidas como acera de concreto, ventanas, pintura, puertas y defensas de ventanas sólo están presentes en la vivienda de concreto, lo que aumenta su emisión total de CO₂.

6. **Madera:** La vivienda de ladrillo incluye un componente de madera con una emisión de **1.01 kg CO₂/m²**, lo que no se observa en la vivienda de concreto.



Grafica 3. Relación de Cantidad de CO₂ eq por partida constructiva.

Fuente. Elaboración Propia

El gráfico compara las emisiones de CO₂ por metro cuadrado en dos tipos de construcciones: una con ladrillo macizo de barro y otra con bloque de concreto ligero.

Se observa que los elementos con mayor impacto ambiental en términos de emisiones de CO₂ son los techos y las paredes, con valores significativamente más altos en la edificación de concreto. Asimismo, componentes como la base de piso y los refuerzos de concreto también presentan un mayor impacto en esta construcción.

Por otro lado, materiales como la madera y el repello muestran menores emisiones en ambos sistemas. Esta diferencia en la generación de CO₂ sugiere que el concreto, aunque ampliamente utilizado por su durabilidad y resistencia, tiene un mayor costo ambiental en comparación con el ladrillo. Para reducir el impacto ambiental en la construcción, es crucial optar por materiales más sostenibles, emplear técnicas de construcción eficiente y considerar estrategias como el uso de materiales reciclados o de menor huella de carbono. De esta manera, se puede contribuir a una edificación más ecológica y con menor impacto en el cambio climático.

8 CONCLUSIONES

1. La construcción de viviendas con bloque de concreto genera una mayor cantidad de emisiones de CO₂ en comparación con el sistema de ladrillo macizo, debido al alto consumo energético en la producción del cemento, principal componente del concreto. La producción de CO₂ en la casa de concreto es 50.66% superior a la de ladrillo, lo que sugiere que el uso de ladrillo podría ser una alternativa más sostenible en términos de emisiones de carbono. El sistema de ladrillo macizo presenta una menor huella de carbono en su ciclo de vida, ya que su fabricación requiere menos energía incorporada en comparación con el bloque de concreto.
2. Los resultados del análisis de emisiones indican que la elección de materiales tiene un impacto significativo en la sostenibilidad ambiental de la construcción, lo que resalta la importancia de implementar criterios de eficiencia energética y reducción de CO₂ en la selección de insumos.
3. La aplicación del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) permitió identificar las etapas críticas en la generación de emisiones, destacando la fase de producción de materiales como la más contaminante.
4. Los resultados obtenidos sobre la producción total de CO₂ en ambas casas analizadas no incluyen la emisión generada por el transporte de materiales hasta el sitio de construcción. Esto se debe a que dicha producción varía en función de la distancia entre la fábrica y la ubicación específica de cada proyecto, lo que impide establecer un valor fijo aplicable a todos los casos.
5. La investigación demuestra que existen oportunidades para reducir la huella de carbono en la construcción de viviendas de interés social mediante la optimización de procesos constructivos y la selección de materiales con menor impacto ambiental. La sostenibilidad en la construcción no solo depende de los materiales utilizados, sino también de factores como el transporte, la gestión de residuos y la eficiencia energética en el diseño y ejecución del proyecto.
6. Es necesario continuar con estudios complementarios que evalúen el desempeño ambiental de otros materiales alternativos con menor impacto ecológico, considerando además factores como la durabilidad y el costo-beneficio.

9 RECOMENDACIONES

1. Promover el uso de materiales de construcción con menor huella de carbono, como el ladrillo macizo, en proyectos de vivienda de interés social.
2. Los materiales de mayor impacto son el acero galvanizado y el concreto, por lo que es recomendable buscar alternativas con menor huella de carbono, como el uso de concreto con aditivos reciclados o sistemas de techado con materiales más sostenibles.
3. Implementar estrategias de optimización en la producción de materiales, fomentando el uso de energías renovables y procesos de fabricación más eficientes.
4. Incorporar criterios de sostenibilidad en la planificación y diseño de viviendas, considerando soluciones constructivas que reduzcan la demanda energética y las emisiones de CO₂.
5. Fomentar la capacitación y concientización en el sector de la construcción sobre la importancia de reducir la huella de carbono y adoptar tecnologías más sostenibles.
6. Se recomienda que las empresas fabricantes de materiales de construcción en El Salvador desarrollen y mantengan bases de datos con Declaraciones Ambientales de Producto (DAP). Esto permitirá contar con información nacional estandarizada sobre la producción de CO₂ asociada a estos materiales, facilitando futuras investigaciones y la toma de decisiones basadas en datos precisos sobre el impacto ambiental del sector construcción.
7. Incentivar la investigación y el desarrollo de nuevos materiales ecológicos que ofrezcan un equilibrio entre eficiencia estructural y sostenibilidad ambiental.
8. Implementar normativas y políticas públicas que regulen y promuevan el uso de materiales de bajo impacto ambiental en la construcción de viviendas en El Salvador.
9. Continuar con el monitoreo y la evaluación de emisiones en futuros proyectos para validar la efectividad de las estrategias de reducción de CO₂ propuestas en este estudio.

10 GLOSARIO

A

- **Acidificación del suelo y del agua (AP).** Proceso químico que reduce la capacidad neutralizante del suelo y cuerpos de agua debido a la acumulación de sustancias ácidas, como resultado de emisiones industriales y de combustión.
- **Análisis del Ciclo de Vida (ACV).** Metodología utilizada para evaluar el impacto ambiental de un producto o sistema a lo largo de su existencia, desde la extracción de materias primas hasta su disposición final.

B

- **Bloque de concreto.** Elemento constructivo prefabricado utilizado en la edificación de muros y estructuras, compuesto principalmente de cemento, arena, grava y agua.

C

- **Calentamiento Global (GWP).** Incremento sostenido de la temperatura media de la Tierra debido a la acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera.
- **Capa de ozono.** Región de la estratósfera terrestre que contiene una alta concentración de ozono y protege a la vida en la Tierra al absorber la mayor parte de la radiación ultravioleta del Sol.
- **Carbono Embebido.** Cantidad total de dióxido de carbono CO₂ emitida durante la extracción, procesamiento, transporte y fabricación de materiales de construcción.
- **Combustibles fósiles.** Fuentes de energía no renovables derivadas de la descomposición de organismos antiguos, como el petróleo, carbón y gas natural.
- **CO₂ Equivalente (CO₂-eq).** Unidad de medida utilizada para expresar el impacto de diferentes gases de efecto invernadero en términos de su equivalencia en dióxido de carbono.

D

- **Dióxido de carbono (CO₂).** Gas de efecto invernadero liberado en procesos industriales y de combustión de materiales fósiles, contribuyendo al calentamiento global.

E

- **Eficiencia energética.** Uso racional de la energía para reducir el consumo sin afectar la funcionalidad de los sistemas, promoviendo el ahorro y la reducción de emisiones de carbono.
- **Emisiones de carbono CO₂.** Cantidad de dióxido de carbono CO₂ liberada a la atmósfera debido a procesos industriales, de transporte y de construcción.
- **Energía incorporada.** Cantidad total de energía utilizada en la extracción, producción, transporte y montaje de un material de construcción.
- **Evaluación del impacto ambiental.** Análisis del impacto de las actividades humanas en el medio ambiente con el fin de mitigar o compensar sus efectos negativos.

H

- **Huella de carbono.** Medida de la cantidad de gases de efecto invernadero emitidos directa o indirectamente por una actividad, expresada en equivalentes de CO₂.

L

- **Ladrillo de barro cocido macizo.** Material de construcción elaborado a partir de arcilla cocida a altas temperaturas, utilizado en la edificación de muros y estructuras.

M

- **Materiales sostenibles.** Materiales cuya producción y uso generan un menor impacto ambiental y favorecen la conservación de recursos naturales.
- **Mitigación del Cambio Climático.** Estrategias y acciones destinadas a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y minimizar los efectos del calentamiento global.

P

- **Potencial de eutrofización (EP).** Fenómeno causado por la acumulación excesiva de nutrientes en cuerpos de agua, promoviendo el crecimiento descontrolado de algas.

R

- **Reciclaje de materiales.** Proceso de reutilización de materiales de desecho para reducir el consumo de materias primas y minimizar la generación de residuos.
- **Residuos de construcción.** Materiales sobrantes, desperdicios y escombros generados durante el proceso constructivo, que pueden ser reciclados o reutilizados.

S

- **Sostenibilidad en la construcción.** Estrategia que busca minimizar el impacto ambiental de los proyectos constructivos mediante el uso eficiente de los recursos, materiales reciclables y energías renovables.

T

- **Transporte de materiales.** Movimiento de materias primas y productos terminados desde su punto de origen hasta el lugar de construcción, lo que influye en la huella de carbono del proyecto.

11 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] K. A. y. L. Datos, «Economía de El Salvador crecía un 2.6% este año, según el BCR,» Economía de El Salvador crecía un 2.6% este año, según el BCR, 28 septiembre 2023.
- [2] A. Ramírez, «La construcción sostenible,» Física y sociedad, vol. 13, pp. 30-33, 2002.
- [3] Arquitectura Sostenible, «Arquitectura Sostenible,» [En línea]. Available: <https://arquitectura-sostenible.es/certificados/leed/?form=MG0AV3>. [Último acceso: 15 2 2024].
- [4] Revista Construcción, «Revista Construcción,» 18 marzo 2024. [En línea]. Available: <https://revistaconstruccion.com.sv/rse-y-sostenibilidad/guia-haus-una-herramienta-de-alto-impacto-en-la-construccion/>. [Último acceso: 16 agosto 2024].
- [5] PLACOMAT Plataforma de Materiales de Construcción, «PLACOMAT Plataforma de Materiales de Construcción,» [En línea]. Available: <https://www.placomat.com/blog/tendencias-en-construccion-sostenible-para-2025/?form=MG0AV3>. [Último acceso: 15 10 2024].
- [6] Equipzilla, «Equipzilla,» 11 octubre 2024. [En línea]. Available: <https://blog.equipzilla.com/tendencias-sostenibles-en-la-construccion-2024-el-auge-de-la-construccion-verde-y-su-impacto-ambiental/?form=MG0AV3>. [Último acceso: 2 12 2024].
- [7] A. C. Cambra, «Zeroconsulting,» 28 abril 2023. [En línea]. Available: <https://blog.zeroconsulting.com/an%C3%A1lisis-ciclo-vida>. [Último acceso: 23 febrero 2024].
- [8] P. Pineda, «nqa. Organismo de Certificación Global,» 16 septiembre 2022. [En línea]. Available: <https://www.nqa.com/es-pe/resources/blog/september-2022/life-cycle-assessments>. [Último acceso: 7 marzo 2024].
- [9] A. C. Cambra, «Zero consulting,» 18 octubre 2021. [En línea]. Available: [https://blog.zeroconsulting.com/reducir-emisiones-de-CO₂-en-los-edificios#:~:text=\(Taxonomy%20EU\).-Etapas%20del%20ciclo%20de%20vida,reutilizando%20y%20reciclando%20sus%20materiales..](https://blog.zeroconsulting.com/reducir-emisiones-de-CO2-en-los-edificios#:~:text=(Taxonomy%20EU).-Etapas%20del%20ciclo%20de%20vida,reutilizando%20y%20reciclando%20sus%20materiales..) [Último acceso: 8 febrero 2024].
- [10] A. A. Gimena Sellanes, 2008. [En línea]. Available: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://construccion3.weebly.com/uploads/5/3/6/3/536327/g06_materiales_alternativos.pdf. [Último acceso: 10 diciembre 2024].
- [11] Reformas Y Construcciones Andrei, «Reformas Y Construcciones Andrei,» [En línea]. Available: https://reformasyconstruccionesandrei.es/cuanto-contaminan-los-efectos-del-cemento-una-mirada-a-los-impactos-del-cemento-en-el-medio-ambiente/?expand_article=1. [Último acceso: 13 05 2024].
- [12] quimica.es, «quimica.es,» [En línea]. Available:

https://www.quimica.es/enciclopedia/Impacto_ambiental_de_la_industria_del_cemento.html. [Último acceso: 13 5 2024].

- [13] Kunak Technologies, «Kunak Technologies,» 29 10 2024. [En línea]. Available: <https://kunakair.com/es/impacto-ambiental-del-acero-en-la-calidad-del-aire/>. [Último acceso: 6 diciembre 2024].
- [14] Aceros Torices, 14 agosto 2024. [En línea]. Available: <https://acerostorices.com/blog/sistema-constructivo-definicion-completa-y-tipos/>. [Último acceso: 6 diciembre 2024].
- [15] SyP, «Soler y Paula,» 1 marzo 2021. [En línea]. Available: <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/eficiencia-energetica-construccion/>. [Último acceso: 4 diciembre 2024].
- [16] Banco de Desarrollo de America Latina y el Caribe (CAF), «Banco de Desarrollo de America Latina y el Caribe (CAF),» 28 mayo 2024. [En línea]. Available: <https://www.caf.com/es/actualidad/noticias/caf-presenta-en-el-salvador-los-desafios-y-propuestas-para-enfrentar-el-cambio-climatico-y-la-proteger-la-biodiversidad/#:~:text=Los%20eventos%20clim%C3%A1ticos%20extremos%2C%20como,10%20mil%20a%2097%20mil..> [Último acceso: 11 octubre 2024].
- [17] PNUD El Salvador, «PNUD El Salvador,» 8 septiembre 2021. [En línea]. Available: <https://www.undp.org/es/el-salvador/noticias/el-salvador-acelera-acciones-climaticas-basadas-en-la-naturaleza#:~:text=El%20cambio%20clim%C3%A1tico%20est%C3%A1%20impactando,los%20sectores%20agr%C3%ADcola%20y%20ganadero..> [Último acceso: 11 octubre 2024].
- [18] PNUD Climate Promise, «PNUD Climate Promise,» 21 noviembre 2023. [En línea]. Available: <https://climatepromise.undp.org/es/what-we-do/where-we-work/el-salvador#:~:text=El%20Salvador%20se%20compromete%20a,a%20nivel%20individual%20e%20institucional..> [Último acceso: 18 marzo 2024].
- [19] Climate & Clear Air Coalition to reduce short-lived climate pollutants (CCAC), «Climate & Clear Air Coalition to reduce short-lived climate pollutants (CCAC),» [En línea]. Available: <https://www.ccacoalition.org/es/partners/el-salvador#:~:text=Esta%20NDC%20se%20actualiz%C3%B3%20en,de%20incendios%20forestales%20y%20deforestaci%C3%B3n..> [Último acceso: 5 12 2024].
- [20] PNUD El Salvador, «PNUD,» 6 enero 2022. [En línea]. Available: <https://www.undp.org/es/el-salvador/comunicados-de-prensa/el-salvador-presenta-actualizacion-de-su-compromiso-climatico-en-cumplimiento-del-acuerdo-de-paris?form=MG0AV3>. [Último acceso: 5 12 2024].
- [21] bnzero, «bnzero,» 30 octubre 2024. [En línea]. Available: <https://bnzero.com/investigaciones/la-construccion-sostenible-frente-a-la-mitigacion-del-cambio-climatico/?form=MG0AV3>. [Último acceso: 5 diciembre 2024].

- [22] O. Martínez, «Diario El Salvador,» 6 abril 2023. [En línea]. Available: https://diarioelsalvador.com/este-ano-otorgaran-14000-viviendas-de-interes-social-en-el-salvador/346794/#google_vignette. [Último acceso: 12 febrero 2024].
- [23] J. Pineda, «Diario El Salvador,» 26 septiembre 2023. [En línea]. [Último acceso: 12 febrero 2024].
- [24] Diario Oficial, «OPAMSS,» 1 junio 2018. [En línea]. Available: <https://opamss.org.sv/wp-content/uploads/2022/05/DO-01-06-2018.pdf>. [Último acceso: 5 diciembre 2024].
- [25] Escuela de Ingeniería Civil y Arquitectura, Procesos Constructivos para viviendas, Santa Tecla, 2024.
- [26] AGTecno-3, «AGTecno-3,» [En línea]. Available: <https://www.ladrillostecno3.com/aislamiento-termico-y-eficiencia-energetica-2/>. [Último acceso: 8 diciembre 2025].



ITCA FEPADE

SEDE CENTRAL Y CENTROS REGIONALES EL SALVADOR



La Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE, fundada en 1969, es una institución estatal con administración privada, conformada actualmente por 5 campus: Sede Central Santa Tecla y cuatro centros regionales ubicados en Santa Ana, San Miguel, Zacatecoluca y La Unión.

1. SEDE CENTRAL SANTA TECLA

Km. 11.5 carretera a Santa Tecla, La libertad.
Tel.: (503) 2132-7400

2. CENTRO REGIONAL SANTA ANA

Final 10a. Av. Sur, Finca Procavia.
Tel.: (503) 2440-4348

3. CENTRO REGIONAL ZACATECOLUCA

Km. 64.5, desvío Hacienda El Nilo sobre autopista a Zacatecoluca.
Tel.: (503) 2334-0763 y 2334-0768

4. CENTRO REGIONAL SAN MIGUEL

Km. 140 carretera a Santa Rosa de Lima.
Tel.: (503) 2669-2298

5. CENTRO REGIONAL LA UNIÓN

Calle Sta. María, Col. Belén, atrás del Instituto Nacional de La Unión
Tel.: (503) 2668-4700

www.itca.edu.sv

