



Universidad de Cuenca

Facultad de Arquitectura y Urbanismo

Carrera de Arquitectura

Rediseño de la vivienda tipo VIS en Bahareque del proyecto EMUVI EP “Los Capulíes” en Cuenca, para alcanzar la neutralidad energética

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Arquitecto

Autoras:

Cristina Daniela Baculima Ayala

Hildegart Anabel Morocho Tenezaca

Director:

Esteban Felipe Zalamea León

ORCID:  0000-0001-5551-5026

Cuenca, Ecuador

2024-08-01

UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO



**REDISEÑO DE LA VIVIENDA TIPO VIS EN BAHAREQUE DEL PROYECTO EMUVI EP “LOS CAPULÍES”
EN CUENCA, PARA ALCANZAR LA NEUTRALIDAD ENERGÉTICA**

AUTORES: CRISTINA BACULIMA - ANABEL MOROCHO
TUTOR: ARQ. ESTEBAN ZALAMEA

Resumen

El presente trabajo de titulación aborda el rediseño de una vivienda de interés social (VIS) en el sistema constructivo Bahareque, dentro del proyecto EMUVI EP "Los Capulíes" en Cuenca, con el objetivo de alcanzar la neutralidad energética. Este rediseño se enmarca en el contexto del creciente consumo energético residencial y las emisiones de CO₂ asociadas a la construcción tradicional, proponiendo el uso de técnicas vernaculares y generación fotovoltaica como soluciones sostenibles.

La metodología incluye la evaluación de la energía contenida en los materiales y el potencial fotovoltaico de la vivienda, buscando determinar el tiempo necesario para que la vivienda cumpla con el estándar Powerhouse, que implica generar más energía renovable de la que consume a lo largo de su ciclo de vida. Los resultados esperados incluyen la reducción de la energía incorporada en la construcción, el fomento del autoabastecimiento energético y la mitigación del impacto ambiental.

Se concluye que la aplicación de técnicas constructivas tradicionales y la integración de sistemas de energía renovable pueden transformar las viviendas sociales en soluciones sostenibles y energéticamente eficientes, contribuyendo a un futuro más respetuoso con el medio ambiente.

Palabras claves del autor: vivienda social, Cuenca, eficiencia energética, bahareque



El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

Repositorio Institucional: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Abstract

This thesis addresses the redesign of a social interest housing (VIS) using the Bahareque construction system, within the EMUVI EP "Los Capulíes" project in Cuenca, aiming to achieve energy neutrality. This redesign is framed within the context of increasing residential energy consumption and CO₂ emissions associated with traditional construction, proposing the use of vernacular techniques and photovoltaic generation as sustainable solutions.

The methodology includes the evaluation of the embodied energy in materials and the photovoltaic potential of the housing, aiming to determine the time required for the housing to meet the Powerhouse standard, which involves generating more renewable energy than it consumes throughout its life cycle. The expected outcomes include the reduction of embodied energy in construction, the promotion of energy self-sufficiency, and the mitigation of environmental impact.

The conclusion is that the application of traditional construction techniques and the integration of renewable energy systems can transform social housing into sustainable and energy-efficient solutions, contributing to a more environmentally friendly future.

Author Keywords: social housing, Cuenca, energy efficiency, bahareque



The content of this work corresponds to the right of expression of the authors and does not compromise the institutional thinking of the University of Cuenca, nor does it release its responsibility before third parties. The authors assume responsibility for the intellectual property and copyrights.

Institutional Repository: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

1

1. Fundamentos	11
1.1 Introducción y Objetivos	11
1.2 Justificación del Emplazamiento	12
1.2.1 Condiciones Climáticas.....	12
1.3 Planteamiento del Problema	13
1.3.1 Consumo Energético.....	13
1.3.2 Diseño de Vivienda Social y su impacto en el consumo de energía	15
1.3.3 Concepto de Eficiencia Energética en Arquitectura	16
1.3.4 Impacto Ambiental de la Construcción.....	17

2

2. Marco teórico	20
2.1 Innovaciones Sostenibles en la Construcción	20
2.1.1 Importancia del estándar PowerHouse en la Construcción.....	20
2.1.2 Técnica constructiva vernácula en tierra: Bahareque	20
2.1.3 Energía Solar Fotovoltaica como Alternativa Sostenible.....	21
2.2 Casos de Estudio	22
2.2.1 Vivienda Social Base de Rediseño	22

2.2.2 Edificaciones PowerHouse	24
2.2.3 Implementación de técnica constructiva	26

3

3. Metodología y materiales	29
3.1 Descripción Metodológica de Análisis	29
3.2 Energía contenida en los materiales del rediseño	30
3.3 Criterios de Rediseño	31
3.3.1 Criterios en Función del Entorno.....	31
3.3.2 Criterios en Función del Material.....	35
3.3.3 Criterios en Función de Generación y Consumo de Energía Iluminación LED	36
3.3.4 Criterios en Función de la Integración Arquitectónica	37

4

4. Rediseño.....	39
4.1 Memoria Técnica	39
4.1.1 Materialidad.....	39
4.1.2 Sistema Constructivo	39
4.1.3 Emplazamiento	43
4.1.4 Programa Arquitectónico.....	43
4.1.5 Sistema Energético	44

4.2 Proyecto Arquitectónico.....	45
4.2.1 Plantas Arquitectónicas.....	45
4.2.2 Planta de Cubierta	46
4.2.3 Elevaciones.....	47
4.2.4 Secciones	49
4.2.5 Detalles Constructivos	51
4.2.6 Representaciones	54

Referencias.....	72
-------------------------	-----------

Anexos	77
---------------------	-----------

5

5. Balance Energético.....	60
5.1 Energía Contenida De Rediseño.....	60
5.1.1 Por Concepto De Material De Construcción	60
5.2.2 Por Concepto De Actividades De Construcción.....	61
5.2 Evaluación Energética.....	62
5.2.1 Análisis Desarrollados.....	64
5.3 Producción energética.....	67

6

6. Conclusiones y recomendaciones	69
6.1 Conclusiones.....	69
6.2 Recomendaciones.....	70

Índice de gráficos

1

Gráfico 1.1 Temperatura Cuenca.....	12
Gráfico 1.2 Radiación Cuenca	12
Gráfico 1.3 Consumo eléctrico por habitante.....	13
Gráfico 1.4 Consumo energético por habitante.....	13
Gráfico 1.5 Urbanización “Los Capulíes”	15

2

Gráfico 2.1 Muro de Bahareque Liviano	21
Gráfico 2.2 Vista aérea y perspectivas del proyecto	23
Gráfico 2.3 Vista hacia la vivienda de interés prioritario	23
Gráfico 2.4 Planta baja en estado actual	23
Gráfico 2.5 Planta alta en estado actual	23
Gráfico 2.6 Planta de buhardilla en estado actual.....	24
Gráfico 2.7 Sección en estado actual	24
Gráfico 2.8 Powerhouse Kjørbo	25
Gráfico 2.9 Implementación de paneles solares en la cubierta de Powerhouse Kjørbo	25
Gráfico 2.10 Corte transversal del proyecto.....	25
Gráfico 2.11 Planta baja del proyecto	26

3

Gráfico 2.12 Elaboración de las viviendas modulares.....	27
Gráfico 2.13 Planta de la vivienda modular.....	27

Gráfico 3.1 Propuesta de orientación de la vivienda	31
Gráfico 3.2 Lotización de viviendas Tipo I Los Capulíes.....	32
Gráfico 3.3 Bloque A de viviendas de interés social Los Capulíes	32
Gráfico 3.4 Salida del sol y puesta del sol con crepúsculo en Cuenca	33
Gráfico 3.5 Soleamiento de la propuesta de la vivienda	33
Gráfico 3.6 Dirección de vientos predominantes.....	34
Gráfico 3.7 Cubierta inclinada en la propuesta de vivienda	34
Gráfico 3.8 Condiciones de colectores acorde a su disposición respecto a envolvente B	37

4

Gráfico 4.1 Sección de la vivienda.....	40
Gráfico 4.2 Planta estructural de entepiso	40
Gráfico 4.3 Representación de la viga y sus cargas	41
Gráfico 4.4 Representación de la viga y sus cargas	42
Gráfico 4.5 Planta baja.....	45
Gráfico 4.6 Primera planta alta	45
Gráfico 4.7 Segunda planta alta.....	46

UCUENCA

Grafico 4.8 Planta de cubierta.....	46
Grafico 4.9 Elevación Frontal.....	47
Grafico 4.10 Elevación Posterior.....	48
Grafico 4.11 Sección 1.....	49
Grafico 4.12 Sección 2.....	50
Grafico 4.13 Sistema constructivo muros y entepiso	51
Grafico 4.14 Sistema constructivo cubierta.....	52
Grafico 4.15 Paneles de bahareque	53
Grafico 4.16 Visualización exterior 1.....	54
Grafico 4.17 Visualización exterior 2.....	55
Grafico 4.18 Visualización interior 1.....	56
Grafico 4.19 Visualización interior 2.....	57
Grafico 4.20 Visualización interior 3.....	58

5

Grafico 5.1 Bloques térmicos del prototipo de vivienda	63
Grafico 5.2 Zonas en planta del prototipo de vivienda	63
Grafico 5.3 Balance Energético del Proyecto.....	64
Grafico 5.4 Valores Clave de la propuesta.....	64
Grafico 5.5 Perfil de Temperatura Diaria del proyecto	65
Grafico 5.6 Perfil de Temperatura Diaria del proyecto	66
Grafico 5.7 Consumo de energía por objetivos.....	67

Índice de tablas

Tabla 1 Energía contenida en materiales de construcción	14
Tabla 2 Consumos RCD totales del CVE de una vivienda unifamiliar	15
Tabla 3 Energía contenida en materiales de construcción	30
Tabla 4 Inercia térmica y aislamiento térmico de los materiales de construcción más empleados.....	35
Tabla 5 Tipos de células más habituales de sílice	36
Tabla 6 Pesos materiales de la cubierta	41
Tabla 7 Esfuerzos máximos admisibles	41
Tabla 8 Pesos materiales del entrepiso	42
Tabla 9 Esfuerzos máximos admisibles	42
Tabla 10 Esfuerzo máximo admisible	43
Tabla 11 Programa arquitectónico de la vivienda	44
Tabla 12 Panel utilizado en la vivienda.....	44
Tabla 13 Tabla de Cantidades de Energía Contenida en materiales de construcción.....	60
Tabla 14 Tabla de Cantidades de Energía Contenida en actividades de construcción.....	61
Tabla 15 Tabla de asignación de zonas y bloques térmicos.....	62
Tabla 16 Tabla de categorización de zonas.....	63
Tabla 17 Tabla de temperaturas mínimas y máximas	66
Tabla 18 Tabla de producción energética por orientación e inclinación...	67
Tabla 19 Tabla de energía contenida en el ciclo de vida de la vivienda ..	70

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro agradecimiento a nuestro director de tesis, el Arq. Esteban Zalamea, por su orientación a lo largo de este proceso.

Agradecemos también a nuestros profesores de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca, quienes han contribuido significativamente a nuestra formación académica.

A nuestros compañeros y amigos, por su colaboración y por compartir esta experiencia con nosotras. Su compañía y apoyo han sido invaluable.

DEDICATORIA

A mi familia por brindarme su apoyo incondicional.

A mis queridos amigos N.G, PYC, S.Xto, por siempre darme ánimos.

Cristina.

A mis padres, hermanos y toda mi familia, por su amor incondicional, su apoyo constante y sus sabios consejos.

A mis amigos de la facultad, por su apoyo, las risas compartidas y los momentos inolvidables. Gracias por hacer de este viaje una experiencia memorable.

A E.P por su paciencia, amor, comprensión y por creer en mí.

Hildegart.



1. Fundamentos

1.1 Introducción y Objetivos

Introducción

La vivienda desempeña un papel fundamental tanto en la sociedad como en el sector de la construcción. No obstante, el traslado de materiales y las grandes emisiones de CO₂ asociadas a la fabricación de estos elementos constituyen una preocupación creciente debido al daño que causan al medio ambiente. Además, los edificios y viviendas contribuyen de manera significativa al consumo global de energía, lo que plantea una urgente necesidad de replantear los métodos tradicionales de construcción.

En respuesta a este desafío, han surgido nuevos estándares energéticos como la Powerhouse, concepto que se basa en la idea de que un edificio no solo cumple su función principal, como un espacio habitable o de trabajo, sino que también se convierte en un generador de energía limpia. El objetivo de las Powerhouse es diseñar un edificio que cubra su propio uso de energía, incluyendo también la energía utilizada en el ciclo de vida de los materiales. La expectativa de un edificio autosuficiente es que, en un periodo de 60 años, genere más energía renovable de la que consumirá a lo largo de su vida útil, para lo cual se consideran dos condiciones importantes: orientación y el uso de materiales eficaces para el aislamiento (Rodríguez, 2023). A su vez, la elección y uso de materiales sostenibles, como el uso de tierra cruda presente en sistemas constructivos tradicionales como el bahareque, adobe o bahareque, emergen como soluciones prometedoras para dicha problemática ambiental.

El contexto local desempeña un papel fundamental en la búsqueda de soluciones adecuadas. En el caso específico de Cuenca, su clima semi-húmedo caracterizado por una estación húmeda y otra seca, con precipitaciones más altas durante la estación lluviosa, pero sin llegar a un clima estacional, las viviendas no consumen energía para sistemas de ambientación. Por ello, se requiere un enfoque especializado que considere las particularidades climáticas y la disponibilidad de materiales locales. La arquitectura vernácula, arraigada en el conocimiento empírico y el uso de materiales autóctonos, ofrece un marco inspirador para el diseño de viviendas adaptadas al entorno debido a la baja energía contenida de sus

materiales, ya que estos se obtienen localmente, lo que reduce la necesidad de transporte, y se utilizan en su forma natural, evitando los procesos industriales que consumen mucha energía.

El objetivo principal de este trabajo de integración curricular es abordar el desafío energético en las viviendas de Cuenca mediante la utilización de materiales que generan un impacto ambiental reducido y el diseño de soluciones que optimicen el consumo de energía. Se busca no solo reducir la energía incorporada en la construcción, sino también fomentar el autoabastecimiento energético y mitigar el impacto ambiental en su totalidad. En este contexto, el rediseño de la casa tipo Vivienda de Interés Social (VIS) en Bahareque surge como una oportunidad para promover la sostenibilidad y la armonía con el entorno natural, sentando así las bases para un futuro más respetuoso con el medio ambiente y energéticamente eficiente.

Objetivo General

Determinar en qué tiempo es factible alcanzar el estándar Powerhouse de una vivienda de interés social del proyecto EMUVI EP “Los Capulíes” en Cuenca con el replanteo de la vivienda en técnicas vernaculares y con máxima generación fotovoltaica.

Objetivos Específicos

Rediseñar la vivienda tipo VIS del proyecto EMUVI EP “Los Capulíes” con técnicas vernaculares y paneles fotovoltaicos.

Calcular la energía contenida de los materiales empleados y el potencial energético fotovoltaico de la vivienda considerando la vida útil del sistema fotovoltaico.

Calcular el lapso necesario para recuperar la energía invertida en la construcción y operación de la vivienda para recuperarse con sistema fotovoltaico, bajo el estándar Powerhouse.

UCUENCA

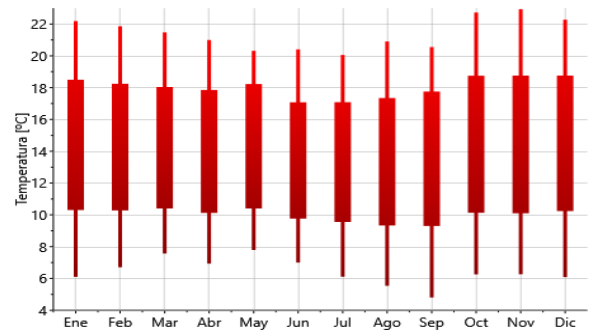
1.2 Justificación del Emplazamiento

La vivienda en la cual se va a trabajar pertenece a la urbanización Los Capulíes, un proyecto de EMUVI EP ubicada en Cuenca. Se eligió este emplazamiento porque se buscaba que fuera una vivienda social en un contexto que permita implementar soluciones de construcción sostenible. Además, Cuenca ofrece un entorno propicio para aplicar sistemas fotovoltaicos debido a su clima y además tiene acceso a materiales locales necesarios para proyectos de construcción vernácula.

1.2.1 Condiciones Climáticas

El clima del área urbana de Cuenca se clasifica como Ecuatorial Mesotérmico Semi-húmedo, con una temperatura promedio de 16.3 °C, alcanzando una temperatura media máxima absoluta anual de 24.2 °C y una temperatura media mínima absoluta de 6.4 °C (INAMHI, 2015). La variación estacional (Gráfico.1.1) se manifiesta principalmente en los meses de junio a septiembre, que experimentan temperaturas más bajas, y en diciembre, enero y febrero, que registran las temperaturas más altas.

Gráfico 1.1 Temperatura Cuenca



Fuente: Meteonorm v8.0.2
Elaboración: Autoría propia

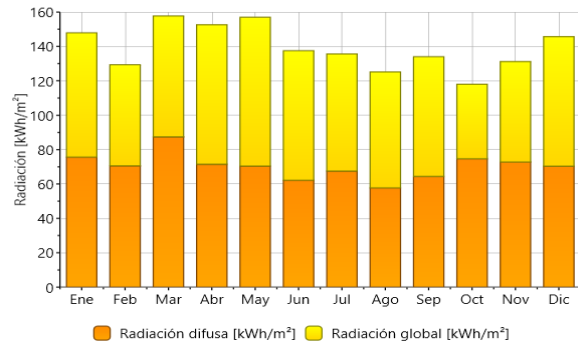
Según WeatherSpark (2024), “en Cuenca, el mes más cálido del año es marzo, con una temperatura máxima promedio de 17 °C y mínima de 10 °C, mientras que julio es el mes más frío, con una temperatura mínima promedio de 7 °C y máxima de 12 °C”. Además, se han registrado

temperaturas extremas, con una mínima de -1.7 °C y una máxima de 27.2 °C (CUYABENO LODGE, 2024) .Estas variaciones extremas en la temperatura pueden influir significativamente en las estrategias de diseño para garantizar el confort térmico en las viviendas durante todo el año.

La humedad relativa promedio en Cuenca es del 64.9%, sin presentar variaciones significativas a lo largo del año. Este nivel de humedad puede afectar la percepción del confort térmico y la durabilidad de los materiales de construcción utilizados en las viviendas (Guillén Mena & Orellana Valdez, 2017).

A pesar de una nubosidad alta, que varía entre 6 y 7 octavas, con picos durante los meses de febrero a mayo, la radiación solar en Cuenca es prácticamente constante a lo largo del año. Los valores promedio de radiación solar al día, de los meses de máxima y mínima irradiación se sitúan entre 3.92 y 5.06 kWh/m2, con la mayor radiación solar mensual registrada en marzo y mayo, y la menor en agosto (Gráfico 1.2) (Cordero y Guillén, 2013). Esta disponibilidad constante de radiación solar ofrece una oportunidad significativa para la implementación de sistemas de energía solar fotovoltaica en las viviendas, contribuyendo así a la eficiencia energética y la sostenibilidad en el área urbana de Cuenca.

Gráfico 1.2 Radiación Cuenca



Fuente: Meteonorm v8.0.2
Elaboración: Autoría propia

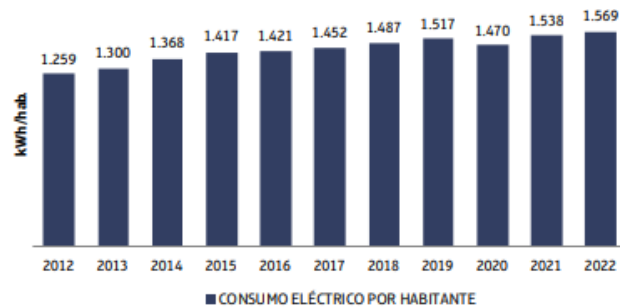
UCUENCA

1.3 Planteamiento del Problema

1.3.1 Consumo Energético

Entre los años 2012 y 2022, se observa un incremento del 4.9% en el consumo energético per cápita en Ecuador, pasando de aproximadamente 5,247 kWh/hab. a 5,510 kWh/hab. Durante el mismo período, el consumo de electricidad por habitante como se muestra en el Gráfico 1.3 aumenta un 24.7%, elevándose de aproximadamente 1,259 kWh a 1,569 kWh por persona. La intensidad energética total se mantiene en un promedio de aproximadamente 1.31 kWh/miles USD (2007) en el país durante estos años (Santos, 2023).

Gráfico 1.3 Consumo eléctrico por habitante



Fuente: Ministerio de Energía y Minas, 2021
Elaboración: Ministerio de Energía y Minas, 2021

Durante el año 2020, hubo una significativa reducción en el consumo total de energía a nivel nacional, atribuible a las acciones implementadas para contrarrestar los impactos de la pandemia de COVID-19. Según Santos (2023), “se observó un aumento del 9.8% en el consumo per cápita en 2021 en comparación con 2020”, como se representa en el Gráfico 1.4.

En relación con el consumo energético residencial, un estudio de Baquero y Quesada (2016) analiza seis viviendas, encontrando un consumo mensual promedio de 201.4 kWh. Se establece un indicador de 18.46 kWh m⁻² año⁻¹ para comparar las viviendas, considerando sus diversas características. En comparación con el promedio de consumo por hogar en América Latina, se observa que este se sitúa en un nivel relativamente

elevado. El estudio detallado revela que cerca del 72% del consumo de energía en los hogares se origina en los tomacorrientes, mientras que la iluminación constituye solo un 28% en promedio del consumo de la residencia total. Esto, varía según la eficiencia de los electrodomésticos, las luces, y los hábitos de consumo de los residentes.

El aumento continuo en el consumo energético, especialmente en el ámbito residencial, subraya la urgencia de adoptar métodos que reduzcan este consumo. En este contexto, la eficiencia de los dispositivos eléctricos emerge como áreas cruciales para abordar este desafío. La investigación y aplicación de estrategias sostenibles y eficientes, respaldadas por recomendaciones gubernamentales, resultan fundamentales para mitigar el impacto del consumo energético en la sierra ecuatoriana.

Gráfico 1.4 Consumo energético por habitante



Fuente: Ministerio de Energía y Minas, 2021
Elaboración: Ministerio de Energía y Minas, 2021

De igual forma, el sector de la construcción enfrenta desafíos significativos relacionados con la sostenibilidad y la eficiencia energética. Las prácticas de construcción tradicionales, que utilizan materiales como el ladrillo, el hormigón y el acero, presentan serios problemas debido a su alta huella de carbono. Estos materiales requieren procesos de producción que consumen mucha energía, lo que resulta en elevadas emisiones de gases de efecto invernadero.

UCUENCA

En Ecuador, la industria de la construcción también se enfrenta a estos retos, buscando ser más sostenible y ambientalmente responsable. A medida que aumenta la conciencia sobre la importancia de la sostenibilidad, las constructoras están implementando soluciones para reducir su huella de carbono y minimizar su impacto ambiental (Lemos, 2023). La construcción de viviendas es particularmente intensiva en el uso de recursos y energía, generando una gran cantidad de residuos y emisiones. Por lo tanto, es crucial cambiar tanto los métodos de construcción como los materiales utilizados para crear viviendas más sostenibles (Lemos, 2023).

Para abordar estos desafíos, las empresas constructoras están investigando opciones más ecológicas, como el empleo de materiales reciclados y la implementación de métodos de construcción más eficientes. Innovar en el diseño arquitectónico y adoptar tecnologías limpias son medidas cruciales para disminuir el impacto ambiental. Asimismo, es fundamental educar y concienciar a los profesionales del sector sobre prácticas sostenibles para impulsar un cambio significativo hacia una construcción más responsable (Lemos, 2023).

Es importante destacar que el sector de la construcción consume el 50% de los recursos mundiales. Los edificios, tanto por la operación como por la construcción, generan una considerable cantidad de energía y residuos, lo que los convierte en grandes emisores de CO2 (Clapers Vivares, 2018). Además, la industria de la construcción y de la demolición es la mayor generadora de residuos, produciendo más de una tonelada de residuos por habitante en cada año (Alejandro Monroy Bobadilla, 2018).

Para ofrecer una visión más clara sobre el impacto ambiental en el sector de la construcción, se presenta a continuación una tabla que detalla la energía contenida y las emisiones de CO2 generadas durante los procesos de fabricación de los materiales de construcción más utilizados en la actualidad, en contraste con los materiales alternativos disponibles en la ciudad de Cuenca. Esta comparación subraya la importancia de seleccionar materiales con menor impacto ambiental para promover prácticas constructivas más sostenibles.

Tabla 1 Energía contenida en materiales de construcción

Material	Energía Contenida (Producción) (kWh/kg)	EGEF (kgCO2)	Contexto	Fuente
Acero	9.722	2.625	Azuay, Ecuador	(Alvarado, 2021)
Bloque de Hormigón	0.268	0.072	Cuenca, Ecuador	(Urgilés, 2017)
Hormigón H- 150	0.275	0.074	Navarra, España	(Cepeda & Mardaras, 2004)
Hormigón H- 200	0.306	0.082	Navarra, España	(Cepeda & Mardaras, 2004)
Ladrillo	2.500	0.675	Valdivia, Chile	(Osorio, 2010)
Madera	0.058	0.016	Azuay, Ecuador	(Alvarado, 2021)
Tierra cruda	0.097	0.026	Bogotá, Colombia	(Muñoz, 2019)

Fuente: Las indicadas.
Elaboración: Autoría propia

De esta forma, se puede evidenciar que la tierra y la madera son los materiales que generan el menor impacto ambiental. Además, debido a que estos materiales son elementos naturales, al finalizar su ciclo de vida útil pueden reintegrarse al medio ambiente sin generar residuos contaminantes.

El proceso de demolición puede implicar un consumo significativo de energía, especialmente cuando los materiales no se degradan de manera natural y deben ser retirados mediante maquinaria especializada. Aunque

UCUENCA

los residuos de construcción y demolición (RCD) no contribuyen con un impacto ambiental incorporado como los materiales de construcción nuevos, su gestión y eliminación sí tienen un impacto considerable, principalmente debido al uso intensivo de maquinaria pesada y la necesidad de mano de obra. A continuación, en la Tabla 2, se presenta un gráfico que analiza los RCD totales en el ciclo de vida de una edificación (CVE) (Rivero Camacho, 2020).

Tabla 2 Consumos RCD totales del CVE de una vivienda unifamiliar

Material	RCD producido (Kg/m2)	Energía Contendida (Demolición) (KWh/kg)
Hormigón	2378.690	0.163
Ladrillo	718.550	0.267
Madera	8.817	0.047
Tierras	472.900	0.002
Metales	70.560	0.207

Fuente: Rivero Camacho, 2020
Elaboración: Autoría propia

1.3.2 Diseño de Vivienda Social y su impacto en el consumo de energía

La necesidad de viviendas de interés social en Ecuador se ha intensificado debido al crecimiento demográfico y la urbanización. Entre las principales causas del déficit de viviendas es la falta de asequibilidad, de acuerdo con el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (2019), "...estos hogares carecen de la capacidad económica para acceder a una unidad de vivienda adecuada o a créditos hipotecarios para tal fin. Esto se explica por la disparidad entre ingresos de los hogares y los costos de la vivienda."

EMUVI EP, a través de sus proyectos emblemáticos como Los Capulíes (Gráfico 1.5), proyecto en estudio, aborda el desarrollo urbano de Cuenca con enfoques complementarios. La urbanización Los Capulíes es una

iniciativa de vivienda social en Cuenca iniciado en noviembre de 2015 hasta la actualidad. Este proyecto apunta a crear un nuevo espacio urbano sostenible desde cero, integrando áreas verdes y diversidad de viviendas (EMUVI, 2023). Según el Informe de rendición de cuentas de EMUVI-EP (2018), "el proyecto planteó reducir los tiempos de construcción, que lograron una considerable disminución de costos de viviendas, en beneficio de las personas de menores recursos económicos". Además, los materiales adquiridos para su construcción consideraron los rubros más importantes: estructura, mamposterías y elementos de acabados; los mismos que representan aproximadamente el 30% del costo de la vivienda.

En resumen, EMUVI desempeña un papel crucial en la construcción de viviendas de interés social en Cuenca, demostrando un compromiso continuo con la innovación, la inclusión social y el desarrollo sostenible. Su enfoque integral aborda no solo la necesidad de vivienda asequible, sino también los desafíos ambientales y sociales inherentes al desarrollo urbano.

Gráfico 1.5 Urbanización "Los Capulíes"



Fuente: EMUVI EP 2023 - 2027.
Elaboración: EMUVI EP, 2023.

La edificación de viviendas de interés social es fundamental para abordar las necesidades habitacionales de las comunidades. Sin embargo, el

proceso de construcción de estas viviendas implica un consumo significativo de energía, especialmente en la producción y el traslado de materiales de construcción.

En los proyectos promovidos por Emuvi predominan materiales de construcción convencionales como el hormigón y el acero, los cuales se utilizan principalmente para su estructura. Por otro lado, como se observa en el gráfico 2.1.2.1, para las mamposterías se utilizó bloques de arcilla visto. Según el informe de Xie y Yang (2019), la fabricación de materiales de construcción como el cemento y el acero es responsable de una cantidad considerable del consumo energético total en la construcción de viviendas. Por ejemplo, la producción de cemento Portland, un elemento principal en la construcción en la construcción por su alta demanda, requiere altas temperaturas y procesos energéticamente intensivos.

Además, Venegas (2018) menciona que según datos del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), en Ecuador, el ladrillo es uno de los materiales predominantes para la elaboración de mamposterías, con un porcentaje del 41.4%, siendo el material más empleado después del bloque.

En un análisis de las emisiones contaminantes, se afirma que la Comisión de Gestión Ambiental del GAD Municipal del cantón de Cuenca ha identificado a la industria de ladrillos como el segundo mayor emisor de contaminantes directos en la región, a causa del alto nivel de dióxido de carbono. Según el inventario de 2011 de emisiones del Cantón Cuenca, la industria ladrillera generó el 40.9% de MP2.5 y el 36% del MP10, correspondientes al material particulado fino presente en el ambiente. Por lo tanto, el ladrillo es el material que más contribuye al impacto ambiental, debido a su alta demanda en los sectores de construcción. (Venegas, 2018)

El transporte de materiales desde las fábricas hasta el lugar de construcción también contribuye al consumo de energía. Según un estudio de Zhang et al. (2018), el transporte de materiales de construcción a largas distancias aumenta la huella de carbono de un proyecto de construcción. Esto es especialmente relevante en el caso de viviendas de interés social, donde los proyectos suelen estar ubicados en áreas urbanas densamente pobladas, lo que puede requerir el transporte de materiales desde ubicaciones distantes.

En conclusión, la demanda energética en proyectos de construcción de viviendas de interés social es un desafío importante que requiere atención. Para abordar este problema de manera efectiva, es crucial implementar estrategias que optimicen tanto la fabricación como el transporte de materiales, al tiempo que se fomenta la adopción de prácticas de construcción más sostenibles y eficientes desde el punto de vista energético.

1.3.3 Concepto de Eficiencia Energética en Arquitectura

La eficiencia energética en construcciones de vivienda social se ha convertido en un tema crucial en el contexto actual, donde la sostenibilidad y la reducción de la huella ambiental son imperativos. La vivienda social, que busca proporcionar alojamiento a comunidades de bajos ingresos, enfrenta el desafío de equilibrar la accesibilidad económica con la eficiencia energética.

La eficiencia energética en arquitectura es un concepto central en el diseño contemporáneo que busca maximizar el rendimiento energético de los edificios mientras minimiza su consumo. Este concepto no solo implica la aplicación de tecnologías avanzadas, sino también un enfoque holístico que considera aspectos como el diseño pasivo, la selección de materiales y la integración de sistemas inteligentes.

El diseño pasivo juega un papel fundamental en la eficiencia energética, aprovechando las condiciones climáticas locales para reducir la carga de calefacción y refrigeración, con el objetivo de lograr niveles de confort sin requerir la compra y uso de energía, especialmente aquella de procedencia no renovable. Como señala Lovins (2011), "La arquitectura sostenible se basa en principios bioclimáticos para lograr el confort térmico sin depender en gran medida de sistemas mecánicos". Estrategias como la orientación adecuada, el diseño de ventanas eficientes y la optimización del aislamiento térmico son clave en este enfoque. Por ejemplo, en regiones con climas cálidos, se pueden implementar técnicas de sombreado para minimizar la ganancia de calor solar durante el día, mientras que en áreas más frías, la maximización de la ganancia solar puede ayudar a reducir la necesidad de calefacción.

La selección de materiales también desempeña un papel crucial en la eficiencia energética. El uso de materiales con baja huella de carbono y alta

capacidad de aislamiento puede reducir significativamente la demanda energética de un edificio durante su vida útil. Como afirma Susan Roaf en su libro "Ecohouse: A Design Guide", "Los materiales de construcción sostenibles no solo minimizan el impacto ambiental durante su producción, sino que también contribuyen a la eficiencia energética y al confort interior" (Roaf et al., 2001).

La eficiencia energética en la construcción es fundamental, especialmente en regiones como la zona ecuatorial andina, donde el clima moderado reduce la necesidad de sistemas de calefacción o aire acondicionado en las viviendas. Utilizar materiales locales es una estrategia clave para mejorar esta eficiencia, ya que suelen estar mejor adaptados al entorno climático y cultural.

La integración de sistemas inteligentes y tecnologías de automatización permite optimizar el rendimiento energético de los edificios en tiempo real. Mediante sensores, controles de iluminación y gestión de sistemas de climatización interior como calefacción, ventilación y aire acondicionado, es posible ajustar el consumo energético según las necesidades específicas de cada espacio. En palabras de William McDonough, pionero del diseño cradle-to-cradle, "La arquitectura inteligente es aquella que utiliza la tecnología para maximizar la eficiencia energética sin comprometer el confort humano" (McDonough et al., 2002). Además, dentro de estas tecnologías, están los sistemas fotovoltaicos utilizados para la producción de energía renovable y sistemas de control energético para monitorear y controlar el consumo, estas soluciones permiten optimizar el rendimiento de los edificios en tiempo real.

La implementación de medidas de eficiencia energética también depende de factores financieros y políticos. Es crucial contar con políticas gubernamentales que fomenten la eficiencia energética, proporcionen incentivos fiscales y faciliten el acceso a financiamiento para proyectos de construcción sostenible. Por otro lado, la participación activa de la comunidad es esencial para el éxito a largo plazo de proyectos de eficiencia energética. Fomentar la educación y la participación de los residentes en la implementación y mantenimiento de tecnologías sostenibles puede garantizar un compromiso sostenible con la eficiencia energética. Este enfoque inclusivo también puede contribuir al desarrollo social y económico de la comunidad.

En última instancia, la eficiencia energética en la arquitectura no solo representa un compromiso con la disminución del uso de energía y las emisiones de carbono, sino que también tiene el potencial de transformar la forma en que concebimos y habitamos nuestros entornos construidos. Al integrar principios de diseño pasivo, selección de materiales sostenibles y tecnologías inteligentes, podemos crear edificios que además de reducir su huella ambiental, también mejoren la calidad de vida de sus ocupantes y contribuyan al desarrollo de comunidades más resilientes y prósperas. En este sentido, la eficiencia energética en la arquitectura no solo es una cuestión técnica o económica, sino también un imperativo ético y social que exige una colaboración concertada entre los sectores público, privado y comunitario para alcanzar su pleno potencial en la construcción de un futuro sostenible y equitativo.

1.3.4 Impacto Ambiental de la Construcción

La construcción es una industria vital para el desarrollo socioeconómico, pero también es una de las principales contribuyentes al daño ambiental. La huella ambiental de la construcción abarca desde la extracción de materiales hasta la producción de desechos y la emanación de gases de efecto invernadero. La extracción de recursos naturales para la construcción, como la madera, el agua y los minerales, contribuye al agotamiento de estos recursos y al deterioro de los ecosistemas. Según el informe de la FAO (2018), la construcción es responsable de aproximadamente la mitad del consumo mundial de recursos naturales renovables y no renovables.

La construcción y operación de edificios son una fuente importante de emisiones de gases que contribuyen al efecto invernadero, como el CO₂, el CH₄ y el N₂O. De acuerdo a lo indicado por la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2020), los edificios son responsables de alrededor del 30% de las emisiones globales de CO₂. Según la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA, 2019), la construcción produce una considerable cantidad de residuos de construcción y demolición que incluyen escombros, materiales no utilizados y desechos de embalaje. Estos residuos contribuyen a la contaminación del suelo y el agua.

A nivel mundial, el aumento de la población y el desarrollo económico constituyen los mayores impulsores del incremento en las emisiones de

UCUENCA

dióxido de carbono. Estos gases de efecto invernadero son producto de diversos sectores, incluyendo el abastecimiento energético, la manufactura y construcción, el transporte, y el ámbito residencial. Entre estos sectores, el abastecimiento energético destaca como el mayor contribuyente, representando el 47% del total de emisiones, seguido de cerca por el sector de la manufactura y construcción, culpable del 33% de las emisiones de CO₂. El sector del transporte representa el 11%, mientras que el sector residencial, debido a sus necesidades de calefacción y refrigeración, emite el 9% restante del total de dióxido de carbono (Edenhofer et al., 2014).

Uno de los principales contribuyentes a este impacto es la utilización generalizada de materiales de construcción estandarizados a nivel global como el cemento, el aluminio y el PVC. Por ejemplo, el cemento es responsable de aproximadamente el 5% de las emisiones globales de CO₂ (Edenhofer et al., 2014). Cada tonelada de cemento producida emite una tonelada de CO₂ a la atmósfera. Esto sugiere que la fabricación de cemento tiene una huella significativa en el cambio climático y el calentamiento global.

En resumen, el análisis destaca la necesidad urgente de adoptar prácticas de construcción sostenible que minimicen el impacto ambiental. La implementación de tecnologías innovadoras, la promoción de la reutilización y el reciclaje de materiales, y la aplicación de estándares más estrictos son pasos cruciales hacia la mitigación de los impactos ambientales de la construcción.

Es esencial una colaboración entre gobiernos y sociedad para impulsar un cambio significativo hacia la construcción sostenible y la conservación del medio ambiente para las próximas generaciones, a través de la mitigación de la industrialización de la construcción.



2. Marco teórico

2.1 Innovaciones Sostenibles en la Construcción

2.1.1 Importancia del estándar PowerHouse en la Construcción

El constante impacto ambiental, especialmente en la industria y la construcción, ha creado la necesidad imperativa de replantear el diseño de viviendas sociales con un enfoque primordial en la eficiencia energética. Este rediseño no solo busca mitigar el impacto ambiental, sino también abordar las repercusiones económicas que surgen en la ciudad de Cuenca y en todo lugar. Desde la conceptualización del principio de sostenibilidad en la década de 1980, en estrecha relación con el desarrollo sostenible, se ha forjado una conexión inseparable entre este principio y la arquitectura (Wadel et al., 2010). Asimismo, a partir de ese mismo periodo, se ha intensificado la búsqueda para reducir las emisiones de gases vinculados al efecto invernadero, lo cual ha tenido un impacto directo en la construcción, reconocida como una de las principales fuentes de contaminación (Marrero et al., 2013).

En este contexto, se presenta el estándar PowerHouse, concebido para limitar las acciones que contribuyen al aumento de la temperatura global, en total consonancia con el Acuerdo de París de la CMNUCC. Estas viviendas buscan establecer un nuevo estándar para la construcción de edificios sostenibles, capaces de producir más energía de la que consumen durante su vida útil, incluyendo las fases de construcción y demolición, es decir durante su ciclo de vida.

El ciclo de vida de un edificio abarca una evaluación completa de todos los factores ambientales, estructurales, productivos y de transporte. Estos aspectos están relacionados con la durabilidad del edificio y su impacto ambiental. Este proceso se conoce como análisis de ciclo de vida (ACV) y se enfoca en cuatro áreas clave: eficiencia, energía, materias primas y manejo de residuos (ECV, 2021). El ACV es una herramienta esencial para la evaluación ecológica de las edificaciones modernas y es fundamental para la mayoría de las certificaciones que buscan reducir el impacto ambiental de las construcciones contemporáneas. Investigaciones recientes indican que la construcción, a lo largo de su ciclo de vida, es responsable del 40-50% de las emisiones de gases de efecto invernadero

a nivel mundial, destacando la importancia de este sector para lograr los objetivos globales de mitigación del cambio climático (Pardo et al., 2022).

Un paso crucial en la implementación de este estándar es generar tanta energía como la requerida durante el ciclo de vida completo de la edificación. De esta manera, estas construcciones buscan maximizar la generación de energía limpia, minimizar la energía requerida para su funcionamiento, utilizar materiales con baja energía incorporada y proporcionar un espacio habitable agradable para sus residentes (Clikalia, 2019).

2.1.2 Técnica constructiva vernácula en tierra: Bahareque

La baja energía contenida de la arquitectura vernácula específicamente del bahareque, en comparación con los materiales industrializados, lo hace una opción más sostenible y respetuoso con el medio ambiente. Mientras que los materiales industrializados requieren una gran cantidad de energía para su producción y transporte, el bahareque utiliza principalmente recursos locales y naturales, reduciendo así su huella de carbono y contribuyendo a la conservación de los recursos naturales (Smith, 2018).

“La Arquitectura Vernácula es aquella que nace de las necesidades funcionales y formales de una región, tanto como del aprovechamiento de sus recursos naturales para construir la misma” (Félix et al., 2013). El empleo de estas técnicas ofrece diversas ventajas, como una excelente capacidad de aislamiento térmico y acústico, costes económicos reducidos, eficiencia energética, y disminución de desechos de construcción.

El bahareque es una técnica constructiva mixta que forma parte de la familia de entramados (Gráfico 2.1.6.1). Ha sido utilizada por diversas culturas, especialmente en Sudamérica, desde antes de la época colombina, en zonas con un clima templado donde se pueden encontrar materiales como la caña, el carrizo, la madera y grandes cantidades de tierra para esta técnica (Urdánigo y Álvarez, 2017). A diferencia de otras técnicas vernaculares como el tapial o el adobe, que se encuentran en climas áridos, el bahareque puede adaptarse a climas húmedos o templados con la simple presencia de agua en el sitio de construcción. Esta agua promueve el crecimiento de vegetación necesaria, como la madera, y elimina la necesidad de transporte de materiales desde otras ubicaciones. Además, el agua facilita que el suelo sea arcilloso, lo cual es ideal para utilizarlo como

relleno en el entramado (Jorquera, 2014). La combinación de madera y bahareque mejora significativamente la resistencia sísmica, aspecto crucial en Cuenca debido a su alta actividad sísmica. Estas ventajas hacen que el bahareque sea una elección ideal para el proyecto. (Cevallos, 2003; Carazas y Rivero, 2002).

Gráfico 2.1 Muro de Bahareque Liviano



Fuente: Romina Acevedo, 2022
Elaboración: Romina Acevedo, 2022

Según lo reportado por el Diario (2020), el bahareque se destaca como una técnica constructiva ecológica que ofrece un eficaz aislamiento térmico. Este método utiliza una mezcla de barro, agua y paja seca, que se amalgaman hasta lograr una consistencia pastosa. Esta mezcla se aplica como relleno o revestimiento en las paredes conformadas por carrizo o caña guadua, también conocido como esterillas.

2.1.3 Energía Solar Fotovoltaica como Alternativa Sostenible

El consumo energético derivado de las edificaciones en Cuenca representa una preocupación significativa. Según datos del INEC (2014), “el consumo promedio de energía eléctrica por hogar en la zona urbana de Cuenca es de 243.7 kWh por vivienda”. Es notable que, en Cuenca, “el sector residencial lidera el consumo de energía eléctrica con un 37.76%, seguido por el sector industrial con un 32.47%, el comercial con un 15.68%, el público con un 8.58% y otros con un 5.51%” (Centrosur, 2015). Por consiguiente, se vuelve imperativo adoptar medidas para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero y reducir el consumo de energía que no provenga de fuentes renovables.

En este contexto, la energía solar fotovoltaica se presenta como una alternativa sostenible y prometedora para abordar el creciente consumo energético en Cuenca, Ecuador. La ciudad enfrenta un rápido crecimiento urbano, lo que implica un aumento en la demanda de energía eléctrica, especialmente en el sector residencial, lo que subraya la necesidad de buscar fuentes de energía renovable para satisfacer esta creciente demanda (INEC, 2014).

Uno de los sectores de mayor crecimiento de la tecnología solar y probablemente el más popular es la energía fotovoltaica (Nations United, 2024). Estas tecnologías convierten la energía solar en electricidad mediante el uso de celdas sensibles a la luz solar, generando corriente eléctrica continua de manera eficiente (Calle et al., 2010). Este enfoque tecnológico ofrece una solución viable y eficaz para reducir la dependencia de fuentes de energía no renovables y mitigar los efectos del cambio climático.

La implementación de sistemas fotovoltaicos en las viviendas de Cuenca representa una oportunidad para diversificar la matriz energética de la ciudad, aumentar su resiliencia energética y reducir su impacto ambiental. Al ser una fuente de energía inagotable y limpia, la energía solar fotovoltaica ofrece beneficios a largo plazo tanto en términos económicos como ambientales, contribuyendo así al desarrollo sostenible de la ciudad (Romo et al., 2021). Asimismo, la constante radiación solar durante el año en Cuenca (Gráfico 2.1), a diferencia de otros lugares como se explicó

anteriormente en las condiciones climáticas, ofrece una ventaja significativa para el aprovechamiento óptimo de esta fuente de energía renovable.

Además, es importante tener en cuenta que el crecimiento urbano acelerado de Cuenca conlleva riesgos ambientales y económicos significativos. Según estudios realizados por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) en 2014, se proyecta que la huella urbana de la ciudad se expandirá considerablemente en los próximos años, lo que podría tener repercusiones negativas tanto en la calidad de vida de sus habitantes como en el entorno natural circundante (Albarracín Vélez, 2016). En este contexto, integrar tecnologías de energía renovable, como la energía solar fotovoltaica, no solo responde a una urgente demanda energética, sino que también se posiciona como una táctica esencial para asegurar un desarrollo sostenible.

2.2 Casos de Estudio

Para empezar con la metodología del trabajo, se estudiarán tres casos de estudio que ayudarán a comprender la naturaleza del estudio. La idea es convertir una vivienda de interés social construida con materiales industrializados a una vivienda con materiales de baja energía contenida como lo es la tierra, además de aplicar el concepto de Powerhouse para que la vivienda funcione con energía producida por sí misma.

2.2.1 Vivienda Social Base de Rediseño

La Empresa Pública Municipal de Urbanización y Vivienda de Cuenca busca posibilitar el acceso a viviendas, especialmente para personas vulnerables, promoviendo una vida digna y el desarrollo comunitario. Esto se logrará mediante la urbanización del suelo, la provisión de viviendas y servicios públicos complementarios. Se rige por principios de equidad social, eficiencia, accesibilidad, calidad, sustentabilidad, seguridad y precios justos, respetando diversas culturas y equilibrando lo urbano y lo rural (EMUVI EP, 2023).

Nombre del proyecto: Proyecto de Vivienda de Interés Social “Los Capulíes”

Fuente: EMUVI EP

Ubicación: Vía Ricaurte, Ochoa León, sector Machángara.

Año: 2015

Área: 5.6 ha

Se han edificado un total de 584 unidades residenciales, distribuidas en 5 fases. Dentro de estas, se construyeron viviendas de interés social (VIS) con un área de 78.78m², ubicadas en terrenos que van desde los 44.65m². Asimismo, se levantaron viviendas de interés prioritario (VIP) con un área de 85.80m². El objetivo del proyecto es acortar los tiempos de construcción, logrando así una reducción significativa en los costos de las viviendas (EMUVI EP, 2018).

Una vivienda de interés social se destaca como la opción ideal para ser transformada en una powerhouse debido a que, al empoderar a estas comunidades con acceso a una fuente de energía confiable y asequible, se puede mejorar la calidad de vida de los residentes, reducir los costos a largo plazo y promover la resiliencia ante desastres naturales, al tiempo que se fomenta la sostenibilidad y la innovación en el sector de la vivienda.

El estudio se enfoca en una vivienda correspondiente al tipo 1, con una superficie de 78.78 m², construida utilizando un sistema combinado de acero y ladrillo. Esta vivienda presenta una cubierta inclinada a dos aguas, tres dormitorios, un baño completo y un medio baño, sala de estar, cocina, comedor y área de lavado en el patio trasero. Además, el patio cuenta con área adicional de césped.

Análisis

En el diseño actual, todas las manzanas tienen una disposición uniforme de viviendas de la misma tipología a lo largo de su longitud. Esto significa que tanto las viviendas adyacentes como las de esquina son idénticas. Es importante destacar que no hay viviendas individuales en toda la urbanización. El acceso se realiza a través de un pasaje peatonal de 5 metros de ancho. Cada fachada está alineada una junto a la otra, y cada casa es una copia exacta de la siguiente, resultando en una sola fachada común con todas las viviendas iguales (Brito et al., 2020).

Gráfico 2.2 Vista aérea y perspectivas del proyecto



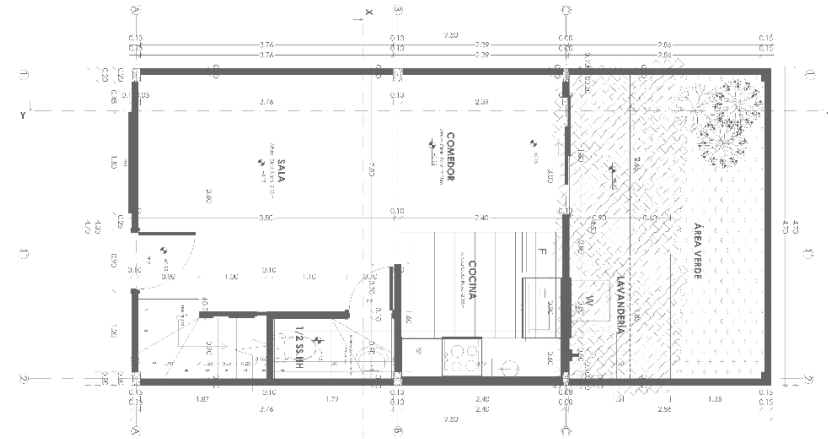
Fuente: EMUVI EP 2023 - 2018.
Elaboración: EMUVI EP, 2018.

Gráfico 2.3 Vista hacia la vivienda de interés prioritario



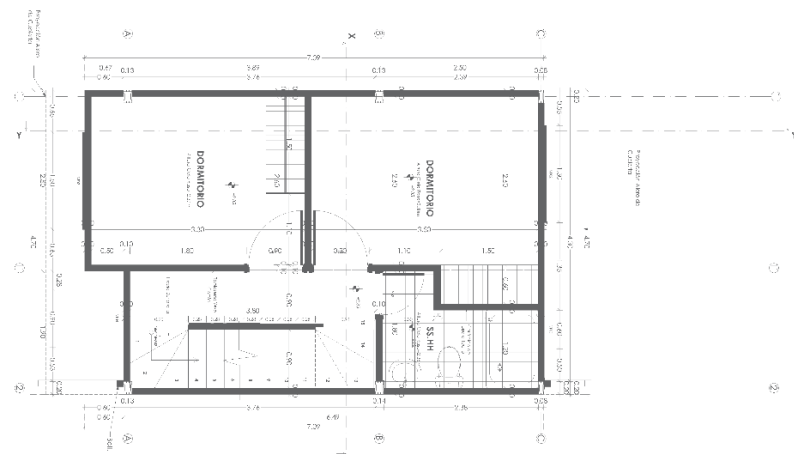
Fuente: EMUVI EP 2023 - 2018.
Elaboración: EMUVI EP, 2018.

Gráfico 2.4 Planta baja en estado actual



Fuente: EMUVI EP, 2018..
Elaboración: EMUVI EP, 2018.

Gráfico 2.5 Planta alta en estado actual



Fuente: EMUVI EP, 2018..
Elaboración: EMUVI EP, 2018

Architectural floor plan of a building. The plan shows a central corridor (CORRIDOR) with a width of 3.00m. To the right of the corridor is a large area labeled 'AREA VIRE' with a width of 33.00m. To the left of the corridor are several rooms, including a room with a width of 5.44m and another with a width of 3.42m. The plan also shows a 'CORRIDOR' at the bottom with a width of 3.00m. Various dimensions and structural annotations are provided throughout the plan.

Fuente:

Architectural section drawing of a three-story house. The drawing shows the internal structure, including walls, floors, and roof. The roof is gabled. The ground level is marked with a dashed line. The first floor contains a kitchen, a living area, and a bedroom. The second floor contains two bedrooms. The third floor contains a bedroom. The drawing is labeled with 'DORMITORY' and 'KITCHEN'. The elevation is marked as 'ELEVATION'.

Fuente:

Nombre del proyecto: Powerhouse Kjørbo

Nombre del proyecto: Powerhouse Kjørbo

Ubicación: Sandvika, Norway

Área: 5 200 m²

Uno de los mayores ejemplares de estándar powerhouse es Powerhouse Kjørbo ubicada a las afueras de Oslo, Sandvika, Noruega. Este proyecto cuenta con dos bloques de oficinas adyacentes, construidos en la década de los 80, los cuales fueron renovados para transformarlos en modernas oficinas con una huella energética positiva. Esto implica que, a lo largo de su vida útil, el edificio generará un excedente de energía en comparación con la energía que consume. En otras palabras, el edificio producirá y exportará más energía de la que se emplea en su construcción, renovación, funcionamiento y eventual desmantelamiento.

La renovación del edificio muestra que es posible convertir propiedades antiguas en edificios producen más energía de la necesaria para su consumo, incluso en climas fríos. Estas renovaciones son beneficiosas tanto económicamente como para el medio ambiente. Un enfoque completo del proyecto, que consideró la arquitectura, la eficiencia energética, los materiales y los sistemas técnicos, fue fundamental para alcanzar los objetivos ambiciosos del proyecto.

Antes de la renovación, el edificio sufría grandes pérdidas de calor debido a problemas en las ventanas, ventilación, infiltración y puentes térmicos, pero tras la renovación, estas pérdidas se redujeron drásticamente, hasta en un 90%. Se mejoró el aislamiento en paredes, techos y ventanas, asegurando así un ambiente interior cómodo y atractivo. Además, se instalaron pantallas exteriores transparentes para regular la temperatura en verano y evitar el deslumbramiento del sol sin bloquear la vista. Gracias al excelente aislamiento y al diseño de las ventanas, se minimiza la necesidad de calefacción y protección contra corrientes de aire. Se añadieron

Gráfico 2.8 Powerhouse Kjørbo



Fuente: Snøhetta, 2012

Elaboración: Leikny Havik Skjærseth, 2012.

Gráfico 2.9 Implementación de paneles solares en la cubierta de Powerhouse Kjørbo



Fuente: Snøhetta, 2012.

Elaboración: Tom Atle Bordevik, 2012.

radiadores solo para los días de invierno más fríos, mientras que la bomba de calor precalienta el aire y proporciona agua caliente. En verano, la refrigeración se logra mediante la circulación de salmuera en el sistema de ventilación. Además, se redujeron las cargas de calor gracias a un sistema de iluminación eficiente.

Para disminuir la cantidad de energía incorporada en la producción de materiales y componentes, se optó por conservar y reutilizar todas las estructuras de hormigón y acero existentes en el edificio renovado. Además, los paneles de vidrio de la fachada original se reutilizaron como parte de las nuevas paredes internas de las oficinas. En cuanto al revestimiento de la fachada, se eligió madera carbonizada por varias razones: primero, para minimizar la energía necesaria en su producción; segundo, esta técnica permite mantener el color oscuro característico del edificio original; tercero, la capa de carbón en la superficie mejora su resistencia al fuego, la putrefacción y los insectos. Además, esta técnica proporciona una superficie respetuosa con el medio ambiente y de bajo mantenimiento, lo que contribuye a reducir la energía incorporada y aumentar su vida útil con necesidades mínimas de mantenimiento. Este enfoque se aplica a todos los materiales utilizados en el proyecto, garantizando altos estándares ambientales y un bajo consumo de energía en su fabricación (Snøhetta, 2014).

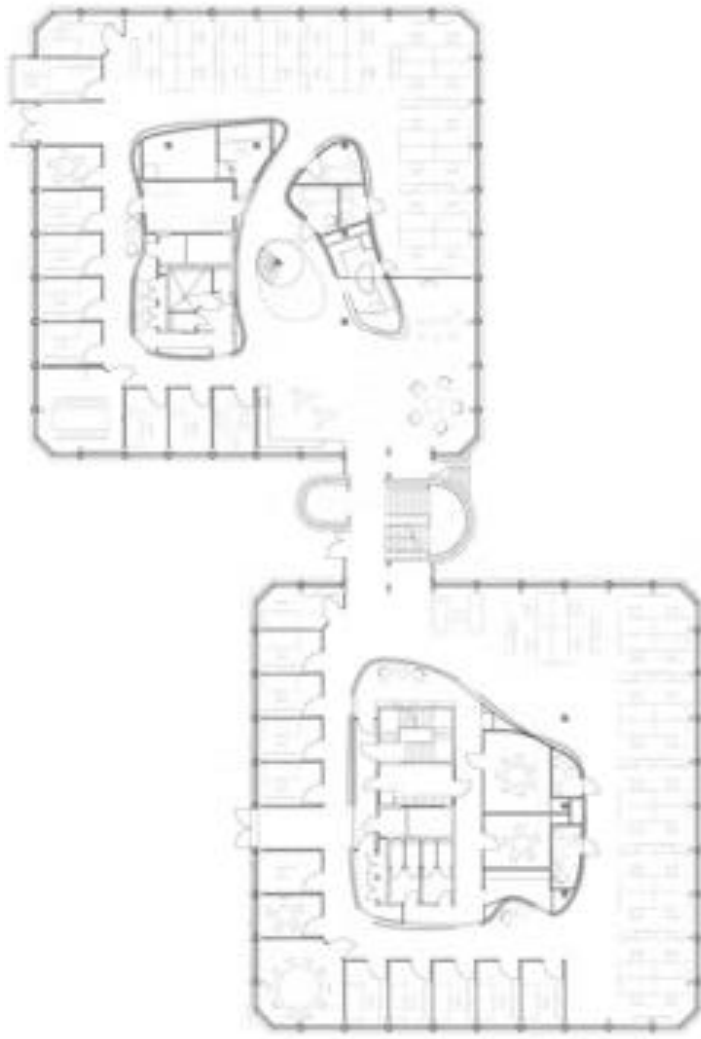
Gráfico 2.10 Corte transversal del proyecto



Fuente: Snøhetta, 2012

Elaboración: Snøhetta, 2012

Gráfico 2.11 Planta baja del proyecto



Fuente: Snøhetta, 2012
Elaboración: Snøhetta, 2012

2.2.3 Implementación de técnica constructiva

Nombre del proyecto: Vivienda Modular para damnificados

Arquitecto: María Eugenia Lacarra Córdova

Ubicación: Ica, Perú

Año: 2008

Área: 56.96 m²

El análisis de la vivienda en bahareque se fundamenta en la necesidad de ofrecer una solución habitacional adecuada tras el devastador terremoto ocurrido en agosto de 2007 en Perú. Este sismo, de una magnitud de 7,9, dejó miles de viviendas destruidas y afectadas, especialmente en las provincias de Ica, Pisco y Chincha. La falta de viviendas tras el desastre afectó principalmente a las áreas marginales periurbanas y rurales, donde la mayoría de las construcciones eran de adobe y carecían de medidas de seguridad adecuadas. En respuesta a esta situación, se diseñó un proyecto de vivienda sismorresistente y de bajo costo, utilizando la técnica constructiva de bahareque mejorado modular.

Esta solución de vivienda adoptada tiene como objetivo principal mejorar las condiciones habitacionales de la población afectada, especialmente aquella de bajos recursos económicos. El sistema constructivo del bahareque mejorado modular ofrece ventajas significativas, como su resistencia sísmica, su simplicidad de construcción y su adaptabilidad a diferentes materiales y contextos climáticos. Además, este enfoque permite la participación activa de la población beneficiaria en todas las etapas del proceso constructivo, lo que contribuye a su replicabilidad y sostenibilidad a largo plazo.

El proyecto arquitectónico se ha desarrollado considerando las características climáticas de la zona, la configuración espacial flexible y la participación de la comunidad en la construcción. De esta forma, diseñaron tres modelos de vivienda que mantienen un esquema común para adaptarse a diversos terrenos y necesidades familiares. Con el apoyo de la Fundación Casas de la Salud, seleccionaron priorizando a las familias más

UCUENCA

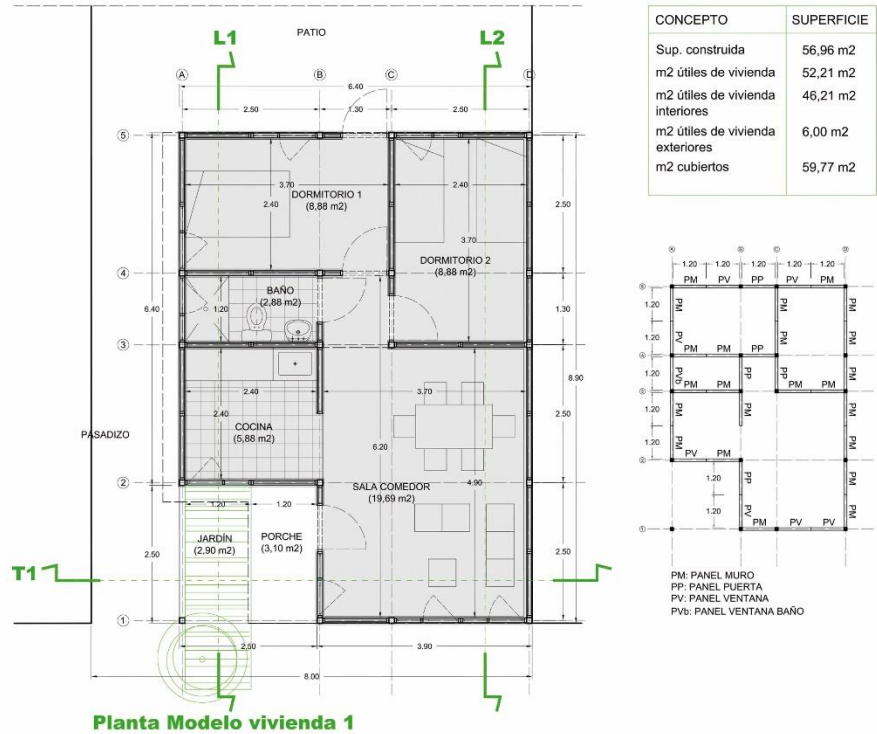
vulnerables, asegurando que la ayuda llegue a aquellos que más la necesitan. (Bienal de Arquitectura, 2008)

Gráfico 2.12 Elaboración de las viviendas modulares



Fuente: Bienal de Arquitectura, 2008.
Elaboración: Bienal de Arquitectura, 2008.

Gráfico 2.13 Planta de la vivienda modular



Fuente: Bienal de Arquitectura, 2008.
Elaboración: Bienal de Arquitectura, 2008..



3. Metodología y materiales

3.1 Descripción Metodológica de Análisis

El proyecto original contemplaba el uso de ladrillo y acero como materiales principales para la construcción de la vivienda. Sin embargo, tras una evaluación detallada, se decidió optar por el bahareque y la madera. Este cambio se debió a varias razones, entre las que destacan la sostenibilidad, la disponibilidad local de materiales y la menor huella de carbono asociada con el bahareque y la madera en comparación con el ladrillo y el acero. En el siguiente estudio se demuestra que el bahareque y la madera contienen menor energía contenida que el acero y el ladrillo.

Para proceder con el rediseño, primero se realizó un predimensionamiento de la estructura de madera que implica un análisis cuidadoso de las cargas y las resistencias. Se utilizaron métodos de cálculo estándar para asegurar que las dimensiones de los elementos de madera fueran adecuadas para soportar las cargas esperadas, incluyendo peso propio, cargas vivas y cargas ambientales como viento y sismo. Se seleccionó el eucalipto como material estructural, ya que cuenta con alta resistencia y durabilidad, y se diseñaron conexiones eficientes para maximizar la integridad estructural.

Con el cambio de materiales y predimensionamiento de la estructura, se procedió a redibujar la vivienda utilizando la herramienta Revit. Este software permitió una integración precisa de los nuevos materiales y una visualización detallada del diseño actualizado. Se realizaron ajustes en los planos estructurales y arquitectónicos, asegurando que cada componente estuviera alineado con las nuevas especificaciones y requerimientos de la estructura de madera y bahareque.

Finalmente, las simulaciones energéticas se llevaron a cabo utilizando la herramienta Ecodesigner de Archicad. Esta herramienta permitió evaluar el rendimiento energético de la vivienda en distintas condiciones climáticas. Se analizaron factores como la eficiencia térmica, la ventilación natural y el comportamiento de la envolvente térmica. Los resultados ayudaron a optimizar el diseño para reducir el consumo energético y mejorar el confort térmico.

El cálculo de la producción fotovoltaica se realizó con la herramienta Global Atlas. Esta herramienta proporcionó datos precisos sobre la radiación solar

en la ubicación específica del proyecto. Se modelaron distintos escenarios de instalación de paneles solares para determinar la producción energética potencial. Estos datos fueron cruciales para dimensionar correctamente el sistema fotovoltaico y asegurar una generación de energía eficiente y sostenible.

El objetivo del cálculo energético es determinar la cantidad de energía incorporada en la construcción de la vivienda social rediseñada. De este modo, se estima si la vivienda logra reducir el impacto ambiental en comparación con las construcciones convencionales de este tipo.

Para este estudio se trabajó con una vivienda diseñada para una familia de cuatro miembros, correspondiente a clase media, y el programa arquitectónico se desarrolla en dos plantas, y una tercera a manera de buhardilla. En este proyecto se consideran las siguientes actividades:

- Estimación de energía contenida en el material de construcción
- del sistema constructivo bahareque.
- Estimación de energía contenida en actividades de la
- construcción.
- Estimación de requerimiento energético.
- Estudio energético de la vivienda mediante el uso de EcoDesigner.
- Análisis de generación energética según la herramienta en línea Global Atlas.
- Comparación y estimación del periodo necesario para cumplir con el estándar Powerhouse.

Las unidades utilizadas para calcular las cantidades son las establecidas por el Sistema Internacional de Medidas. Se considera el kW/h como unidad de medida de energía. Para realizar el análisis del rediseño de vivienda, se realizó un modelo BIM con Archicad. Mediante este enfoque, se pretende evaluar el rendimiento energético y ambiental de la vivienda y verificar si cumple con los estándares de sostenibilidad definidos con la función EcoDesigner disponible en Archicad.

3.2 Energía contenida en los materiales del rediseño

La técnica constructiva de bahareque para los muros se divide en cuatro elementos principales: la estructura principal, la estructura secundaria, el relleno y el revestimiento. En el rediseño propuesto, la estructura principal estará compuesta por madera, mientras que la estructura secundaria, que es el entramado, se realizará con carrizo. El relleno consistirá en tierra cruda mezclada con fibra vegetal, y para mejorar la capacidad estructural de los muros, se aplicará un revestimiento de tierra y cal.

Siguiendo con la descripción de la técnica constructiva, es importante detallar cómo se conformarán otros elementos fundamentales de la estructura. En este sentido, la cimentación de la vivienda estará compuesta por un muro de piedra elaborado con canto rodado y mortero de cal. La estructura de la cubierta se construirá utilizando madera de eucalipto, al igual que los marcos de puertas y ventanas. Además, tanto las columnas como el piso se realizarán con madera de eucalipto, aprovechando sus propiedades estructurales adecuadas para este propósito.

Aunque el objetivo principal es reducir la cantidad de energía contenida en los materiales utilizados en la vivienda, algunos elementos industrializados son indispensables para garantizar su funcionamiento adecuado. Por ejemplo, se utilizarán materiales como el acristalamiento en las ventanas para permitir la entrada de luz natural en el interior. Asimismo, se emplearán lana mineral para aislar los techos. Por último, se utilizarán tableros de fibra orientada (OSB) para cerrar tanto el techo como el piso, proporcionando una superficie resistente para la vivienda.

La selección de materiales para la construcción de una vivienda sostenible es un proceso crucial que influye directamente en su eficiencia energética y su impacto ambiental. En este sentido, se han elegido cuidadosamente los materiales que se utilizarán en el rediseño de la vivienda, considerando su bajo contenido energético y sus mínimas emisiones de gases de efecto invernadero. La Tabla 3. a continuación presenta los materiales seleccionados, proporcionando una visión detallada de su impacto en el proyecto de construcción.

Tabla 3 Energía contenida en materiales de construcción

Material	Energía Contenida (Producción) (KWh/kg)	EGEF (kgCO2)	Contexto	Fuente
Cimentación				
Piedra natural	0.050	0.014	Azuay, Ecuador	(Alvarado, 2021)
Mortero de cal	0.065	0.018	Cuenca, Ecuador	(Alvarado, 2021)
Contrapiso				
Mejora del terreno	0.010	0.003	Bogotá, Colombia	(Muñoz, 2019)
Grava	0.028	0.008	Chile (different regions), C-E	(Osorio, 2010)
Madera	0.058	0.016	Azuay, Ecuador	(Alvarado, 2021)
Muros				
Tierra cruda	0.097	0.026	Bogotá, Colombia	(Muñoz, 2019)
Cal recubrimiento	0.900	0.787	Torreón, México	(González y Guerrero, 2022)
Carrizo	0.0278	0.007	Bogotá, Colombia	(Muñoz, 2019)
Madera	0.0583	0.0157	Azuay, Ecuador	(Alvarado, 2021)
Vidrio	4.417	1.192	Azuay, Ecuador	(Alvarado, 2021)

UCUENCA

Entrepiso				
Corcho aislante	0.278	0.075	Bogotá, Colombia	(Muñoz, 2019)
OSB	2.639	0.712	Valdivia, Chile	(Osorio, 2010)
Madera	0.058	0.016	Azuay, Ecuador	(Alvarado, 2021)
Cubierta				
OSB	2.639	0.712	Valdivia, Chile	(Osorio, 2010)
Madera	0.058	0.016	Azuay, Ecuador	(Alvarado, 2021)
Lana mineral	0.055	1.094	Bogotá, Colombia	(Muñoz, 2019)
Teja asfáltica	2.500	0.675	Valdivia, Chile	(Osorio, 2010)
Paneles fotovoltaicos	216.900	58.420	Europa del sur	(Nugent & Sovacool, 2014)

Fuente: Las indicadas.
Elaboración: Autoría propia

3.3 Criterios de Rediseño

En el proceso de rediseño se establecen criterios fundamentales que guían las decisiones de diseño. Se prioriza la selección de materiales con óptimas propiedades estructurales, térmicas, acústicas y estéticas, además de métodos que capitalicen los recursos renovables, minimizando así el consumo energético necesario para asegurar el confort habitacional.

Las condiciones propias del entorno influyen significativamente en este proceso. Se consideran varios aspectos, como la orientación del sol, la dirección del viento y la disposición de elementos como paredes, ventanas y techos, los cuales también tienen un impacto tanto en la cantidad de

energía requerida por la vivienda como en la optimización del aprovechamiento de la luz solar y la ventilación natural.

Como punto importante, se consideran tecnologías como iluminación LED y sistemas fotovoltaicos para reducir la demanda energética al optimizar el uso de la energía.

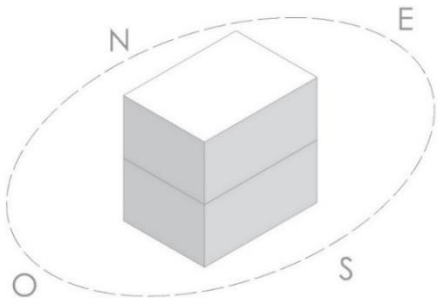
Finalmente, al diseñar la estructura, se predimensiona el sistema de poste y viga. Los marcos de la técnica de construcción llamada bahareque son autoportantes, lo que significa que pueden aguantar el peso de los materiales utilizados, como caña guadua y tierra, sin necesidad de realizar un análisis complicado como el de pandeo.

3.3.1 Criterios en Función del Entorno

Los elementos a considerar incluyen el clima semi-húmedo de Cuenca, junto con la posición del sol y la dirección del viento, que influirán en el diseño, la orientación y las dimensiones de las aberturas en las diversas fachadas.

Orientación de la vivienda

Gráfico 3.1 Propuesta de orientación de la vivienda

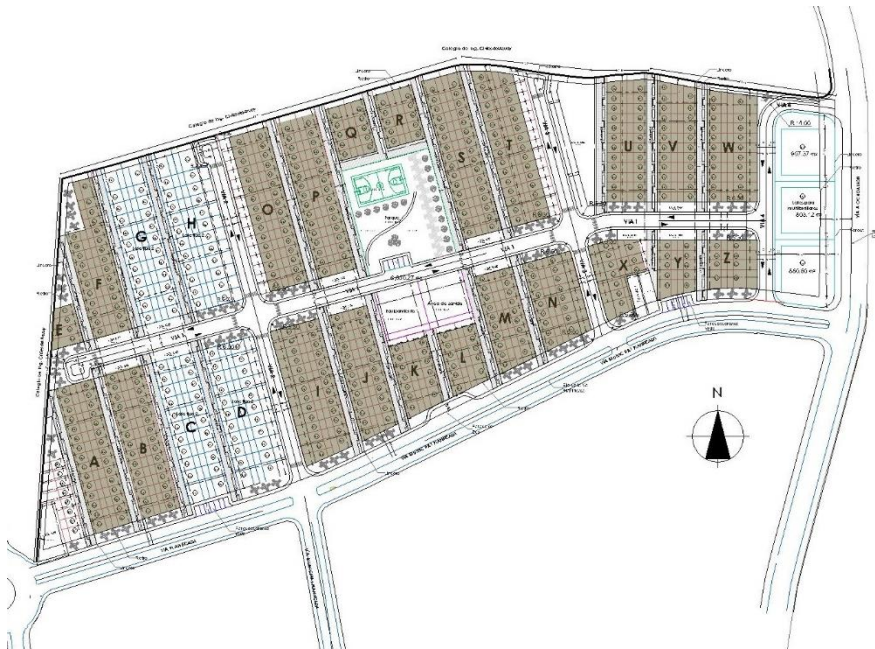


Fuente: Autoría propia.
Elaboración: Autoría propia.

UCUENCA

La propuesta de rediseño se orienta de dos maneras: con el acceso principal al Este y su parte posterior al oeste y viceversa (Gráfico 3.1). Esta disposición considera factores como la privacidad entre las unidades residenciales, puesto que el proyecto en estudio trata de viviendas en hilera. Además, la orientación de las entradas principales y de los espacios de estacionamiento también es crucial para la funcionalidad y conveniencia de los residentes. Se busca maximizar el acceso desde la calle o áreas comunes y facilitar la movilidad interna dentro del conjunto de viviendas.

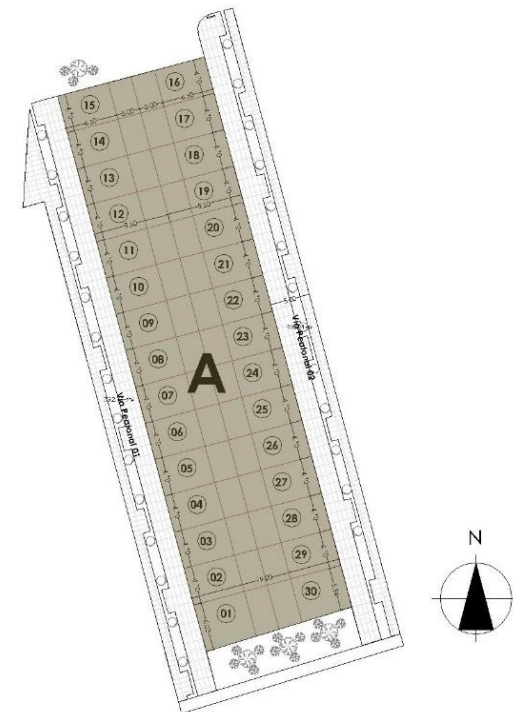
Gráfico 3.2 Lotización de viviendas Tipo I Los Capulíes



Fuente: EMUVI EP
Elaboración: Autoría propia.

Para el análisis de orientación se utilizó el emplazamiento real de la vivienda social como se puede observar en el Gráfico 3.2, donde se resalta la tipología de vivienda en estudio. Como caso particular se tomó el bloque A, Gráfico 3.3, como referencia para los análisis de soleamiento y las simulaciones energéticas debido a que estas viviendas corresponden al área utilizada para el rediseño.

Gráfico 3.3 Bloque A de viviendas de interés social Los Capulíes



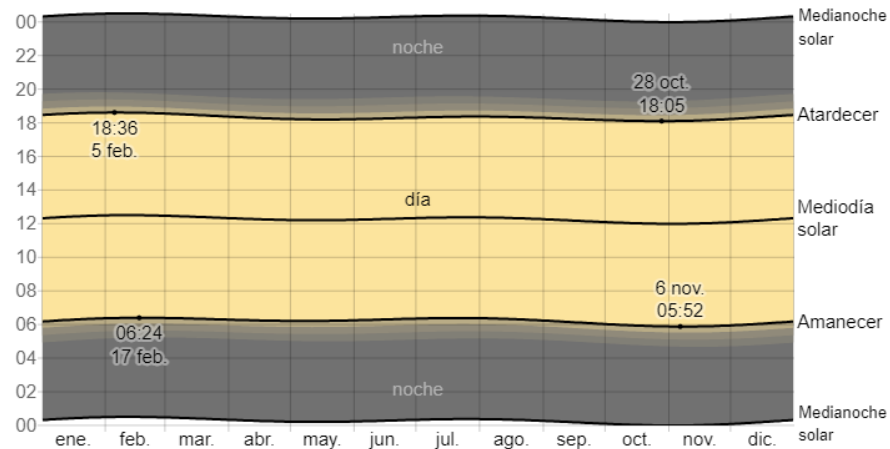
Fuente: EMUVI EP
Elaboración: Autoría propia.

UCUENCA

Soleamiento

En la ciudad de Cuenca, durante el año, las temperaturas oscilan típicamente entre 7 °C y 17 °C, raramente descendiendo por debajo de 5 °C o superando los 19 °C. Según se muestra en el Gráfico 3.2, el amanecer más temprano ocurre a las 05:52 el 6 de noviembre, mientras que el amanecer más tardío sucede 31 minutos después, a las 06:24 el 17 de febrero. Respecto al atardecer, el más temprano se registra a las 18:05 el 28 de octubre, y el más tardío, también 31 minutos más tarde, a las 18:36 el 5 de febrero (Weather Spark, 2024).

Gráfico 3.4 Salida del sol y puesta del sol con crepúsculo en Cuenca

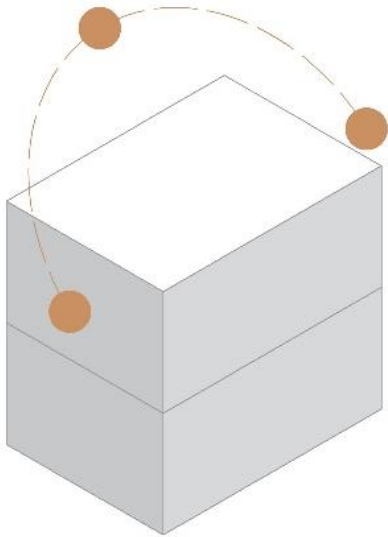


Fuente: Weather Spark, 2024.
Elaboración: Weather Spark, 2024.

En la vivienda los vanos se ubican en el Este y Oeste, como se mencionó anteriormente y como se observa en el gráfico 3.3, para recibir la mayor iluminación posible, además de que existe la restricción de que la vivienda es adosada tanto en el Norte como en el Sur. Las viviendas cuentan con una iluminación natural reducida debido a la ubicación, orientación solar y dimensiones de las ventanas, por lo que se requiere luz artificial durante el día. Además, la orientación Este-Oeste permite aprovechar la radiación directa del sol para calentar la vivienda, especialmente durante las

mañanas y las tardes, que es cuando las temperaturas suelen ser más frías en Cuenca. Sin embargo, es importante tener cuidado con la incidencia solar poniente, ya que puede provocar sobrecalentamiento en la vivienda. Para mitigar este efecto, se recomienda implementar estrategias de ventilación natural, las cuales son particularmente efectivas en el medio propuesto y ayudan a resolver problemas de exceso de calor.

Gráfico 3.5 Soleamiento de la propuesta de la vivienda



Fuente: Autoría propia.
Elaboración: Autoría propia.

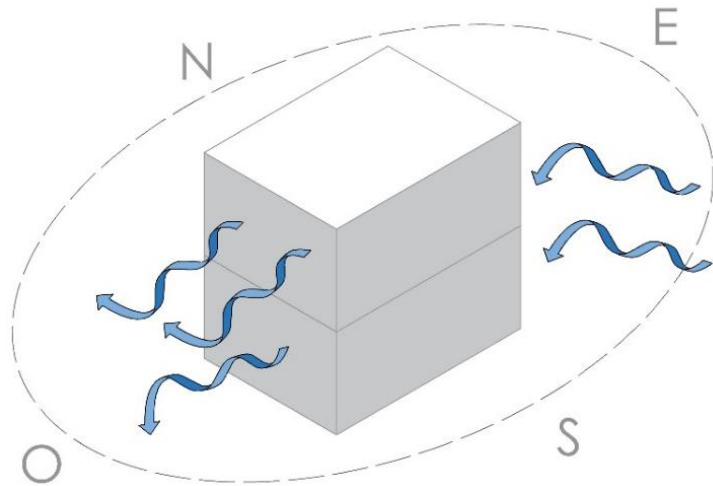
Vientos

El diseño de la vivienda está influenciado por la dirección de los vientos, con la orientación cuidadosamente planeada para facilitar una ventilación adecuada. Cuenca experimenta cambios climáticos marcados, incluyendo temperaturas relativamente altas durante el día y descensos significativos de temperatura por la noche, por lo que se ha considerado aprovechar las corrientes de aire predominantes del Sureste (Gráfico 3.4), para regular la

UCUENCA

temperatura interior de las viviendas, permitiendo que el aire fresco circule y disipe el calor acumulado durante el día. Por lo tanto, los edificios no necesitan sistemas de calefacción o refrigeración. Esto se debe a que los interiores, gracias a las ganancias de calor internas, la inercia térmica de la envoltura y la ganancia solar pasiva, generalmente alcanzan temperaturas confortables sin dificultad. De manera similar, los espacios cerrados con demasiado acristalamiento orientado al oeste a veces pueden sufrir de sobrecalentamiento interno, pero esto se puede solucionar con ventilación o protección solar. (Paltán-Cuenca et al., 2023)

Gráfico 3.6 Dirección de vientos predominantes



Fuente: Autoría propia.
Elaboración: Autoría propia.

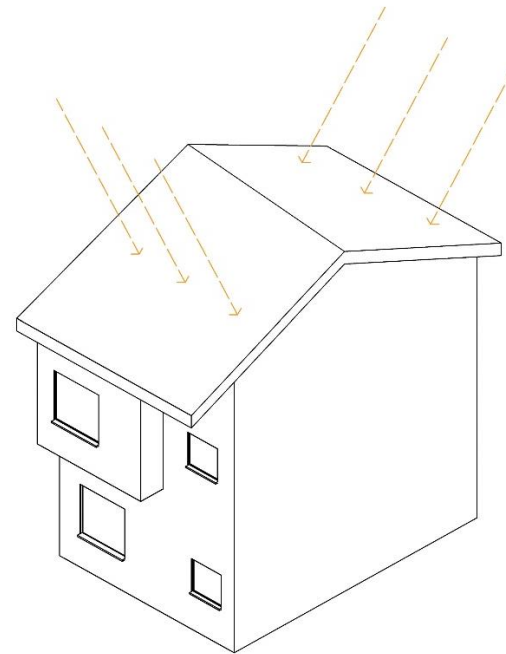
Factor climático

Según Weather Spark (2024), el período más lluvioso abarca 3.9 meses, desde el 16 de enero hasta el 11 de mayo, con una posibilidad mayor a 34% de que cualquier día sea un día lluvioso. Marzo es el mes con más días lluviosos en Cuenca, teniendo en promedio 16.5 días con al menos 1 milímetro de precipitación. En cuanto a la humedad, "el nivel de humedad

percibido en Cuenca, medido por el porcentaje de tiempo en el cual el nivel de comodidad de humedad es bochornoso, opresivo o insoportable, no varía considerablemente durante el año, y permanece prácticamente constante en 0 %" (Weather Spark, 2024).

Los elementos utilizados como protección contra agentes climáticos son aleros, tejados inclinados y ventanas estratégicamente ubicadas para proporcionar sombra y reducir la entrada directa de luz solar y calor en el interior de la vivienda. Durante la temporada de lluvias, es esencial un diseño adecuado del techo y el sistema de drenaje.

Gráfico 3.7 Cubierta inclinada en la propuesta de vivienda



Fuente: Autoría propia.
Elaboración: Autoría propia.

UCUENCA

3.3.2 Criterios en Función del Material

En el proceso de selección de materiales para la construcción, es esencial considerar diversos criterios que afectan tanto el rendimiento térmico de la edificación como su sostenibilidad. Estos criterios incluyen la conductividad térmica, la densidad y el calor específico de los materiales, ya que estos parámetros influyen significativamente en el comportamiento energético y el confort térmico de los espacios habitables. Evaluar y comparar estas propiedades permite tomar decisiones informadas que optimizan la eficiencia energética y minimizan el impacto ambiental durante todo el ciclo de vida del edificio.

Conductividad térmica (λ) (w/m.K): Este término describe la habilidad de un material para transferir calor a través de su estructura. Se mide en vatios por metro Kelvin (W/m·K). Un valor bajo de conductividad térmica sugiere que el material es un excelente aislante térmico (Sánchez, H., 2021).

Densidad (ρ) (Kg/m³): La densidad se refiere a la cantidad de masa en una unidad de volumen y se expresa en kilogramos por metro cúbico (kg/m³). La densidad de un material puede afectar tanto su resistencia estructural como su capacidad para almacenar y liberar calor.

Calor específico (cp) (KJ/Kg.K): se describe como la energía necesaria para aumentar la temperatura de una unidad de masa de cualquier sustancia en un grado Kelvin. Este parámetro se mide en kilojulios por kilogramo Kelvin (kJ/kg·K), y refleja la habilidad del material para retener y liberar calor durante cambios térmicos.

A continuación, en la Tabla 4, se presenta los materiales y sus respectivos valores de conductividad térmica, densidad y calor específico.

Tabla 4 Inercia térmica y aislamiento térmico de los materiales de construcción más empleados

Material	Conductividad térmica (λ) (w/m.K)	Densidad (ρ) (Kg/m ³)	Calor específico (cp) (KJ/Kg.K)	Fuente
Piedra natural	3.5	2500	0.75	(González, E., 2004)

Mortero de cal	1.16	2000	1.61	(Khan Ankur et al., 2022) (Senise, 2017) (Air-Conditioning Engineers, 1993)
Mejora del terreno	0.41	700	1.34	(Khan Ankur et al., 2022) (Senise, 2017) (Air-Conditioning Engineers, 1993)
Grava	0.58	2400	0.84	(Air-Conditioning Engineers, 1993)
Madera	0.16	550	2.3	(Barra, 2016) (Vinueza, 2023)
Tierra cruda	1.2	2000	1.1	(Cuitiño et al., 2020) (Canavesi, 2021)
Vidrio	1.2	2500	0.8	(Instituto Nacional de Normalización - inn, 2008)
Corcho aislante	0.039	120	1.8	(Air-Conditioning Engineers, 1993)

Teja asfáltica	0.17	1100	1.26	(Air-Conditioning Engineers, 1993)
OSB	15	650	1.7	(Style, 2014)

Fuente: Las indicadas.

Elaboración: Autoría propia

3.3.3 Criterios en Función de Generación y Consumo de Energía Iluminación LED

La tecnología fotovoltaica se basa en el efecto fotovoltaico a nivel atómico, donde la corriente eléctrica resulta del movimiento de electrones estimulados por la irradiación solar (Zalamea Leon & Barragan Escandon, 2021). La energía solar es esencial para el funcionamiento óptimo de las células fotovoltaicas, dado que sin ella no se activaría el efecto fotovoltaico. La cantidad de radiación solar que alcanza un punto específico en la superficie terrestre está condicionada por varios factores, como las condiciones climáticas, la orientación del sistema de captación, la presencia de superficies reflectantes cercanas y la posición relativa de la Tierra respecto al Sol. Por ejemplo, un panel solar colocado horizontalmente recibe más radiación directa y menos radiación reflejada. Según Romero Castillo (2015), maximizar la eficiencia en la captación de energía solar implica asegurar que los rayos solares incidan perpendicularmente sobre las superficies receptoras.

En el caso específico de Cuenca, con una latitud de -2.897410° y longitud de -79.004460° , la orientación más favorable para los paneles solares es hacia el este. Con una pendiente de 22° , esta orientación puede generar un 6,4 % más de energía que una orientación oeste-suroeste. La irradiación global promedio en Cuenca es de aproximadamente $4100 \text{ Wh/m}^2/\text{día}$ (Zalamea Leon & Barragan Escandon, 2021).

Por otro lado, las células fotovoltaicas más utilizadas comúnmente son de silicio y se pueden clasificar en monocristalino, policristalino y de lámina delgada Tabla 5. Estas células varían en su proceso de fabricación y apariencia: las monocristalinas presentan un color oscuro uniforme,

mientras que las policristalinas tienen un color azul oscuro con una textura cristalina distintiva. Las células de lámina delgada, por otro lado, son homogéneas en color y pueden ser translúcidas debido a su delgada sección (Zalamea Leon & Barragan Escandon, 2021).

Tabla 5 Tipos de células más habituales de sílice

Celdas	Características
 Monocrystalino	Estructura: Formado por celda sencilla de silicón Módulo de eficiencia típico: 13%-20% (17% a 22% de acuerdo con SHC e IEA)
 Policristalino	Estructura: Formado por multicristales de silicón Módulo de eficiencia típico: 14%-16% (11% a 17% de acuerdo con SHC e IEA)
 Lámina Delgada	Estructura: Formado por sílice amorfo Módulo de eficiencia típico: 6%-12% (4% a 8% en celdas amorfas de silicón de acuerdo con SHC e IEA)

Fuente: Zalamea Leon & Barragan Escandon, 2021

Elaboración: Autoría propia

Además, los módulos fotovoltaicos están diseñados para maximizar la captación de energía solar. Estos módulos están compuestos por varios componentes, como una cubierta exterior de vidrio templado para proteger contra fenómenos atmosféricos, capas encapsulantes de silicona o EVA para amortiguar vibraciones e impactos, una protección posterior de TEDLAR o EVA para proteger contra la humedad, un marco de soporte de aluminio anodizado o acero inoxidable, y contactos eléctricos de cobre que recogen la energía generada (Romero Castillo, 2015).

Para complementar la eficiencia energética del sistema fotovoltaico, se ha optado por utilizar iluminación LED en toda la vivienda. La tecnología LED, conocida por su bajo consumo de energía y larga vida útil, reduce significativamente la demanda de electricidad en comparación con las bombillas incandescentes o fluorescentes. Esto no solo disminuye el consumo total de energía de la vivienda, sino que también maximiza la utilización de la energía generada por los paneles solares.

3.3.4 Criterios en Función de la Integración Arquitectónica

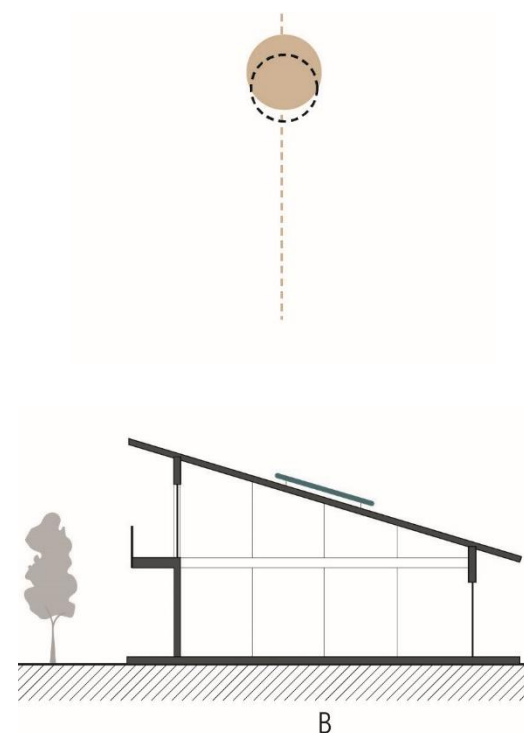
Los colectores solares se integran en los edificios desde las primeras etapas del diseño, considerando factores como la demanda eléctrica, la capacidad de la envolvente y el volumen del edificio. También se toma en cuenta la integración arquitectónica y la capacidad energética total del edificio según los estándares de eficiencia energética. Estos colectores no solo convierten la radiación solar en energía útil, sino que también pueden desempeñar funciones arquitectónicas adicionales, como actuar como filtro solar o barandilla, y deben integrarse coherentemente con la estructura del edificio.

La eficiencia de los colectores solares en un edificio depende de la cantidad de superficie que recibe luz solar directa, lo cual está relacionado con la ubicación geográfica y la trayectoria del sol a lo largo del día y las estaciones. Se describen tres ejemplos de cómo disponer colectores solares en edificios para maximizar su aprovechamiento: colectores simplemente colocados en edificación, colectores superpuestos en edificación y colectores integrados arquitectónicamente. A continuación, se explica la disposición de los colectores en el presente estudio:

Colectores superpuestos en edificación

Los colectores solares se consideran superpuestos cuando están alineados paralelamente con la techumbre o fachada del edificio. Idealmente, deberían estar centrados o alineados con algún eje formal del edificio y coincidir en color y material. Estos colectores son independientes de la estructura del edificio, lo que permite su instalación o remoción sin afectar significativamente la forma constructiva original del edificio.

Gráfico 3.8 Condiciones de colectores acorde a su disposición respecto a envolvente B



Fuente: Zalamea y Barragán, 2021.
Elaboración: Zalamea y Barragán



4. Rediseño

4.1 Memoria Técnica

El proyecto de rediseño se centra en una vivienda dentro del proyecto EMUVI EP “Los Capulíes”, diseñada para una familia de cuatro miembros. La vivienda se distribuye en dos pisos más una buhardilla, con modificaciones mínimas en las dimensiones para mejorar la eficiencia energética y funcionalidad sin alterar significativamente la estructura existente. Este rediseño se enfoca en la integración de materiales sostenibles para reducir el impacto ambiental.

Para optimizar la autosuficiencia energética, se implementará un sistema fotovoltaico en la cubierta de la vivienda. Este sistema permitirá generar electricidad limpia y renovable para cubrir las necesidades energéticas de la familia, contribuyendo así a la neutralidad energética del hogar y reduciendo la dependencia de fuentes convencionales.

4.1.1 Materialidad

La selección de materiales se ha orientado hacia recursos locales y aquellos con bajo contenido energético. En los materiales del sistema constructivo bahareque se incluye tierra cruda y fibras naturales como madera y carrizo, que ofrecen excelente aislamiento térmico y acústico, asegurando confort interno y reducción del consumo energético. Además, se utiliza cal en el revoque y cimentación para fortalecer la estructura y mejorar la resistencia del recubrimiento. La piedra natural se emplea en la cimentación, contribuyendo con su mínima energía contenida a la estabilidad estructural.

Entre los materiales industriales, se han integrado paneles de OSB en la cubierta, pisos y paredes interiores como alternativa eficiente al bahareque en espacios reducidos, manteniendo la estabilidad estructural y el confort térmico requeridos. Adicionalmente, se empleará teja asfáltica para impermeabilizar la cubierta, asegurando la protección contra la humedad y prolongando la vida útil del techo. El vidrio se incorpora para la iluminación natural de la vivienda a pesar de su alto contenido energético.

En conjunto, esta selección asegura una baja energía contenida en promedio, a pesar de la inclusión de algunos materiales industrializados, destacando así la eficiencia energética y sostenibilidad del proyecto.

4.1.2 Sistema Constructivo

El sistema constructivo elegido para este proyecto se basa en la combinación del bahareque con una estructura principal de madera. Los muros exteriores se compondrán de paneles de bahareque, formados por cuadros de 60x60 cm de madera con un entramado de carrizo, rellenos con tierra y fibras naturales para asegurar un óptimo aislamiento térmico y acústico. Esta solución se extiende a toda la estructura principal de la vivienda, construida en madera de poste y viga para garantizar resistencia y durabilidad. Tanto los pisos como la cubierta seguirán una estructura similar de madera, sobre la cual se instalarán paneles de OSB como material de acabado, proporcionando una superficie sólida y estable. Este sistema fue seleccionado por su adaptabilidad al clima de Cuenca y por su resistencia sísmica inherente. A continuación, se realizará el predimensionamiento de la estructura principal de madera.

Predimensionamiento de la estructura

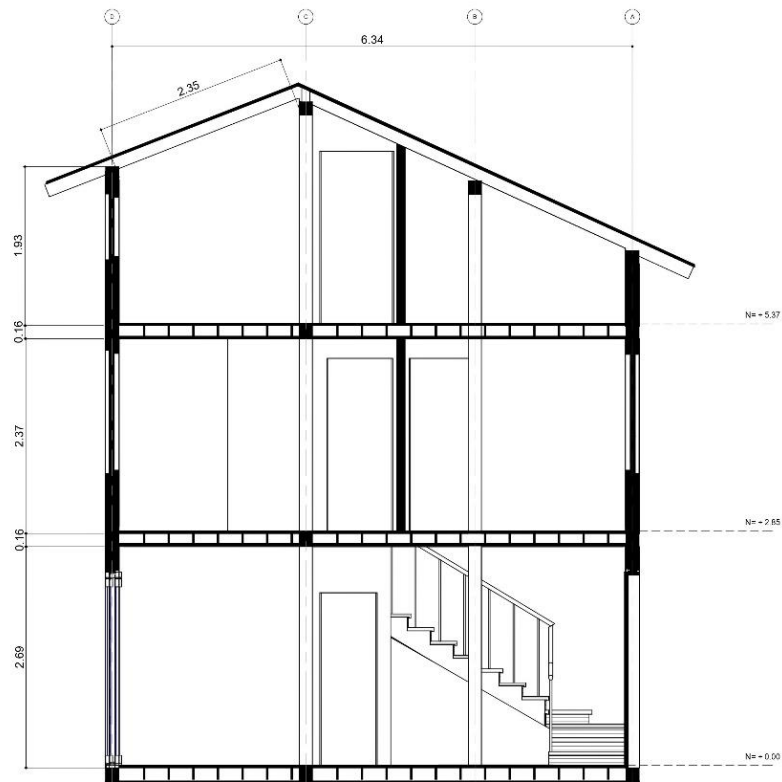
Para el predimensionamiento de la estructura del sistema constructivo, se ha seleccionado la madera de eucalipto debido a que se puede encontrar fácilmente en el sitio en donde estará emplazada la vivienda. La madera de eucalipto, con una densidad de 0.55 kg/m³, se clasifica dentro de la categoría C de la NEC 11. Esta norma divide las maderas en tres grupos según su densidad: categoría A, con densidades entre 0.71 y 0.90 kg/m³; categoría B, con densidades entre 0.56 y 0.70 kg/m³; y categoría C, con densidades entre 0.40 y 0.55 kg/m³. Dado que el eucalipto se encuentra en el extremo superior de la categoría C, se considera adecuado para su uso en la estructura propuesta.

El predimensionamiento se ha centrado en seleccionar los elementos estructurales que deben soportar las mayores cargas. Esto incluye vigas secundarias, vigas principales y columnas. Una vez determinados estos elementos, se emplearon las tablas de datos de esfuerzos máximos admisibles y módulo de elasticidad correspondientes a la categoría C para realizar los cálculos necesarios. Estas tablas son fundamentales para garantizar que los elementos estructurales seleccionados pueden resistir

las cargas aplicadas y cumplir con los requisitos de seguridad y estabilidad estructural establecidos por la NEC 11.

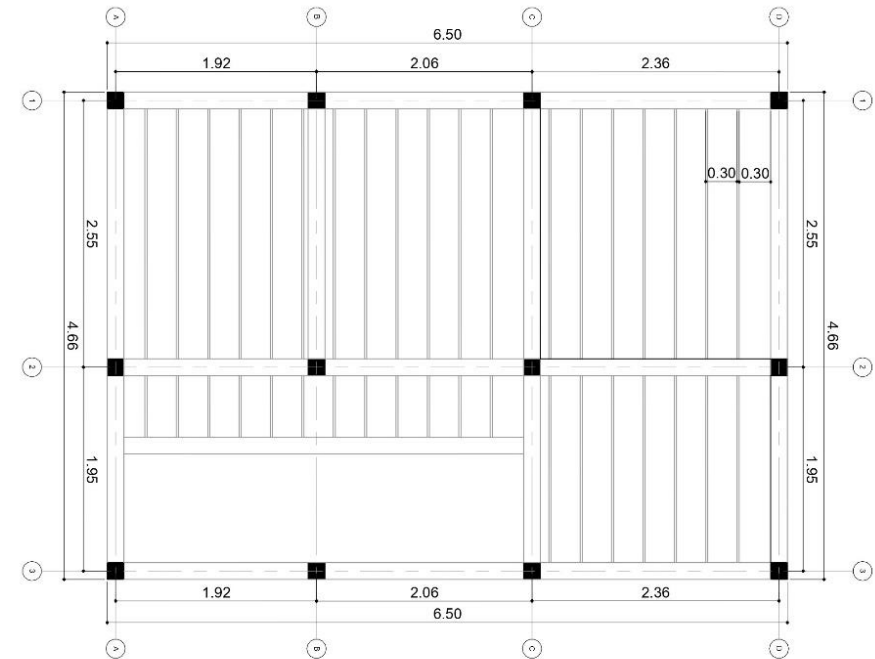
Para iniciar el proceso de cálculo, se comenzará con la cubierta, seguida del entepiso y, finalmente, se dimensionarán las columnas. Este enfoque secuencial asegura que cada componente estructural se evalúe y diseñe en función de las cargas que debe soportar, permitiendo una integración adecuada y segura de todos los elementos en la estructura final.

Gráfico 4.1 Sección de la vivienda



Fuente: Revit
Elaboración: Autoría propia

Gráfico 4.2 Planta estructural de entepiso



Fuente: Revit
Elaboración: Autoría propia

Predimensionamiento de la cubierta

A. Viga secundaria C-D

Carga de servicio cubierta: 100 Kg/m²

Luz viga secundaria: 2.34

Separación entre vigas secundarias: 0.50 m

Peso propio cubierta: 50 kg/m²

Tabla 6 Pesos materiales de la cubierta

Material	Largo	Ancho	Altura	Peso específico (Kg/m ³)	Peso (Kg/m ²)
Panel solar	1.00	1.0	0.03	359.85	10.80
Teja	1.00	1.0	0.05	51	2.55
Tablero OSB 1	1.00	1.0	0.03	600	18.00
Tablero OSB 2	1.00	1.0	0.03	600	18.00
Total					49.35

Fuente: INSTITUTO CHILENO DEL ACERO, 2023

Elaboración: Autoría propia

La cubierta tiene un peso total de 49.35 kg/m² (Tabla 6), por lo que se considerará un peso de 50 kg/m² para simplificar los cálculos. Sumando la carga de servicio, obtenemos un total de 150 kg/m², que es el peso que deberán soportar las vigas secundarias.

$$q = (100 + 50) \cdot 0.5 = 75 \text{ kg/ml}$$

$$\text{Momento flector: } M = qL^2/8 = 75 \times 2.34^2/8 = 51.33 \cdot 100 = 5133.38 \text{ kg*cm}$$

Tabla 7 Esfuerzos máximos admisibles

Esfuerzos máximos admisibles para la categoría C	
Esfuerzo máximo admisible a corte (Mpa)	0.88
Esfuerzo máximo admisible a flexión (Mpa)	11.00

Fuente: NEC, 2023

Elaboración: Autoría propia

A continuación, se verificará si una sección propuesta de 5x10 cm para las vigas secundarias resiste los esfuerzos de trabajo a flexión y a cortante (Tabla 7), conforme a la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 11.

$$V = (75 \cdot 2.34) / 2 = 87.75 \text{ kg}$$

$$f_{adm} = (3 \cdot 87.75) / (2 \cdot 10 \cdot 5) = 2.63 = 0.26 \text{ MPa} < 0.88 \text{ MPa}$$

De esta forma se comprueba que cumple al esfuerzo a corte.

$$\sigma_m = (6 \cdot 5133.38) / (5 \cdot 10^2) = 61.60 = 6.1 \text{ MPa} < 11 \text{ MPa}$$

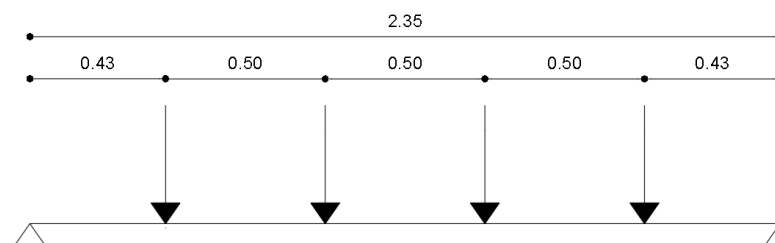
De esta forma se comprueba que cumple al esfuerzo a flexión.

B. Viga Principal C 1-2

$$q = (100 + 50) \cdot 0.5 = 75 \text{ kg/ml}$$

$$P = 75 \cdot 2.34 = 175.5 \text{ kg}$$

Gráfico 4.3 Representación de la viga y sus cargas



Fuente: AutoCAD

Elaboración: Autoría propia

$$M = \left(\frac{175.5 \cdot 4}{2} \cdot \frac{2.39}{2} \right) - (175.5 \cdot (0.75)) - (175.5 \cdot (0.25)) = 244.32 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

$$M = 244.32 \cdot 100 = 24432 \text{ kg*cm}$$

$$V = (75 \cdot 4) / 2 = 300 \text{ kg}$$

Se tomará una sección de 16x16 cm para las vigas principales y a continuación se comprobará si resiste los esfuerzos de trabajo a flexión y a cortante, conforme a la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 11, mostrados anteriormente.

$$f_{adm} = (3 \cdot 300) / (2 \cdot 16 \cdot 16) = 1.75 = 0.17 \text{ MPa} < 0.88 \text{ MPa}$$

UCUENCA

De esta forma se comprueba que cumple al esfuerzo a corte.

$$\sigma_m = (6 \cdot 24432) / (16 \cdot 16^2) = 35.78 = 3.5 \text{ MPa} < 11 \text{ MPa}$$

De esta forma se comprueba que cumple al esfuerzo a flexión.

Predimensionamiento del entrepiso

A. Viga secundaria 1-2

Carga de servicio cubierta: 200 Kg/m²

Luz viga secundaria: 2.55 m

Separación entre vigas secundarias: 0.30 m

Peso propio entrepiso: 36 kg/m²

Tabla 8 Pesos materiales del entrepiso

Material	Largo	Ancho	Altura	Peso específico (Kg/m ³)	Peso (Kg/m ²)
Tablero OSB 1	1.00	1.0	0.03	600	18.00
Tablero OSB 2	1.00	1.0	0.03	600	18.00
Total					36.00

Fuente: INSTITUTO CHILENO DEL ACERO, 2023

Elaboración: Autoría propia

Sumando la carga de servicio y la carga propia del entrepiso (Tabla 8), obtenemos un total de 236 kg/m², que es el peso que deberán soportar las vigas secundarias.

Tabla 9 Esfuerzos máximos admisibles

Esfuerzos máximos admisibles para la categoría C	
Esfuerzo máximo admisible a corte (Mpa)	0.88
Esfuerzo máximo admisible a flexión (Mpa)	11.00

Fuente: NEC, 2023

Elaboración: Autoría propia

$$q = (200 + 36) \cdot 0.3 = 71 \text{ kg/ml}$$

$$\text{Momento flector: } M = qL^2/8 = 71 \times 2.55^2 / 8 = 57.71 \cdot 100 = 5771 \text{ kg*cm}$$

A continuación, se verificará si una sección propuesta de 3x12 cm para las vigas secundarias resiste los esfuerzos de trabajo a flexión y a cortante (Tabla 9), conforme a la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 11.

$$V = (71 \cdot 2.55) / 2 = 90.53 \text{ kg}$$

$$\text{fad}_m = (3 \cdot 90.53) / (2 \cdot 12 \cdot 3) = 3.77 = 0.38 \text{ MPa} < 0.88 \text{ MPa}$$

De esta forma se comprueba que cumple al esfuerzo a corte.

$$\sigma_m = (6 \cdot 5771) / (3 \cdot 12^2) = 80.15 = 8.0 \text{ MPa} < 11 \text{ MPa}$$

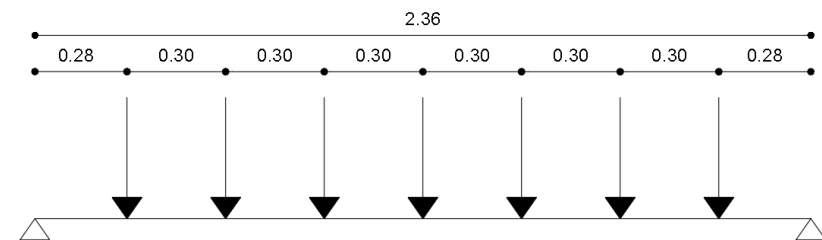
De esta forma se comprueba que cumple al esfuerzo a flexión.

B. Viga Principal 2 B-C

$$q = (200 + 36) \cdot 0.3 = 71 \text{ kg/ml}$$

$$P = 71 \cdot 2.55 = 181.1 \text{ kg}$$

Gráfico 4.4 Representación de la viga y sus cargas



Fuente: AutoCAD

Elaboración: Autoría propia

UCUENCA

$$M = \left(\frac{181.1 \cdot 7}{2} \cdot \frac{2.36}{2} \right) - (181.1 \cdot (0.3)) - (181.1 \cdot (0.9)) - (181.1 \cdot (1.2))$$

$$M = 313.30 \cdot 100 = 31330 \text{ kg}\cdot\text{cm}$$

$$V = (71 \cdot 7) / 2 = 248.5 \text{ kg}$$

Se tomará una sección de 16x16 cm para las vigas principales y a continuación se comprobará si resiste los esfuerzos de trabajo a flexión y a cortante, conforme a la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 11, mostrados anteriormente.

$$f_{adm} = (3 \cdot 248.5) / (2 \cdot 16 \cdot 16) = 1.46 = 0.15 \text{ MPa} < 0.88 \text{ MPa}$$

De esta forma se comprueba que cumple al esfuerzo a corte.

$$\sigma_m = (6 \cdot 31330) / (16 \cdot 16^2) = 45.89 = 4.6 \text{ MPa} < 11 \text{ MPa}$$

De esta forma se comprueba que cumple al esfuerzo a flexión.

Predimensionamiento de columna 2-C

$$\text{Carga entrepiso: } 236 \text{ kg/m}^2 \cdot 4.68 \text{ m} = 1104.48 \text{ kg}$$

$$\text{Carga cubierta: } 150 \text{ kg/m}^2 \cdot 4.97 \text{ m} = 745.5 \text{ kg}$$

$$\text{Paredes: } 300 \text{ kg}$$

$$\text{Carga total: } 2149.98 \text{ kg}$$

Tabla 10 Esfuerzo máximo admisible

Esfuerzo máximo admisible para la categoría C	
Esfuerzo máximo admisible a compresión (Mpa)	0.88

Fuente: NEC, 2023

Elaboración: Autoría propia

$$X = 270/16 = 16.87$$

$$C_k = 0.7025 \sqrt{E/f_c}$$

$$C_k = 0.7025 \sqrt{(55000/80)} = 18.42$$

$$\text{Columna intermedia} = 10 \leq X < C_k$$

Como $10 \leq 16.25 < 18.42$ entonces es una columna intermedia.

A continuación, se verificará si una sección propuesta de 16x16 cm para las columnas soportan la carga calculada (Tabla 10), conforme a la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 11.

$$N_{adm} = 80 \cdot 256 \left(1 - \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{16.87}{18.42} \right)^4 \right)$$

$$N_{adm} = 15677.02 \text{ Kg} > 2149.98 \text{ kg}$$

Se concluye que las columnas tienen la capacidad de soportar una carga de hasta 15,677.02 kg, lo cual excede significativamente la carga requerida por la vivienda, que es de 2149.98 kg.

4.1.3 Emplazamiento

La vivienda se encuentra ubicada en un lote de 44.65 m² dentro de la urbanización “Los Capulíes”, en la parroquia Machángara, sector “Ochoa León”, Cuenca. El terreno presenta una topografía plana con una ligera pendiente del 4%, favorable para la implementación de sistemas de energía renovable. La orientación este-oeste se aprovecha para maximizar la captación de luz natural y optimizar la eficiencia energética de la vivienda.

4.1.4 Programa Arquitectónico

El programa arquitectónico de la vivienda (Tabla 11) se distribuye en dos pisos y una buhardilla, diseñados para maximizar la funcionalidad y adaptabilidad del espacio. En la planta baja se encuentran los ambientes sociales, que incluyen sala, comedor, cocina, lavandería, baño social y un área verde, creando un espacio abierto y accesible para la vida diaria y la interacción familiar. En la planta alta, dos dormitorios comparten un baño completo, proporcionando privacidad y comodidad. La buhardilla se destina a un tercer dormitorio con la posibilidad de añadir un baño adicional en el futuro, ofreciendo flexibilidad para adaptarse a las necesidades cambiantes de los propietarios.

Tabla 11 Programa arquitectónico de la vivienda

Espacio	Perímetro (m)	Área (m2)
Planta Baja		
Sala de estar	12.18	9.60
Comedor	8.40	4.54
Cocina	9.20	5.21
Baño social	5.62	1.67
Planta Alta		
Dormitorio 1	11.66	7.34
Dormitorio 2	13.05	8.13
Baño completo	8.08	3.11
Buhardilla		
Dormitorio 3	15.58	12.41

Fuente: Revit
Elaboración: Autoría propia

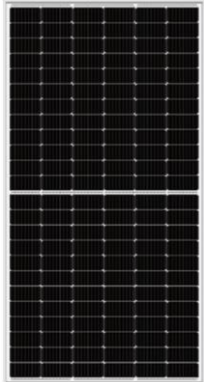
4.1.5 Sistema Energético

Para alcanzar la neutralidad energética, se ha implementado un sistema de paneles fotovoltaicos (Tabla 12) en la cubierta de la vivienda. Los paneles están orientados de este a oeste, maximizando la captación solar a lo largo del día. La cubierta, con un área total de 40.15 m², aloja 12 paneles solares con dimensiones de 2.28 × 1.13 × 0.03 m cada uno. Esta disposición permite una cobertura eficiente del espacio disponible, optimizando la producción de energía.

Si bien los paneles captan más energía cuando se instalan horizontalmente, esta configuración no es del todo correcta debido a que las impurezas se acumulan en la superficie sin caída, disminuyendo su funcionalidad. Además, en el rediseño propuesto, no se pueden colocar horizontalmente porque la vivienda necesita el espacio de la buhardilla. Por lo tanto, los paneles están inclinados en la cubierta, con una pendiente del 21% en una sección y del 25% en la otra, asegurando así tanto la funcionalidad de los

paneles como la habitabilidad de la buhardilla. En la tabla 3, se puede observar el tipo de panel que se aplicó en el rediseño.

Tabla 12 Panel utilizado en la vivienda

PANEL FV YINGLI SOLAR YLM-J 3.0 PRO 550WP	
Apariencia	Especificaciones
	Panel solar FV monocristalino
	Potencia : 550Wp
	Celdas : 144u Halfcut
	Dimensiones : 2279×1134×30mm
	Peso : 28,6kg

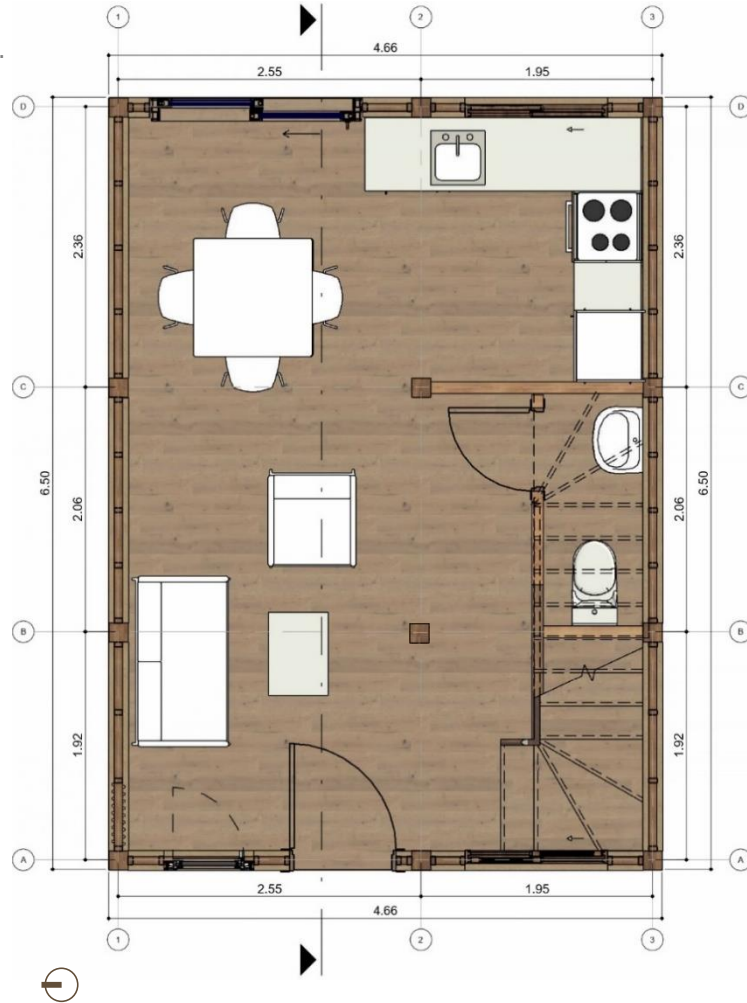
Fuente: Helios Strategia Ecuador, 2024
Elaboración: Autoría propia

Para reducir el consumo de energía de fuentes no renovables, se optó por calentadores eléctricos de inducción los cuales se agregarán en las simulaciones finales. Estos calentadores se utilizarán para el agua caliente en los baños y en la cocina, y se alimentarán con la energía producida por los paneles fotovoltaicos.

4.2 Proyecto Arquitectónico

4.2.1 Plantas Arquitectónicas

Grafico 4.5 Planta baja



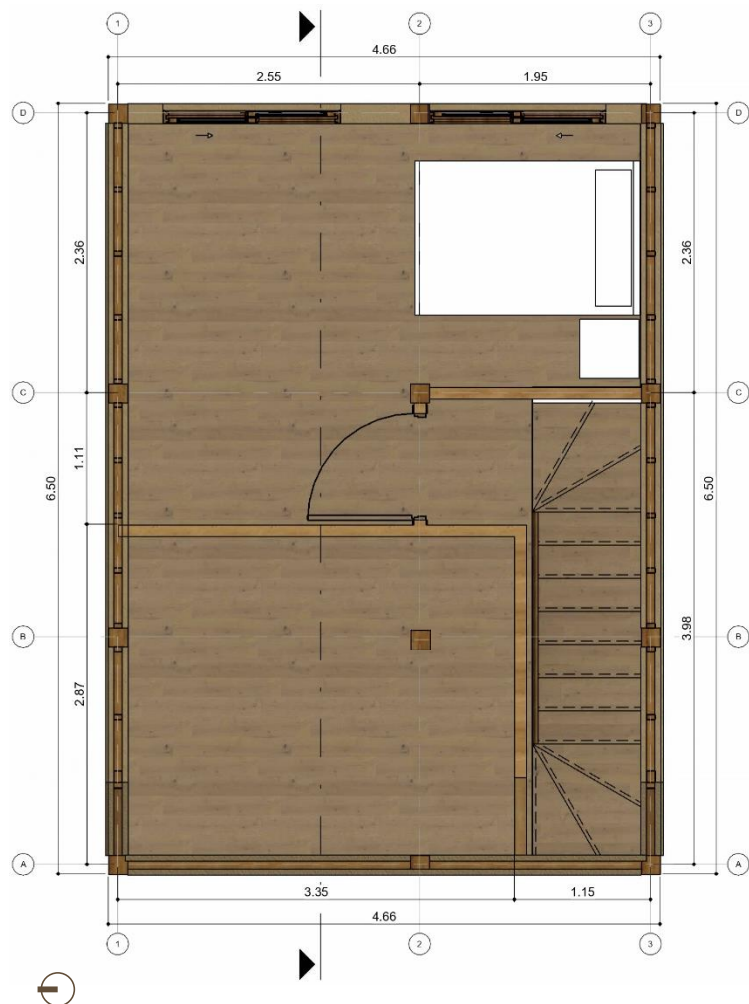
Fuente: Revit
Elaboración: Autoría propia

Grafico 4.6 Primera planta alta



Fuente: Revit
Elaboración: Autoría propia

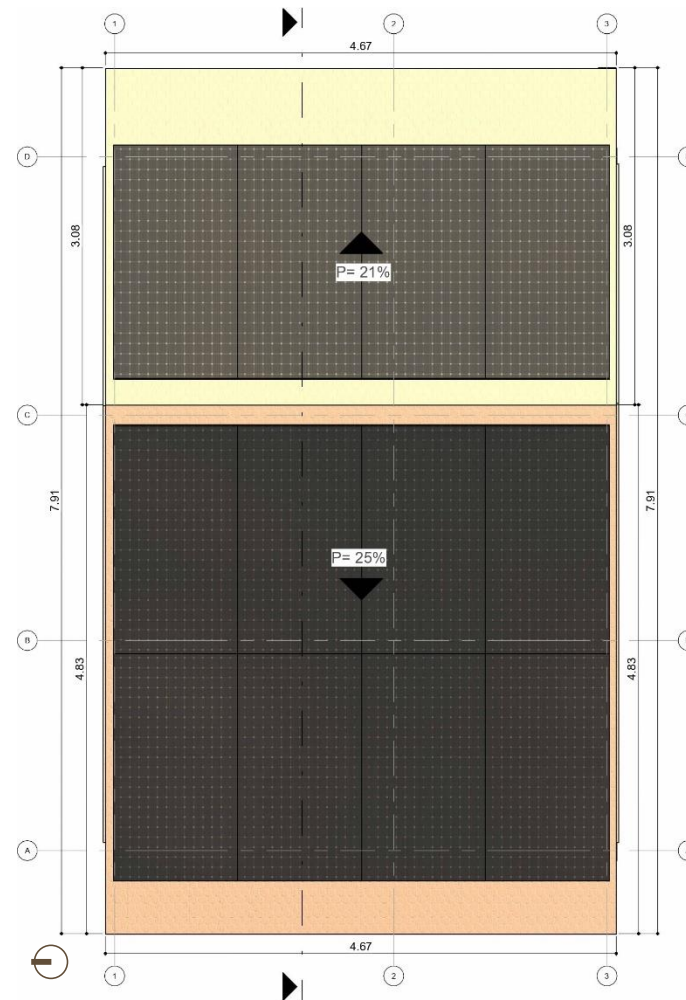
Grafico 4.7 Segunda planta alta



Fuente: Revit
Elaboración: Autoría propia

4.2.2 Planta de Cubierta

Grafico 4.8 Planta de cubierta



Fuente: Revit
Elaboración: Autoría propia

4.2.3 Elevaciones

Grafico 4.9 Elevación Frontal



Fuente: Revit
Elaboración: Autoría propia

Grafico 4.10 Elevación Posterior



Fuente: Revit
Elaboración: Autoría propia

4.2.4 Secciones

Grafico 4.11 Sección 1



Fuente: Revit
Elaboración: Autoría propia

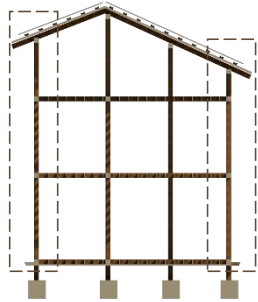
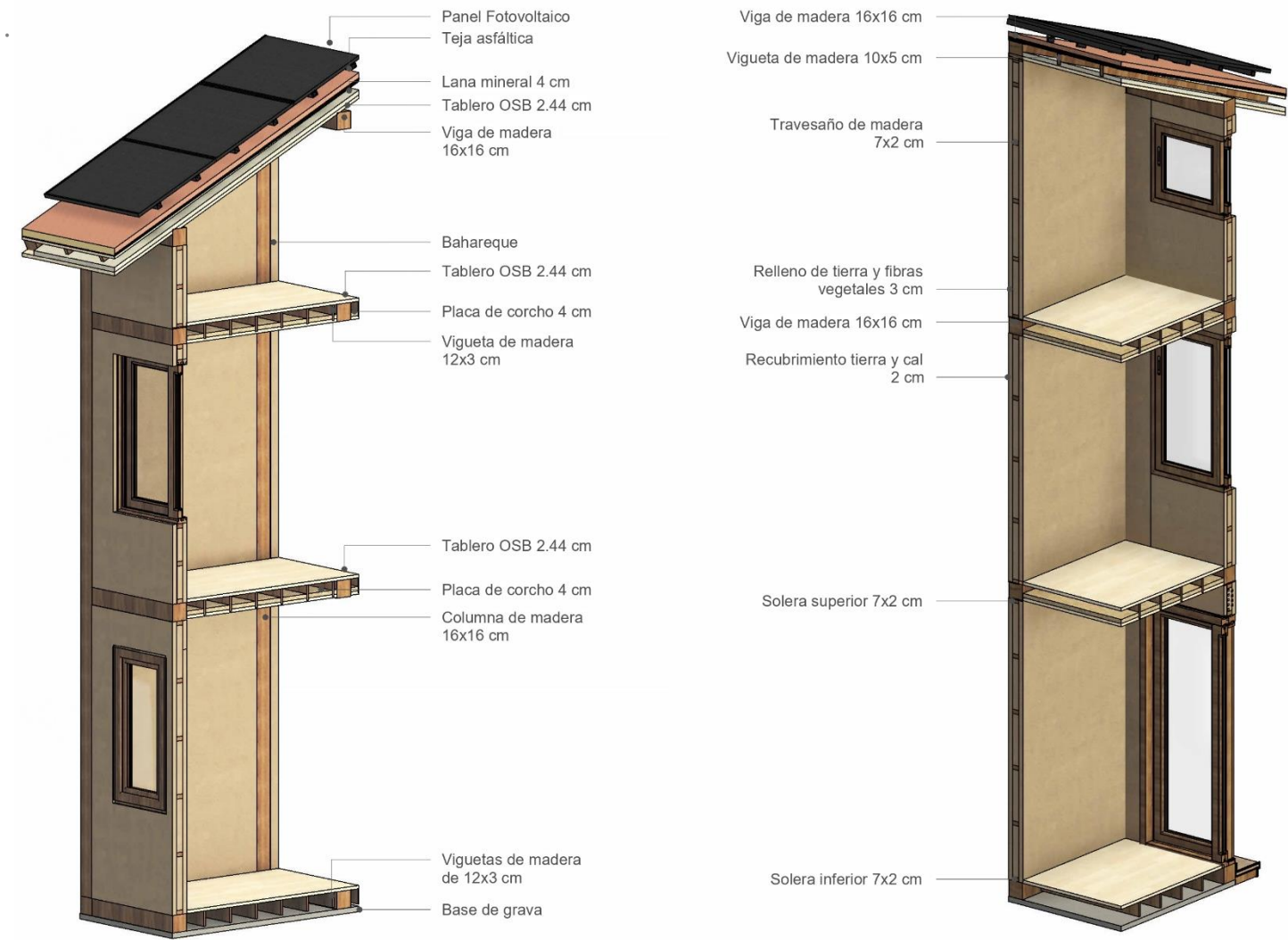
Grafico 4.12 Sección 2



Fuente: Revit
Elaboración: Autoría propia

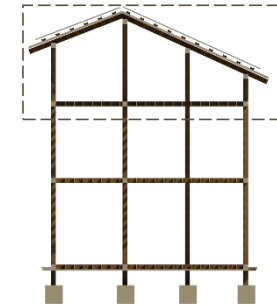
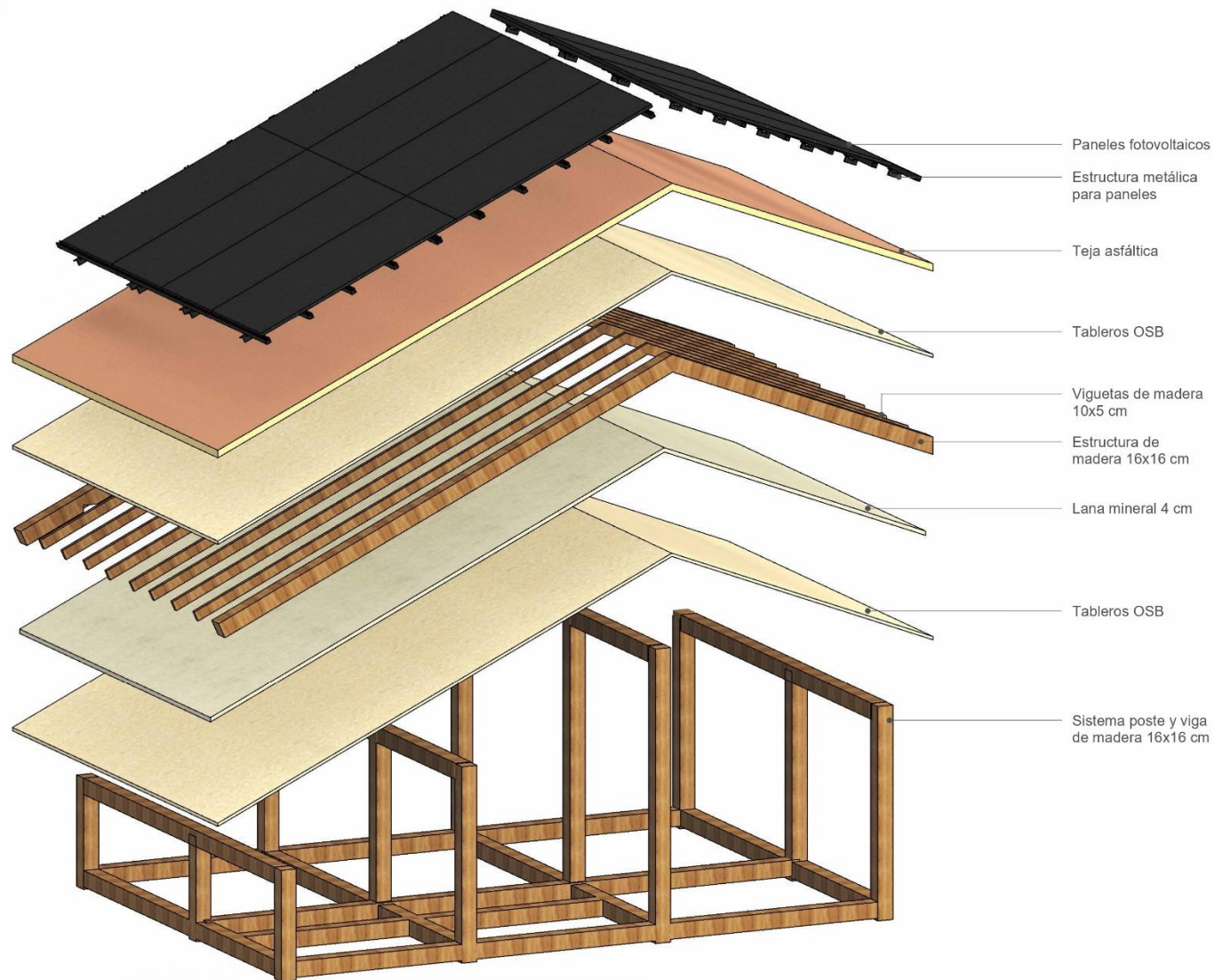
4.2.5 Detalles Constructivos

Grafico 4.13 Sistema constructivo muros y entpiso



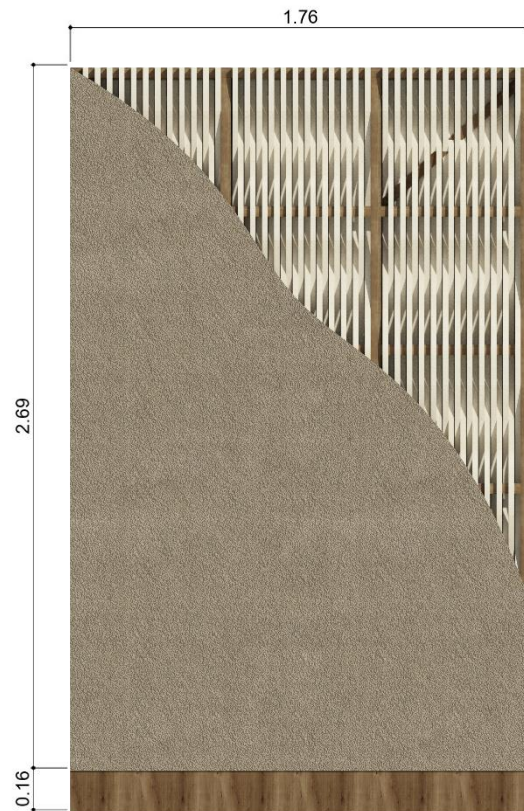
Fuente: Revit
Elaboración: Autoría propia

Grafico 4.14 Sistema constructivo cubierta



Fuente: Revit
Elaboración: Autoría propia

Grafico 4.15 Paneles de bahareque



Panel tipo muro



Panel tipo ventana



Panel tipo puerta

Fuente: Revit
Elaboración: Autoría propia

4.2.6 Representaciones

Grafico 4.16 Visualización exterior 1



Fuente: Revit
Elaboración: Autoría propia

Grafico 4.17 Visualización exterior 2



Fuente: Revit
Elaboración: Autoría propia

Grafico 4.18 Visualización interior 1



Fuente: Revit
Elaboración: Autoría propia

Grafico 4.19 Visualización interior 2



Fuente: Revit
Elaboración: Autoría propia

Grafico 4.20 Visualización interior 3



Fuente: Revit
Elaboración: Autoría propia



5. Balance Energético

5.1 Energía Contenida De Rediseño

Para la estimación de la energía contenida de rediseño de la vivienda se consideran dos enfoques importantes: estimación de energía según el material de construcción y estimación de energía según las actividades de construcción.

5.1.1 Por Concepto De Material De Construcción

Para calcular la energía contenida durante la construcción por concepto de materiales se tomó información ya establecida en la Tabla 13 estudiada en el capítulo 3 de la presente investigación. Se tomó de referencia el trabajo de Bin & Parker (2012) para la cuantificación del transporte, donde se establece que la energía contenida en transporte, en distancias menores a 100 km, es igual a 1% del total de energía.

La tabla 12 especifica la energía contenida de los materiales de la propuesta de rediseño. Las cantidades establecidas se obtuvieron del modelado 3D del proyecto propuesto. Para este análisis se consideraron los siguientes materiales de cuatro componentes estructurales principales:

1. **Cimentación:** piedra natural y mortero de cal
2. **Contrapiso:** mejora del terreno, grava y madera.
3. **Muros:** tierra cruda, cal recubrimiento, carrizo, madera y vidrio.
4. **Entrepiso:** Corcho aislante, OSB y madera.
5. **Cubierta:** OSB, madera, lana mineral, teja asfáltica y paneles fotovoltaicos.
6. **Instalaciones:** PVC y cobre

Cabe recalcar que no se calculó la energía de mobiliario fijo, griferías, elementos de anclaje ni baterías sanitarias.

Tabla 13 Tabla de Cantidades de Energía Contenida en materiales de construcción

Material	Energía Contenida (KWh/kg)	Transporte (KWh/kg)	Densidad (kg/m3)	Cantidad (m3)	Total en obra (KWh)
Cimentación					
Piedra natural	0.050	0.00	2400.00	4.89	586.80
Mortero de cal	0.065	0.01	2000.00	11.43	1714.50
Contrapiso					
Mejora del terreno	0.010	0.00	700.00	6.08	42.56
Grava	0.028	0.00	2400.00	3.65	245.28
Madera	0.058	0.01	550.00	0.99	36.95
Muros					
Tierra cruda	0.097	0.00	2000.00	14.65	2842.10
Cal recubrimiento	0.900	0.00	1800.00	2.9	4746.60
Carrizo	0.028	0.00	650.00	0.20	3.61
Madera	0.058	0.01	550.00	7.23	270.40
Vidrio	4.412	0.01	2500	0.38	4200.62
Entrepiso					
Corcho aislante	0.278	0.03	120.00	2.39	88.3344
OSB	2.639	0.19	650.00	3.08	5663.658
Madera	0.058	0.01	550.00	1.91	71.2844

Cubierta					
OSB	2.639	0.19	650.00	2.42	4450.0
Madera	0.058	0.01	550.00	0.71	26.7
Lana mineral	0.055	0.01	30.00	1.27	2.5
Teja asfáltica	2.500	0.02	1100.0	0.1	333.9
Paneles fotovoltaicos	216.900	0.02	320.00	0.93	64555.4
Instalaciones					
PVC	0.00	0.00	650.00	0.04	0.00
Cobre	0.28	0.01	1150.00	0.08	26.50
Total					89907.7

Fuente: Astudillo y Orellana (2022)
Elaboración: Autoría propia

5.2.2 Por Concepto De Actividades De Construcción

Para la elaboración de la tabla 14 de acuerdo a las actividades de construcción, se considera como base la llegada de los materiales al sitio de obra hasta cuando se termina la vivienda y está lista para su habitabilidad. Para el presente análisis se estudió la investigación de Zalamea et al. (2024), quien no consideró tanto el uso y mantenimiento de los equipamientos, así como la gestión de desechos del proceso, además de que utiliza la unidad kWh/m² para la energía contenida.

Dado a que los objetivos de esta investigación están enfocados netamente a la energía contenida, no se consideraron los costos económicos de la obra.

Tabla 14 Tabla de Cantidades de Energía Contenida en actividades de construcción

Resumen	Área (m²)	Energía Contenida (kWh/m²)	Consumo de Combustible (kWh/m²)	Energía Contenida Total (kWh)
Trazado	30.40	0.00	0.00	0.03
Cimentación	20.41	0.06	2.40	50.21
Estructura (Bahareque y Madera)	46.70	0.03	0.00	1.40
Losa	76.60	0.02	1.25	97.28
Muros de Tierra	114.94	0.02	0.00	2.30
Revestimiento de Muros	977.00	0.00	0.00	1.95
Instalación de teja asfáltica	40.15	0.02	0.36	15.26
Estructura Techumbre	5.37	0.03	0.03	0.31
Corcho aislante y lana mineral	91.59	0.00	0.00	0.00
Puertas	13.58	0.02	0.02	0.52
Ventanas	12.68	0.01	0.07	1.05
Escaleras	7.56	0.03	0.03	0.45
Total				170.76

Fuente: Muñoz et al. (2012)
Elaboración: Autoría propia

5.2 Evaluación Energética

Para realizar la evaluación energética se consideró un consumo promedio de equipos de una familia de cuatro integrantes de clase media. De igual manera, para calcular la energía eléctrica generada por el sistema fotovoltaico se utilizó la página web Global Solar Atlas.

La metodología empleada para el estudio es el Building Information Modeling (BIM), el cual es una representación tridimensional de la infraestructura diseñada, desde los materiales hasta instalaciones eléctricas y sanitarias.

Para la presente investigación energética se empleó el software Archicad y su herramienta EcoDesigner para realizar las simulaciones de rendimiento energético de la vivienda. Para empezar, se desarrolló el diseño y modelado 3D de la propuesta de rediseño de la vivienda. Para lograr los resultados esperados se detallaron los materiales planteados, las estrategias bioclimáticas y, finalmente, se procedió a la calibración con EcoDesigner para evaluar los rangos de confort de la propuesta y su demanda energética.

El proceso de calibración se desarrolló en las siguientes etapas:

- Como punto de partida se definieron los **datos climáticos** del proyecto, para lo cual se cargó un archivo formato typical meteorological year (TMY) de la ciudad de Cuenca. El formato TMY es un conjunto de datos que proporciona valores horarios de radiación solar y elementos meteorológicos. Está compuesto por meses seleccionados de diferentes años, unidos para crear un año completo. El TMY incluye datos de radiación solar (tanto global como directa), temperatura del aire, humedad relativa, y velocidad y dirección del viento para cada hora del año. (Kalogirou, 2012)
- A continuación, en las **definiciones del entorno** se colocó la ubicación exacta del prototipo en coordenadas de latitud y altitud y su orientación con respecto al norte.
- Después, se configuraron los **perfiles de operación**, considerando las fechas, horarios y permanencia de los espacios de una familia de clase media, para lo cual se estableció:
 - Temperatura interna: 25°C a 18°C

- Ganancia de calor Interna: ocupación en m² por persona, tipo de iluminación y ganancia de calor por equipamiento.
- En los **sistemas de construcción**, como se expresan en EcoDesigner, se refiere a los equipos de energización, se definió tanto un sistema de calentador eléctrico para el calentamiento de agua en la cocina y en los baños, así como un sistema de ventilación natural en las zonas de los dormitorios, cocina, comedor y sala de estar. Estos sistemas influyen en la temperatura interna de la vivienda que determina el confort térmico.
- Finalmente, se realizó la creación y asignación de zonas a los diferentes bloques térmicos de la vivienda, en base a los usos y requerimientos, especificados en la siguiente tabla:

Tabla 15 Tabla de asignación de zonas y bloques térmicos

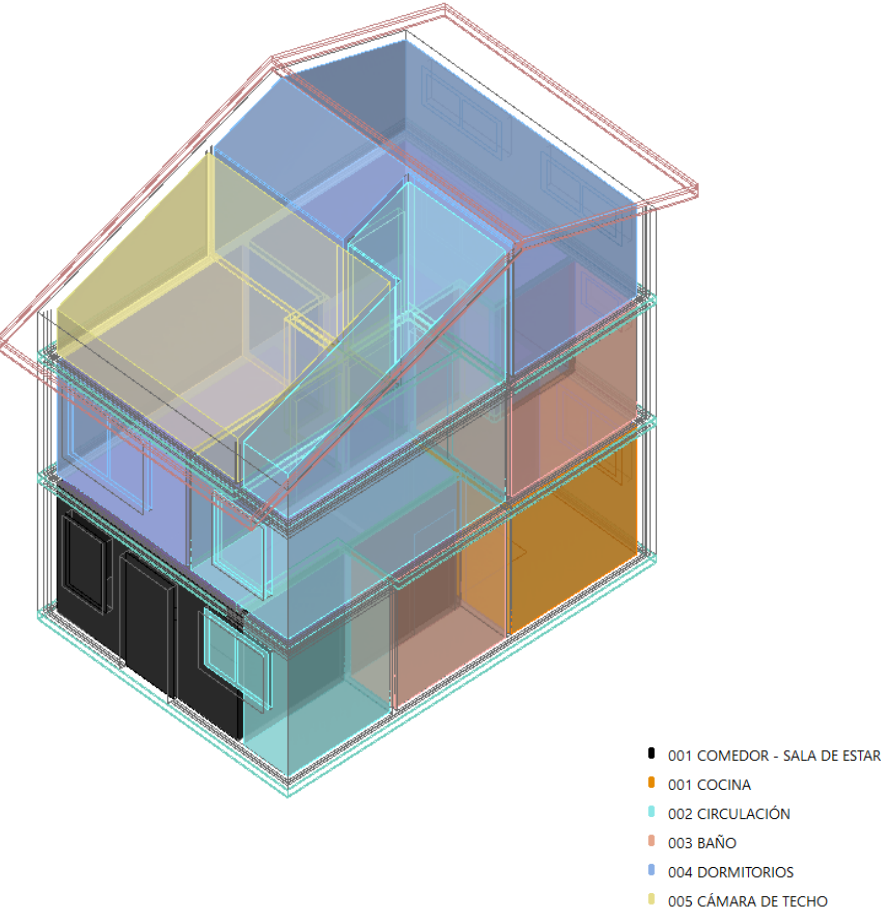
Bloque térmico	Zonas
COMEDOR - SALA DE ESTAR	Comedor
	Sala de estar
COCINA	Cocina
CIRCULACIÓN	Circulación PB
	Circulación PA
	Circulación Buhardilla
BAÑO	Baño social
	Baño principal
DORMITORIOS	Dormitorio 1
	Dormitorio 2
	Dormitorio 3
CÁMARA DE TECHO	Cámara de techo

Fuente: EcoDesigner

Elaboración: Autoría propia

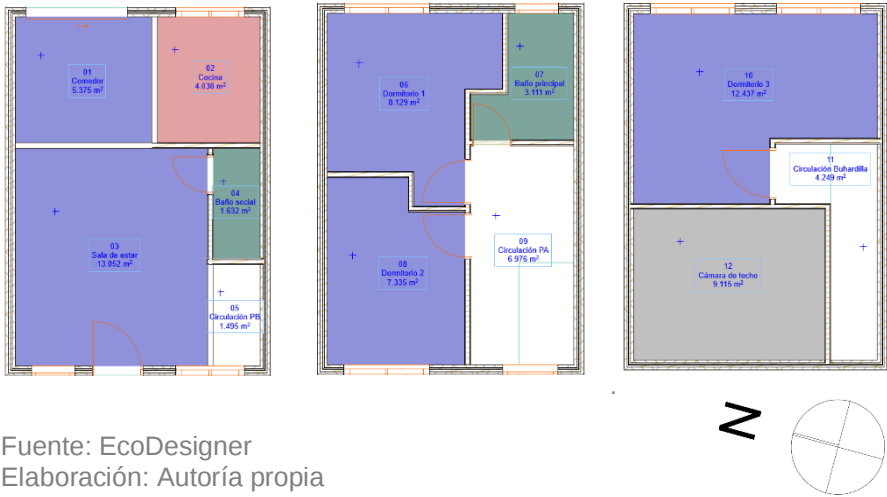
Una vez calibrado el EcoDesigner, se procedió a simular, donde el programa arrojó resultados anuales y específicos para cada zona según su asignación a cada bloque térmico.

Grafico 5.1 Bloques térmicos del prototipo de vivienda



Fuente: EcoDesigner
Elaboración: Autoría propia

Grafico 5.2 Zonas en planta del prototipo de vivienda



Fuente: EcoDesigner
Elaboración: Autoría propia

Tabla 16 Tabla de categorización de zonas

Planta	#	Zonas	Categoría de zona
Planta Baja	1	Comedor	Residencial
	2	Cocina	Producción e investigación
	3	Sala de estar	Residencial
	4	Baño social	Otro uso
	5	Circulación PB	Comunicación y acceso
Planta Alta	6	Dormitorio 1	Residencial
	7	Baño principal	Otro uso
	8	Dormitorio 2	Residencial
	9	Circulación PA	Comunicación y acceso
Buhardilla	10	Dormitorio 3	Residencial
	11	Circulación Buhardilla	Comunicación y acceso
	12	Cámara de techo	Área bruta

Fuente: EcoDesigner
Elaboración: Autoría propia

UCUENCA

Cabe recalcar que en la planta baja (Gráfico 5.2), los muros que dividen las zonas de la cocina, comedor, sala de estar y circulación de planta baja son divisiones virtuales determinadas por cámaras de aire. Esto permite que la herramienta EcoDesigner reconozca correctamente las divisiones de las zonas y las simulaciones sean más precisas.

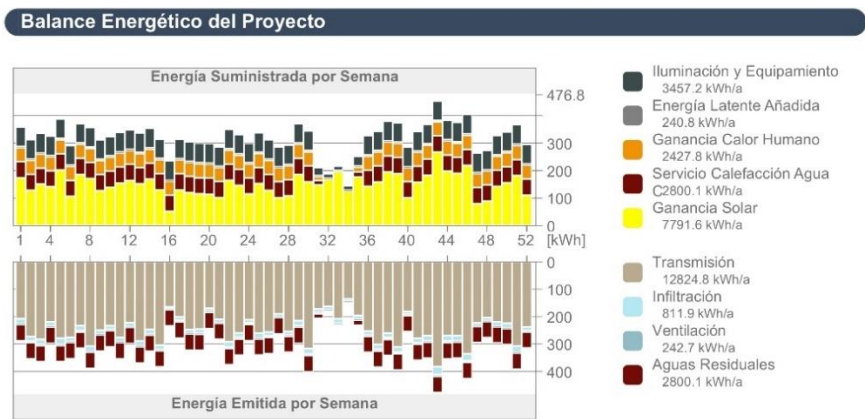
5.2.1 Análisis Desarrollados

Más adelante se detallan los resultados obtenidos en cinco parámetros principales: Balance energético del proyecto, Valores Clave, Perfil de Temperatura Diaria, Requerimientos de sistemas de climatización por ambiente y Consumo de energía por fuentes. En el Anexo 2 se puede revisar el análisis energético completo.

Balance Energético del Proyecto

El balance energético en los edificios implica igualar las ganancias con las pérdidas de energía. Este análisis muestra el balance anual de la vivienda durante las 52 semanas del año. Como resultado, se obtuvo una pérdida energética total de 16 717.5 kWh/año y una ganancia energética de 16 679.5 kWh/año. La diferencia que se muestra es de 38 kWh/año por lo que es mínima.

Gráfico 5.3 Balance Energético del Proyecto



Fuente: EcoDesigner
Elaboración: Autoría propia

Valores Clave

Este análisis identifica los días con las temperaturas más altas en cada espacio y determina las necesidades de climatización no satisfechas, además de proporcionar una descripción general de las características del espacio.

Gráfico 5.4 Valores Clave de la propuesta

Valores Clave			
Datos generales del proyecto		Coefficientes de transfer.	Valor U [W/m²K]
Nombre Proyecto:	0001	Promedio Edificio Entero:	1.59
Ubicación Ciudad:	8617866039276	Pavimentos:	1.17 - 1.17
Latitud:	2° 59' 0" S	Externo:	0.36 - 1.63
Longitud:	78° 59' 0" O	Subterráneo:	--
Altitud:	2570.00 m	Aberturas:	2.11 - 3.37
Origen de Datos Climáticos:	Cuenca...ur.tm2	Valores Anuales Específicos	
Fecha de Evaluación:	13/7/2024 21:29	Energía calorífica Neta:	0.00 kWh/m²a
Datos de geometría del edificio		Energía refrigerante Neta:	0.00 kWh/m²a
Área bruta de la planta:	92.51 m²	Energía Neta Total:	0.00 kWh/m²a
Área de Suelo Tratado:	76.94 m²	Consumo de Energía:	81.37 kWh/m²a
Área del Envolverte Exterior:	218.44 m²	Consumo de Combustible:	81.37 kWh/m²a
Volumen ventilado:	178.37 m³	Energía Primaria:	244.10 kWh/m²a
Ratio acristalamiento:	8 %	Coste Combustible:	9.76 USD/m²a
Datos de rendimiento de la estructura		Emisión CO ₂ :	8.06 kg/m²a
Infiltración a 50Pa:	12.58 AAH	Días-Grado	
		Calefacción (HDD):	1243.73
		Refrigeración (CDD):	2053.65

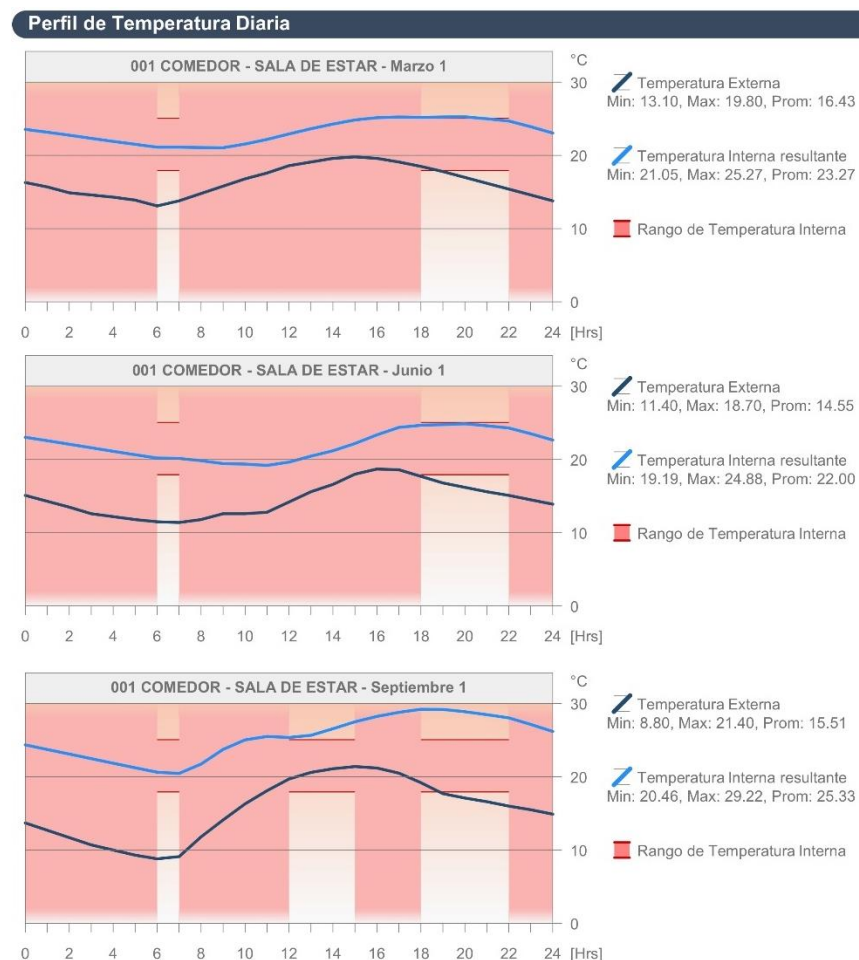
Fuente: EcoDesigner
Elaboración: Autoría propia

Perfil de Temperatura Diaria

En este parámetro se analizan las fluctuaciones térmicas tanto en el interior como el exterior de los espacios, centrándose principalmente en los meses más cálidos del año (diciembre hasta marzo) y en los meses más fríos (junio hasta septiembre). También se analizan los días más críticos en el interior de los espacios, de acuerdo con los valores clave obtenidos para cada zona.

Hay que enfatizar que este análisis se centra en los días y horarios en los que la familia está en la vivienda, los cuales se determinaron en los perfiles de operación antes mencionados, dado que existe un sistema de ventilación mecánica que se activa durante las horas en las que los residentes ocupan los dormitorios, cocina, comedor y sala de estar.

Grafico 5.5 Perfil de Temperatura Diaria del proyecto



Fuente: EcoDesigner
Elaboración: Autoría propia

En el primer gráfico se puede ver que el primero de marzo el espacio del comedor – sala de estar tiene una ocupación desde las 6 am hasta las 7 am y desde las 18 pm hasta las 22 pm, en estas condiciones se aprecia que en las horas de la mañana la temperatura disminuye, sin embargo, esta fluctúa durante el día dentro del confort térmico entre los 18°C y 25°C.

En los siguientes gráficos, en el primero de junio se puede apreciar condiciones similares a la mencionada, considerando que tiene el mismo horario de ocupación del primero de marzo y el mes de junio es uno de los meses más fríos del año.

Finalmente, en el último gráfico, se observan las temperaturas del primero de septiembre durante la ocupación del comedor – sala de estar desde las 6 am hasta las 7 am, de 12 pm a 15 pm y de 18 pm a 22 pm. En este escenario se muestra que la temperatura durante las primeras horas habitadas de la mañana la temperatura disminuye, pero dentro del confort. No obstante, durante la ocupación de la tarde la temperatura interna se eleva hasta sobrepasar la temperatura de confort, alcanzando un máximo de 29.22°C.

En los resultados de la simulación, se demuestran los horarios y fechas de las temperaturas mínimas y máximas alcanzadas, tanto externas como internas, en cada espacio de la vivienda. El análisis completo de la temperatura diaria se puede revisar en el anexo 1. Cabe destacar que el análisis registra las temperaturas mínimas en horas de la mañana, mientras que las máximas se registran en horas de la tarde donde los espacios están desocupados.

En la tabla 17 se sintetizan las temperaturas máximas y mínimas anuales de cada uno de los espacios, así como su promedio anual y cómo se relacionan la temperatura exterior. Estos datos provienen de la simulación realizada en la herramienta EcoDesigner. Además, se identifican las horas y fechas en las que las habitaciones no mantienen un rango de confort entre 18°C a 25°C.

Tabla 17 Tabla de temperaturas mínimas y máximas

RANGOS DE TEMPERATURA							
	Temperatura Mínima °C			Temperatura Máxima °C			Media Anual Interna °C
	Interna	Externa	Fecha/ hora	Interna	Externa	Fecha/ hora	
Comedor - Sala de estar	14.07	11.90	04 de Octubre 6 am	32.63	21.60	29 de Mayo 19 pm	22.24
Cocina	16.52	7.60	04 de Agosto 7 am	52.61	24.60	16 de Diciembre 10 pm	31.09
Circulación	12.87	11.90	04 de Octubre 6 am	33.73	24.60	16 de Diciembre 18 pm	19.80
Baño	13.7	11.90	04 de Octubre 6 am	30.54	24.60	16 de Diciembre 20 pm	20.28
Dormitorios	13.93	7.60	04 de Agosto 8 am	30.66	21.60	29 de Mayo 18 pm	21.71
Cámara de techo	12.86	11.90	04 de Octubre 9 am	27.55	21.60	29 de Mayo 20 pm	19.55
Promedio anual de temperatura Interna del proyecto							22.45

Fuente: EcoDesigner
Elaboración: Autoría propia

Según la tabla, las temperaturas mínimas se alcanzan en los meses más fríos en horas de la mañana y las temperaturas máximas en los meses más cálidos en horas de la tarde donde hay mayor incidencia solar, logrando una temperatura general promedio de 22.45°C.

Requerimientos de sistemas de climatización por ambiente

Tal como se señaló en el parámetro anterior, debido a que no se alcanza la temperatura de confort durante todos los días del año, la vivienda necesita ventilación natural mecánica durante el tiempo que los espacios sean habitados, específicamente:

- Calefacción: 0 hrs
- Refrigeración: 0 hrs

Grafico 5.6 Perfil de Temperatura Diaria del proyecto

Datos de Diseño HVAC							
Bloque Térmico	Demanda de		Demanda de		Interno		
	Anualment [kWh]	Por Horas Pico [kW]	Anualment [kWh]	Por Horas Pico [kW]	Min. [°C]	Max. [°C]	
001 COMEDOR - SALA DE ESTAR	0	0.0	0	0.0	14.1	32.6	06:00 Oct 04 19:00 May 29
001 COCINA	0	0.0	0	0.0	16.5	52.6	07:00 Ago 04 20:00 Dic 16
002 CIRCULACIÓN	0	0.0	0	0.0	12.9	33.7	06:00 Oct 04 18:00 Dic 16
003 BAÑO	0	0.0	0	0.0	13.7	30.5	06:00 Oct 04 20:00 Dic 16
004 DORMITORIOS	0	0.0	0	0.0	13.9	30.7	08:00 Ago 04 18:00 May 29
005 CÁMARA DE TECHO	0	0.0	0	0.0	12.9	27.5	09:00 Oct 04 20:00 May 29
Todos los Bloques Térmicos:	0	0.0	0	0.0			
Número de Horas Usadas en el Año: Calefacción: 0 hrs Refrigeración: 0 hrs Horas de carga no satisfechas en el año: Calefacción: 364 hrs Refrigeración: 1618 hrs							

Fuente: EcoDesigner
Elaboración: Autoría propia

Consumo de energía por Objetivos

En esta sección se determina la demanda energética para los sistemas de climatización, agua caliente sanitaria, iluminación y cargas eléctricas, así como el coste asociado a esta energía. La utilización de sistemas de inducción en la vivienda resulta en emisiones de CO2 nulas, lo que equivale a una reducción de 486 kg de CO2 al año.

La demanda energética total del rediseño es de 6 260 kWh/año como se puede observar en el Gráfico 5.7 Sin embargo, como se demostró en el análisis interior de temperatura interna, hay épocas en la que los espacios de la vivienda están fuera de los rangos de confort, lo que se ve reflejado en el consumo energético de calefacción y ventiladores, pero al ser un valor mínimo frente al consumo energético generado por la iluminación y aparatos no se tomarán en cuenta dicho consumo, por lo que los siguientes cálculos se realizarán con 6 253 kWh/año.

Gráfico 5.7 Consumo de energía por objetivos

Consumo de energía por Objetivos				
Nombre Destino	Energía			CO ₂ Emisión kg/a
	Cantidad kWh/a	Primario kWh/a	Coste USD/a	
Calefacción	0	0	0	0
Refrigeración	0	0	0	0
Servicio de Agua Caliente	2800	8400	336	277
Ventiladores	3	10	0	0
Iluminación & aparatos	3457	10371	414	342
Total:	6260	18782	751	619

Fuente: EcoDesigner
Elaboración: Autoría propia

5.3 Producción energética

Para el cálculo de la producción fotovoltaica, utilizaremos la página web Global Solar Atlas. Esta plataforma es una herramienta avanzada que proporciona datos detallados sobre la irradiación solar y el potencial de energía solar a nivel global. Al emplear Global Solar Atlas, podremos obtener información precisa sobre la cantidad de radiación solar disponible en la ubicación específica de la vivienda ubicada en la urbanización "Los Capulíes", lo que nos permitirá estimar con exactitud la producción potencial del sistema fotovoltaico.

El proceso implica ingresar las coordenadas geográficas del sitio donde se instalarán los paneles solares en la plataforma. Global Solar Atlas ofrece mapas interactivos y datos históricos de irradiación solar, que son esenciales para calcular la producción energética. Además, esta herramienta nos permite evaluar diferentes escenarios y optimizar el diseño del sistema fotovoltaico para maximizar su eficiencia y rendimiento.

Gracias a la fiabilidad y precisión de los datos proporcionados por Global Solar Atlas, podemos asegurarnos de que nuestras estimaciones de producción fotovoltaica sean lo más exactas posible, facilitando la planificación y toma de decisiones en proyectos de energía solar.

Para realizar el cálculo con exactitud se estimó la producción energética de cada pendiente de la cubierta, ya que la producción depende tanto de la

orientación como la inclinación de los paneles. La primera pendiente es de 25°, está orientada hacia el oeste y se colocaron 8 paneles de 550 WP. La segunda pendiente es de 21°, está orientada hacia el este y cuenta con 4 paneles de 550 WP.

Como resultado, se obtuvo una producción energética de 5 807 kWh/año de la pendiente de 25°, y una producción de 2 940 kWh/año en la pendiente de 21°. Dado que esta metodología de producción no considera factores como nubosidad o suciedad de los paneles fotovoltaicos, se ha multiplicado cada resultado por 0.95. El informe completo de cada producción energética se puede observar en el Anexo 2. En la siguiente tabla se detalla la producción energética:

Tabla 18 Tabla de producción energética por orientación e inclinación

Pendiente	Número de paneles	Producción Energética kWh/año
25°	8	5516.65
21°	4	2790.00
Total	12	8306.65

Fuente: Global Solar Atlas
Elaboración: Autoría propia



6. Conclusiones y recomendaciones

6.1 Conclusiones

Es fundamental señalar que el presente estudio se enfocó exclusivamente en la estimación de los materiales principales utilizados en la estructura de la vivienda como muros, columnas y vigas, recubrimientos, entrepisos, contrapisos y paneles fotovoltaicos empleados. Es importante destacar que no se consideraron elementos como muebles, cerramientos exteriores, instalaciones, ni apliques. Además, no se incluyeron detalles específicos sobre muebles de cocina, closets u otros componentes similares a mobiliario. Esta delimitación permite una evaluación precisa de los materiales esenciales, sin extenderse a componentes adicionales que podrían influir en la complejidad y costo global del proyecto.

La arquitectura vernácula se destaca por utilizar materiales naturales y locales que, al finalizar su vida útil, pueden ser fácilmente reintegrados al entorno sin causar daño ecológico. Estos materiales, a menudo biodegradables, se descomponen de forma natural y vuelven al ciclo de vida del ecosistema. Este enfoque sostenible reduce los residuos y el impacto ambiental, en contraste con los materiales industrializados que pueden durar siglos sin degradarse. Así, la arquitectura también ayuda a preservar el medio ambiente al evitar el uso de materiales no renovables y contaminantes.

Los resultados obtenidos en el cálculo de energía contenida del rediseño muestran que la vivienda propuesta tiene un consumo energético en materiales en sitio de 89 907.70 kWh; en sus actividades de construcción de 170.76 kWh; en su período de uso la vivienda consumirá 6 253 kWh/año. Para realizar la estimación se plantea un periodo de vida útil de 60 años, para el cual se tendrá un acumulado de 375 180 kWh; el suministro total de energía durante el ciclo de vida del rediseño es de 465 258.46 kWh, distribuido de la siguiente manera: energía contenida en materiales de construcción 19.32%, energía contenida en actividades de construcción 0.04% y consumo energético durante el periodo de uso 80.64%. El rediseño tiene un área de 30.40 m², lo que significa que la vivienda tiene una energía contenida de 15 304.55 kWh/ m² durante todo su ciclo de vida.

La propuesta de rediseño cuenta con un área de 31.01 m² de paneles fotovoltaicos en su cubierta, y produce 498 399 kWh durante toda su vida

útil, por lo tanto, recuperará la energía contenida en la ejecución de la obra y la etapa de uso en 56 años aproximadamente. Es necesario tener en cuenta que los paneles fotovoltaicos tienen una vida útil de 25 años, ya que su capacidad de generar energía disminuye un 1% cada año, considerando también la degradación de los paneles con el paso del tiempo. Este factor se tuvo en consideración al realizar los cálculos de producción de energía, por lo que sería necesario reemplazar estos paneles al menos 3 veces durante su vida útil.

Posteriormente, se resumen los principales hallazgos en relación con los objetivos específicos formulados. En primer lugar, el rediseño de la vivienda integrando técnicas vernaculares y la instalación de paneles fotovoltaicos demostró ser una estrategia viable para mejorar el rendimiento energético y reducir la huella de carbono asociada con la vivienda. Las técnicas vernaculares, que aprovechan materiales y métodos de construcción locales, no solo aportan a la sostenibilidad del proyecto, sino que también se adaptan adecuadamente a las condiciones climáticas de Cuenca.

En segundo lugar, se realizó un cálculo de la energía contenida en los materiales utilizados en la construcción y del potencial energético fotovoltaico de la vivienda, considerando la vida útil del sistema fotovoltaico. Este análisis permitió identificar los materiales con mayor carga energética y establecer estrategias para minimizar su uso sin comprometer la calidad y durabilidad de la vivienda. Asimismo, se evaluó el rendimiento del sistema fotovoltaico, demostrando que la generación de energía solar puede cubrir significativamente las necesidades energéticas de la vivienda a lo largo de su vida útil.

Finalmente, el cálculo del lapso necesario para recuperar la energía invertida en la construcción y operación de la vivienda, mediante el uso del sistema fotovoltaico y bajo el estándar Powerhouse, reveló que es factible alcanzar este estándar en un plazo de aproximadamente 56 años. Este resultado confirma la viabilidad de alcanzar el estándar Powerhouse para viviendas de interés social en proyectos similares, siempre y cuando se implementen estrategias de diseño y construcción sostenibles.

Hay que destacar que el sistema planteado responde a una vivienda de tres plantas, por lo que posee más energía contenida debido a su alto requerimiento estructural. Además, al tratarse de una vivienda de interés social, su área de cubierta es reducida, lo que disminuye la producción

energética y, como resultado, el periodo de recuperación de energía es bastante elevado considerando que la vida útil de la vivienda es 60 años.

Tabla 19 Tabla de energía contenida en el ciclo de vida de la vivienda

Energía Contenida en el ciclo de vida		
	Total de energía kWh	Porcentaje %
Energía Contenida en Materiales	89907.70	19.32
Energía Contenida en Actividades de Construcción	170.76	0.04
Consumo Energético en 60 años	375180.00	80.64
Total de Energía Contenida	465258.46	100.00
Total de Energía Contenida por m ²	15304.55	
Energía Producida en el ciclo de vida		
Energía Producida Anualmente	8306.65	kWh/año
Ciclo de Vida de la Vivienda	60.00	años
Total de Energía Producida en su ciclo de vida	498399	kWh
Tiempo de recuperación de energía	56.01	años

Fuente: EcoDesigner y Global Solar Atlas

Elaboración: Autoría propia

Además, dado que la propuesta presenta un promedio anual de temperatura interior de 22.45° y sobrecalentamiento en los espacios, los resultados indican que el espesor de los muros de bahareque es insuficiente para brindar un aislamiento térmico adecuado. Esto se debe a que el bahareque, aunque es un material tradicionalmente utilizado por su disponibilidad y bajo costo, no posee las propiedades aislantes necesarias para mantener temperaturas interiores confortables. La propuesta presenta esta falencia, lo que implica que las viviendas construidas con este material no logran evitar la transferencia de calor de manera eficiente. Esta deficiencia térmica también se observa en casas construidas con materiales industrializados que no han sido diseñados específicamente para aislamiento, lo que resalta la importancia de considerar tanto el espesor como las propiedades térmicas de los materiales empleados en la construcción.

Finalmente, es necesario realizar una comparación del presente estudio con la investigación de Zalamea et al. (2024) titulada *Housing Development through the BIM Methodology to Reach the Powerhouse Standard by Applying Rammed-Earth Techniques and Solar Energy*, donde el objeto de estudio es una vivienda de una planta de 330 m², la cual presenta una mayor energía contenida total de 641 334 kWh durante la vida útil de 60 años. Además, esta vivienda genera significativamente más energía anualmente con un total de 79 445 kWh/año y en su ciclo de vida un total de 4 252.93 kWh. Esta mayor producción energética permite que la casa de una planta tenga un tiempo de recuperación de energía mucho menor (8.53 años) en comparación con la vivienda social estudiada (56.01 años). Las diferencias se deben en gran parte a la mayor eficiencia y capacidad de producción del sistema fotovoltaico de la casa de una planta debido a que esta posee mayor área de cubierta y, por lo tanto, mayor área de paneles fotovoltaicos con un total 324 m² de PV, frente a un área de 31.01 m² de PV en la vivienda de los Capulíes, lo que significa que la producción de energía de la casa de Zalamea et al. (2024) es 10 veces mayor a la producida por la vivienda de interés social, por lo que tiene una capacidad de autoabastecerse energéticamente en menos tiempo.

6.2 Recomendaciones

Para mejorar la precisión en las estimaciones de energía contenida en materiales de construcción, es crucial llevar a cabo investigaciones adicionales sobre el análisis de ciclo de vida específicamente enfocado en los materiales de construcción disponibles en el mercado de la ciudad de Cuenca.

En futuros estudios que apliquen el estándar Powerhouse, sería beneficioso explorar la viabilidad económica mediante la elaboración de presupuestos detallados que incluyan no solo los costos iniciales de materiales y mano de obra, sino también los costos operativos y de mantenimiento a lo largo del ciclo de vida del edificio. Además, la evaluación del tiempo de recuperación de la inversión ayudaría a determinar la rentabilidad a largo plazo de las decisiones constructivas sostenibles. Estos análisis permitirían realizar comparativas detalladas con los costos asociados a la construcción tradicional y proporcionarían una visión más completa y fundamentada para decisiones constructivas sostenibles en la región.

REFERENCIAS

Referencias

- Air-Conditioning Engineers. (1993). Tablas y diagramas de propiedades (sist. Internacional y sist. Ingles)—Cengel_Ap1 7:21 PM Page 865—Studocu. <https://www.studocu.com/es-mx/document/universidad-nacional-autonoma-de-mexico/transfencia-de-calor/tablas-y-diagramas-de-propiedades-sist-internacional-y-sist-ingles/7436266>
- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). (2021). "Advancing Sustainable Materials Management: Facts and Figures 2019." EPA, Washington D.C.
- Albarracin Vélez, G. (2016). Energía solar y forma urbana: Análisis de morfología urbana para la optimización de captación solar en el periurbano de Cuenca—Ecuador. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/100243>
- Alejandro Monroy Bobadilla. 2018. "IMPACTO AMBIENTAL DURANTE EL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN – CMICAC." Artículo En La Wev Del Colegio Mexicano de Ingenieros Civiles A.C, December. <https://cmicac.com/2018/12/13/impacto-ambiental-durante-elproceso-de-construccion/>.
- Alvarado, M. (2021). Determinación del consumo energético y emisión de CO2 en los procesos de fabricación del adobe [Universidad del Azuay]. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/10926>
- Astudillo Gomezcoello, J. A., & Orellana Castro, D. A. (2022). Diseño de una vivienda bajo el concepto de Powerhouse a través de plataformas BIM en la ciudad de Cuenca-Ecuador (Bachelor's thesis). Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/40213>
- Baquero, M. T., & Quesada, F. (2016). Eficiencia energética en el sector residencial de la Ciudad de Cuenca, Ecuador. <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/maskana/articloe/download/1065/934>
- Barra, J. (2016). Determinación de propiedades Termofísicas de madera pinus radiata impregnada con materia de cambio de fase. <http://repobib.ubiobio.cl/jspui/handle/123456789/2322>
- Bienal de Arquitectura. (2008). CONSTRUCCIÓN DE 16 VIVIENDAS DE QUINCHA MEJORADA MODULAR para damnificados del Terremoto del 15 de agosto de 2007 en Ica, Perú. - Archivo BAQ. <https://arquitecturapanamericana.com/construccion-de-16-viviendas-de-quincha-mejorada-modular-para-damnificados-del-terremoto-del-15-de-agosto-de-2007-en-ica-peru/>
- Bin, G., y Parker, P. (2012). Measuring buildings for sustainability: Comparing the initial and retrofit ecological footprint of a century home - The REEP House. In Applied Energy (Vol. 93). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.05.055>
- Brito Peña, J. R., & Villa Enderica, J. D. (2020). Evaluación del confort térmico de una vivienda unifamiliar proyectada con Steel Frame optimizada acorde a la sección estructural. Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador. <file:///C:/Users/Anabel/Downloads/Trabajo%20de%20titulaci%C3%B3n.pdf>
- Calle, J., Fajardo, J., & Sánchez, L. (2010). Agua caliente sanitaria de uso doméstico con energía solar, una alternativa para la ciudad de Cuenca. Ingenius, 4, Article 4. <https://doi.org/10.17163/ings.n4.2010.06>
- Canavesi, L. E. (2021). Aplicacion de un modelo matemático para la determinación de la conductividad térmica en materiales de tierra.
- Carazas, W., & Rivero, A. (2002). Bahareque. Guía de construcción parasísmica. Villefontaine: Ediciones CRAtterre.
- CENTROSUR. (2015). Energía consumida. Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. <http://www.centrosur.com.ec/?q=energia-consumida>
- Cepeda, M., & Mardaras, I. (2004). Cuantificación energética de la construcción de edificios y el proceso de urbanización. NA (Nueva Arquitectura Con Arcilla Cocida), 12(Tecnologías: Construcción. Arquitectura. Tecnología ambiental), 65.
- Cevallos, P. (2003). El bahareque en zonas sísmicas. En A.A.V.V. (Ed.), Técnicas mixtas de construcción con tierra. Programa CYTED-Sub-programa XIV.
- Clapers Vivares, Malena. 2018. "Un Nuevo Paradigma Para La Construcción Sostenible: La Economía Azul." <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/124118>.
- Clikalia. (2019, noviembre 18). Powerhouse: Edificios que generan más energía de la que consume - Clikalia Blog. <https://blog.clikalia.com/lifestyle/tecnologia/powerhouse-edificio/>
- Cuitiño, M., Rotondaro, R., y Esteves, A. (2020). Análisis comparativo de aspectos térmicos y resistencias mecánicas de los materiales y los

- elementos de la construcción con tierra. *Revista de Arquitectura* (Bogotá), 22(1), 138–151.
- CUYABENO LODGE. (2024). CLIMA DE CUENCA [ECUADOR]. Recuperado 25 de abril de 2024, de <https://www.cuyabenolodge.com/turismo-amazonas/clima-de-cuenca.htm>
- Darío, P. J., Enrique, D. R. Y., Gema, V., Ariel, S. J., y Ximena, B. L. (2022). CARACTERIZACIÓN FÍSICO-MECÁNICA DE LA GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH EN TRES CANTONES DE LA PROVINCIA DE MANABÍ. *CLAUSTRO*, 5, 85–99. <https://doi.org/10.56124/claustro.v5i10.0054>
- Dehane, B. (2019). Caracterización del crecimiento y de la calidad de corcho de los alcornocales del Noroeste de Argelia (región de Orán). *Ecosistemas*, 28(1), 97–105. www.revistaecosistemas.net
- ECV. (2021, abril 19). ¿Qué es el Ciclo de Vida de un Edificio? *Econova Institute of Architecture & Engineering*. <https://econova-institute.com/que-es-el-ciclo-de-vida-de-un-edificio/>
- Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Shardul, A., Alexeyevich Bashmakov, I., Broome, J., Brunner, S. (2014). CAMBIO CLIMATICO 2014 Mitigación del cambio climático. CAMBIO CLIMATICO 2014 Mitigación del cambio climático, 7-10. Descargado de https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/ar5%7B%5C_%7DwgII%7B%5C_%7Dspm%7B%5C_%7Ddes.pdf
- EEA. (2019). Construction and demolition waste: challenges and opportunities in a circular economy. <https://www.eea.europa.eu/publications/construction-and-demolitionwaste-challenges>
- El clima en Cuenca, el tiempo por mes, temperatura promedio (Ecuador) - Weather Spark. (2024). Weather Spark. <https://es.weatherspark.com/y/19348/Clima-promedio-en-CuencaEcuador-durante-todo-el-a%C3%B1o#Sections-Precipitation>
- EMUVI, Empresa Municipal de Urbanización y Vivienda de Cuenca. (2023). Quiénes somos. <https://www.emuvi.gob.ec/content/quienes-somos>
- EMOV EP, 2016. Informe de Calidad de Aire Cuenca-2015. , pp. 124. ISSN 1098-6596. DOI
- FAO. (2018). EL ESTADO DE LOS BOSQUES DEL MUNDO. LAS VÍAS FORESTALES HACIA EL DESARROLLO SOSTENIBLE. <https://www.fao.org/3/i9535es/i9535es.pdf>
- Félix Jové Sandoval, Dr. Arquitecto Juan Solano Machuca, Arquitecto Líder Hernán Cedeño. (s. f.). Construcción con tierra: Guía para la autoconstrucción. Recuperado de <https://www5.uva.es/grupotierra/aecid/publicaciones/2013/4b.pdf>
- GCFGlobal. (s. f.). Temas básicos: Masa y densidad de un cuerpo. GCFGlobal.org. Recuperado 24 de junio de 2024, de <https://edu.gcfglobal.org/es/temas-basicos/masa-y-densidad-de-un-cuerpo/1/>
- GONÇALVES DE LASSIO, J.G., 2016. Life cycle assessment of building construction materials : case study for a housing complex. , no. 2008, pp. 69-77.
- González, E., (2004). Selección de materiales en la concepción arquitectónica bioclimática. *Estudios de Arquitectura Bioclimática*. Limusa-México
- Guillén Mena, V., & Orellana Valdez, D. (2017). Un acercamiento a caracterizar la isla de calor en Cuenca, Ecuador. <http://repositorio.flacsoandes.edu.ec/handle/10469/15805>
- Gutiérrez, A. D. (1984). Sistema constructivo «Quincha Prefabricada». *Informes de la Construcción*, 36(361), Article 361. <https://doi.org/10.3989/ic.1984.v36.i361.1962>
- Helios Strategia Ecuador. (s. f.). PANELES SOLARES. *Heliostrategiaecuador*. Recuperado 20 de junio de 2024, de <https://heliostrategiaecuador.com/paneles-solares-fv-2/>
- IEA. (2020). World Energy Outlook 2020 – Analysis - IEA. (2020, 1 octubre). IEA. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>
- INEC. (2014). Compendio Estadístico 2014. Instituto Nacional de Estadística y Censos. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/compendio-estadistico-2014/>
- INAMHI. (2015). BOLETIN CLIMATOLOGICO ANUAL 2015.
- INEC. (2014). Compendio Estadístico 2014. Instituto Nacional de Estadística y Censos. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/compendio-estadistico-2014/>
- INSTITUTO CHILENO DEL ACERO. (2023). PESOS ESPECÍFICOS DE MATERIALES.
- Instituto Nacional de Normalización - INN. (2008). Norma Chilena NCH 853.

- Jorquera, N. (2014). Culturas constructivas que conforman el patrimonio chileno construido en tierra. Revista AUS, Edición 16-2014.
- Jové, F. S., Solano, J. M., & Cedeño, L. H. (2013). Habitat social, digno, sostenible y seguro en Manta, Manabí, Ecuador.
- Kalogirou, S. (2012). Solar Thermal Systems: Components and Applications – Introduction. En S. Kalogirou, Comprehensive Renewable Energy. ELSEVIER. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780080878720003012>
- Khan-Ankur, A., S. Kraus, T. Grube, R. Castro y D. Stolten. 2022. “Un Modelo versátil para estimar el consumo de combustible de una amplia gama de modos de transporte”.Energías15 (6).<https://doi.org/10.3390/es15062232>.
- Lemos, S. (2023, mayo 17). La sostenibilidad se convierte en un desafío para la construcción de viviendas. Noticias Infolec. <https://noticiasinfolec.com/la-sostenibilidad-se-convierte-en-un-desafio-para-la-construccion-de-viviendas/>
- Linseis. (2024, enero 22). ¿Qué significa conductividad térmica? | Linseis Messgeräte GmbH. <https://www.linseis.com/es/conocimiento/que-significa-conductividad-termica/>
- Lovins, A. (2018). How big is the energy efficiency resource? ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/327731437_How_big_is_the_energy_efficiency_resource
- Lovins, A. B. (2011). Reinventing Fire: Bold Business Solutions for the New Energy Era. Chelsea Green Publishing. <https://z-lib.io/book/14987997>
- Maldonado Caballero, C. (2020, noviembre 6). Renovadas técnicas de construcción con tierra y paja dejan atrás el adobe y ganan terreno en la edificación sustentable. País Circular. <https://www.paiscircular.cl/ciudad/renovadas-tecnicas-de-construccion-con-tierra-y-paja-dejan-atras-el-adobe-y-ganan-terreno-en-la-edificacion-sustentable/>
- Marrero, M., Martínez-Escobar, L., Mercader, M. P., & Leiva, C. (2013). Minimización del impacto ambiental en la ejecución de fachadas mediante el empleo de materiales reciclados. Informes de la Construcción, 65(529), Article 529. <https://doi.org/10.3989/ic.11.034>
- McDonough, W., & Braungart, M. (2002). Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things. North Point Press. <https://z-lib.io/book/14797738>
- MINISTERIO DE DESARROLLO URBANO Y VIVIENDA. (2019). PROGRAMA NACIONAL DE VIVIENDA SOCIAL. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/06/PROGRAMA-NACIONAL-DEVIVIENDA-SOCIAL.pdf>
- Ministerio de Energía y Minas. (2021). Balance Energético Nacional 2021. https://www.recursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2022/08/Balance_Energe%CC%81tico_Nacional_2021-VF_opt.pdf
- Muñoz, C., Zaror, C., Saelzer, G., y Cuchí, A. (2012). Estudio del flujo energético en el ciclo de vida de una vivienda y su implicancia en las emisiones de gases de efecto invernadero, durante la fase de construcción Caso Estudio: Vivienda Tipología Social. Región del Biobío, Chile. Revista de La Construcción, 11(3), 125–145. <https://doi.org/10.4067/s0718-915x2012000300011>
- Muñoz, E. (2019). Análisis y Factibilidad de costos en proyectos de construcción sostenible [Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/78362/1032378738.2020.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Nations United. (2024). La promesa de la energía solar: Estrategia energética para reducir las emisiones de carbono en el siglo XXI | Naciones Unidas. United Nations; United Nations. Recuperado 25 de abril de 2024, de <https://www.un.org/es/chronicle/article/la-promesa-de-la-energia-solar-estrategia-energetica-para-reducir-las-emisiones-de-carbono-en-el>
- Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2014). Estructuras de Madera. Dirección de Comunicación Social, MIDUVI. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>
- Nugent, D., & Sovacool, B. K. (2014). Assessing the lifecycle greenhouse gas emissions from solar PV and wind energy: A critical meta-survey. Energy Policy, 65, 229-244. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.10.048>
- ONU-Hábitat. (2018). "Cities and Climate Change: Global Report on Human Settlements." Naciones Unidas, Nairobi.

- Osorio, J. (2010). Análisis comparativo de materiales bioconstructivos versus materiales clásicos utilizados en 85 viviendas sociales sector bancario en La Unión [Universidad Austral de Chile (UACH)]. <https://www.virtualpro.co/biblioteca/analisis-comparativode-materiales-biconstructivos-versus-materialesclasicos-utilizados-en-85-vivendas-sociales-sectorbancario-de-la-union>
- Paltán-Cuenca, E. Z.-E. (7 de Diciembre de 2023). *MDPI*. Obtenido de MDPI: <https://www.mdpi.com/2075-5309/13/12/3049>
- Pardo, N. S., Penagos Garcia, G. L., & Acevedo, H. (2022). Impactos ambientales asociados a la huella de carbono y la energía incorporada del ciclo de vida de una edificación en Medellín. *Informes de la construcción*, 74(565.), e436, 1-e436, 11. <https://doi.org/10.3989/ic.82758>
- Protierra Chile. (2022, septiembre 6). Quincha liviana: Sistemas constructivos sustentables de reinterpretación patrimonial en Chile. *ArchDaily en Español*. <https://www.archdaily.cl/cl/988392/quincha-liviana-sistemas-constructivos-sustentables-de-reinterpretacion-patrimonial-en-chile>
- Rivero Camacho, C. (2020). Estudio de huellas en el ciclo de vida del edificio residencial. <https://idus.us.es/handle/11441/102354>
- Roaf, S., Fuentes, M., & Thomas, S. (2001). *ECOHOUSE: A DESIGN GUIDE*. Architectural Press. https://library.uniteddiversity.coop/Ecological_Building/EcohouseA_Design_Guide.pdf
- Rodríguez, G. (2006). El impacto de la enseñanza de la sostenibilidad en la arquitectura y el urbanismo. *AUS*, 1, 6–9. <https://doi.org/10.4206/aus.2006.n1-09>
- Rodríguez, J. N. (16 de Noviembre de 2023). *Gilmar*. Obtenido de Gilmar: <https://www.gilmar.es/blog/casa-autosuficiente-powerhouse/>
- Romero Castillo, J. (2015). Análisis del funcionamiento de paneles fotovoltaicos y su utilización en las regiones de la costa y sierra del Ecuador. Caso de estudio: Biblioteca Pompeu Fabra de Mataró [Master thesis, Universitat Politècnica de Catalunya]. <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/26396>
- Romo, D., Morales, D., Romo, D., & Morales, D. (2021). Eficiencia Energética en la Universidad Católica sede Azogues un enfoque de implementación técnico—Económico basado en energía solar. *Revista Técnica energía*, 17(2), 44-54. <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v17.n2.2021.420>
- Sánchez, H. (2021). Diapositivas de clases de la materia de Acondicionamiento Ambiental. Facultad de Arquitectura y Urbanismo de Cuenca. Santos, F. (2023). *BALANCE ENERGÉTICO NACIONAL*. Ministerio de Energía y Minas. www.recursosyenergia.gob.ec
- Senise, L. (2017). VERIFICACION DE LA CALIDAD TERMICA DE LOS COMPONENTES TECNOLOGICOSCONSTRUCTIVOS DE LAS ENVOLVENTES. 21.
- Smith, J. (2018). Beneficios de la construcción con quincha: una revisión de la literatura. *Revista de Arquitectura Sostenible*, 10(2), 45-58.
- Snøhetta, (2012-2014). *Powerhouse Kjørbo*. <https://www.snohetta.com/projects/powerhouse-kjorbo>
- Style, O. (07 de junio de 2014). Papel de la inercia térmica en la refrigeración pasiva de Edificios de Energía Casi Nula en climas cálidos: caso de estudio de un Hotel en Tarragona. II Congreso de Edificios de Energía Casi Nula. <https://www.construible.es/comunicaciones/papel-inercia-termica-refrigeracion-pasiva-edificios-energia-casi-nula-climas-caldidos-caso-estudio-hotel-tarragona>
- Urdánigo, L. L. G., & Álvarez, L. S. Z. (s. f.). *Arq. David Cobeña Loor. Mg.Sc.*
- Urgilés, D. (2017). Inventario del ciclo de vida para la determinación de la energía incorporada y las emisiones de CO2 en el proceso de elaboración del bloque en una fábrica de Cuenca –Ecuador. [Universidad De Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/28601>
- Vanga, M., Briones, O., Zevallos, I., y Delgado, D. (2021). Bioconstrucción de vivienda unifamiliar de interés social con caña Guadua angustifolia Kunth. *Novasinergia revista digital de ciencia, ingeniería y tecnología*, 4(1), 53–73. <https://doi.org/10.37135/ns.01.07.03>
- Venegas Tomalá, A. O. (2018). Evaluación de la energía contenida, emisiones de co2 y material particulado en la fabricación del ladrillo semi-mecanizado tocharo en Cuenca, a través del análisis de ciclo de vida (ACV). (Master's thesis). Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/29319>

- Vinueza,M. (2023). Ficha Técnica No 1: TECA. Ecuadorforestal.org.
<https://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-no-15-eucalyptus-globulus-labill/>
- Wadel, G., Avellaneda, J., & Cuchí, A. (2010). La sostenibilidad en la arquitectura industrializada: Cerrando el ciclo de los materiales. Informes de la Construcción, 62(517), 37-51.
<https://doi.org/10.3989/ic.09.067>
- WeatherSpark. (2024). El clima en Cuenca, el tiempo por mes, temperatura promedio (Ecuador)—Weather Spark. Recuperado 25 de abril de 2024, de <https://es.weatherspark.com/y/19348/Clima-promedio-en-Cuenca-Ecuador-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- Xie, L., & Yang, J. (2019). "Energy Consumption Analysis of Building Materials in Construction Projects: A Case Study". Energy and Buildings, 182, 112- 120.
- Zalamea-León, E., Astudillo-Gomezcoello, J., Orellana-Castro, D., & Barragán-Escandón, A. (2024). Housing Development through the BIM Methodology to Reach the Powerhouse Standard by Applying Rammed-Earth Techniques and Solar Energy. Journal Of Architectural Engineering, 30(1).
<https://doi.org/10.1061/jaeied.aeeng-1647>
- Zalamea Leon, E. F., & Barragan Escandon, E. A. (2021). Arquitectura, sol y energía. En Universidad de Cuenca. Universidad de Cuenca, Universidad Politécnica Salesiana.
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/37790>
- Zhang, Q., et al. (2018). "Life Cycle Carbon Emissions and Embodied Energy Consumption in Residential Buildings: A Case Study in China". Renewable and Sustainable Energy Reviews, 81(Part 2), 1983-1992.

ANEXOS

Anexo A: Evaluación energética con EcoDesigner.

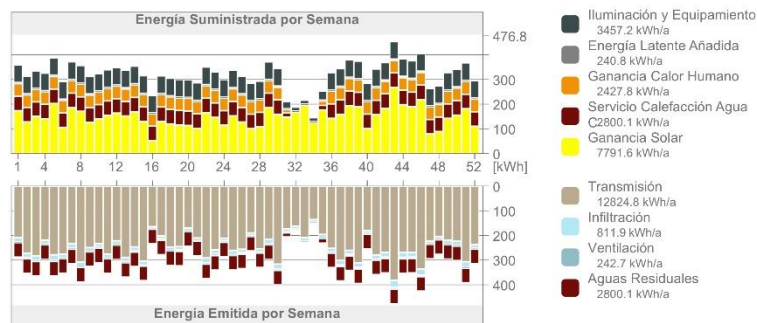
Evaluación del Rendimiento Energético

[Número de Proyecto] 0001

Valores Clave

Datos generales del proyecto		Coeficientes de transfer.		Valor U	[W/m²K]
Nombre Proyecto:	0001	Promedio Edificio Entero:	1.59		
Ubicación Ciudad:	8617866039276	Pavimentos:	1.17 - 1.17		
Latitud:	2° 59' 0" S	Externo:	0.36 - 1.63		
Longitud:	78° 59' 0" O	Subterráneo:	--		
Altitud:	2570.00 m	Aberturas:	2.11 - 3.37		
Origen de Datos Climáticos:	Cuenca...ur.tm2				
Fecha de Evaluación:	13/7/2024 21:29				
Datos de geometría del edificio		Valores Anuales Específicos			
Área bruta de la planta:	92.51 m²	Energía calorífica Neta:	0.00	kWh/m²a	
Área de Suelo Tratado:	76.94 m²	Energía refrigerante Neta:	0.00	kWh/m²a	
Área del Envolvente Exterior:	218.44 m²	Energía Neta Total:	0.00	kWh/m²a	
Volumen ventilado:	178.37 m³	Consumo de Energía:	81.37	kWh/m²a	
Ratio acristalamiento:	8 %	Consumo de Combustible:	81.37	kWh/m²a	
		Energía Primaria:	244.10	kWh/m²a	
		Coste Combustible:	9.76	USD/m²a	
		Emisión CO ₂ :	8.06	kg/m²a	
Datos de rendimiento de la estructura		Días-Grado			
Infiltración a 50Pa:	12.58	AHH	Calefacción (HDD):	1243.73	
			Refrigeración (CDD):	2053.65	

Balance Energético del Proyecto



Bloques Térmicos

Bloque Térmico	Zonas Asignado(a)	Perfil de Operación	Área Bruta de la - m²	Volumen m³
001 COMEDOR - SALA DE ESTAR	2	COMEDOR - SAL...	20.29	48.83
001 COCINA	1	COCINA RESIDE...	4.93	10.70
002 CIRCULACIÓN	3	CIRCULACIÓN	16.04	28.40
003 BAÑO	2	BAÑO RESIDEN...	5.99	11.54
004 DORMITORIOS	3	DORMITORIO	32.30	65.02
005 CÁMARA DE TECHO	1	CÁMARA DE	12.96	13.88
Total:	12		92.51	178.37

Evaluación del Rendimiento Energético

[Número de Proyecto] 0001

001 COMEDOR - SALA DE ESTAR - Valores Clave

Datos de la Geometría		Coeficientes de transfer.		Valor U	[W/m²K]
Área bruta de la planta:	20.29 m²	Pavimentos:	1.17 - 1.17		
Área suelo tratado:	18.43 m²	Externo:	1.63 - 1.63		
Área de estruct. compleja:	31.07 m²	Subterráneo:	-		
Volumen ventilado:	48.83 m³	Aberturas:	2.11 - 3.23		
Ratio acristalamiento:	14 %				
Temperatura Interna		Provisiones Anuales			
Min. (06:00 Oct 04):	14.07 °C	Calefacción:	0.00	kWh	
Media Anual:	22.24 °C	Refrigeración:	0.00	kWh	
Max. (19:00 May 29):	32.63 °C				
Horas de carga no satisfechas		Picos de Carga			
Calefacción:	49 hrs/a	Calefacción (01:00 Ene 01):	0.00	kW	
Refrigeración:	496 hrs/a	Refrigeración (01:00 Ene 01):	0.00	kW	

001 COCINA - Valores Clave

Datos de la Geometría		Coeficientes de transfer.		Valor U	[W/m²K]
Área bruta de la planta:	4.93 m²	Pavimentos:	1.17 - 1.17		
Área suelo tratado:	4.04 m²	Externo:	1.29 - 1.63		
Área de estruct. compleja:	10.97 m²	Subterráneo:	-		
Volumen ventilado:	10.70 m³	Aberturas:	3.30 - 3.30		
Ratio acristalamiento:	8 %				
Temperatura Interna		Provisiones Anuales			
Min. (07:00 Ago 04):	16.52 °C	Calefacción:	0.00	kWh	
Media Anual:	31.09 °C	Refrigeración:	0.00	kWh	
Max. (20:00 Dic 16):	52.61 °C				
Horas de carga no satisfechas		Picos de Carga			
Calefacción:	0 hrs/a	Calefacción (01:00 Ene 01):	0.00	kW	
Refrigeración:	1194 hrs/a	Refrigeración (01:00 Ene 01):	0.00	kW	

002 CIRCULACIÓN - Valores Clave

Datos de la Geometría		Coeficientes de transfer.		Valor U	[W/m²K]
Área bruta de la planta:	16.04 m²	Pavimentos:	1.17 - 1.17		
Área suelo tratado:	12.72 m²	Externo:	0.36 - 1.63		
Área de estruct. compleja:	44.43 m²	Subterráneo:	-		
Volumen ventilado:	28.40 m³	Aberturas:	3.17 - 3.37		
Ratio acristalamiento:	16 %				
Temperatura Interna		Provisiones Anuales			
Min. (06:00 Oct 04):	12.87 °C	Calefacción:	0.00	kWh	
Media Anual:	19.80 °C	Refrigeración:	0.00	kWh	
Max. (18:00 Dic 16):	33.73 °C				
Horas de carga no satisfechas		Picos de Carga			
Calefacción:	302 hrs/a	Calefacción (01:00 Ene 01):	0.00	kW	
Refrigeración:	117 hrs/a	Refrigeración (01:00 Ene 01):	0.00	kW	

Evaluación del Rendimiento Energético

[Número de Proyecto] 0001

003 BAÑO - Valores Clave

Datos de la Geometría			Coeficientes de transfer.		Valor U	[W/m²K]
Área bruta de la planta:	5.99	m²	Pavimentos:		1.17 - 1.17	
Área suelo tratado	4.74	m²	Externo:		1.44 - 1.63	
Área de estruct. compleja:	16.15	m²	Subterráneo:		-	
Volumen ventilado:	11.54	m³	Aberturas:		3.34 - 3.34	
Ratio acristalamiento:	2	%				
Temperatura Interna			Provisiones Anuales			
Min. (06:00 Oct 04):	13.68	°C	Calefacción:		0.00	kWh
Media Anual:	20.28	°C	Refrigeración:		0.00	kWh
Max. (20:00 Dic 16):	30.54	°C				
Horas de carga no satisfechas			Picos de Carga			
Calefacción:	0	hrs/a	Calefacción (01:00 Ene 01):		0.00	kW
Refrigeración:	27	hrs/a	Refrigeración (01:00 Ene 01):		0.00	kW

004 DORMITORIOS - Valores Clave

Datos de la Geometría			Coeficientes de transfer.		Valor U	[W/m²K]
Área bruta de la planta:	32.30	m²	Pavimentos:		-	
Área suelo tratado	27.90	m²	Externo:		0.36 - 1.63	
Área de estruct. compleja:	89.51	m²	Subterráneo:		-	
Volumen ventilado:	65.02	m³	Aberturas:		3.22 - 3.28	
Ratio acristalamiento:	5	%				
Temperatura Interna			Provisiones Anuales			
Min. (08:00 Ago 04):	13.93	°C	Calefacción:		0.00	kWh
Media Anual:	21.71	°C	Refrigeración:		0.00	kWh
Max. (18:00 May 29):	30.66	°C				
Horas de carga no satisfechas			Picos de Carga			
Calefacción:	69	hrs/a	Calefacción (01:00 Ene 01):		0.00	kW
Refrigeración:	363	hrs/a	Refrigeración (01:00 Ene 01):		0.00	kW

005 CÁMARA DE TECHO - Valores Clave

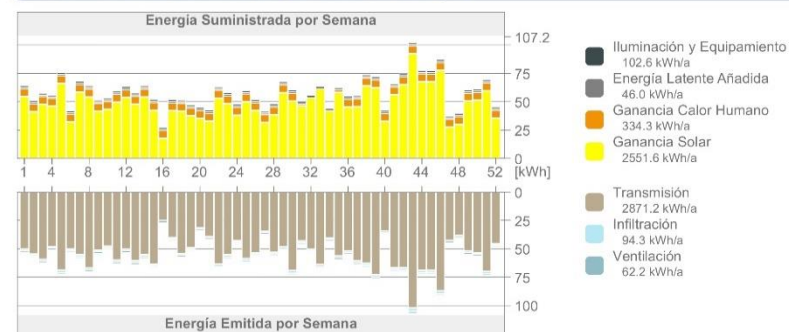
Datos de la Geometría			Coeficientes de transfer.		Valor U	[W/m²K]
Área bruta de la planta:	12.96	m²	Pavimentos:		-	
Área suelo tratado	9.12	m²	Externo:		0.36 - 1.63	
Área de estruct. compleja:	26.31	m²	Subterráneo:		-	
Volumen ventilado:	13.88	m³	Aberturas:		-	
Ratio acristalamiento:	0	%				
Temperatura Interna			Provisiones Anuales			
Min. (09:00 Oct 04):	12.86	°C	Calefacción:		0.00	kWh
Media Anual:	19.55	°C	Refrigeración:		0.00	kWh
Max. (20:00 May 29):	27.55	°C				
Horas de carga no satisfechas			Picos de Carga			
Calefacción:	0	hrs/a	Calefacción (01:00 Ene 01):		0.00	kW
Refrigeración:	0	hrs/a	Refrigeración (01:00 Ene 01):		0.00	kW

3 / 18

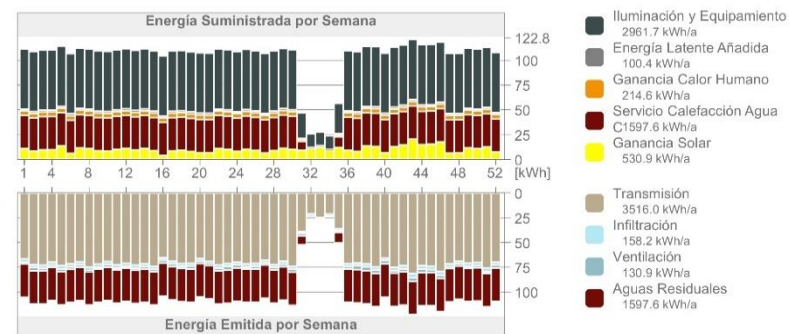
Evaluación del Rendimiento Energético

[Número de Proyecto] 0001

001 COMEDOR - SALA DE ESTAR Nivel de Energía



001 COCINA Nivel de Energía

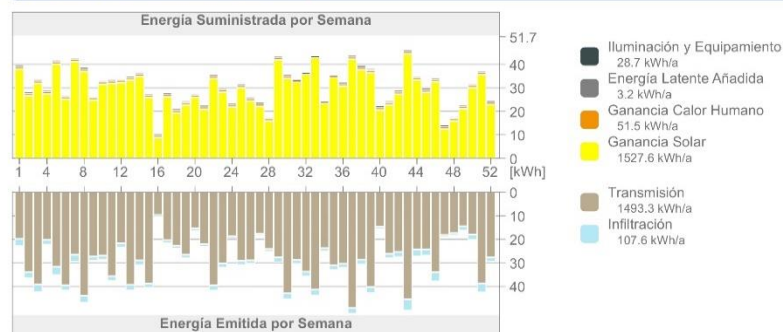


4 / 18

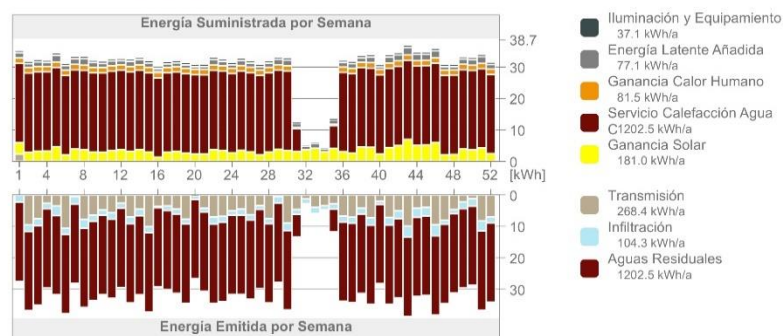
Evaluación del Rendimiento Energético

[Número de Proyecto] 0001

002 CIRCULACIÓN Nivel de Energía



003 BAÑO Nivel de Energía

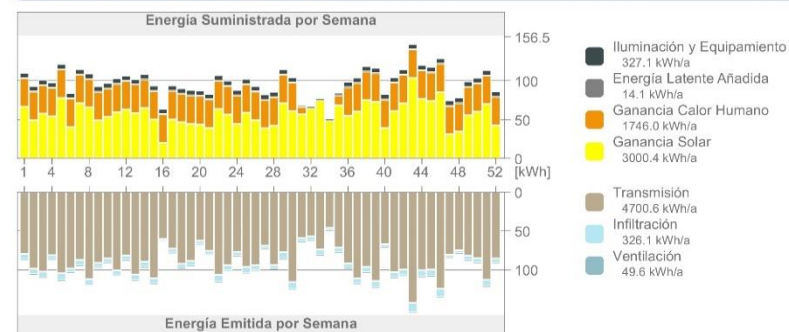


5 / 18

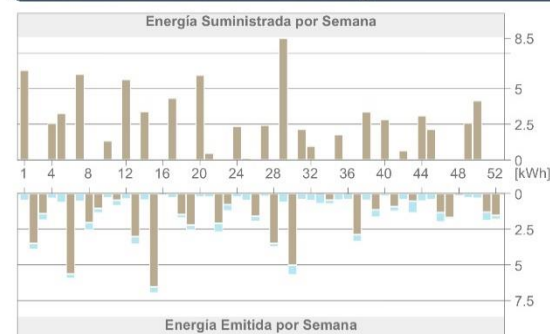
Evaluación del Rendimiento Energético

[Número de Proyecto] 0001

004 DORMITORIOS Nivel de Energía



005 CÁMARA DE TECHO Nivel de Energía

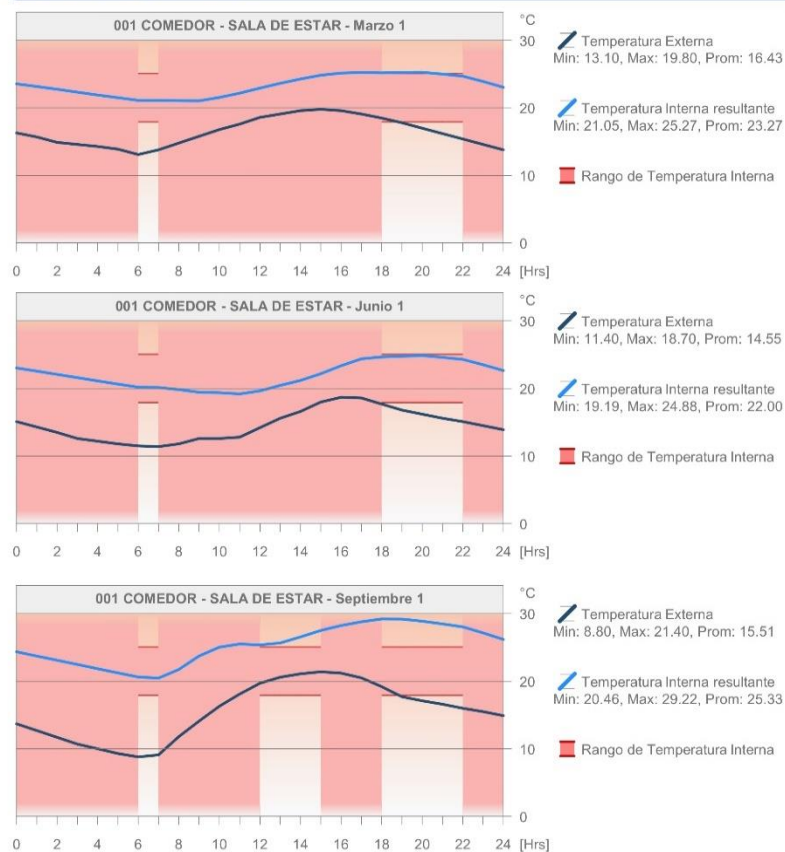


6 / 18

Evaluación del Rendimiento Energético

[Número de Proyecto] 0001

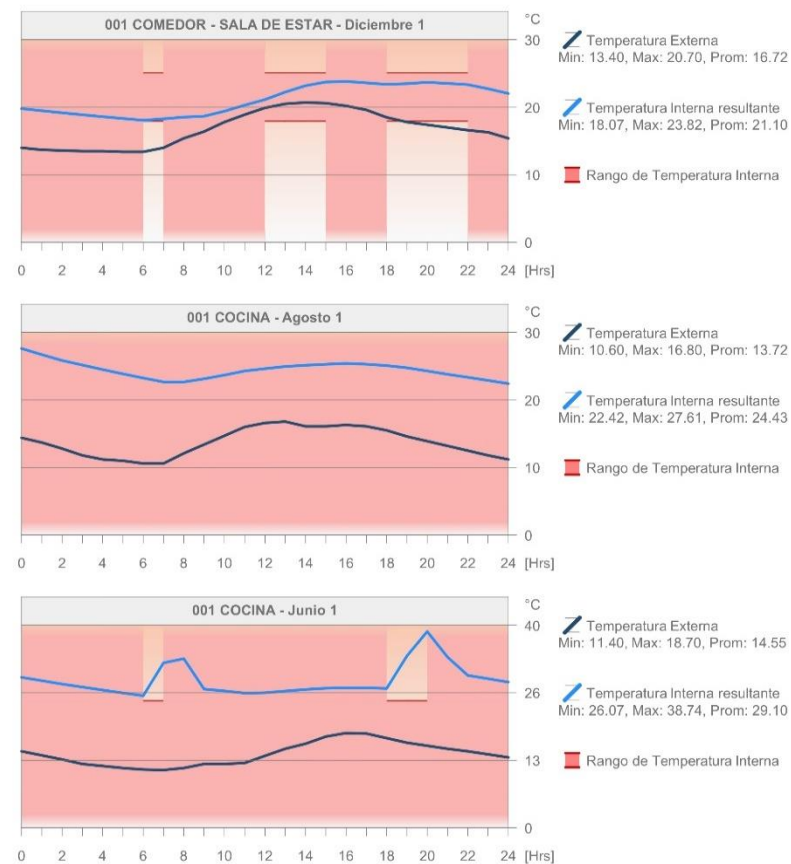
Perfil de Temperatura Diaria



7 / 18

Evaluación del Rendimiento Energético

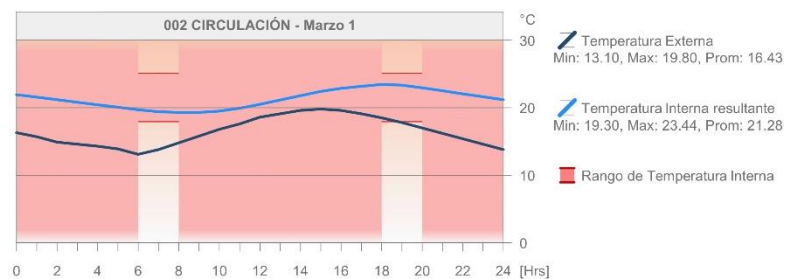
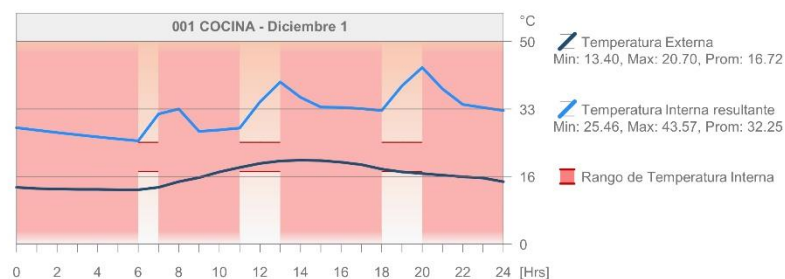
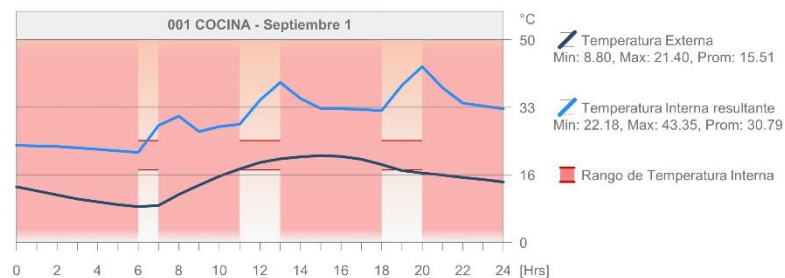
[Número de Proyecto] 0001



8 / 18

Evaluación del Rendimiento Energético

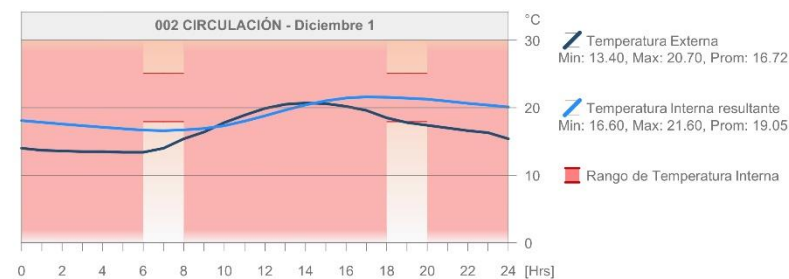
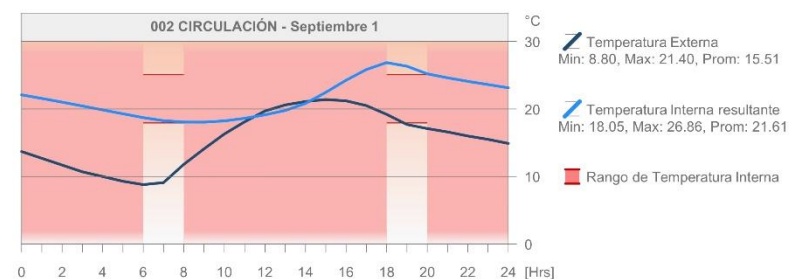
[Número de Proyecto] 0001



9 / 18

Evaluación del Rendimiento Energético

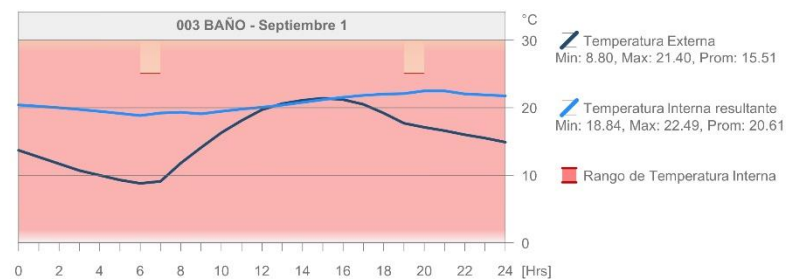
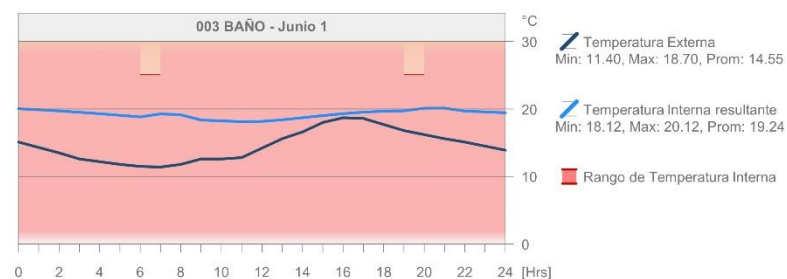
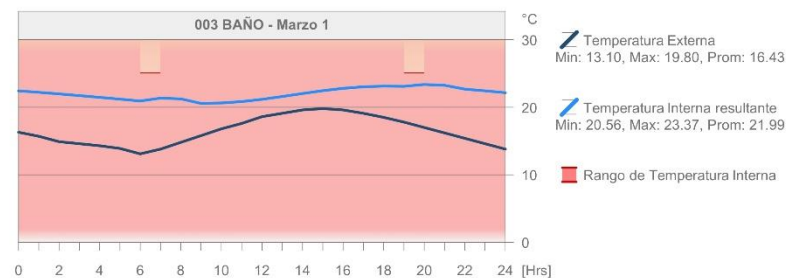
[Número de Proyecto] 0001



10 / 18

Evaluación del Rendimiento Energético

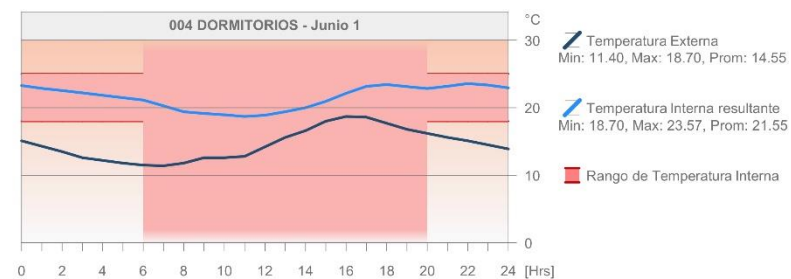
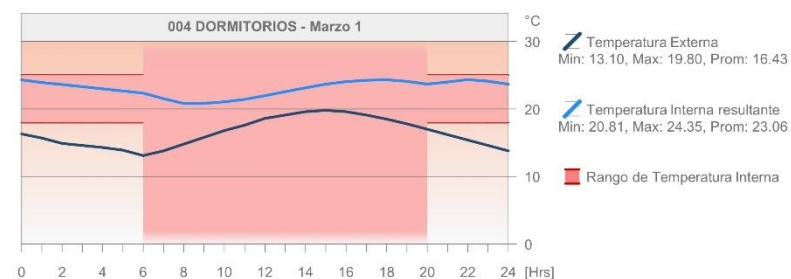
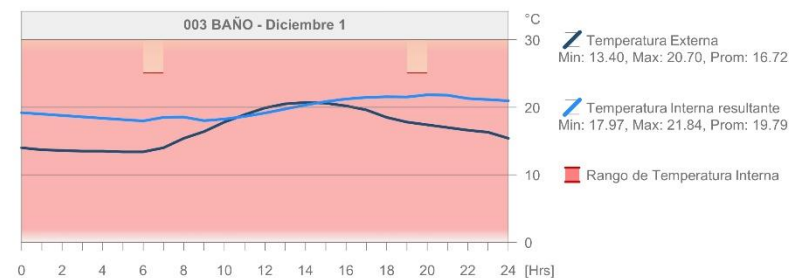
[Número de Proyecto] 0001



11 / 18

Evaluación del Rendimiento Energético

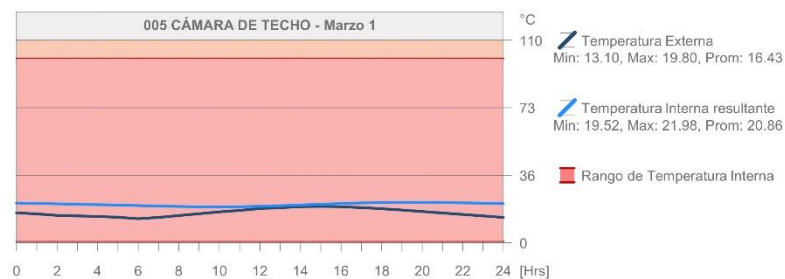
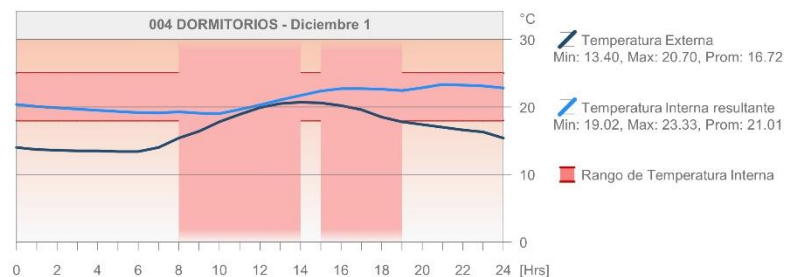
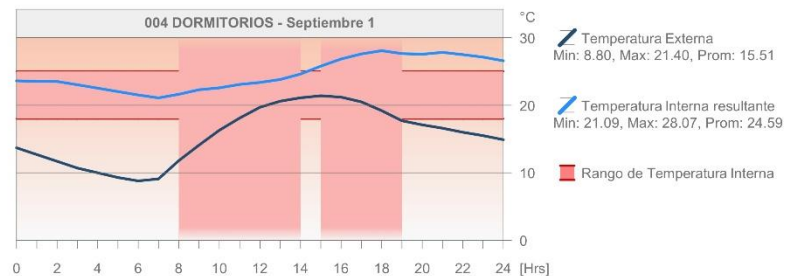
[Número de Proyecto] 0001



12 / 18

Evaluación del Rendimiento Energético

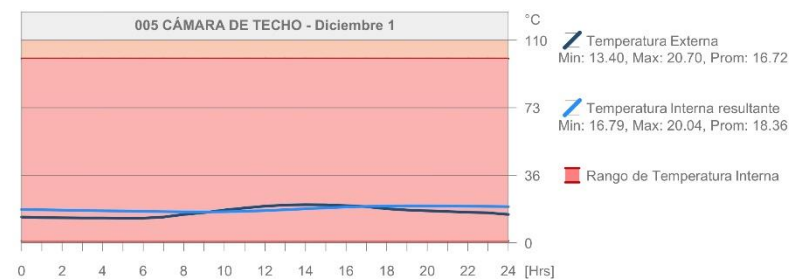
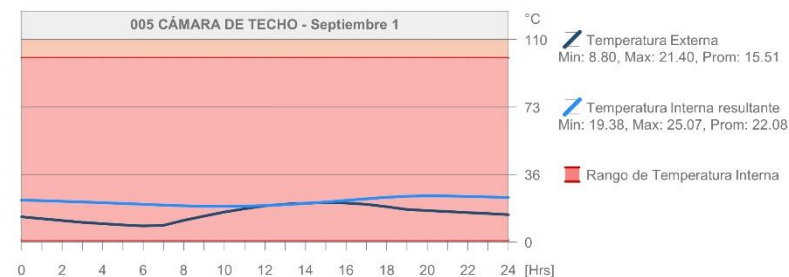
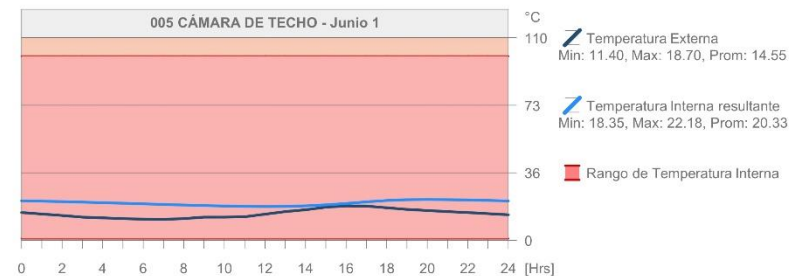
[Número de Proyecto] 0001



13 / 18

Evaluación del Rendimiento Energético

[Número de Proyecto] 0001



14 / 18

Evaluación del Rendimiento Energético

[Número de Proyecto] 0001

Datos de Diseño HVAC

Bloque Térmico	Demanda de		Demanda de		Interno	
	Anualment [kWh]	Por Horas Pico [kW]	Anualment [kWh]	Por Horas Pico [kW]	Temperatura Min. [°C]	Max. [°C]
001 COMEDOR - SALA DE ESTAR	0	0.0 --	0	0.0 --	14.1 06:00 Oct 04	32.6 19:00 May 29
001 COCINA	0	0.0 --	0	0.0 --	16.5 07:00 Ago 04	52.6 20:00 Dic 16
002 CIRCULACIÓN	0	0.0 --	0	0.0 --	12.9 06:00 Oct 04	33.7 18:00 Dic 16
003 BAÑO	0	0.0 --	0	0.0 --	13.7 06:00 Oct 04	30.5 20:00 Dic 16
004 DORMITORIOS	0	0.0 --	0	0.0 --	13.9 08:00 Ago 04	30.7 18:00 May 29
005 CÁMARA DE TECHO	0	0.0 --	0	0.0 --	12.9 09:00 Oct 04	27.5 20:00 May 29
Todos los Bloques Térmicos:	0	0.0 --	0	0.0 --		

Número de Horas Usadas en el Año:

Calefacción: 0 hrs
Refrigeración: 0 hrs

Horas de carga no satisfechas en el año:

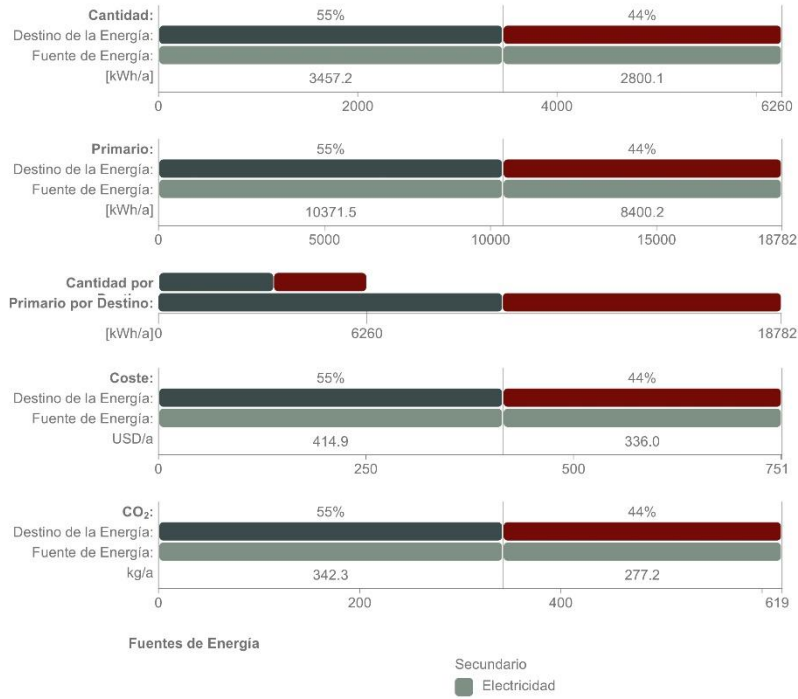
Calefacción: 364 hrs
Refrigeración: 1618 hrs

Evaluación del Rendimiento Energético

[Número de Proyecto] 0001

Consumo de energía por Objetivos

Nombre Destino	Energía		Coste USD/a	CO ₂ Emisión kg/a
	Cantidad kWh/a	Primario kWh/a		
Calefacción	0	0	0	0
Refrigeración	0	0	0	0
Servicio de Agua Caliente	2800	8400	336	277
Ventiladores	3	10	0	0
Iluminación & aparatos	3457	10371	414	342
Total:	6260	18782	751	619

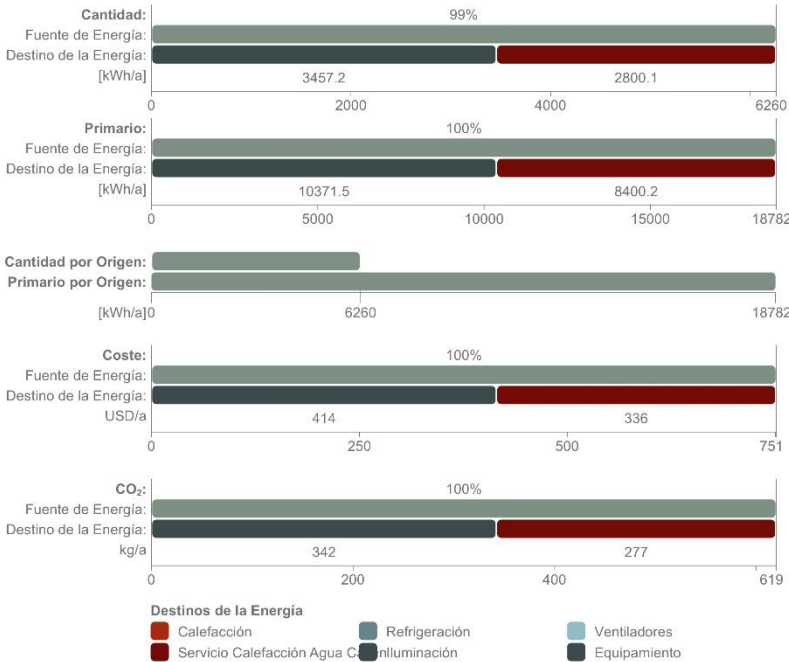


Evaluación del Rendimiento Energético

[Número de Proyecto] 0001

Consumo de Energía por Fuentes

Energía					Emisión CO ₂ kg/a	
Tipo Fuente	Nombre de Origen		Cantidad kWh/a	Primario kWh/a		Coste USD/a
Secundario		Electricidad	6260	18782	751	619
Total:			6260	18782	751	619



Impacto Medioambiental

Tipo Fuente	Nombre de Origen	Energía Primaria kWh/a	Emisión CO ₂ kg/a
Secundario	Electricidad	18782	619
Total:		18782	619

Evaluación del Rendimiento Energético

[Número de Proyecto] 0001

Resumen del Sistema Renovable de Edificación

Sistema de Construcción	Energía Anual Generada kWh	Coste de la Energía USD/a
Energía Renovable LEED Total:	0	0
Total:	0	0

Rendimiento de Base

Los Datos Están Incompletos
Se Requiere Definir un Edificio de Referencia

Costes de Energía Base

Los Datos Están Incompletos
Se Requiere Definir un Edificio de Referencia

Tabla de Clasificación del Rendimiento

Los Datos Están Incompletos
Se Requiere Definir un Edificio de Referencia

Consumos y Ahorros de Energía

Los Datos Están Incompletos
Se Requiere Definir un Edificio de Referencia

Mensajes de Aviso

Alertas	
Propuesta de Diseño	
1	Horas de carga no satisfechas, Calefacción:364, Refrigeración:1618

Anexo B: Cálculo energético solar con Global Solar Atlas.

GLOBAL SOLAR ATLAS
BY WORLD BANK GROUP

Cuenca

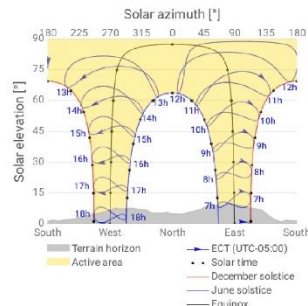
-02.840012°, -078.983608°
unnamed road, Cuenca, Azuay, Ecuador
Time zone: UTC-05, America/Guayaquil [ECT]

Report generated: 29 Jun 2024

SITE INFO

Map data		Per year
Direct normal irradiation	DNI	1292.0 kWh/m ²
Global horizontal irradiation	GHI	1790.2 kWh/m ²
Diffuse horizontal irradiation	DIF	868.9 kWh/m ²
Global tilted irradiation at optimum angle	GHI _{opt}	1791.6 kWh/m ²
Optimum tilt of PV modules	OPTA	3 / 0 °
Air temperature	TEMP	13.0 °C
Terrain elevation	ELE	N/A

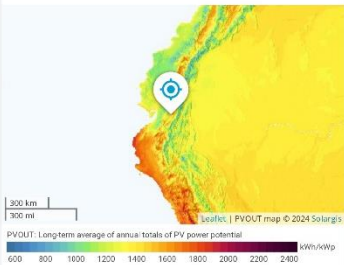
Horizon and sunpath



Map



PVOUT map



GLOBAL SOLAR ATLAS
BY WORLD BANK GROUP

PV ELECTRICITY AND SOLAR RADIATION

PV system configuration

Pv system: Small residential
Azimuth of PV panels: 105°
Tilt of PV panels: 25°
Installed capacity: 4.4 kWp

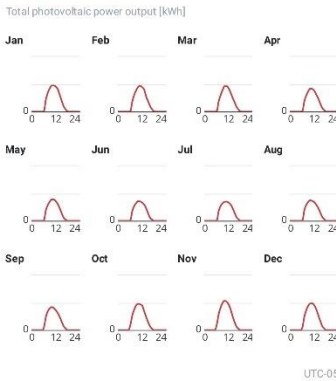
Annual averages

Total photovoltaic power output and Global tilted irradiation
5.807 MWh per year
1678.3 kWh/m² per year

Monthly averages



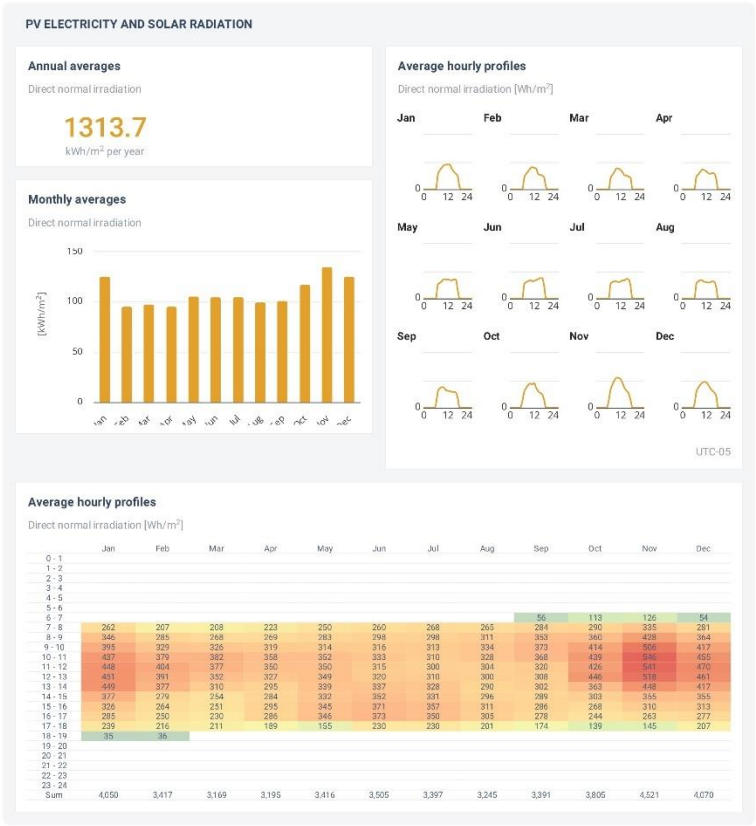
Average hourly profiles



Average hourly profiles

Total photovoltaic power output [kWh]												
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0 - 1												
1 - 2												
2 - 3												
3 - 4												
4 - 5												
5 - 6												
6 - 7	0.043	0.028	0.036	0.048	0.045	0.035	0.027	0.037	0.021	0.439	0.476	0.237
7 - 8	1.112	0.933	0.952	0.986	0.988	0.911	0.912	1.004	1.211	1.362	1.484	1.257
8 - 9	1.788	1.600	1.576	1.527	1.484	1.410	1.407	1.515	1.779	1.943	2.198	1.860
9 - 10	2.210	2.027	2.062	1.935	1.818	1.683	1.672	1.800	2.082	2.342	2.581	2.307
10 - 11	2.476	2.344	2.412	2.184	2.052	1.862	1.797	1.936	2.176	2.460	2.768	2.519
11 - 12	2.477	2.438	2.415	2.150	2.018	1.825	1.816	1.885	2.078	2.426	2.688	2.623
12 - 13	2.367	2.312	2.209	1.973	1.860	1.726	1.722	1.768	1.862	2.313	2.625	2.541
13 - 14	2.129	2.006	1.812	1.631	1.587	1.525	1.540	1.524	1.600	1.783	1.959	1.965
14 - 15	1.584	1.437	1.333	1.250	1.193	1.196	1.213	1.219	1.245	1.242	1.319	1.428
15 - 16	1.021	0.975	0.907	0.781	0.706	0.703	0.770	0.801	0.779	0.744	0.755	0.877
16 - 17	0.498	0.515	0.458	0.359	0.294	0.296	0.338	0.377	0.361	0.335	0.321	0.387
17 - 18	0.207	0.227	0.200	0.146	0.110	0.115	0.140	0.155	0.139	0.113	0.111	0.151
18 - 19	0.078	0.093	0.013									
19 - 20												
20 - 21												
21 - 22												
22 - 23												
23 - 24												
Sum	18	17	16	15	14	13	13	14	16	18	19	18

GLOBAL SOLAR ATLAS
BY WORLD BANK GROUP



GLOBAL SOLAR ATLAS
BY WORLD BANK GROUP

GLOSSARY

Acronym	Full name	Unit	Type of use
DIF	Diffuse horizontal irradiation	kWh/m ² , MJ/m ²	Average yearly, monthly or daily sum of diffuse horizontal irradiation (© 2024 Solargis)
DNI	Direct normal irradiation	kWh/m ² , MJ/m ²	Average yearly, monthly or daily sum of direct normal irradiation (© 2024 Solargis)
ELE	Terrain elevation	m, ft	Elevation of terrain surface above/below sea level, processed and integrated from SRTM-3 data and related data products (SRTM v4.1 © 2004 - 2024, CGIAR CGIAR)
GHI	Global horizontal irradiation	kWh/m ² , MJ/m ²	Average annual, monthly or daily sum of global horizontal irradiation (© 2024 Solargis)
GTI	Global tilted irradiation	kWh/m ² , MJ/m ²	Average annual, monthly or daily sum of global tilted irradiation (© 2024 Solargis)
GT _{Opta}	Global tilted irradiation at optimum angle	kWh/m ² , MJ/m ²	Average annual, monthly or daily sum of global tilted irradiation for PV modules fixed-mounted at optimum angle (© 2024 Solargis)
OPTA	Optimum tilt of PV modules	°	Optimum tilt of fixed-mounted PV modules facing towards Equator set for maximizing GTI input (© 2024 Solargis)
PVOUT _{total}	Total photovoltaic power output	kWh, MWh, GWh	Yearly and monthly average values of photovoltaic electricity (AC) delivered by the total installed capacity of a PV system (© 2024 Solargis)
PVOUT _{specific}	Specific photovoltaic power output	kWh/kWp	Yearly and monthly average values of photovoltaic electricity (AC) delivered by a PV system and normalized to 1 kWp of installed capacity (© 2024 Solargis)
TEMP	Air temperature	°C, °F	Average yearly, monthly and daily air temperature at 2 m above ground. Calculated from outputs of ERA5 model (© 2024 ECMWF, post-processed by Solargis)

ABOUT

This pdf report (the "Work") is automatically generated from the Global Solar Atlas online app (<https://globalsolaratlas.info/>), prepared by Solargis under contract to The World Bank, based on a solar resource database that Solargis owns and maintains. It provides the estimated solar resource, air temperature data and potential solar power output for the selected location and input parameters of a photovoltaic (PV) power system.

Copyright © 2024 The World Bank
1818 H Street NW, Washington DC 20433, USA

The World Bank, comprising the International Bank for Reconstruction and Development (IBRD) and the International Development Association (IDA), is the commissioning agent and copyright holder for this Work, acting on behalf of The World Bank Group. The Work is licensed by The World Bank under a Creative Commons Attribution license (CC BY 4.0 IGO) with a mandatory and binding addition (please refer to the GSA website for full terms and conditions of use <https://globalsolaratlas.info/support/terms-of-use>).

The World Bank Group disclaims all warranties of any kind related to the provision of the Work.

The Work is made available solely for general information purposes. Neither the World Bank, Solargis nor any of its partners and affiliates hold the responsibility for the accuracy and/or completeness of the data and shall not be liable for any errors, or omissions. It is strongly advised that the Work be limited to use in informing policy discussions on the subject, and/or in creating services that better educate relevant persons on the viability of solar development in areas of interest. As such, neither the World Bank nor any of its partners on the Global Solar Atlas project will be liable for any damages relating to the use of the Work for financial commitments or any similar use cases. Solargis has done its utmost to make an assessment of solar climate conditions based on the best available data, software, and knowledge.

Sources: Solar database and PV software © 2024 Solargis

GLOBAL SOLAR ATLAS
BY WORLD BANK GROUP

Cuenca

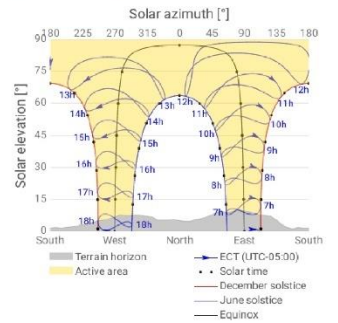
-02.840012°, -078.983608°
unnamed road, Cuenca, Azuay, Ecuador
Time zone: UTC-05, America/Guayaquil [ECT]

Report generated: 29 Jun 2024

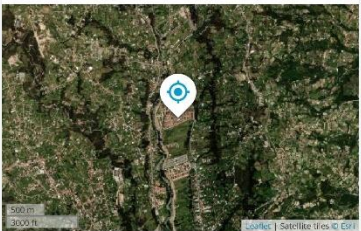
SITE INFO

Map data		Per year
Direct normal irradiation	DNI	1292.0 kWh/m ²
Global horizontal irradiation	GHI	1790.2 kWh/m ²
Diffuse horizontal irradiation	DIF	868.9 kWh/m ²
Global tilted irradiation at optimum angle	GTI opta	1791.6 kWh/m ²
Optimum tilt of PV modules	OPTA	3 / 0 °
Air temperature	TEMP	13.0 °C
Terrain elevation	ELE	N/A

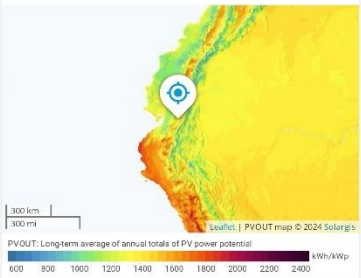
Horizon and sunpath



Map



PVOUT map



GLOBAL SOLAR ATLAS
BY WORLD BANK GROUP

PV ELECTRICITY AND SOLAR RADIATION

PV system configuration



Pv system: Small residential
Azimuth of PV panels: 285°
Tilt of PV panels: 21°
Installed capacity: 2.2 kWp

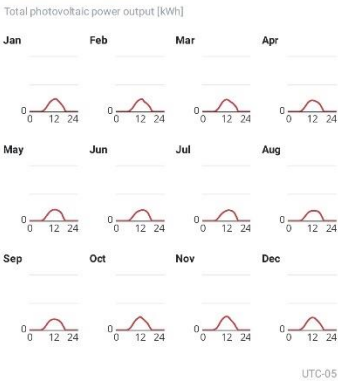
Annual averages

Total photovoltaic power output and Global tilted irradiation
2.940 MWh per year
1700.6 kWh/m² per year

Monthly averages

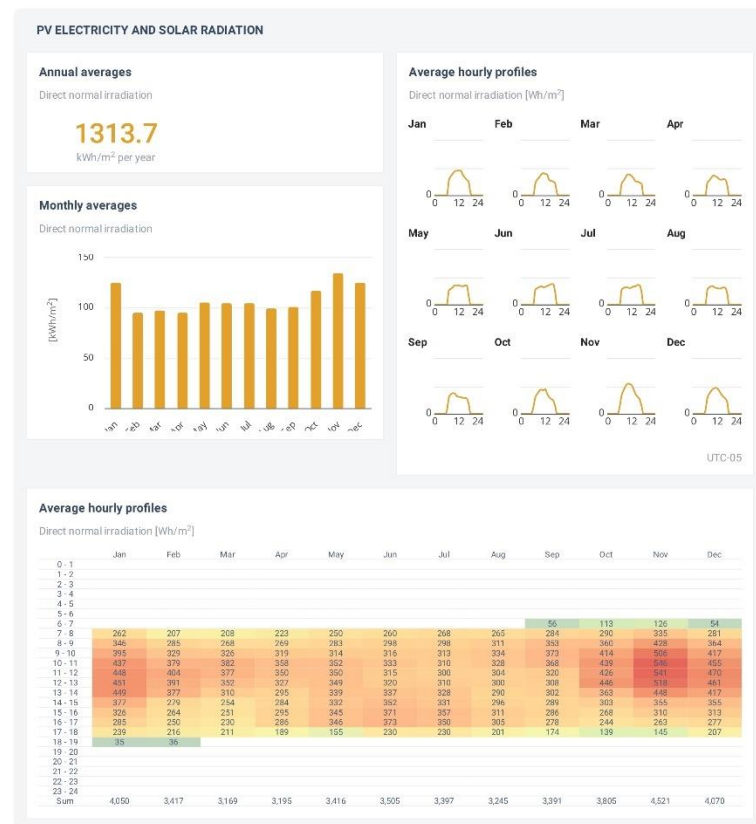


Average hourly profiles



Average hourly profiles

Total photovoltaic power output [kWh]												
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0 - 1												
1 - 2												
2 - 3												
3 - 4												
4 - 5												
5 - 6												
6 - 7	0.022	0.014	0.018	0.024	0.023	0.018	0.014	0.019	0.035	0.057	0.099	0.042
7 - 8	0.135	0.130	0.139	0.147	0.142	0.122	0.112	0.125	0.158	0.189	0.180	0.161
8 - 9	0.324	0.306	0.338	0.366	0.371	0.337	0.317	0.333	0.397	0.463	0.445	0.379
9 - 10	0.614	0.582	0.633	0.693	0.628	0.576	0.533	0.580	0.665	0.733	0.783	0.673
10 - 11	0.880	0.850	0.913	0.883	0.853	0.783	0.741	0.781	0.874	0.984	1.031	0.926
11 - 12	1.049	1.044	1.082	1.017	0.988	0.898	0.876	0.893	0.979	1.132	1.211	1.069
12 - 13	1.164	1.150	1.145	1.074	1.054	0.980	0.939	0.964	1.019	1.248	1.279	1.180
13 - 14	1.215	1.186	1.082	1.034	1.056	1.003	1.011	0.967	1.010	1.121	1.205	1.181
14 - 15	1.069	0.959	0.929	0.962	0.992	1.004	0.979	0.941	0.953	0.949	0.981	0.994
15 - 16	0.878	0.818	0.812	0.847	0.882	0.916	0.915	0.868	0.832	0.766	0.781	0.806
16 - 17	0.662	0.645	0.621	0.655	0.683	0.715	0.722	0.690	0.640	0.590	0.543	0.583
17 - 18	0.392	0.404	0.387	0.320	0.249	0.336	0.360	0.340	0.291	0.221	0.215	0.201
18 - 19	0.040	0.049	0.066									
19 - 20												
20 - 21												
21 - 22												
22 - 23												
23 - 24												
Sum	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	9	8

GLOBAL SOLAR ATLAS
BY WORLD BANK GROUPGLOBAL SOLAR ATLAS
BY WORLD BANK GROUP

GLOSSARY

Acronym	Full name	Unit	Type of use
DIF	Diffuse horizontal irradiation	kWh/m ² , MJ/m ²	Average yearly, monthly or daily sum of diffuse horizontal irradiation (© 2024 Solargis)
DNI	Direct normal irradiation	kWh/m ² , MJ/m ²	Average yearly, monthly or daily sum of direct normal irradiation (© 2024 Solargis)
ELE	Terrain elevation	m, ft	Elevation of terrain surface above/below sea level, processed and integrated from SRTM-3 data and related data products (SRTM v4.1 © 2004 - 2024, CGIAR-CSI)
GHI	Global horizontal irradiation	kWh/m ² , MJ/m ²	Average annual, monthly or daily sum of global horizontal irradiation (© 2024 Solargis)
GTI	Global tilted irradiation	kWh/m ² , MJ/m ²	Average annual, monthly or daily sum of global tilted irradiation (© 2024 Solargis)
GT _{Opta}	Global tilted irradiation at optimum angle	kWh/m ² , MJ/m ²	Average annual, monthly or daily sum of global tilted irradiation for PV modules fixed-mounted at optimum angle (© 2024 Solargis)
OPTA	Optimum tilt of PV modules	°	Optimum tilt of fixed-mounted PV modules facing towards Equator set for maximizing GTI input (© 2024 Solargis)
PVOUT _{total}	Total photovoltaic power output	kWh, MWh, GWh	Yearly and monthly average values of photovoltaic electricity (AC) delivered by the total installed capacity of a PV system (© 2024 Solargis)
PVOUT _{specific}	Specific photovoltaic power output	kWh/kWp	Yearly and monthly average values of photovoltaic electricity (AC) delivered by a PV system and normalized to 1 kWp of installed capacity (© 2024 Solargis)
TEMP	Air temperature	°C, °F	Average yearly, monthly and daily air temperature at 2 m above ground. Calculated from outputs of ERA5 model (© 2024 ECMWF, post-processed by Solargis)

ABOUT

This pdf report (the "Work") is automatically generated from the Global Solar Atlas online app (<https://globalsolaratlas.info/>), prepared by Solargis under contract to The World Bank, based on a solar resource database that Solargis owns and maintains. It provides the estimated solar resource, air temperature data and potential solar power output for the selected location and input parameters of a photovoltaic (PV) power system.

Copyright © 2024 The World Bank
1818 H Street NW, Washington DC 20433, USA

The World Bank, comprising the International Bank for Reconstruction and Development (IBRD) and the International Development Association (IDA), is the commissioning agent and copyright holder for this Work, acting on behalf of The World Bank Group. The Work is licensed by The World Bank under a Creative Commons Attribution license (CC BY 4.0 IGO) with a mandatory and binding addition (please refer to the GSA website for full terms and conditions of use <https://globalsolaratlas.info/support/terms-of-use>).

The World Bank Group disclaims all warranties of any kind related to the provision of the Work.

The Work is made available solely for general information purposes. Neither the World Bank, Solargis nor any of its partners and affiliates hold the responsibility for the accuracy and/or completeness of the data and shall not be liable for any errors, or omissions. It is strongly advised that the Work be limited to use in informing policy discussions on the subject, and/or in creating services that better educate relevant persons on the viability of solar development in areas of interest. As such, neither the World Bank nor any of its partners on the Global Solar Atlas project will be liable for any damages relating to the use of the Work for financial commitments or any similar use cases. Solargis has done its utmost to make an assessment of solar climate conditions based on the best available data, software, and knowledge.

Sources: Solar database and PV software © 2024 Solargis