

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Diseño de vivienda sostenible con estrategias de eficiencia hídrica y energética para la Amazonía ecuatoriana, en el marco de proyectos habitacionales del MIDUVI.

PROYECTO DE GRADUACIÓN

Previo a la obtención del Título de:

**Maestría en Ing. Civil con mención en Construcción y
Saneamiento**

Presentado por:

Edison Fredy Buñay Yugsi

Marco Antonio Zozoranga Morocho

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2025

DEDICATORIA

A mi familia, por su apoyo constante y sostenido a lo largo de este proceso académico. Su respaldo emocional y motivacional ha sido un factor determinante en el objetivo propuesto.

Fredy Buñay

A Dios, por haberme concedido la vida y la sabiduría necesaria para alcanzar mis sueños y metas.

A mis padres, por ser la fuente de motivación y el pilar fundamental en mi vida.

A quien camina a mi lado por su apoyo incondicional, su paciencia y su presencia en este logro.

Marco Zozoranga

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro sincero agradecimiento a la Arq. Anabel Patricia Castillo. Mgs, tutora de este proyecto, por su mentoría invaluable y su visión crítica, elementos que constituyeron pilares fundamentales para la culminación exitosa de este proyecto.

A la Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, de la Escuela Politécnica del Litoral, por brindarnos la oportunidad de formar parte de esta distinguida comunidad académica.

.

DECLARACIÓN EXPRESA

Nosotros Edison Fredy Buñay Yugsi y Marco Antonio Zozoranga Morocho acordamos y reconocemos que: La titularidad de los derechos patrimoniales de autor del proyecto de graduación corresponderá a los autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficio que corresponda a favor de los autores. Los estudiantes deberán procurar en cualquier caso de cesión de sus derechos patrimoniales incluir una cláusula en la cesión que proteja la vigencia de la licencia aquí concedida a la ESPOL.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, secreto empresarial, derechos patrimoniales de autor sobre software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique a los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 20 de noviembre del 2025.

Edison Fredy Buñay Yugsi

Marco Antonio Zozoranga Morocho

EVALUADORES

Ing. Fernanda Estefanía Peralta Mejía, Mgs

Profesor de Materia

Ing. Samantha Jiménez Oyola, PhD

Profesor de Materia

Arq. Anabel Patricia Castillo Rodríguez, Mgs

Tutor del proyecto

RESUMEN

La construcción sostenible se ha convertido en una prioridad global, debido al impacto ambiental del sector y al déficit habitacional existente. En Ecuador, los modelos de vivienda social promovidos por el MIDUVI no incorporan criterios de sostenibilidad en el uso de recursos, lo que limita su desempeño en zonas de clima tropical húmedo como la Amazonía. Este proyecto plantea el diseño de una vivienda sostenible que integre estrategias de eficiencia hídrica y energética, mediante un análisis comparativo entre el diseño original y una propuesta optimizada.

Para ello, se evaluó el modelo habitacional tipo 2D a partir del expediente técnico (planos, memorias y especificaciones), calculando el consumo de agua según el equipamiento sanitario y hábitos de uso locales, en contraste con los valores de dotación establecidos en la NEC - 11. Paralelamente, se desarrolló una simulación energética dinámica mediante DesignBuilder, considerando la envolvente térmica y las condiciones climáticas de la región. Sobre esta base, se formuló una propuesta de diseño optimizada, incorporando estrategias pasivas, equipos de bajo consumo y sistemas de aprovechamiento de agua lluvia. Los resultados se analizaron mediante indicadores de eficiencia hídrica y energética.

La aplicación integral de las estrategias redujo el consumo hídrico en 78.94% y el consumo energético en 88.38%, alcanzando índices de eficiencia del 21.06% y 11.62%, respectivamente. Si bien se logró una mejora significativa en el desempeño técnico respecto al diseño base, la propuesta implicó un aumento del 15.51% en el presupuesto inicial.

Este estudio demuestra que es técnica y económicamente viable diseñar viviendas de alto desempeño ambiental mediante el uso de estrategias sostenibles, contribuyendo al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 6, 7 y 11, vinculados al agua, la energía y las ciudades sostenibles.

Palabras Clave: vivienda sostenible, eficiencia hídrica, eficiencia energética, simulación energética, DesignBuilder, Amazonía ecuatoriana.

ABSTRACT

Sustainable construction has become a global priority due to the environmental impact of the building sector and the existing housing deficit. In Ecuador, social housing models promoted by MIDUVI do not incorporate sustainability criteria for water and energy efficiency, limiting their performance in tropical–humid regions such as the Amazon. This research proposes the design of a sustainable housing prototype that integrates strategies for water and energy efficiency through a comparative analysis between the original design and an optimized proposal. Water consumption was estimated according to sanitary fixtures and local usage habits and contrasted with the design allocation values established in NEC-11, while a dynamic energy simulation was performed using DesignBuilder, considering the thermal envelope and climatic conditions of the region. The optimized design incorporates passive strategies, low-consumption equipment, and a rainwater harvesting system. The integrated application of these strategies reduced water consumption by 78.94% and energy demand by 88.38%, achieving efficiency indices of 21.06% and 11.62%, respectively. Although the optimized proposal increased the initial investment by 15.51%, the technical performance improvements justify the intervention. The results demonstrate that high-performance sustainable housing is technically feasible and economically viable, contributing to the achievement of Sustainable Development Goals (SDG) 6, 7, and 11.

Keywords: sustainable housing, water efficiency, energy efficiency, energy simulation, DesignBuilder, Ecuadorian Amazon.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	VI
<i>ABSTRACT</i>	VII
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción	1
1.1. Antecedentes	2
1.2. Localización.....	3
1.3. Estudios previos	4
1.4. Definición del problema.....	5
1.5. Justificación.....	6
1.6. Objetivos.....	7
1.6.1 Objetivo General.....	7
1.6.2 Objetivos Específicos	7
CAPÍTULO 2.....	9
2. Desarrollo del proyecto.....	9
2.1. Marco conceptual	9
2.1.1 Evolución de la construcción sostenible.....	9
2.1.2 Estrategias innovadoras de sostenibilidad en la vivienda social	9
2.1.3 Eficiencia hídrica.....	10
2.1.4 Eficiencia Energética	11
2.1.5 Normativa y marco legal.....	13
2.1.6 Simulación de eficiencia hídrica y energética en edificaciones	15
2.1.7 Software de simulación.	16
2.1.8 Casos de éxito: Diseño y Construcción de edificaciones eficientes.	17
2.2. Marco metodológico.....	20
2.2.1 Trabajo campo y gabinete: Fase 1	20

2.2.2	Caracterización de la vivienda objeto de estudio: Fase 2.....	21
2.2.3	Propuesta a diseñar: Fase 3	23
2.2.4	Simulación y Análisis Comparativo: Fase 4	24
CAPÍTULO 3.....		26
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
3.1.	Resultados.....	26
3.1.1	Características generales de la vivienda de tipología 2D	26
3.1.2	Características de la zona de estudio.	27
3.1.3	Consumo Hídrico de la vivienda de tipología 2D	28
3.1.4	Consumo Eléctrico de la vivienda de tipología 2D.....	30
3.2.	Análisis de los resultados.....	32
3.2.1	Análisis de la eficiencia hídrica del diseño actual vs la normativa vigente 32	
3.2.2	Análisis de la eficiencia de consumo de energía eléctrica del diseño actual 35	
3.3.	Diseño de la solución	44
3.3.1	Implementación de Estrategias Hídricas.....	44
3.3.2	Implementación de Estrategias Energéticas.....	49
3.4.	Análisis comparativo:	53
CAPÍTULO 4.....		56
4.1.	Conclusiones.....	56
4.2.	Recomendaciones.....	58
4.3.	Futuras Investigaciones	59
BIBLIOGRAFÍA.....		60
ANEXOS.....		65

ABREVIATURAS

2D	2 dormitorios
3D	Tercera Dimensión
ACH	Renovación de Aire por Hora
ACS	Agua Caliente Sanitaria
APS	Aparatos Sanitarios
ARCONEL	Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables
ASHRAE	Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado
BREEAM	Método de Evaluación Ambiental del Establecimiento de Investigación de Edificios
CC	Centro de Carga
CDD	Grados Días de Enfriamiento base
CEE	Consumo Energético Específico
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CERs	Certificado de Reducción de Emisiones
CFD	Dinámica de Fluidos Computacional
CP	Consumo Per Cápite
DF	Factor de Luz Diurna
DMU	Demanda Máxima Unitaria
EDGE	Excelencia en Diseño para una Mayor Eficiencia
EMAPAZ	Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado
EPCPT	Empresa Pública Casa para Todos
Fsn	Factor de Simultaneidad
GLP	Gas Licuado de Petróleo
HVAC	Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado
IEA	Agencia Internacional de la Energía
IEE	Índice de Eficiencia Energética
IEH	Índice de Eficiencia Hídrica
IFC	Corporación Financiera Internacional
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
INEN	Servicio Ecuatoriano de Normalización
ISO	Organización Internacional de Normalización o Estandarización
IUC	Cooperación Urbana Internacional
LCA	Evaluación del Ciclo de Vida
LEED	Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental
MAAP	Monitoreo del Proyecto Amazonía Andina
MIDUVI	Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda
NEC	Norma Ecuatoriana de Construcción
NTE	Norma Técnica Ecuatoriana

ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
ONU	Organización de Naciones Unidas
PDOT	Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial
ROI	Retorno de la Inversión
RTE	Reglamento Técnico Ecuatoriano
SHGC	Coefficiente de Ganancia de Calor Solar
UNICEF	Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia
UNEP	Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente
VIS	Viviendas de Interés Social
VMC	Ventilación Mecánica Controlada
VT	Transmitancia Visible

SIMBOLOGÍA

A	Área
A%	Porcentaje de ahorro
C	Coefficiente de escorrentía (en pluviometría)
C _{final}	Consumo hídrico final
C _{inicial}	Consumo hídrico inicial
C _{real}	Consumo hídrico real
C _{ref}	Consumo hídrico de referencia
CO ₂	Dióxido de Carbono
°C	Grados centígrados
E _{final}	Consumo energético final
E _{inicial}	Consumo energético inicial
E _{real}	Consumo de energía real
E _{ref}	Consumo energético de referencia
Ha	Hectáreas
Hp	Caballos de fuerza
hab	Habitante
Km ²	Kilómetro cuadrado
KW	Kilovatio
H	hora
L	Litros
m	Metro lineal
m ²	Metro cuadrado
m ³	Metro cubico
min	Minutos
mm	Milímetros
m/s	Metro por segundo (velocidad del aire)
N	Número de habitantes
P	Precipitación en (en pluviometría)
R	Valor mínimo de resistencia térmica
U	Coefficiente global de transferencia de calor
V	Volumen total de agua consumida (en pluviometría)
VA	Potencia aparente
W	Vatio
%	Porcentaje

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Mapa de ubicación de la parroquia Timbara	3
Figura 2.1 Mapa de zonas climáticas del Ecuador (MIDUVI, 2021)	14
Figura 2.2 Proyecto SUREFIT, localizado en Valladolid España, 2020 (SUREFIT Project, 2025)	17
Figura 2.3 Edificio Sun-Moon Mansión(Grupo Solinc, 2025).....	18
Figura 2.4 Edificio Transoceánica (IUC – International Urban Cooperation, 2020)	19
Figura 2.5 Edificio Harmony (Ekos Negocios, 2024)	19
Figura 2.6 Metodología propuesta	20
Figura 2.7 Planta arquitectónica vivienda tipo 2D (EPCPT & MIDUVI, 2019).....	22
Figura 2.8 Sección longitudinal vivienda tipo 2D (EPCPT & MIDUVI, 2019).....	22
Figura 3.1 Participación del consumo de agua por A.P.S. en la vivienda original	30
Figura 3.2 Participación del consumo energético por circuito eléctrico en la vivienda	32
Figura 3.3 Caudales instantáneos según NEC-11 frente a valores de diseño	33
Figura 3.4 Diagrama de trayectoria solar y orientación de la vivienda	36
Figura 3.5 Distribución del bloque térmico en el modelo arquitectónico	37
Figura 3.6 Resultados del modelo base: temperaturas interiores y balance de calor en periodo corto.....	38
Figura 3.7 Resultados de simulación anual: temperaturas promedio y balance de energía.....	40
Figura 3.8 Patrones de movimiento del aire y gradiente térmico.....	41
Figura 3.9 Distribución del Factor de Luz Diurna (DF) en los espacios interiores.	42
Figura 3.10 Secuencia de acciones para la reducción del consumo de agua.....	44
Figura 3.11 Reducción del consumo per cápita de agua según nivel de intervención	48
Figura 3.12 Implementación del sistema de aprovechamiento de agua lluvia compuesta con un tanque de almacenamiento y bomba presurizadora	49
Figura 3.13 Secuencia de implementación de estrategias térmicas	49
Figura 3.14 Parámetros de simulación para la mejora del control solar en ventanas.	50

Figura 3.15 Parámetros de simulación para la mejora del aislamiento en cubierta.	50
Figura 3.16 Parámetros de simulación para la mejora de aislamiento en paredes.	50
Figura 3.17 Instalación del aislamiento térmico en paredes y cubierta.	52
Figura 3.18 Instalación de persianas exteriores y vidriado hermético en ventanas	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Tipología de vivienda 2D considerada en el análisis (EPCPT & MIDUVI, 2019).....	22
Tabla 2.2 Parámetros técnicos, normativos y climáticos (MIDUVI, 2020b, 2021).	23
Tabla 2.3 Análisis de situación actual y propuesta de diseño	24
Tabla 3.1 Resumen del sistema constructivo y materialidad de la vivienda 2D	26
Tabla 3.2 Distribución de áreas de la vivienda 2D.....	27
Tabla 3.3 Parámetros hídricos, Timbara (PDOT - Timbara, 2023).....	27
Tabla 3.4 Parámetros climáticos y energéticos, Timbara (PDOT - Timbara, 2023)	27
Tabla 3.5 Caudales instantáneos de los A.P.S. (EPCPT & MIDUVI, 2019).....	28
Tabla 3.6 Hábitos característicos de los habitantes de la Parroquia Timbara.....	29
Tabla 3.7 Determinación del consumo diario de la vivienda tipo 2D	29
Tabla 3.8 Cuadro de carga de los circuitos (EPCPT & MIDUVI, 2019).....	30
Tabla 3.9 Parámetros para la estimación del consumo.....	31
Tabla 3.10 Determinación del consumo diario en la vivienda 2D	31
Tabla 3.11 Caudales instantáneos de los A.P.S. NEC -11	32
Tabla 3.12 Determinación del consumo diario de la vivienda tipo 2D con la NEC - 11	34
Tabla 3.13 Indicadores de Eficiencia hídrica (Diseño original vs diseño cumpliendo la norma NEC-11).....	34
Tabla 3.14 Análisis del consumo de energía eléctrica en la vivienda 2D Original	35
Tabla 3.15 Balance de calor por componentes en periodo corto	39
Tabla 3.16 Resumen de temperaturas promedio anual.....	40
Tabla 3.17 Balance de energía anual Ganancias - Perdidas	40
Tabla 3.18 Valores de parámetros de confort a lo largo todo el año.....	41
Tabla 3.19 Categorías de iluminación interior basadas en el porcentaje de luz natural DF	43
Tabla 3.20 Evaluación del desempeño energético del modelo base.....	43
Tabla 3.21 Características hidráulicas de los A.P.S. eficientes según norma y fabricante	44
Tabla 3.22 Hábitos de consumo responsable.....	45

Tabla 3.23 Consumo de agua por aparato sanitario con A.P.S. eficiente y hábitos responsables	45
Tabla 3.24 Cálculo del volumen aprovechable de agua lluvia.....	46
Tabla 3.25 Indicadores de desempeño hídrico con la implementación progresiva de medidas sostenibles	47
Tabla 3.26 Dimensionamiento del tanque de almacenamiento de agua lluvia.....	48
Tabla 3.27 Comparación de temperatura operativa entre modelo base y modelo mejorado.....	51
Tabla 3.28 Comparación de ganancias y pérdidas de calor antes y después de las mejoras	51
Tabla 3.29 Comparación del consumo por iluminación y ganancias internas.....	52
Tabla 3.30 Balance térmico del modelo mejorado.....	53
Tabla 3.31 Indicadores de eficiencia hídrica y energética antes y después de las mejoras	54
Tabla 3.32 Incremento del presupuesto por implementación de medidas de eficiencia.....	54

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1 Informe de Carbono Incorporado y Equivalente para la vivienda 2D

ANEXO 2 Láminas de equipamiento hídrico y energético en la vivienda 2D

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

La construcción sostenible se ha convertido en eje central de las agendas internacionales debido a la urgente necesidad de reducir los impactos ambientales asociados al sector. A nivel global, los edificios durante su construcción y operación concentran alrededor del 34% del consumo energético y generan más de un tercio de las emisiones de gases de efecto invernadero, lo que los posiciona como uno de los principales contribuyentes al cambio climático (IEA, 2023; UNEP, 2024; World Green Building Council, 2023). Ante este panorama, diversos organismos internacionales promueven la adopción de estrategias constructivas que optimicen el uso de los recursos, disminuyan la huella ambiental y garanticen un desarrollo más resiliente y eficiente, especialmente en países en vías de desarrollo (World Economic Forum, 2024).

La escasez de viviendas adecuadas representa una de las crisis sociales más urgentes a nivel mundial. Según la ONU - Hábitat (2024), entre 1.6 y 3 mil millones de personas en el mundo carecen de vivienda adecuada, más de 1120 millones habitan en asentamiento precarios, y al menos 330 millones se encuentran en indigencia. Esta realidad no es ajena para el estado ecuatoriano donde amplios sectores de la población, especialmente de bajos recursos económicos y zonas rurales, enfrentan condiciones habitacionales deficitarias que limitan el acceso a un hábitat digno (INEC, 2022). Garantizar soluciones habitacionales se convierte en una acción imperativa para mejorar la calidad de vida de las familias y promover una vivienda social que sea inclusiva duradera y accesible.

Esta investigación busca proponer estrategias que mejoren la sostenibilidad y habitabilidad de las viviendas de interés social (VIS) en el Ecuador, desarrollada principalmente por el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI, 2018), que ejecuta un diseño tipo único para todas las regiones de país, sin considerar sus particularidades climáticas, culturales y sociales. Este enfoque ha limitado la satisfacción de los beneficiarios y las condiciones de habitabilidad, por lo que el estudio plantea alternativas basadas en sostenibilidad, adaptabilidad, y eficiencia, aportando tanto al conocimiento académico como a la práctica profesional en el campo de la construcción.

El estudio pretende evaluar el diseño actual de las viviendas del MIDUVI (2018) a nivel de proyecto (planos arquitectónicos, estudios de ingeniería, especificaciones técnicas, presupuestos), identificar sus limitaciones y proponer mejoras que consideren adaptabilidad a las condiciones particulares de la región amazónica. El proyecto incorpora criterios de eficiencia hídrica y energética, orientados a optimizar el desempeño habitacional. El alcance se centra en el análisis de la vivienda tipo 2D (2 dormitorios), modelo de referencia del MIDUVI (2018), aplicando la propuesta a la parroquia Timbara, ubicada en la región Amazónica del Ecuador, como caso de estudio representativo para plantear soluciones habitacionales que respondan a necesidades climáticas reales mediante estrategias sostenibles.

El proyecto se estructura en cuatro componentes principales: (1) la evaluación actual de la vivienda seleccionada, (2) la propuesta de mejoras de diseño considerando criterios de adaptabilidad y estrategias sostenibles, (3) la evaluación del desempeño de la vivienda resultante, y (4) un análisis comparativo entre la vivienda tipo Original y la vivienda propuesta.

1.1. Antecedentes

Ecuador experimenta un déficit habitacional importante, según el informe oficial del MIDUVI (2024), titulado "*Informe Narrativo de Rendición de cuentas año 2023*", el cual establece que entre 2020 y 2022 el déficit habitacional en el Ecuador mostró una tendencia a la baja pasando del 58.01% en el 2020 al 54.36% en el 2021, y posteriormente a 53.69% en el 2022, sin embargo, en el 2023 se registró un retroceso, incrementándose a 56.71%, desacelerando los avances alcanzados.

Como respuesta a este problema, el estado ha desarrollado diversas estrategias y programas sociales, como el programa "Casa para Todos", los bonos habitacionales y los subsidios directos a la vivienda VIS, dirigidos principalmente a las familias de escasos recursos, llegando a otorgar alrededor de 50 soluciones habitacionales en el año 2023 en el sector Santa Elena perteneciente al cantón Zamora (El Amazónico, 2023; MIDUVI, 2018).

En ese contexto, en la parroquia rural Timbara del cantón Zamora, no se registra data oficial de ejecución de proyectos habitacionales de interés social (MIDUVI, 2024). En Timbara, se identifican condiciones climáticas propias de la región amazónica, caracterizadas por temperaturas medias anuales entre 18°C y 27°C, una humedad

1.3. Estudios previos

La investigación se sustenta en la revisión de documentos técnicos elaborados por el MIDUVI y la Empresa Pública Casa para Todos (EPCPT), los cuales constituyen insumos fundamentales para el análisis de la tipología de vivienda unifamiliar 2D de interés social. Entre estos insumos constan los planos arquitectónicos con los códigos VU2D-S-C-A-001-A-DWG y VU2D-S-C-A-002-A-DWG, que establecen la distribución espacial de la unidad habitacional de 51.03m², conformada por sala-comedor, cocina, dos dormitorios, baño, lavandería y un porche no computable. Estas unidades, de un piso y totalmente subsidiadas, se destinan a familias de bajos ingresos en sectores rurales y urbano marginales (EPCPT - MIDUVI, 2019a).

En el ámbito técnico, se cuenta con memorias y especificaciones que detallan las instalaciones hidrosanitarias, incluyendo la provisión de agua potable mediante acometida directa o, en ausencia de red, con un tanque de reserva de 1.100L y bomba de 0.5Hp, así como la evacuación de aguas servidas hacia un biodigestor autolimpiable de 600L. El dimensionamiento se apoya en el método de Hunter y en la Norma INEN 1374, garantizando criterios básicos de funcionalidad. De igual manera, se cuenta con la memoria técnica eléctrica, en la cual se describen la acometida de bajo voltaje, los tableros de distribución, los circuitos de iluminación, los tomacorrientes polarizados y las salidas especiales de 220V destinado a cocina de inducción, todo ello elaborado conforme al Código Eléctrico Nacional y a normas internacionales complementarias (EPCPT - MIDUVI, 2019a).

A nivel contextual, la investigación también se apoya en la información climática del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia Timbara, que aporta datos de temperatura, humedad y pluviosidad relevantes para la incorporación de criterios bioclimáticos en el diseño (PDOT - Timbara, 2023). Finalmente, se dispone de los resultados del Informe Ambiental en Hogares 2024 del INEC, que evidencian prácticas ambientales consolidadas en la población ecuatoriana en el cual se indica que el 91.4% de los hogares cierra la llave mientras realiza actividades de aseo, el 98.4% apaga los focos al salir de una habitación y el 53% considera que la protección del medio ambiente es una responsabilidad compartida (INEC, 2024, pp. 16-17,23). Estos indicadores sociales constituyen un insumo clave para orientar la investigación hacia soluciones

habitacionales que fortalezcan la eficiencia hídrica, energética y ambiental en la vivienda social.

1.4. Definición del problema

El crecimiento poblacional, lo cual incrementa la demanda hídrica y energética, ejerce una presión creciente sobre los recursos naturales. En Ecuador, el INEC (2024) proyecta que la población alcanzará los 21.10 millones de habitantes en 2050. En el cantón Zamora se registraron 30.186 habitantes en 2022, evidenciando un incremento sostenido en las últimas décadas (PDOT - Timbara, 2023).

Esta expansión, junto con factores como la contaminación de fuentes hídricas por minería ilegal, la deforestación, la actividad pecuaria, la deficiente infraestructura de distribución y la planificación urbana inadecuada, ha derivado en una fuerte presión sobre el recurso hídrico y energético (MAAP – Monitoring of the Andean Amazon Project, 2024). En el caso del agua, se manifiesta en cortes de suministro y racionamientos asociados a cortes de energías, afectando la operatividad de plantas de bombeo según el reporte de la Empresa Pública de Agua Potable y Alcantarillado del Cantón Zamora (EMAPAZ EP, 2024). En el caso de la energía, las limitaciones se expresan en el alto costo de la electricidad, fuerte consumo de energía derivado del bombeo y tratamiento de agua, así como en la ineficiencia de los sistemas constructivos y de consumo en las viviendas, donde además persiste el uso de equipos eléctricos tradicionales o de elevado consumo que incrementan la demanda energética (CEPAL, 2023; IEA, 2023). Todo ello potencia la vulnerabilidad de los hogares y aumenta la presión sobre la economía familiar.

Frente a este escenario, se requiere implementar estrategias sostenibles en vivienda que integren criterios de eficiencia hídrica y energética. En lo hídrico la captación de agua lluvia y el uso de aparatos sanitarios eficientes reducen la presión sobre las redes públicas (Rodríguez et al., 2020; Rosa e Silva et al., 2025). En lo energético, la optimización de las instalaciones eléctricas, el uso de equipos eléctricos de bajo consumo, la incorporación de energías renovables, la aplicación de sistemas pasivos y la utilización de materiales de alto desempeño térmico permiten reducir el consumo energético de las viviendas (UNEP, 2024). Según Rodríguez et al. (2020) estas medidas no solo reducen el uso de la energía, sino que también mejoran el confort térmico y las condiciones de habitabilidad percibidas por los usuarios.

En este contexto, el problema central se define como la insuficiente integración de medidas de eficiencia hídrica y energética en las viviendas en general, y particularmente en las viviendas de interés social, lo que perpetúa altos consumos de agua y electricidad, incrementa la vulnerabilidad frente a la escasez de recursos y limita la sostenibilidad ambiental del sector habitacional.

1.5. Justificación

El agua constituye un recurso vital para la vida y el desarrollo humano, y en el ámbito de la vivienda resulta esencial para garantizar salubridad, confort y habitabilidad. A nivel global, los cuerpos de agua dulce representan una proporción reducida de la superficie terrestre y su distribución es desigual. Los países desarrollados abarcan el 3.5% del territorio, mientras que países en vías de desarrollo esta proporción apenas alcanza el 1.4%, evidenciando desigualdades estructurales en el acceso al recurso (United Nations, 2020, p.37), advirtiendo que no se alcanzara el acceso universal al agua y al saneamiento para 2030 (WHO & UNICEF, 2021). A nivel regional América Latina presenta uno de los niveles más bajos de avance en gestión integrada del recurso hídrico, lo que dificulta alcanzar la meta planteada en el ODS 6: Agua limpia y saneamiento (ONU, 2025). En ese contexto, aunque Ecuador posee una disponibilidad hídrica debido a su ubicación andino-amazónica, el acceso continuo de agua potable y saneamiento aún no está garantizado, especialmente en zonas rurales y urbano-marginales, donde muchas familias deben recurrir a almacenar agua o usar sistemas alternativos, lo que puede deteriorar su calidad (Manga et al., 2021). Esta limitación afecta de manera directa a la VIS, que suelen construirse en sectores con cobertura deficiente de servicios básicos.

En lo que respecta a la energía, en Ecuador el sector residencial concentro el 13.5% de la demanda total de energía en 2023, ubicándose como el tercer mayor consumidor después del transporte 15.9% y la industria 16.6%, según el Balance Energético Nacional 2023 reportado por el Ministerio de Energía y Minas (Ministerio de Energía y Minas, 2023, p. 29). Paralelamente el Informe de Estadística Anual y Multianual del sector eléctrico ecuatoriano 2023 de la Agencia de Regulación y control de Energía y Recursos Naturales no Renovables (ARCONEL) demuestra que el sector residencial represento el 34.01% del consumo eléctrico nacional, registrando además un consumo promedio mensual de 143.36KWh por usuario residencial, cifra que refleja un incremento respecto a años anteriores (ARCONEL, 2023, pp. 29–30). Estos valores confirman la relevancia del

sector residencial en el consumo energético del país y evidencian la necesidad de integrar criterios de eficiencia energética en la vivienda, particularmente en la VIS, mediante soluciones innovadoras y limpias que garanticen el uso responsable de recursos no renovables y contribuyan a la reducción de la huella de carbono, en correspondencia con el ODS 7: Energía asequible y no contaminante (ONU, 2025).

En este marco, es importante señalar que el déficit habitacional sigue siendo uno de los principales retos sociales en el país. Para responder a esta necesidad, el MIDUVI ha impulsado la construcción de proyectos VIS subsidiados, orientados principalmente a cubrir el déficit cuantitativo (INEC, 2022; MIDUVI, 2018). No obstante, este enfoque ha priorizado la cantidad de viviendas entregadas, dejando en un segundo plano la incorporación de criterios de eficiencia hídrica y energética en sus fases de construcción, operación y mantenimiento (Asamblea Nacional del Ecuador, 2014, 2019; MIDUVI, 2020b). Este estudio plantea bases técnicas que permitan optimizar el consumo de agua y energía en estas VIS, de modo que se garantice no solo el acceso a una vivienda digna, sino también su sostenibilidad en el tiempo. Con ello, se contribuye de manera directa al cumplimiento del ODS 6, el ODS 7 y el ODS 11, promoviendo un sector habitacional más equitativo, resiliente y ambientalmente responsable (ONU, 2025).

1.6. Objetivos

1.6.1 Objetivo General

Proponer mejoras en el diseño actual de las viviendas de interés social del MIDUVI, implementando estrategias de sostenibilidad adaptadas al clima tropical húmedo de la Amazonía ecuatoriana, para optimizar la eficiencia hídrica y energética.

1.6.2 Objetivos Específicos

- Evaluar el consumo hídrico de la vivienda tipo 2D, considerando el equipamiento sanitario, los hábitos de uso, y compararlo con los estándares normativos nacionales de eficiencia.
- Simular el desempeño energético de la vivienda mediante el software DesignBuilder, evaluando el consumo eléctrico y el confort térmico, en base a las condiciones climáticas de la parroquia Timbara.

- Plantear mejoras al diseño actual, incorporando, sistemas pasivos, materiales sostenibles, equipamiento eléctrico y sanitario que permitan optimizar el consumo de agua y energía sin comprometer el confort y habitabilidad.
- Comparar los indicadores de eficiencia hídrica y energética, de la vivienda actual y la vivienda propuesta, evidenciado el potencial de ahorro y reducción del impacto medioambiental.

CAPÍTULO 2

2. DESARROLLO DEL PROYECTO

2.1. Marco conceptual

2.1.1 Evolución de la construcción sostenible

La construcción sostenible se entiende como un enfoque integral que, tras haber iniciado con lineamientos de eficiencia energética y reducción de emisiones, ha evolucionado para incorporar dimensiones ambientales, sociales y económicas a lo largo del ciclo de vida de las infraestructuras (Halliday, 2018; Kibert, 2022). El Global Status Report for Buildings and Construction 2024-2025, publicado por el United Nations Environment Programme y la Global Alliance for Buildings and Construction, señala que en 2022 este sector fue responsable de cerca del 34% de la demanda energética mundial y del 37% de las emisiones de CO₂ asociadas a la energía y los procesos, lo que lo posiciona como un actor clave frente al cambio climático (UNEP, 2024, pp. 27–30). En los últimos años, los avances científicos y tecnológicos han favorecido la adopción de estrategias como la economía circular (Curado et al., 2024; Ossio et al., 2023), la digitalización y el diseño resiliente, consolidando la sostenibilidad como un criterio esencial en la planificación y gestión del entorno construido (Uddin et al., 2025; Zajemska et al., 2025).

2.1.2 Estrategias innovadoras de sostenibilidad en la vivienda social

En todo tipo de viviendas incluyendo la social, las estrategias innovadoras de sostenibilidad se orientan hacia enfoques integrales que combinan economía circular y participación comunitaria, buscando reducir residuos, reutilizar materiales y asegurar que las construcciones respondan a las necesidades de los que las habitan (Baker et al., 2023; Duran, 2025).

Las mejoras en la envolvente, la ventilación pasiva y la incorporación de energías renovables en las edificaciones reducen de forma significativa los consumos y mejoran el confort térmico (Kitsopoulou et al., 2024). Adicionalmente las tecnologías accesibles como griferías eficientes y sistemas de captación de agua lluvia favorecen un uso más racional del recurso hídrico (Waterwise, 2022).

Finalmente, el uso de materiales sostenibles, que incluye fases del ciclo de vida de los productos como su reutilización entre ladrillos y baldosas hasta la incorporación de recursos locales o bio-basados como piedra autóctona, micelio entre otros, evidencian un alto potencial para disminuir la huella ambiental y al mismo tiempo fortalecer las economías locales (Devos K., 2025; Financial Times, 2023; The Guardian, 2024).

2.1.3 Eficiencia hídrica

Según Castillo-Ávalos Yerko & Rovira-Pinto Adriano (2013), la eficiencia hídrica consiste en satisfacer las necesidades de agua utilizando la menor cantidad posible y evitando desperdicios, a través de tecnologías y prácticas de gestión como dispositivos de bajo caudal, captación pluvial o reutilización de aguas grises. Su importancia radica en el consumo residencial que representa una parte significativa de la demanda urbana y, en un contexto de cambio climático y escasez de recursos, optimizar el uso resulta clave para la sostenibilidad y la reducción de costos tarifarios domésticos (Taušová et al., 2022).

2.1.3.1. Indicadores de Eficiencia Hídrica: Formulación Matemática

La eficiencia hídrica en edificaciones se evalúa mediante indicadores que permiten comparar el consumo real, con valores de referencia establecidos en las normas o estándares nacionales e internacionales. El método más utilizado es el índice de eficiencia hídrica (IEH), que, conforme a la ecuación (1), expresa el grado de uso racional del recurso en función de consumo registrado frente a un patrón esperado, siendo dicha fórmula una adaptación de la metodología propuesta por Taušová et al. (2022).

$$IEH = \frac{C_{real}}{C_{ref}} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

C_{real} consumo real medido en la vivienda en L/hab/día

C_{ref} consumo de referencia establecido por normativa o estándar en L/hab/día

Los valores menores o cercanos al 100% indicaran un consumo eficiente y dentro de los parámetros esperados, mientras que valores mayores reflejaran ineficiencia en el consumo (Taušová et al., 2022).

Otro indicador básico es el consumo per cápita (CP), empleado para conocer el volumen promedio de agua consumida por persona, conforme se expresa en la ecuación (2), que es la definición de los indicadores urbanos ISO 37120 (Navalta & Fox, 2019):

$$CP = \frac{V}{N} \quad (2)$$

Donde:

V volumen total de agua consumida en L/día

N Número de habitantes de la vivienda

Finalmente, para evaluar la efectividad de medidas de ahorro, se calcula el porcentaje de ahorro de agua (A%), el cual compara el consumo inicial con el consumo posterior a la intervención. Este indicador se determina aplicando la metodología establecida por LEED v4 (Indoor Water User Reduction), expresado en la ecuación (3), que compara el volumen base y el volumen de consumo en el escenario eficiente (U.S. Green Building Council USGBC, 2021):

$$A\% = \frac{C_{inicial} - C_{final}}{C_{inicial}} \times 100 \quad (3)$$

Donde:

C_{inicial} consumo antes de implementar medidas de eficiencia en L/hab/día

C_{final} consumo después de la intervención L/hab/día

2.1.4 Eficiencia Energética

Se define como la capacidad de una edificación para mantener condiciones adecuadas de confort y funcionalidad utilizando la menor cantidad de energía posible, mediante el uso de tecnologías, estrategias pasivas y sistemas de gestión (IEA, 2023). Este concepto resulta esencial porque según la (UNEP, 2024), el sector de la construcción se mantiene como el mayor contribuyente climático a nivel sectorial, además solo el 17% de la energía provino de fuentes renovables (UNEP, 2024, pp. 27–30) .

En este sentido, optimizar la eficiencia energética en las viviendas no solo aporta a la mitigación del cambio climático, sino también reduce la susceptibilidad de los hogares frente al incremento de los costos de la energía; relacionándose de manera directa con

los ODS 7 y ODS 11, orientados a garantizar energía asequible y comunidades sostenibles (ONU, 2025).

2.1.4.1. Indicadores de Eficiencia Energética: Formulación matemática

En el caso de las edificaciones, la eficiencia energética se evalúa mediante indicadores que comparan el consumo energético real con valores de referencia establecidos en la normativa o en modelos estándar de desempeño. De acuerdo con la metodología de indicadores definida por la Agencia Internacional de Energía y utilizada ampliamente en estudios sobre eficiencia en edificaciones (AIE, 2015; Pérez-Lombard et al., 2008), El índice de Eficiencia Energética (IEE) expresado en la ecuación (4), permite interpretar que valores inferiores al 100% reflejan un desempeño más eficiente.

$$IEE = \frac{E_{real}}{E_{ref}} \times 100 \quad (4)$$

Donde:

E_{real} consumo de energía medido en la vivienda KWh/m²/año

E_{ref} consumo energético establecido por norma o estándar de eficiencia
KWh/m²/año

Otro indicador fundamental se detalla en la ecuación (5) que es el Consumo energético específico (CEE), que mide la energía total consumida en relación con el área construida (AIE, 2015; Pérez-Lombard et al., 2008):

$$CEE = \frac{E_{total}}{A} \quad (5)$$

Donde:

E_{total} energía total consumida en un periodo KWh/año

A superficie útil de la vivienda expresado en m²

Para evaluar las mejoras tras las intervenciones de eficiencia se emplea la ecuación (6) que determina el ahorro energético porcentual (A%), que es la relación entre el consumo energético inicial y el consumo energético medido después de las intervenciones según la metodología que establecida en ISO 50006 (EVO, 2012; ISO, 2014), y utilizadas en plataformas de evaluación energética como RETScreen (Government of Canada, 2022).

$$A\% = \frac{E_{inicial} - E_{final}}{E_{inicial}} \times 100 \quad (6)$$

Donde:

$E_{inicial}$ consumo energético antes de la intervención en KWh/año

E_{final} consumo energético después de la intervención en KWh/año

Los indicadores expresados se utilizan ampliamente en auditorias computacionales y certificaciones internacionales LEED, BREEAM y EDGE, que permiten comparar el desempeño de la vivienda respecto a estándares de eficiencia (Ghaffarianhoseini et al., 2013; IEA, 2023).

2.1.5 Normativa y marco legal

2.1.5.1. Normativa y lineamientos internacionales

La construcción sostenible con eficiencia hídrica y energética se sustenta en el cumplimiento de normativas y lineamientos internacionales. La ISO 50001 establece directrices para la gestión eficiente de la energía (ISO, 2018); mientras que la ISO 52000 define el marco para evaluar el desempeño energético de los edificios (ISO, 2017). Los estándares de ASHRAE, como el ASHRAE 55, regulan el confort térmico en espacios habitables (ASHRAE, 2017), asegurando condiciones adecuadas de ocupación, la ASHRAE 62.1 sobre ventilación y calidad de aire (ASHRAE, 2019) y la 90.1 sobre eficiencia energética en edificaciones (ASHRAE, 2016). Asimismo, la Directiva Europea 2010/31/UE - EPBD es un referente global en eficiencia energética (European Parliament & Council, 2010).

En el plano global, los Objetivos de Desarrollo Sostenible ODS impulsados por Naciones Unidas promueven la gestión sostenible del agua ODS 6, la energía asequible y limpia ODS 7 y ciudades sostenibles ODS 11. Finalmente, certificaciones ambientales como Leadership in Energy and Environmental Design LEED y Excellence in Design for Greater Efficiencies EDGE permiten validar el cumplimiento de criterios de sostenibilidad en edificaciones, exigiendo ahorros significativos en energía, agua y materiales (Ghaffarianhoseini et al., 2013; IEA, 2023; ONU, 2025).

2.1.5.2. Normativa y regulaciones nacionales.

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), regulada por el MIDUVI, en su capítulo Habitabilidad y Salud NEC-HS-EE - Eficiencia Energética en Edificaciones Residenciales, establece los criterios y requisitos mínimos para el diseño y la construcción de viviendas, orientados a optimizar el consumo energético y a garantizar el confort térmico de los usuarios en función del clima local (MIDUVI, 2020b, 2021). Esta normativa incorpora la Zonificación Climático-Habitacional, herramienta que permite determinar la zona climática correspondiente a la localidad donde se proyecta la edificación. En la Figura 2.1 se presenta la clasificación climática, definida a partir de los grados días de calentamiento, grados días de enfriamiento y la altitud sobre el nivel del mar de cada localidad.

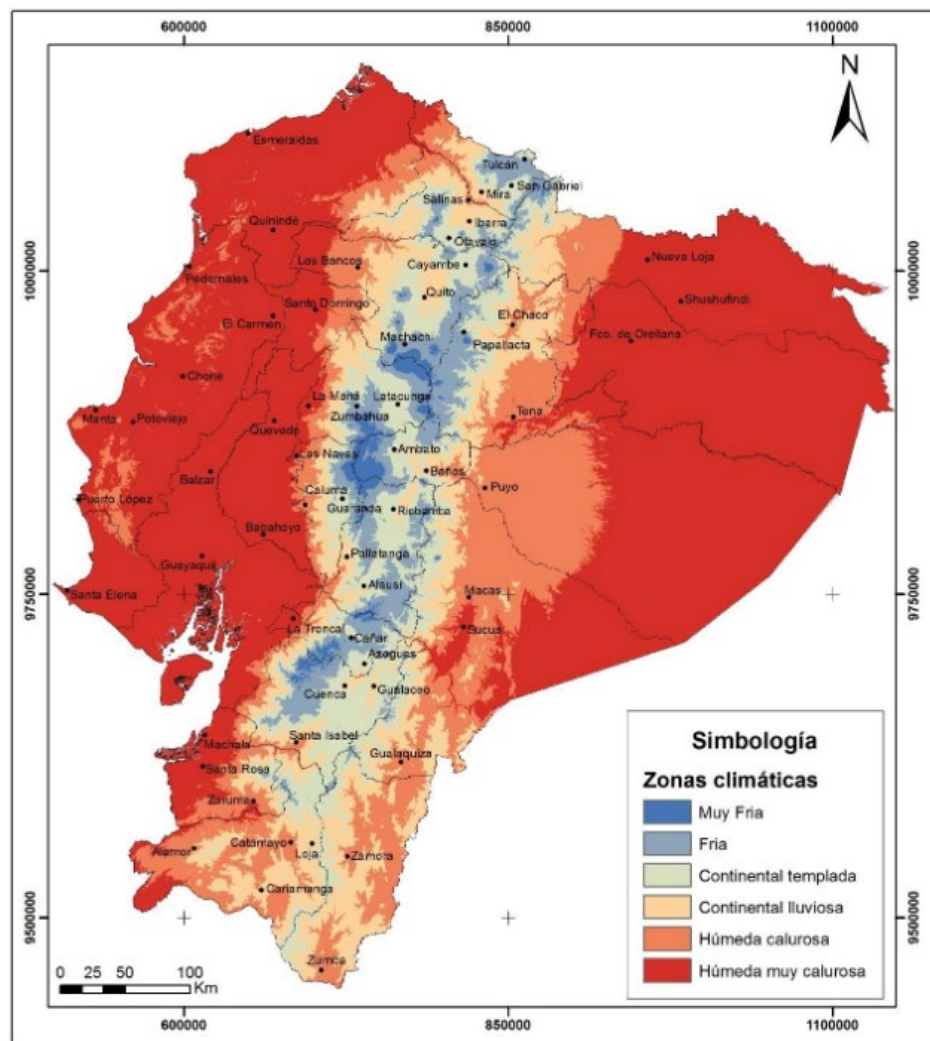


Figura 2.1 Mapa de zonas climáticas del Ecuador (MIDUVI, 2021)

La NEC-HS-EE 2018 establece requisitos mínimos para la envolvente térmica de edificaciones, considerando aislamiento, reflectividad, infiltración de aire y uso de elementos traslúcidos, según la zona climática definida en el Mapa de Zonas Climáticas del Ecuador. Las tablas 1–21 de esta norma detallan los parámetros por zona, elaborados con apoyo de bases de datos internacionales e información de la norma ISO 10456 - 2007, la cual establece valores de referencia de conductividad térmica y propiedades termo-físicas de materiales de construcción (ISO, 2007; MIDUVI, 2021)

El capítulo NEC-HS-CL regula instalaciones térmicas como el aire acondicionado, calefacción, ventilación y refrigeración, aplicables a edificaciones mayores de 500 m² o con cargas térmicas superiores a 140KW. Asimismo, la NEC-HS-ER exige el uso de sistemas solares térmicos para agua caliente sanitaria ACS en edificaciones nuevas o reformadas con demandas superiores a 50L/día/persona, o ampliaciones que superen los 5.000L/día. Están exceptuadas edificaciones con tecnologías alternativas, valor histórico o cuando la medida no implique un ahorro energético real (MIDUVI, 2020b, 2020a).

El capítulo de Servicios Básicos NEC-SB-HS aún está en elaboración, por lo que se debe recurrir a normativa internacional como referencia. Sin embargo, en el plano nacional también existe regulaciones complementarias como el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN036 - Eficiencia Energética en Edificaciones, que fija requisitos mínimos de desempeño energético, y el RTE INEN 035 - Etiquetado de Eficiencia Energética de Electrodomésticos y equipos, que busca reducir el consumo en viviendas mediante el uso de artefactos eficientes (INEN 035, 2019; INEN 036, 2010). En el componente hídrico, la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua regula la gestión sostenible del recurso, garantizando su preservación y uso racional en edificaciones y sistemas urbanos (Asamblea Nacional del Ecuador, 2014).

2.1.6 Simulación de eficiencia hídrica y energética en edificaciones

El uso de simuladores de eficiencia hídrica en edificaciones constituye una herramienta clave para estimar el consumo de agua tanto por vivienda como por habitante (IFC, 2023). Estos programas calculan la demanda a partir de los consumos proyectados de cada dispositivo sanitario o punto de uso dentro del hogar, permitiendo comparar el desempeño entre tecnologías convencionales y aquellas con sistemas ahorradores. De

este modo, se pueden identificar de manera sencilla y directa los potenciales de ahorro, estableciendo que un dispositivo eficiente reduce significativamente el consumo en comparación con uno tradicional, favoreciendo la gestión sostenible del recurso hídrico (Crawley et al., 2008).

Por su parte, los simuladores de eficiencia energética permiten planificar, conocer y optimizar el consumo de energía de una edificación desde la etapa de diseño, antes de su construcción (Crawley et al., 2008). Estas herramientas predicen el comportamiento térmico del edificio y facilitan la identificación de oportunidades de ahorro energético, evitando inversiones ineficientes y sirviendo también para evaluar remodelaciones. El objetivo es mantener el mismo nivel de confort y rendimiento en las actividades, integrando modelos de gestión sostenible, hábitos responsables e innovación tecnológica que mejoren el desempeño energético de la infraestructura (Naciones Unidas, 2015).

2.1.7 Software de simulación.

Los softwares de simulación son herramientas que permiten predecir y evaluar el desempeño energético e hídrico de una edificación antes de su construcción. A través de modelos digitales, analizan factores como el comportamiento térmico, el consumo de agua y la interacción con el clima local, proporcionando información precisa para tomar decisiones de diseño sostenible. Su uso facilita la optimización de estrategias pasivas y activas, la reducción de consumos y, en muchos casos, el cumplimiento de estándares de certificación energética (Gonzalo et al., 2023).

Entre las herramientas más utilizadas destaca DesignBuilder un potente software de simulación energética que utiliza el motor EnergyPlus, lo que permite modelar edificios eficientes y sostenibles mediante cálculos detallados del rendimiento térmico. Incluye además un módulo de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) para analizar el movimiento del aire y la temperatura dentro del edificio, así como el efecto del viento exterior sobre la edificación. Aunque no realiza simulaciones hídricas completas, permite simular el agua caliente sanitaria (ACS) mediante la definición de tasas de consumo basadas en la actividad de cada zona residencial, configurando los equipos generadores en su módulo de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC). (DesignBuilder Software Ltd., 2025c, 2025a, 2025b).

2.1.8 Casos de éxito: Diseño y Construcción de edificaciones eficientes.

Para reforzar la comprensión del diseño sostenible, resulta fundamental destacar experiencias internacionales y regionales de infraestructuras, que demuestran cómo el diseño eficiente y la incorporación de tecnologías sostenibles contribuyen a reducir consumos de agua y energía, al tiempo que mejora la calidad de vida y fortalece la sostenibilidad comunitaria (IEA, 2023; UNEP, 2024; World Green Building Council, 2023).

2.1.8.1. Experiencias internacionales en infraestructura sostenible.

A nivel global existen múltiples casos éxitos de eficiencia hídrica y energética en edificaciones, que evidencian el potencial de la sostenibilidad aplicada al sector de la construcción. En este apartado se destacan dos casos particulares:

- 1) Proyecto SUREFIT en Valladolid España, desarrollado en el marco del programa Horizonte 2020, el cual aplica tecnologías prefabricadas y renovables para rehabilitar edificios, logrando reducciones de hasta un 60% en emisiones de carbono, 50% en costes y 40% en tiempo de ejecución (ECyL Rural, 2025; SUREFIT Project, 2025). La Figura 2.2 muestra los sistemas de aislamiento, recuperación de calor y energías renovables implementados (European Commission, 2024).

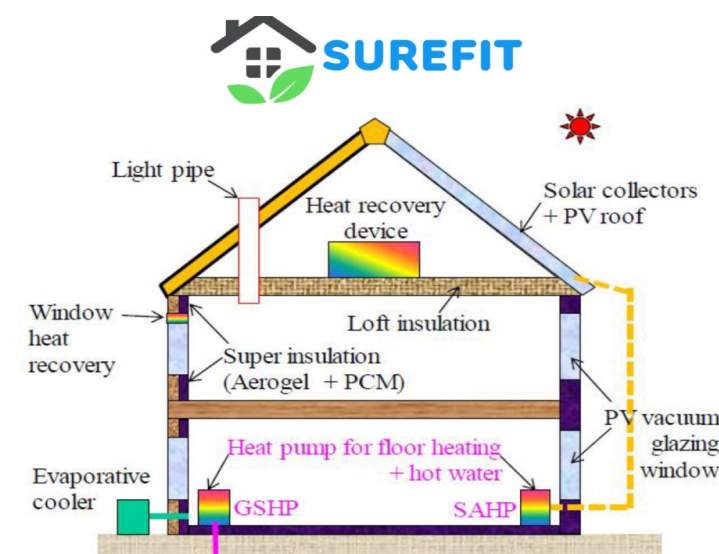


Figura 2.2 Proyecto SUREFIT, Valladolid - España, 2020 (SUREFIT Project, 2025)

2) Sun-Moon Mansion, ubicado en Dezhou, China, considerado uno de los edificios alimentados por energía solar más grandes del mundo. Con una superficie aproximada de 75.000m², integra paneles fotovoltaicos en la cubierta para generar electricidad y abastecer servicios como agua caliente, reduciendo el consumo energético convencional y favoreciendo un modelo de infraestructura sostenible (Phuong, 2023). La Figura 2.3 presenta una vista panorámica del complejo, destacando su escala y concepción arquitectónica basada en el aprovechamiento de la energía solar (Grupo Solinc, 2025).



Figura 2.3 Edificio Sun-Moon Mansión, Dezhou - China. (Grupo Solinc, 2025)

2.1.8.2. Experiencias regionales y nacionales en edificaciones sostenibles

En América Latina se han desarrollado proyectos que promueven edificaciones con alta eficiencia energética y estrategias de diseño sostenible. Un caso destacado es el Edificio Transoceánica, ubicado en Santiago de Chile, con una superficie aproximada de 17.000m² y certificación LEED Oro. Su diseño bioclimático optimiza la orientación solar y el aprovechamiento de la luz natural, mientras que sus fachadas de alto rendimiento térmico reducen la carga energética en climatización. Además, incorpora un sistema de geotermia para enfriamiento mediante un pozo de 75m de profundidad, convirtiéndose en un referente en eficiencia energética y confort térmico en la región (IUC – International Urban Cooperation, 2020). La Figura 2.4 ilustra este edificio, considerando un ejemplo emblemático de sostenibilidad en América Latina.



Figura 2.4 Edificio Transoceánica, Santiago de Chile. (IUC – International Urban Cooperation, 2020)

En Ecuador se han desarrollado diversas iniciativas orientadas a la edificación sostenible. El caso más emblemático es el Edificio Harmony, ubicado en Quito, considerado el primer edificio con carbono neutro del país. Este proyecto incorporó estrategias de eficiencia energética, y de gestión responsable de recursos, y obtuvo un Certificado de Reducción de Emisiones (CERs) otorgado bajo mecanismos de la ONU, lo que lo posiciona como un referente nacional en materia de sostenibilidad en arquitectura (Ekos Negocios, 2024). La Figura 2.5 muestra este importante proyecto implementado en el país.



Figura 2.5 Edificio Harmony, Quito – Ecuador. (Ekos Negocios, 2024)

2.2. Marco metodológico.

El presente proyecto se enmarca en una investigación aplicada, orientada a la evaluación de la eficiencia hídrica y energética de la VIS implementada por el MIDUVI, específicamente en el marco del programa “Casa para Todos”. La metodología propone cuatro fases como se observa en la Figura 2.6. Esta metodología integra un enfoque mixto cuantitativo, cualitativo y computacional que permite abordar el objeto de estudio desde diferentes perspectivas, garantizando resultados técnicos, verificables y contextualizados a la realidad amazónica del Ecuador.



Figura 2.6 Metodología propuesta

2.2.1 Trabajo campo y gabinete: Fase 1

2.2.1.1. Recopilación de expedientes técnicos:

Búsqueda y recopilación de información oficial mediante la solicitud de los expedientes técnicos correspondientes a las viviendas construidas por el MIDUVI durante el año 2022. Estos documentos constituyen la fuente primaria del análisis, ya que incluyen planos arquitectónicos, memorias técnicas, especificaciones constructivas y planos de instalaciones hidrosanitarias y eléctricas. Su revisión permitió establecer la configuración

geométrica, determinación de materiales y la disposición de los sistemas de abastecimiento y evacuación de agua, así como de la red eléctrica domiciliaria.

2.2.1.2. Revisión de Normativa aplicable:

De manera complementaria, se llevó a cabo una revisión exhaustiva de la normativa ecuatoriana aplicable. Entre las principales fuentes se consideraron:

- Normas INEN en materia de dotación de agua y eficiencia de artefactos sanitarios.
- Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC, en lo referente a eficiencia energética y lineamientos de soluciones VIS.
- Lineamientos del MIDUVI para el diseño de la VIS.
- También se consultaron referentes internacionales de sostenibilidad habitacional EDGE y LEED Homes, con el propósito de establecer comparaciones técnicas y parámetros de referencia adicionales (IFC, 2023; World Green Building Council, 2023).

2.2.1.3. Análisis Territorial y climático:

Para adaptar el estudio a las condiciones locales, se integró información proveniente del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial PDOT 2023 - 2027 de la parroquia Timbara, perteneciente al cantón Zamora. Se analizaron variables ambientales y socioeconómicas determinantes para el desempeño de la vivienda, entre ellas la temperatura media anual, la humedad relativa, el régimen de precipitaciones, la radiación solar, la disponibilidad de recursos hídricos y las condiciones de habitabilidad de la población. Estos datos constituyen insumos fundamentales para la calibración de los escenarios de simulación computacional.

2.2.2 Caracterización de la vivienda objeto de estudio: Fase 2

En gabinete se procesó toda la información recopilada y se procedió a la identificación y descripción de la vivienda seleccionada para el análisis. Se trata de una vivienda tipo 2D del programa “Casa para Todos”, clasificada como vivienda de interés social VIS, subsidiada al 100% por el Estado ecuatoriano. La unidad habitacional posee una superficie de construcción de 51.03 m², proyectada para beneficiarios con terreno propio con disponibilidad de servicios básicos de agua potable y alcantarillado sanitario,

destinada a familias de bajos ingresos. En la Tabla 2.1, Figura 2.7 y Figura 2.8 se muestran las características de la vivienda, y su distribución arquitectónica.

Tabla 2.1 Tipología de vivienda 2D considerada en el análisis (EPCPT & MIDUVI, 2019)

Tipología de vivienda	Dimensión en planta	Superficie construida	Superficie útil	Altura libre	Volumen aire climatizado
2D	8.10m X 6.30 m	51.03 m ²	46.71 m ²	2.47m	0 m ³

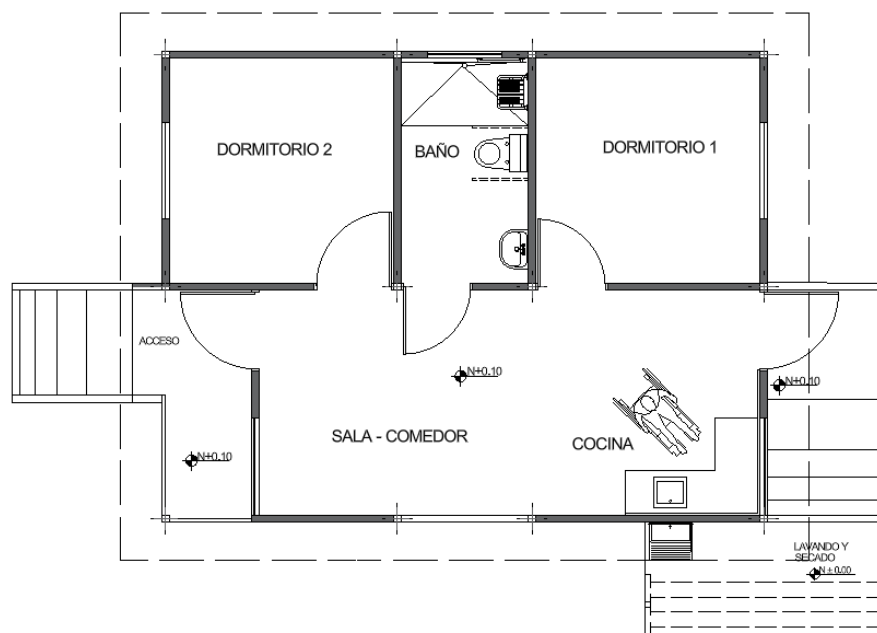


Figura 2.7 Planta arquitectónica vivienda tipo 2D (EPCPT & MIDUVI, 2019)

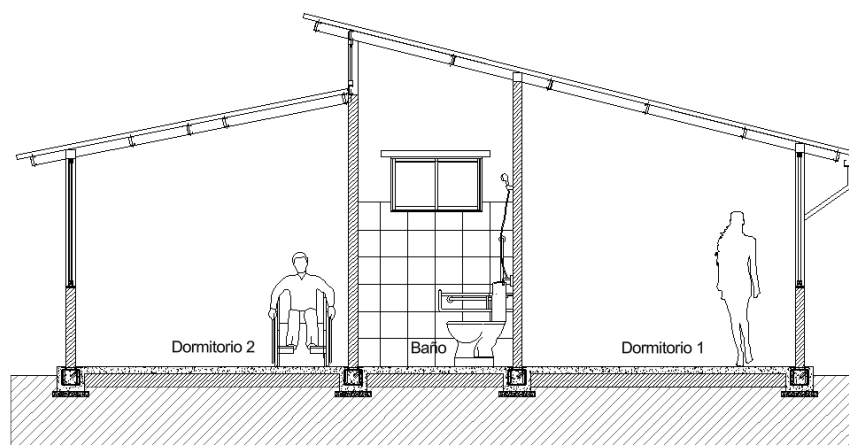


Figura 2.8 Sección longitudinal vivienda tipo 2D (EPCPT & MIDUVI, 2019)

2.2.2.1. Tabulación de datos

La información obtenida se sistematizó mediante tablas de análisis y matrices comparativas, lo que permitió organizar parámetros técnicos, normativos y climáticos de manera estructurada. La Tabla 2.2 resume los principales insumos recopilados para el análisis.

Tabla 2.2 Parámetros técnicos, normativos y climáticos (MIDUVI, 2020b, 2021)

Categoría	Parámetros considerados	Método de uso o aplicación
Datos técnicos	Geometría (área, volumen, envolvente); materiales (muros, cubierta, pisos); instalaciones hidrosanitarias y eléctricas; consumos de agua y energía por aparatos y equipos	Tabulación en hojas de cálculo; cálculo de dotaciones y demandas unitarias
Datos normativos	NEC - 2015, normas INEN, lineamientos MIDUVI; referencias internacionales (EDGE, LEED)	Matrices de cumplimiento normativo y comparación con valores de referencia
Datos climáticos	Temperatura, humedad relativa, precipitaciones y radiación solar extraídos del PDOT Timbara	Incorporación como condiciones de frontera en la simulación con DesignBuilder

El procesamiento se efectuó con hojas de cálculo para el análisis del comportamiento hídrico, mientras que para la modelación energética se empleó el software DesignBuilder. Esta combinación de herramientas permitió contrastar sus resultados con los parámetros de referencia establecidos en la normativa vigente.

2.2.3 Propuesta a diseñar: Fase 3

A partir del análisis de gabinete y de la tabulación de los datos, la investigación se orientó a determinar si la vivienda social objeto de estudio cumple con los parámetros de eficiencia hídrica y energética requeridos para el contexto amazónico. En caso de identificarse limitaciones, se propone la implementación de soluciones de diseño y operación sostenible, organizadas en propuestas presentadas en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3 Análisis de situación actual y propuesta de diseño

Situación actual	Posibles soluciones	Diseño sostenible
Uso de aparatos y accesorios sanitarios convencionales con alto consumo de agua	Incorporación de inodoros de bajo consumo, griferías y duchas ahorradoras	Eficiencia Hídrica
Dependencia exclusiva del suministro de agua potable convencional	Implementación de un sistema de captación y almacenamiento de aguas lluvias para riego, limpieza de áreas comunes y descargas sanitarias	
Presencia de equipos eléctricos de alto consumo energético	Sustitución o adecuación por equipos de bajo consumo	Eficiencia Energética
Dependencia exclusiva de la red eléctrica convencional	Incorporación de un sistema fotovoltaico conectado en esquema híbrido (red pública más energía solar), reduciendo costos y aumentando la resiliencia energética	
Diseño sin criterios de aprovechamiento climático local	Adecuada orientación solar para minimizar cargas térmicas	Estrategias pasivas de diseño
Ventilación natural limitada	Aplicación de ventilación cruzada para mejorar confort térmico	
Uso de materiales estandarizados sin enfoque ambiental	Empleo de materiales locales con mejor desempeño higrotérmico y sostenibilidad	
Uso exclusivo de la red eléctrica y sistemas convencionales	Evaluación de tecnologías renovables adicionales a pequeña escala, como calentadores solares de agua adaptados al entorno amazónico	Integración de energías renovables

2.2.4 Simulación y Análisis Comparativo: Fase 4

Tras el diagnóstico inicial se evaluó el modelo de referencia en aspectos hídricos y energéticos, considerando los consumos de una familia tipo junto con los hábitos de uso característicos de la Amazonía. Los resultados, obtenidos también mediante simulaciones en DesignBuilder, fueron contrastados con la normativa vigente para identificar brechas frente a los estándares mínimos establecidos.

Con base en ese análisis se aplicaron mejoras previamente definidas, como el uso de artefactos eficientes, la incorporación de energías renovables, la implementación de sistemas de reutilización de agua, modificaciones en la envolvente de la vivienda y la

integración de sistemas pasivos orientados al confort térmico y al aprovechamiento de la ventilación natural. De esta manera se obtuvo un modelo optimizado, diseñado para reducir la presión sobre los recursos y mejorar el desempeño integral de la edificación.

Finalmente, el nuevo modelo fue evaluado y comparado con el original, identificando el potencial de ahorro a través de parámetros como el volumen total de agua utilizada y reutilizada, el consumo energético total y específico en KWh/año y KWh/m²/año, la distribución de la demanda por usos finales, la reducción de emisiones y los costos operativos asociados. Estos indicadores permiten valorar la eficacia real de las medidas aplicadas.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

3.1. Resultados

3.1.1 Características generales de la vivienda de tipología 2D

La VIS de tipología 2D es una unidad unifamiliar de 51.03 m² diseñada para condiciones regionales de Sierra, Costa y Amazonia. Se implanta en el nivel +0.10, con accesos mediante rampas frontal y posterior con una pendiente del 5%, cumpliendo las normas INEN de accesibilidad universal, que permiten radios de giro de 1.50 m en todos sus espacios. La distribución establecida conecta el porche con la sala, el comedor, y la cocina, desde ese espacio se accede al baño y los dormitorios, además de contar con ingreso posterior por la lavandería. La cubierta es a dos aguas e incorpora una ventana que mejora la ventilación e iluminación con vidrio para la sierra y con malla antimosquitos para la costa y la amazonia. En cuanto al sistema constructivo y la materialidad la Tabla 3.1 resume los principales elementos que conforman la vivienda y define sus características estructurales y de acabados. La distribución funcional de los espacios se detalla en la Tabla 3.2, donde se especifican las áreas correspondientes a cada ambiente de la vivienda.

Tabla 3.1 Resumen del sistema constructivo y materialidad de la vivienda 2D

Elemento	Descripción
Estructura	Columnas y vigas metálicas perfil 100mm×100mm×3 mm, con cimentación y contrapiso armado de 8cm
Muros	Bloques de concreto 10cm×40cm×20cm revocados y pintados
Pisos	Cerámica 30cm×30 cm
Puertas	Principal metálica e interiores de madera
Ventanas	Aluminio con vidrio 4 mm y mosquitero en la Costa y Amazonía
Cubierta	Plancha de galvalumen prepintado 0.30 mm, a dos aguas

Tabla 3.2 Distribución de áreas de la vivienda 2D.

Nivel	Actividad	Área (m ²)
N±0.10	Porche	3.94
N±0.10	Sala Comedor	11.66
N±0.10	Cocina	9.92
N±0.10	Baño Común	5.67
N±0.10	Dormitorio 1	9.92
N±0.10	Dormitorio 2	9.92
Total		51.03

3.1.2 Características de la zona de estudio.

Los principales parámetros ambientales obtenidos del PODT 2023 - 2027 de la parroquia Timbara se sintetizan en la Tabla 3.3 y Tabla 3.4; los cuales ya han sido referidos en el apartado de localización, sin embargo, aquí se presenta de manera resumida y como base para el análisis hídrico y energético de la vivienda.

Tabla 3.3 Parámetros hídricos, Timbara (PDOT - Timbara, 2023)

Parámetro	Valor o Rango
Precipitación media anual	2,090mm en promedio entre el 2010 y el 2011
Precipitación mensual	63mm en agosto y 312mm en abril
Fuentes hídricas principales	Ríos Zamora, Jambue y quebradas locales como Pituca, Timbara, Sakantza, Tunantza
Cobertura de agua potable	66.9% por red pública y 33.1% por otras fuentes
Concesiones de agua	Tsunantza Alto para 90.7Ha y Romerillos Bajo para 484Ha

Tabla 3.4 Parámetros climáticos y energéticos, Timbara (PDOT - Timbara, 2023)

Parámetro	Valor o Rango
Temperatura media anual	23.7°C
Rango mensual	22.8°C en Julio y 24.7°C en Noviembre
Humedad relativa	Entre el 85% y el 91 % como media anual
Nubosidad	6.5 octas a 7 octas con cielos parcialmente nublados
Altitud	880msnm a 2900msnm
Cobertura energía eléctrica	95% a 97% de la Parroquia

Para el análisis de la vivienda en la zona establecida, se consideró como referencia una familia tipo de 4 integrantes, en concordancia con lo prestablecido en los diseños vigentes del MIDUVI, considerando además los hábitos de uso y consumo característico de la población local.

3.1.3 Consumo Hídrico de la vivienda de tipología 2D

La determinación del desempeño hídrico de la vivienda se realizó a partir de los planos hidrosanitarios, los cuales contemplan acometida de ½ pulgada desde la red pública o en su defecto, un tanque de reserva de 1,100L, además la evacuación de agua servidas hacia la red pública o mediante un biodigestor de 600L, y un sistema de canales y bajantes para las aguas lluvias.

De la memoria hidrosanitaria se establece que los cálculos se han realizado utilizando el método de hunter, considerando los caudales instantáneos por aparato sanitario (APS) presentado en la Tabla 3.5. Estos valores se utilizaron como referencia para obtener el consumo hídrico inicial en la vivienda.

Tabla 3.5 Caudales instantáneos de los A.P.S. (EPCPT & MIDUVI, 2019)

Aparato Sanitario	Caudal Instantáneo (L/min)
Inodoro	12
Lavamanos	10
Ducha	10
Lavaplatos	15
Lavadora/Lavadero	15

Para reflejar las condiciones reales de consumo en la parroquia Timbara, se identificaron los hábitos de uso del agua de la población local. Los aparatos provienen del diseño hidrosanitario de la vivienda, y los valores obtenidos permiten conocer la frecuencia y tiempo promedio de utilización, constituyendo la base para estimar el consumo hídrico. Cabe señalar que, aunque el grifo externo no suele contemplarse en los diseños iniciales, en la práctica es muy común su colocación. La Tabla 3.6 resume estos hábitos por persona.

Tabla 3.6 Hábitos característicos de los habitantes de la Parroquia Timbara

Habito Característico de la Población Local "TIMBARA" por Persona			
Aparato	Unidad de medida (expresada en letras)	Cantidad	Unidad
Ducha eléctrica	Minutos/persona/día	7	min
Inodoro tanque	Descargas/persona/día	5	descargas
Lavabo normal (pedestal)	Usos/persona/día	5	usos
Fregadero	Tiempo de uso/día (familiar)	8	min
Lavandería	Tiempo de uso/día (familiar)	20	min
Grifo externo	Tiempo de uso/día (familiar)	10	min

Con base en los caudales unitarios y los hábitos de consumo establecidos, se determinó el volumen diario de agua de la vivienda considerando una familia tipo de cuatro integrantes. La Tabla 3.7 presenta la estimación del consumo por cada aparato y la Figura 3.1 su participación con respecto al consumo total.

Tabla 3.7 Determinación del consumo diario de la vivienda tipo 2D

Cantidad	Aparato	Consumo diario basado en el diseño actual		
		consumo unitario (litros) APS diseño	consumo total (L/día/vivienda)	% Consumo APS Diseño
1	Ducha eléctrica	84	336	29.3%
1	Inodoro tanque	50	200	17.5%
1	Lavabo normal (pedestal)	10	40	3.5%
1	Fregadero	120	120	10.5%
1	Lavandería	300	300	26.2%
1	Grifo externo	150	150	13.1%
consumo total			1,146.00	100.0%

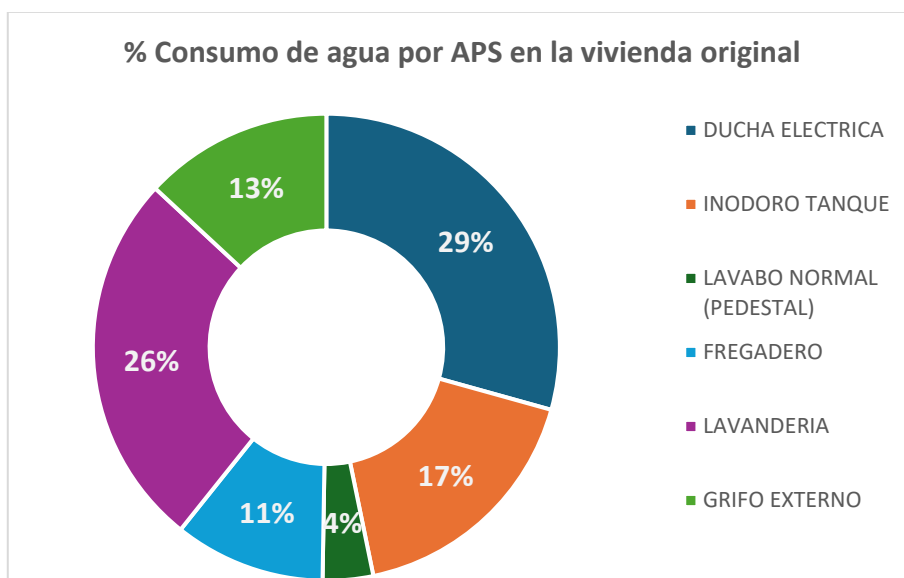


Figura 3.1 Participación del consumo de agua por APS en la vivienda original

3.1.4 Consumo Eléctrico de la vivienda de tipología 2D

Se fundamenta en el análisis de la memoria eléctrica, los parámetros de uso y los hábitos de los ocupantes, lo que permite transformar la potencia instalada en estimaciones reales de consumo y establecer indicadores que reflejen la eficiencia de la vivienda.

Como indica la Tabla 3.8, el cuadro de cargas muestra la distribución de los circuitos eléctricos de la vivienda con sus potencias y DMU, valores tomados de la memoria técnica eléctrica, que sirven de base para el análisis del desempeño energético.

Tabla 3.8 Cuadro de carga de los circuitos (EPCPT & MIDUVI, 2019)

Centro de carga (CC)						
Descripción	Número de puntos	Potencia (W)	Potencia total (W)	Circuito (VA)	Fsn (%)	DMU (VA)
Circuito de tomacorriente 1	10	200	2,000	2,000	40	800
Cocina de inducción	1	6,000	6,000	6,000	50	3000
Ducha eléctrica	1	3,500	3,500	3,500	30	1,050
Iluminación	7	100	700	700	90	630
Totales	19	9,800	12,200	12,200		5,480

La Tabla 3.9, establece parámetros de uso y diseño necesarios para contextualizar el consumo energético, tales como el área construida, el número de ocupantes y el tiempo promedio destinado a la ducha eléctrica. Estos valores permiten vincular la capacidad instalada identificada en el cuadro de cargas con las condiciones reales de uso de la vivienda.

Tabla 3.9 Parámetros para la estimación del consumo.

Área construida (m²)	51.03
Número de personas	4.00
Ducha eléctrica en min/persona/día	7.00
Potencia ducha eléctrica (KW)	3.50

La Tabla 3.10 presenta la estimación del consumo diario y anual de la vivienda en función de la potencia de cada circuito y los hábitos de uso previamente establecidos. A partir de estos resultados, la Figura 3.2 ilustra de manera porcentual la participación de cada circuito en la demanda total, permitiendo identificar los elementos de mayor incidencia en el consumo energético de la vivienda.

Tabla 3.10 Determinación del consumo diario en la vivienda 2D

Circuito	Potencia (KW) (DMU) nominal	Horas/día	Energía (KWh/día)	Formulación
Tomacorrientes	0.80	2.00	1.60	Potencia DMU × horas/día
Cocina de inducción	3.00	1.00	3.00	Potencia DMU × horas/día
Iluminación	0.63	3.00	1.89	Potencia DMU × horas/día
Ducha eléctrica	3.50	0.47	1.63	Potencia ducha × horas/día (min/hab/personas)
TOTAL (KWh/día)			8.12	
Consumo anual (KWh/año)			2965	
Intensidad energética (KWh/m²/año)			55.93	

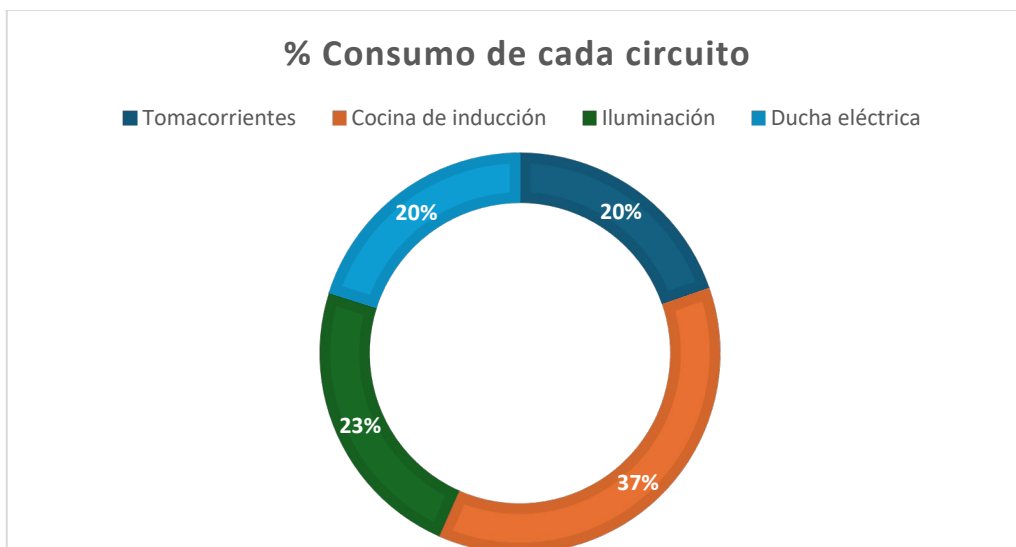


Figura 3.2 Participación del consumo energético por circuito eléctrico en la vivienda

3.2. Análisis de los resultados

A continuación, se describen los resultados obtenidos de los cálculos de eficiencia hídrica y de las simulaciones de la eficiencia energética en Desing Builder del diseño actual de la vivienda.

3.2.1 Análisis de la eficiencia hídrica del diseño actual vs la normativa vigente

Antes de realizar el análisis del consumo, se efectuó el cálculo utilizando los valores de caudales instantáneos establecidos en la NEC-11, capítulo 16: Diseño de instalaciones hidrosanitarias, indicados en la Tabla 3.11.

Tabla 3.11 Caudales instantáneos de los A.P.S. NEC -11

Aparato Sanitario	Caudal instantáneo (L/min)
Inodoro	12
Lavamanos	6
Ducha	6
Lavaplatos	12
Lavadora/Lavadero	12
Grifo externo	12

La Figura 3.3 evidencia la diferencia entre los caudales instantáneos establecidos por NEC-11 y los utilizados en el diseño de la vivienda actual.

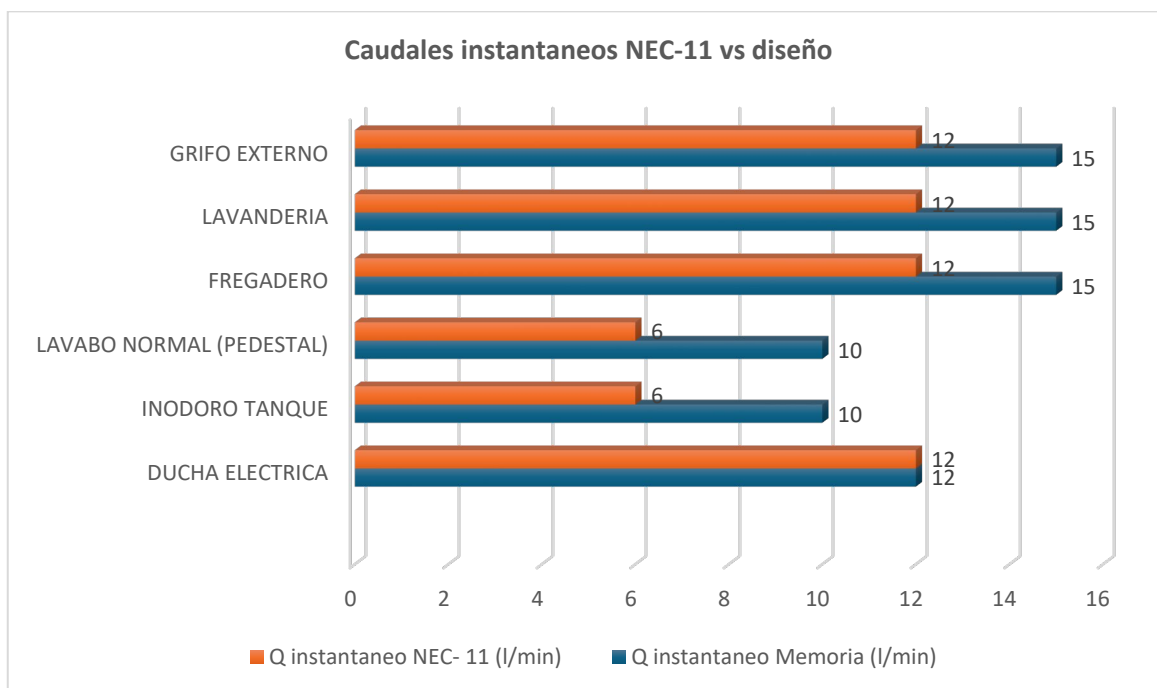


Figura 3.3 Caudales instantáneos según NEC-11 frente a valores de diseño

De los seis artefactos analizados, únicamente la ducha eléctrica mantiene el mismo caudal de referencia de 12L/min, mientras que los cinco restantes el inodoro, lavabo, fregadero, lavandería y grifo externo presentan caudales de diseño superiores, con incrementos de entre +3 y +4L/min respecto a los valores establecidos en la NEC-11. En ningún caso el caudal de diseño resulta inferior al referencial; por el contrario, todos excepto la ducha lo superan.

Aplicando los mismos hábitos de consumo de la familia tipo se obtiene los resultados indicados en la Tabla 3.12. Por otro lado, la Tabla 3.13 presenta los indicadores de eficiencia hídrica calculados para una vivienda tipo de cuatro personas en dos escenarios, diseño actual con los caudales establecido en la memoria técnica y el mismo diseño utilizando los caudales referenciales de la NEC-11. Se registraron la población y el consumo total de la vivienda, tomando como referencia la dotación objetivo, establecida para la Amazonía que según el INEN es de 160L/hab/día. A partir de estos datos se calcularon los indicadores correspondientes: consumo per cápita, índice de eficiencia hídrica, brecha per cápita y exceso diario de consumo en la vivienda.

Tabla 3.12 Determinación del consumo diario de la vivienda tipo 2D con la NEC - 11

Cantidad	Aparato	Consumo diario determinado con los caudales por APS establecidos en la NEC-11		
		Consumo unitario (L) NEC - 11	Consumo total (L/día/vivienda)	% Consumo APS NEC - 11
1	Ducha eléctrica	84	336	36%
1	Inodoro tanque	30	120	13%
1	Lavabo normal (pedestal)	6	24	3%
1	Fregadero	96	96	10%
1	Lavandería	240	240	26%
1	Grifo externo	120	120	13%
Consumo total			936	100%

Tabla 3.13 Indicadores de Eficiencia hídrica

Ítem	Unidad	Diseño actual	NEC - 11
Población	hab	4.00	4.00
Consumo total de la vivienda	L/día	1,146.00	936.00
Dotación (Amazonia INEN)	L/hab/día	160.00	160.00
Consumo per cápita	L/hab/día	286.50	234.00
Índice de eficiencia hídrica	%	179%	146%
Brecha per cápita	L/hab/día	126.50	74.00
Exceso diario en la vivienda	L/día	506	296
Criterio de cumplimiento		No cumple	No cumple

Se observa que, en el diseño actual, el consumo per cápita alcanza 286.5L/hab/día y el IEH es 179%, con una brecha de 126.5L/hab/día equivalente a 506L/día por vivienda, por lo que no se cumple la dotación de 160L/hab/día . Con los caudales referenciales de la NEC - 11, el consumo per cápita se reduce a 234L/hab/día estableciendo un índice de 146%, una disminución cercana al 18% respecto del diseño actual; sin embargo, persiste una brecha de 74L/hab/día, por lo que tampoco se alcanza el cumplimiento. En

consecuencia, se recomienda implementar medidas de eficiencia como implementación de artefactos de bajo caudal, optimización de rutinas de uso, y cuando sea viable, el aprovechamiento de agua lluvia para situar el consumo por debajo de la dotación objetivo.

3.2.2 Análisis de la eficiencia de consumo de energía eléctrica del diseño actual

Este análisis se fundamenta en los resultados obtenidos en el apartado anterior, correspondientes a la determinación de consumos bajo las condiciones iniciales o en función del diseño eléctrico original de la vivienda. A partir de estos valores, se efectúa una revisión de su cumplimiento frente a la normativa vigente, cuyos principales hallazgos se presentan de manera resumida en la Tabla 3.14.

Tabla 3.14 Análisis del consumo de energía eléctrica en la vivienda 2D Original

Indicador y circuito	Resultado obtenido	Valor normativo o de referencia	Observación técnica
Consumo total	2965KWh/año (8.12KWh/día)	Referencia VIS MIDUVI 2500 a 3000KWh/año	Se encuentra dentro del rango esperado para vivienda de interés social
Intensidad energética	58.1KWh/m ² /año	NEC-2015 50 a 60KWh/m ² /año	Cumple, pero en el límite superior; margen de mejora limitado
Cocina de inducción	37% del consumo	Aceptado por política nacional de sustitución GLP a Inducción	Uso coherente; requiere promover hábitos eficientes y ollas adecuadas
Ducha eléctrica	20% del consumo (1.63KWh/día)	No recomendada por la NEC ni MIDUVI (se sugiere solar o acumulación)	Punto crítico de ineficiencia; su sustitución reduciría la intensidad en 15% a 20%
Iluminación	23% del consumo (1.89KWh/día)	Norma INEN eficiencia luminarias (LED obligatorio en VIS nuevas)	Migrar 100% a LED y aprovechar iluminación natural reduciría entre el 5% y el 8%
Tomacorrientes	20% del consumo (1.60KWh/día)	NEC sin valor límite, depende de carga diversificada	Requiere control de cargas dispersas y uso de equipos con sello de eficiencia energética INEN

El comportamiento energético de la vivienda cumple con los valores establecidos por la NEC - 2015 y se mantiene dentro del rango referencial de vivienda VIS del MIDUVI. Sin embargo, la presencia de la ducha eléctrica compromete la eficiencia y eleva el indicador al límite superior normado.

El análisis de la eficiencia energética no solo se centra en la determinación del consumo de energía eléctrica demandada por los circuitos, sino más bien se plantea desde un punto de vista integral de la vivienda, por lo que la simulación en el software DesingBuilder, permite evaluar el desempeño energético global.

3.2.2.1. Simulación y evaluación de la eficiencia energética en el software de DesigBuilder

Para el análisis de la eficiencia energética se utilizó el modelado 3D en el software DesignBuilder, se elaboró un modelo base y se realizaron diversas parametrizaciones mediante simulación dinámica, considerando los parámetros meteorológicos de referencia de la zona de estudio. Dado que el programa no cuenta con una estación meteorológica específica para dicha localidad, se emplearon los datos climáticos de la ciudad de Macas, por presentar condiciones climáticas similares según la norma ASHRAE 90.1, como se observa en la Figura 3.4.

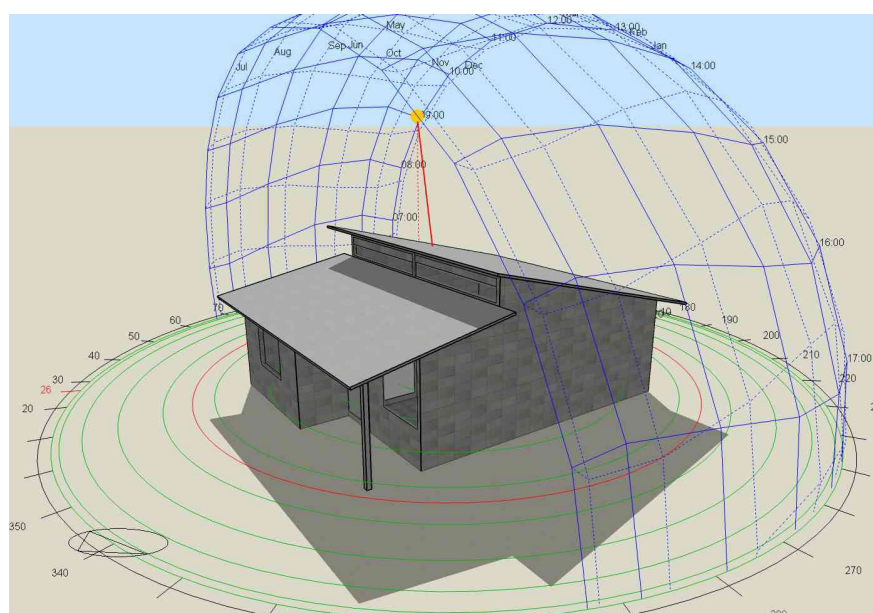


Figura 3.4 Diagrama de trayectoria solar y orientación de la vivienda

El software permite crear la línea base respaldada en el estándar de eficiencia energética ASHRAE 90.1, el cual establece los parámetros de referencia para cada zona o bloque térmico; facilita la interacción con el modelo 3D, permite realizar simulaciones dinámicas e incluso genera el ensamblaje del modelo paso a paso.

Una vez construido el modelo 3D, el aspecto fundamental es ingresar los parámetros que intervienen en la simulación, particularmente los relacionados con la envolvente entre piso, paredes, ventanas, puertas y cubierta. En este proyecto, la vivienda se encuentra orientada con un ángulo azimutal de 90° respecto al hemisferio sur, lo que representa la orientación óptima para captar radiación solar hacia el norte, tal como se establece en la Figura 3.5.

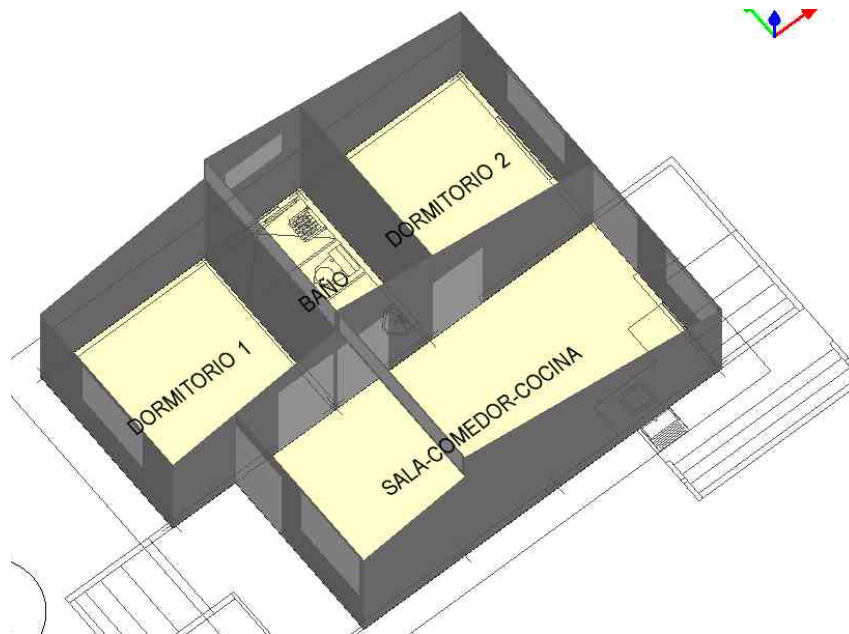


Figura 3.5 Distribución del bloque térmico en el modelo arquitectónico

Con el modelo base definido, se procede a ejecutar la simulación energética bajo dos escenarios de análisis, con el fin de evaluar el comportamiento térmico tanto en condiciones extremas como en operación anual.

Escenario 1: Se simula el comportamiento térmico durante el día más crítico del año, ubicado en el mes de junio, coincidiendo con el inicio del solsticio, con el objetivo de analizar la respuesta de la envolvente térmica y el balance horario de cargas de calor.

La Figura 3.6 presenta los resultados obtenidos en el primer escenario, donde se muestran la distribución de temperaturas interiores y exteriores, así como el balance de calor por componentes de la envolvente. La simulación fue ejecutada mediante el motor EnergyPlus, lo que permitió analizar el rendimiento térmico de la vivienda en condiciones de diseño crítico.

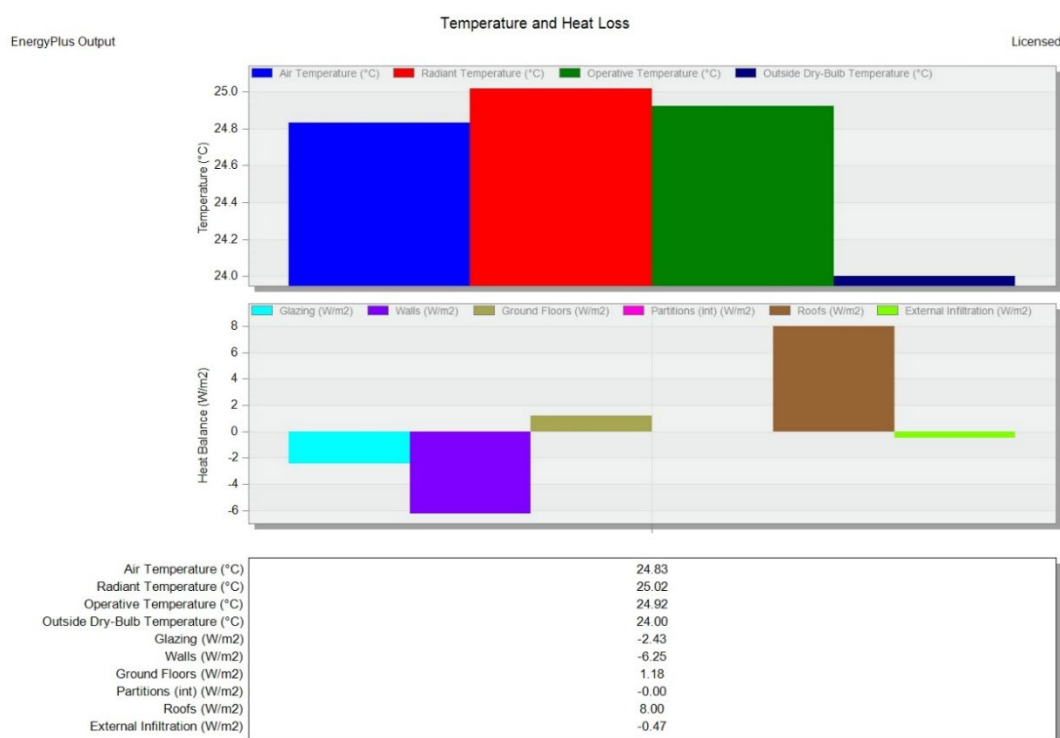


Figura 3.6 Resultados del modelo base: temperaturas interiores y balance de calor en periodo corto

El gráfico evidencia que la vivienda mantiene una temperatura operativa de 24.92°C, ligeramente superior a la temperatura exterior, que es de 24.00°C, lo que indica una ganancia térmica dentro del espacio. La temperatura radiante es de 25.02°C, mayor a la del aire, confirma que las superficies interiores aportan calor por radiación, incrementando la sensación de confort térmico percibida por el ocupante.

En la Tabla 3.15 se presenta el balance de calor de los componentes de la envolvente de la vivienda, permitiendo identificar qué elementos generan ganancia térmica hacia el interior y cuáles producen pérdidas de calor hacia el exterior durante el periodo de diseño.

Tabla 3.15 Balance de calor por componentes en periodo corto

Componente	Flujo de calor (w/m ²)	Tipo
Paredes	-6.25	Pérdida
Acrilamiento	-2.43	Pérdida
Infiltración externa	-0.47	Pérdida
Techo	8.00	Ganancia
Piso	1.18	Ganancia
Total	0.03	Balance Neto

Como se evidencia en la tabla el techo es el principal elemento de ganancia térmica, aportando 8.00w/m², mientras que las paredes generan la mayor pérdida de calor con -6.25w/m². El acristalamiento contribuye a pérdidas adicionales de -2.43w/m² y el piso aporta una menor ganancia con 1.18w/m². Esto significa que el intercambio térmico se concentra en la cubierta y las paredes, por lo que las mejoras deben priorizar el aislamiento en estos elementos.

Escenario 2: En este escenario, el software amplía el análisis a un periodo anual, permitiendo evaluar el comportamiento térmico de la vivienda a lo largo del año e incorporar nuevas variables relacionadas con el confort interior, como la ventilación natural mediante simulación CFD y el aprovechamiento de la luz natural mediante el factor de luz diurna. Esto complementa el análisis inicial y permite entender el desempeño integral de la envolvente en condiciones reales de uso.

Temperatura y Balance de Calor. En la Figura 3.7 se presentan los resultados de la simulación anual, donde se observan las temperaturas promedio y el balance de energía de la vivienda durante todo el año.

La Tabla 3.16 muestra los valores de temperatura promedio mantenidas en el espacio a lo largo de un año, mientras que en la Tabla 3.17 se resumen las ganancias y pérdidas de energía acumuladas durante el año para cada componente de la envolvente de la vivienda, lo que permite identificar cuáles elementos aportan calor al interior y cuáles favorecen su disipación.

El techo y las ventanas generan las mayores ganancias de energía durante el año, mientras que las paredes concentran la principal pérdida térmica. El balance anual resulta en un aporte neto de 35.80KWh/m², lo que confirma que la vivienda se encuentra

en un régimen de ganancia térmica sostenida, condición que favorece el sobrecalentamiento y aumenta la necesidad de ventilación o enfriamiento.

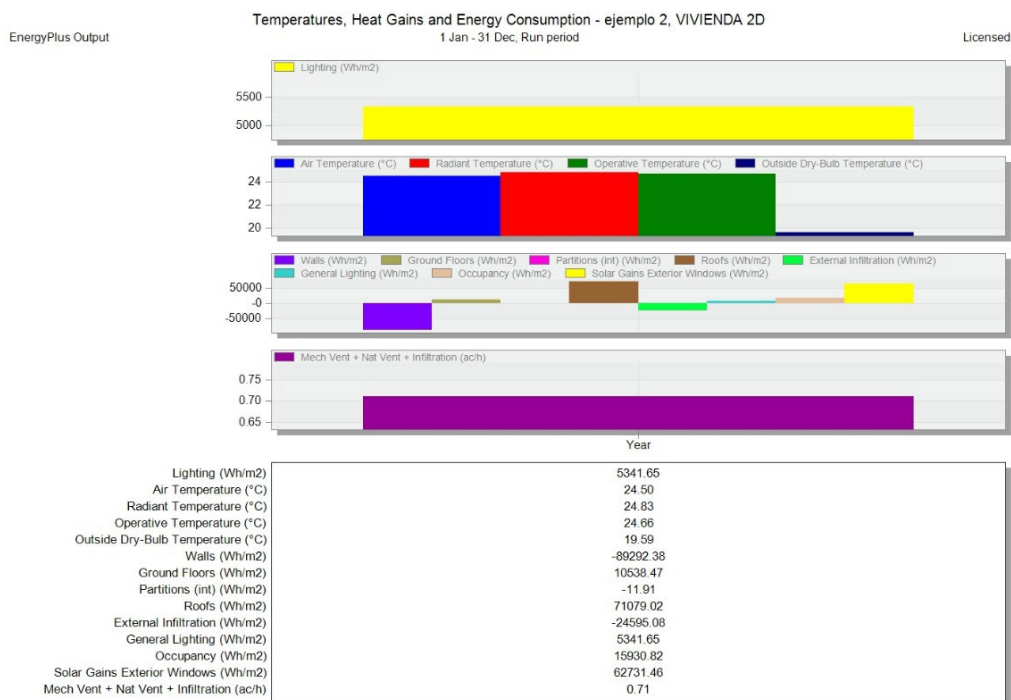


Figura 3.7 Resultados de simulación anual: temperaturas promedio y balance de energía.

Tabla 3.16 Resumen de temperaturas promedio anual

Componente	Temperatura Promedio (°C)
Temperatura operativa	24.66
Temperatura radiante	24.83
Temperatura del aire	24.50
Temperatura exterior	19.59

Tabla 3.17 Balance de energía anual Ganancias - Perdidas

Componente	Flujo de calor (w/m ²)	Tipo
Techos	71,079.02	Ganancia
Ventanas	62,731.46	Ganancia
Suelos	10,538.47	Ganancia
Iluminación general	5,341.65	Ganancia
Paredes	-89,292.38	Pérdida
Infiltración externa	-24,595.08	Pérdida
Total (KWh/m²)	35.80	Balance Neto

Ventilación. En la Figura 3.8 se presenta la simulación CFD realizada para analizar el movimiento del aire dentro del espacio, considerando su velocidad y distribución de temperatura. Este análisis permite evaluar el nivel de ventilación natural y su incidencia en el confort térmico.

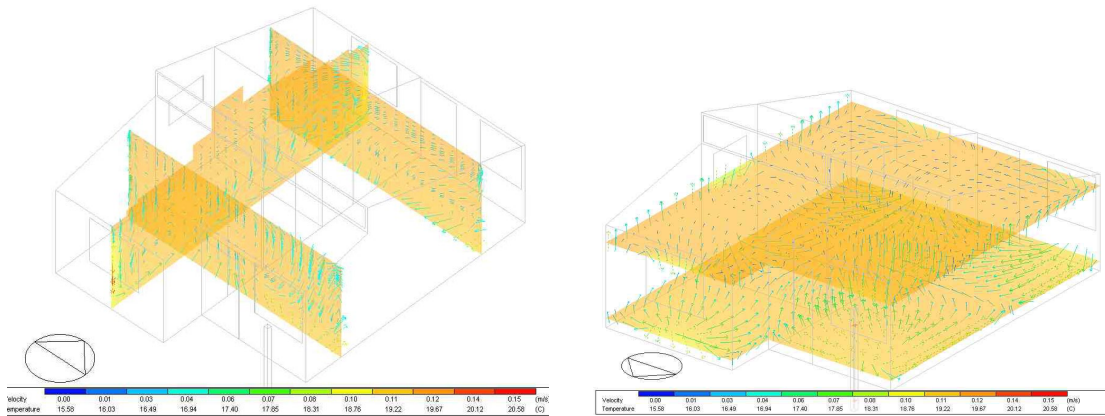


Figura 3.8 Patrones de movimiento del aire y gradiente térmico

La simulación evidencia movimientos de aire ascendentes debido a convección cercana a superficies calientes y la presencia de infiltraciones puntuales de aire exterior a través de la envolvente. La tasa de intercambio obtenida es de 0.71ACH, lo que indica una ventilación natural limitada y posibles corrientes de aire frío por falta de hermeticidad en ventanas y juntas.

En la Tabla 3.18 se resumen los valores obtenidos en la simulación, relacionando la temperatura interior con la velocidad del flujo de aire para evaluar el nivel de confort dentro del espacio.

Tabla 3.18 Valores de parámetros de confort a lo largo todo el año

Parámetro	Rango observado (aproximado)	Conclusión del confort térmico
Temperatura (°C)	19.58°C a 23.55°C	La temperatura del aire sugiere una distribución de temperaturas relativamente uniforme, lo cual es bueno para el confort.
Velocidad de Flujo de aire (m/s)	0,00 m/s a 0.06 m/s	La velocidad del aire es muy baja, esto es típico de un flujo de aire muy suave o “corrientes de aire”.

Los valores registrados muestran una distribución térmica relativamente uniforme y velocidades de aire muy bajas, características de una ventilación insuficiente. Para

mejorar el confort térmico, es necesario reducir filtraciones no controladas y aumentar la hermeticidad de ventanas y encuentros de la envolvente.

Factor de Luz Diurna: en la Figura 3.9 se muestra la simulación del Factor de Luz Diurna (DF), utilizada para evaluar la distribución y el nivel de iluminación natural dentro de la vivienda. Este análisis permite identificar zonas con iluminación adecuada y áreas con riesgo de deslumbramiento o falta de luz.

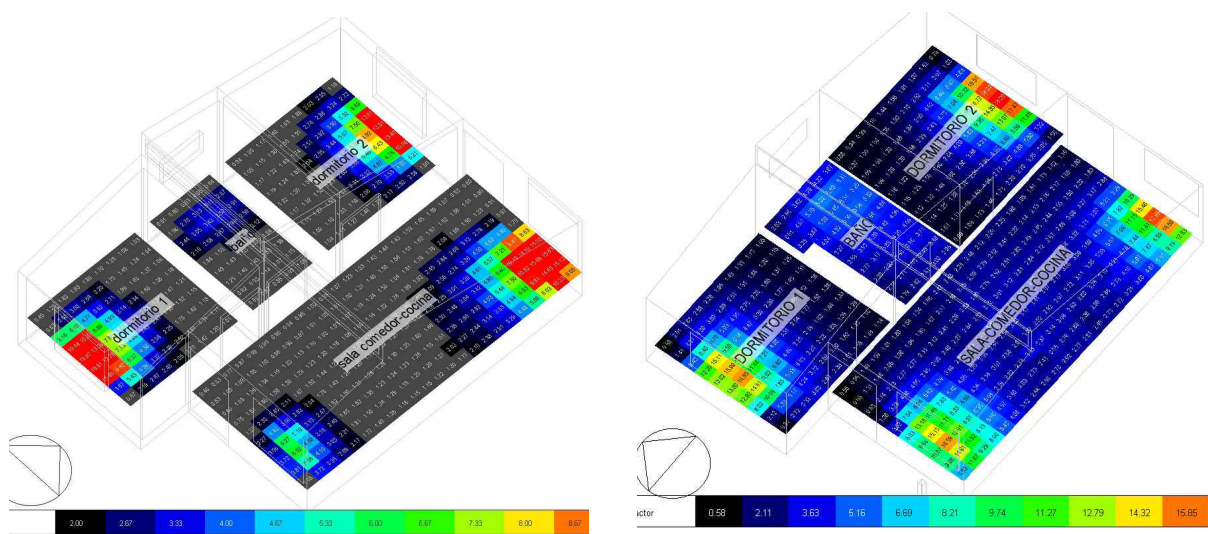


Figura 3.9 Distribución del Factor de Luz Diurna (DF) en los espacios interiores

La simulación evidencia variaciones significativas en la distribución de luz natural, las áreas próximas a las aberturas reciben altos niveles de iluminación, mientras que las zonas más profundas presentan valores intermedios o bajos. Esto permite identificar los puntos donde la iluminación natural es óptima y aquellos donde puede producirse exceso de luz.

En la Tabla 3.19 se resumen los rangos de valores de DF y su interpretación en términos de confort visual e iluminación natural dentro del espacio.

La vivienda presenta niveles adecuados de iluminación natural en la mayor parte del espacio, alcanzando valores óptimos del DF entre 4% y 5%, adecuados para tareas visuales sin requerir iluminación artificial. No obstante, se identifican zonas puntuales con valores elevados que pueden generar una mayor incidencia de luz natural y riesgo de deslumbramiento, especialmente en áreas cercanas a las ventanas y aperturas directas.

De forma análoga al análisis hídrico se calcularon los indicadores correspondientes: consumo específico, e índice de eficiencia energética resumida en la Tabla 3.20.

Tabla 3.19 Categorías de iluminación interior basadas en el porcentaje de luz natural DF

Rango de DF (%)	Color	Condición de iluminación
2.00 – 3.33	Azul oscuro a intermedio	Iluminación adecuada y buena, generalmente aceptable para la mayoría de las tareas
4.00 – 5.33	Azul claro a verde	Iluminación óptima, nivel ideal para confort visual y tareas prolongadas
6.00 – 6.67	Amarillo	Iluminación muy buena en el límite superior, podría indicar brillo excesivo si no está controlado
7.33 – 10.00	Naranja a rojo	Iluminación excesiva con riesgo de deslumbramiento, Indica un alto factor de luz diurna que probablemente cause deslumbramiento o sobrecalentamiento

Tabla 3.20 Evaluación del desempeño energético del modelo base

ítem	Unidad	Condiciones de diseño Original	
		Calculada en base a la memoria técnica	Simulada (DesingBuilder)
Superficie	m ²	53.01	53.01
Consumo Energético	KWh/año	2965	N/A
Consumo específico	KWh/año/m ²	55.93	44.9
Índice de eficiencia energética	%	80%	

Al carecer de una normativa nacional que establezca un valor de referencia para evaluar el consumo energético específico en viviendas, se realizó una comparación entre el cálculo convencional obtenido en la memoria eléctrica y los resultados de la simulación energética realizada en DesignBuilder. La simulación permitió integrar el comportamiento térmico de toda la envolvente y el uso pasivo de la energía lo que se tradujo en una disminución del consumo energético específico respecto al cálculo convencional. Esta variación representa un ahorro estimado del 20%, permitiendo definir un índice de eficiencia energética del 80% para el diseño evaluado.

3.3. Diseño de la solución

3.3.1 Implementación de Estrategias Hídricas.

El análisis del consumo actual evidenció un uso per cápita de 286.50L/hab/día, superior a la dotación normativa de 160L/hab/día establecido por el INEN para la Amazonía. Para corregir esta brecha, se planteó las acciones que se indican en la Figura 3.10.

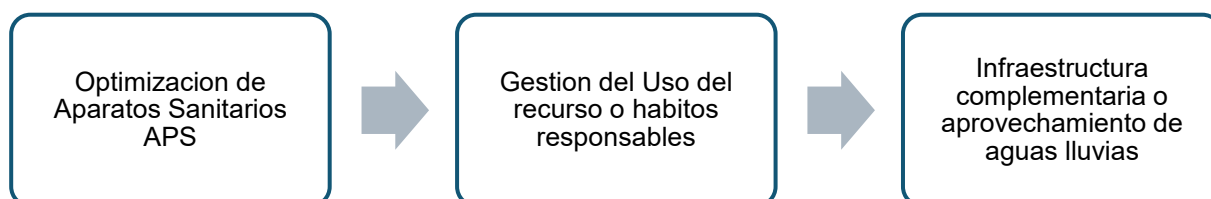


Figura 3.10 Secuencia de acciones para la reducción del consumo de agua

Con el objetivo de optimizar el sistema se propone la implementación de aparatos sanitarios de bajo consumo con los caudales unitarios establecidos en la Tabla 3.21. Adicional a esta acción se sugiere la promoción de hábitos responsables que según la normativa nacional e internacional sugiere los valores que se muestran en la Tabla 3.22.

Tabla 3.21 Características hidráulicas de los APS eficientes según norma y fabricante

Aparato	Consumo clase eficiente (L/min)	Fuente o especificación
Ducha eléctrica	5.70	EPA/WaterSense (showerheads)
Inodoro tanque (L/descarga)	4.80	Edesa Ecuador, WaterSense HET
Lavabo	5.70	EPA WaterSense (lavatory faucets)
Fregadero	6.80	PNNL BASC, EPA TRM Kitchen Faucets
Lavandería	5.70	EPA WaterSense aireadores, mercado Ecuador
Grifo externo	9.50	EPA WaterSense, horticultura (hoses)

Tabla 3.22 Hábitos de consumo responsable

Aparato	Descripción	Cantidad	Unidad	Justificación normativa
Ducha eléctrica	Ducha/persona/día	5	min	OMS y NEC-11: duchas \leq 5 min, 40 - 50L/hab/día con cabezales ahorradores.
Inodoro tanque	Descargas/persona/día	5	descargas	INEN 1108 y NEC - 11: doble descarga 3/6L, dotación 30L/hab/día.
Lavabo pedestal	Usos/persona/día	5	usos	INEN 2288 y NEC-11: grifos con aireadores 4 - 6L/min.
Fregadero	Usos/día	7	min	EPA/NEC-11: caudal \leq 6L/min, 6 usos promedio.
Lavandería	Tiempo de uso/día (familiar)	10	min	NEC-11: 25 - 35L/hab/día; FAO: lavadoras eficientes reducen 50%.
Grifo externo	Tiempo de uso/día (familiar)	5	min	NEC - 11: evitar riego con agua potable; UNEP: uso pluvial y goteo eficiente.

Antes de implementar la tercera acción se observa una mejora considerable en el sistema, reflejados en la Tabla 3.23, que indica los valores de consumo por cada aparato sanitario.

Tabla 3.23 Consumo de agua por aparato sanitario con APS eficiente y hábitos responsables

Cantidad	Aparato	Consumo APS eficientes + hábitos responsables		
		Consumo unitario (L)	Consumo total (L/día/vivienda)	% Consumo APS eficientes
1	Ducha eléctrica	28.5	114	12%
1	Inodoro tanque	24	96	10%
1	Lavabo normal (pedestal)	5.7	22.8	2%
1	Fregadero	47.6	47.6	5%
1	Lavandería	57	57	6%
1	Grifo externo	47.5	47.5	5%
consumo total			384.9	41%

La tercera medida, corresponde al aprovechamiento de aguas lluvias, y esta se destina exclusivamente a cubrir el consumo asociado a las descargas del inodoro y al uso de griferías, ya que dicho recurso no estará sujeto a un proceso de potabilización.

Para dimensionar el sistema de almacenamiento, se considera como referencia el mes de menor precipitación, con lo cual se determinan los volúmenes requeridos. Los datos de entrada y los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 3.24.

Tabla 3.24 Cálculo del volumen aprovechable de agua lluvia

Datos para el cálculo hidráulico y determinación del volumen de agua lluvia			
Ítem	Símbolo	Cantidad	Unidad
Área de cubierta	A	50.10	m ²
Coefficiente de escorrentía	C	0.8	Adimensional
Precipitación	P	166.667	mm/mes
Volumen aprovechable	V	6.68	m ³ /mes
	V	222.667	L/día

Como se observa en la Tabla 3.24, el volumen aprovechable de agua lluvia obtenido del cálculo hidráulico alcanza 6.68m³/mes, equivalentes a 222.67L/día. Este volumen resulta suficiente para cubrir la demanda conjunta del inodoro y del grifo externo, cuya suma total asciende a 143.50L/día. En consecuencia, el sistema de aprovechamiento pluvial permite satisfacer completamente estos consumos sin requerir aporte de la red pública.

La Tabla 3.25 presenta la comparación de los indicadores de eficiencia hídrica obtenidos en las distintas etapas de mejora. Se evidencia una reducción progresiva del consumo total y per cápita de la vivienda, pasando de 1146L/día en el diseño actual a 241.4L/día al implementar el sistema integral de APS eficientes, hábitos responsables y aprovechamiento de agua lluvia. Este último escenario alcanza un consumo per cápita de 60.35L/hab/día y un índice de eficiencia hídrica del 38%, cumpliendo ampliamente con la dotación establecida por la norma INEN para la región amazónica y demostrando una gestión óptima del recurso hídrico.

Tabla 3.25 Indicadores de desempeño hídrico con la implementación progresiva de medidas sostenibles

Ítem	Unidad	Diseño actual	Cumpliendo la NEC - 11	Implementando APS eficientes	APS eficientes + hábitos responsables	APS eficientes + hábitos responsables + aprovechamiento de agua lluvia
Población	hab	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Consumo total de la vivienda	L/día	1146.00	936.00	541.8	384.9	241.4
Dotación (Amazonia INEN)	L/hab/día	160.00	160.00	160.00	160.00	160.00
Consumo Per cápita	L/hab/día	286.50	234.00	135.45	96.23	60.35
Índice de eficiencia hídrica	%	179%	146%	85%	60%	38%
Brecha Per cápita	L/hab/día	126.50	74.00	-24.55	-63.78	-99.65
Exceso diario en la vivienda	L/día	506	296	-98.2	-255.1	-398.6
Criterio de cumplimiento		No cumple	No cumple	Cumple	Cumple	Cumple

En la Figura 3.11 se muestra la reducción progresiva del consumo per cápita a medida que se aplican las diferentes estrategias de mejora. En el eje vertical se representa el consumo expresado en litros por habitante por día, mientras que en el eje horizontal se muestran los distintos escenarios evaluados, desde el diseño original hasta la implementación del sistema integral propuesto. La tendencia descendente de los resultados obtenidos del análisis evidencia el impacto positivo de las medidas adoptadas, reflejando una mejora sustancial en la eficiencia hídrica de la vivienda.

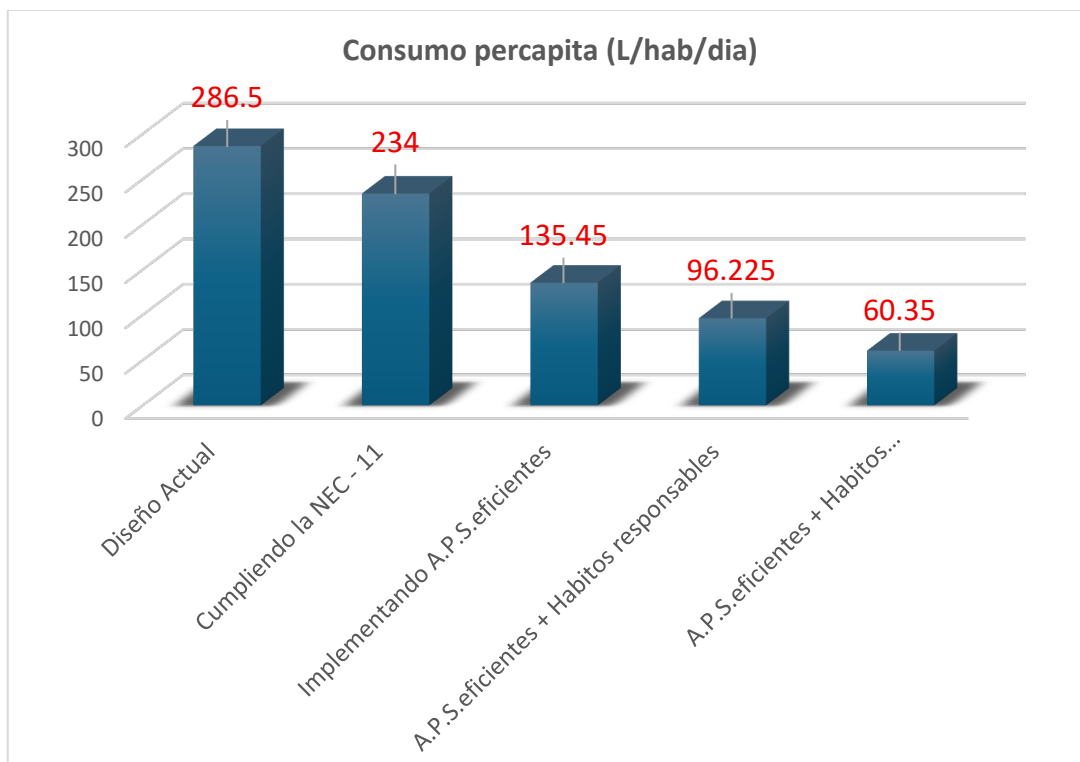


Figura 3.11 Reducción del consumo per cápita de agua según nivel de intervención

Dimensionamiento del sistema de aprovechamiento de agua lluvia:

La Tabla 3.26 muestra el dimensionamiento del tanque de almacenamiento, calculado para un periodo de 10 días de autonomía. Con base en el consumo diario estimado, se obtuvo un volumen nominal de 1,435L, seleccionándose un tanque comercial de 1,500L, suficiente para cubrir la demanda prevista y garantizar el abastecimiento continuo durante los días de menor precipitación.

Tabla 3.26 Dimensionamiento del tanque de almacenamiento de agua lluvia

Número de días de almacenamiento	10.00	días
Volumen nominal	1,435.00	L/10 días
Tanque comercial	1,500.00	L

El sistema híbrido contendrá un tanque de almacenamiento de 1,500L colocado en la parte posterior de la vivienda, y una bomba presurizada de 0.5hp, como se indica en la Figura 3.12.



Figura 3.12 Implementación del sistema de aprovechamiento de agua lluvia compuesta con un tanque de almacenamiento y bomba presurizadora

3.3.2 Implementación de Estrategias Energéticas.

La simulación en DesignBuilder evidenció ganancias térmicas elevadas por el techo y ventanas, y pérdidas por paredes debido a la falta de aislamiento. El sobrecalentamiento se origina principalmente por radiación solar sin control. Para corregirlo, se plantean las acciones de mejora descritas en la Figura 3.13. priorizando el aislamiento en paredes y techo y el control solar en ventanas.

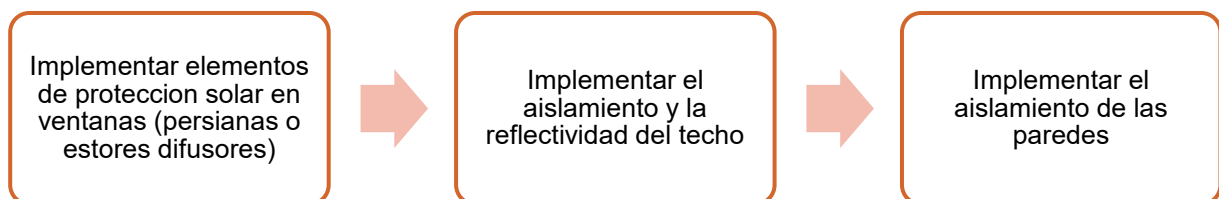


Figura 3.13 Secuencia de implementación de estrategias térmicas

Una vez establecidas las estrategias a aplicar, se realiza nuevamente la simulación utilizando materiales de alto aislamiento térmico y valores de transmitancia térmicas bajo U - Valor. En la Figura 3.14, Figura 3.15 y Figura 3.16 se detallan los datos de entrada para la simulación.

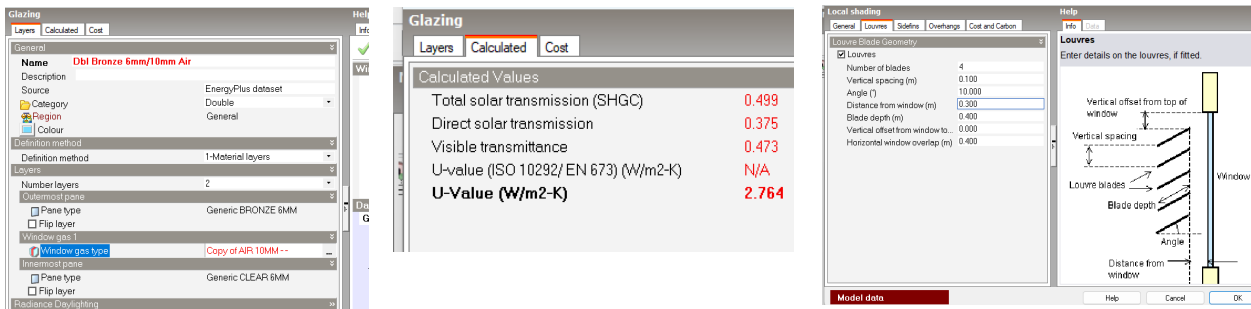


Figura 3.14 Parámetros de simulación para la mejora del control solar en ventanas.

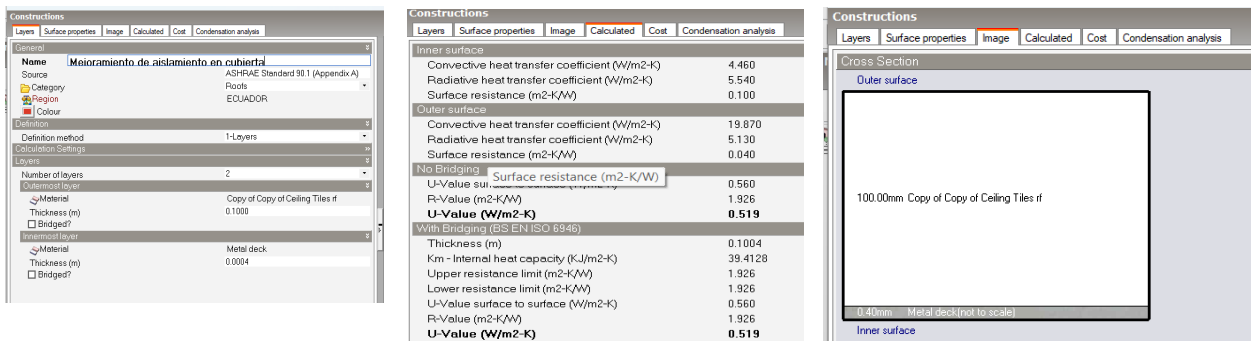


Figura 3.15 Parámetros de simulación para la mejora del aislamiento en cubierta.

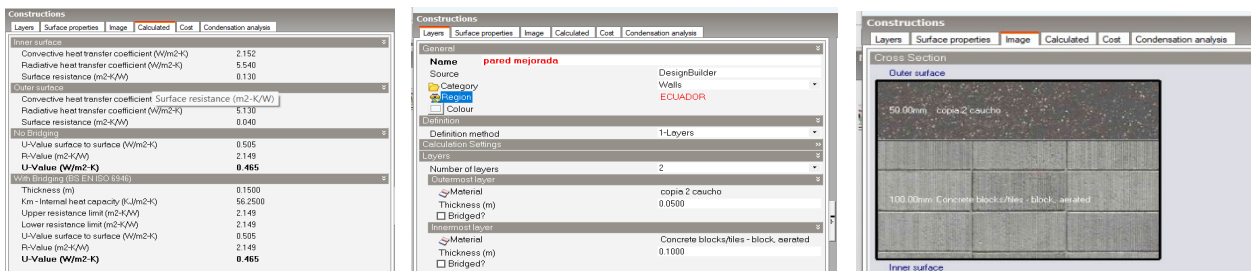


Figura 3.16 Parámetros de simulación para la mejora de aislamiento en paredes.

El objetivo de las medidas implementadas es reducir el sobrecalentamiento por radiación solar en ventanas y cubierta, para estabilizar la temperatura interna de la vivienda, reducir las cargas críticas de la envolvente y lograr eficiencia en cargas internas y consumo, en los siguientes párrafos se detalla cómo evoluciona el diseño al implementar las medidas.

Estabilización térmica y confort: Las mejoras aplicadas en la envolvente y el control solar reducen la acumulación de calor al interior de la vivienda, disminuyendo la temperatura operativa y radiante. Esto evidencia un mejor desempeño térmico y una mayor sensación de confort. La Tabla 3.27 presenta la comparación entre el modelo base y el modelo mejorado.

Tabla 3.27 Comparación de temperatura operativa entre modelo base y modelo mejorado

Métrica	Modelo base	Modelo Mejorado	Variación	Observación
Temperatura operativa	24.66°C	23.72 °C	-0.94°C	La temperatura operativa se acerca al rango ideal de confort 22°C a 24°C, indicando la eliminación de horas pico de sobrecalentamiento
Temperatura Radiante Media	24.83°C	23.82°C	-1.01°C	La reducción de la temperatura radiante confirma que las superficies (paredes, cubierta) están más frías y que la radiación solar directa se ha bloqueado

Reducción de cargas críticas en la envolvente: Las intervenciones aplicadas reducen las principales ganancias y pérdidas de calor en la vivienda. La Tabla 3.28 muestra las acciones y su efecto en cada componente de la envolvente.

Tabla 3.28 Comparación de ganancias y pérdidas de calor antes y después de las mejoras

Componente	Modelo base (wh/m2)	Modelo Mejorado (wh/m2)	Reducción neta	Adecuaciones y Observaciones
Ganancia Solar Ventanas	+62,731.46	+17,685.90	-45,045.56	Persianas exteriores y vidrios dobles. La reducción de 71.80% de la carga solar confirma la implementación efectiva del control solar
Ganancia por Cubierta	+71,079.02	+11,392.69	-59,686.33	Aislamiento de la cubierta: La reducción de 83.97% de esta carga critica demuestra la instalación de aislamiento de alta resistencia (bajo valor de U)
Pérdida por Paredes	-89,292.38	-23,031.48	+66,260.90	Aislamiento de paredes: La reducción de las pérdidas de calor 74.20% indica que el aislamiento de los muros se mejoró significativamente.

Eficiencia en cargas térmicas y consumo: El consumo de energía para iluminación y las cargas internas asociadas se han controlado de manera muy efectiva. En la Tabla 3.29 se detalla el ahorro y las ganancias internas de energía.

Tabla 3.29 Comparación del consumo por iluminación y ganancias internas

Métrica	Modelo base (wh/m2)	Modelo mejorado (wh/m2)	Reducción neta	Observación
Iluminación	5,341.65	3,050.25	-2,291.40	Ahorro de Consumo con el cambio a luminarias de alta eficiencia (led, reemplazo de equipos, implementación de sensores) reduce el consumo eléctrico en 42.90%.
Ganancia por ocupación.	15,930.82	17,600.57	+1,669.75	Las ganancias internas por ocupantes y equipos son estables, pero ahora dominan el balance de calor, lo cual es típico en viviendas de bajo consumo de energía.

Podemos destacar que la simulación mejorada representa un salto cualitativo en el rendimiento energético de la vivienda. Se pasó de un modelo con sobrecalentamiento severo y altas pérdidas y consumos a una vivienda altamente eficiente, logrando un balance energético mucho más estable. La incorporación de persianas exteriores, el aislamiento térmico en cubierta y paredes, junto con el uso de iluminación eficiente, permitió reducir significativamente las ganancias de calor. Estas mejoras estabilizan el comportamiento térmico interior y mantienen la temperatura operativa dentro del rango de confort. La Figura 3.17 y Figura 3.18 detalla el aislamiento térmico y las persianas utilizadas.



Figura 3.17 Instalación del aislamiento térmico en paredes y cubierta.



Figura 3.18 Instalación de persianas exteriores y vidriado hermético en ventanas

La Tabla 3.30 muestra el balance térmico del modelo mejorado, cuantificando las ganancias y pérdidas de calor por cada componente de la envolvente. Este análisis permite identificar el aporte neto de calor hacia el interior luego de aplicar las mejoras de control solar y aislamiento.

Tabla 3.30 Balance térmico del modelo mejorado

Componente	Flujo de calor (W/m ²)	Tipo
Techos	11,392.69	Ganancia
Ventanas	17,685.90	Ganancia
Suelos	15,307.63	Ganancia
Iluminación general	30,50.25	Ganancia
Paredes	-23,031.48	Pérdida
Infiltración externa	-20,244.56	Pérdida
Total (KWh/m²)	4.16	Balance Neto

3.4. Análisis comparativo:

Finalmente, para determinar el porcentaje de ahorro y los índices de eficiencia, se comparan los valores de consumo hídrico y energético del modelo mejorado respecto a la vivienda original. A partir de los consumos obtenidos después de aplicar las estrategias de mejora, se calculan los indicadores de eficiencia y el porcentaje de reducción logrados. Los resultados de esta comparación se presentan en la Tabla 3.31.

Tabla 3.31 Indicadores de eficiencia hídrica y energética antes y después de las mejoras

Consumo	unidad	Vivienda original	Vivienda mejorada	Índice de eficiencia (%)	% Ahorro logrado
Consumo hídrico	L/día	1,146	241.4	21.06%	78.94%
Consumo energético	KWh/año/m ²	35.80	4.16	11.62%	88.38%

Los resultados demuestran una reducción significativa tanto en el consumo de agua como en el consumo energético. El uso de agua disminuyó de 1,146L/día a 241.4L/día, lo que representa un ahorro del 78,94%. En el desempeño energético, el consumo específico pasó de 35.80KWh/m²/año a 4,16KWh/m²/año, alcanzando una reducción del 88.38%. Estas mejoras se lograron mediante la aplicación de estrategias pasivas, la incorporación de equipos eficientes y el reemplazo de la cocina de inducción por una cocina a gas, este cambio se realizó al considerar los hábitos reales y preferencia de uso de los usuarios de las cocinas a gas sobre las de inducción, lo que permitió disminuir las cargas internas asociadas al consumo eléctrico. Las adecuaciones propuestas para mejorar el desempeño hídrico y energético de la vivienda implicaron un incremento en el presupuesto constructivo. Como se observa en la Tabla 3.32, el costo pasó de USD 12,052.18 en el diseño original a USD 13,921.92 en la propuesta optimizada, lo que representa un aumento del 15.51%. Este incremento se justifica considerando que la incorporación de materiales de mayor desempeño térmico, elementos de control solar y equipos más eficientes, generan una reducción significativa en el consumo de agua y energía durante toda la vida útil de la vivienda. Adicionalmente, se realizó un análisis del carbono incorporado de los materiales utilizados en la propuesta, lo que permitió identificar los elementos constructivos con mayor impacto ambiental y cuantificar las emisiones asociadas al proceso constructivo; dicho análisis se presenta en el Anexo 1 (Informe de Carbono Incorporado y Equivalente de la vivienda 2D), donde se detallan los resultados obtenidos.

Tabla 3.32 Incremento del presupuesto por implementación de medidas de eficiencia

Concepto	Valor (USD)	Incremento del presupuesto
Presupuesto inicial	12,052.18	15.51%
Presupuesto propuesto	13,921.92	

Aunque el costo inicial de la propuesta es mayor, este incremento responde a la incorporación de equipos y materiales eficientes. El Anexo 2 (láminas de equipamiento hídrico y energético en la vivienda 2D) detalla los elementos que generan este aumento. Sin embargo, el ahorro operativo esperado permite recuperar la inversión en un plazo aproximado de 3 a 4 años, consolidando la propuesta como una solución sostenible tanto técnica como económicamente.

CAPÍTULO 4

4.1. Conclusiones

- La evaluación del consumo hídrico en la vivienda tipo 2D (diseño original del MIDUVI) evidenció un desempeño ineficiente frente al estándar nacional de dotación para la región amazónica que es de (160L/hab/día), registrando un consumo total de 1,146L/día/vivienda. Este valor corresponde a un consumo per cápita de 286.50L/hab/día y arroja un índice de eficiencia hídrica (IEH) del 179%, lo que indica que el consumo real supera en un 79% el valor de referencia establecido. Estos resultados demuestran que el equipamiento sanitario incorporado en el proyecto y los patrones de uso asociados generan sobreconsumo del recurso, comprometiendo la sostenibilidad del sistema hidrosanitario.
- Al reemplazar los caudales de diseño originales por los valores máximos establecidos en la NEC-11 (Capítulo de Instalaciones Hidrosanitarias), el consumo total de la vivienda se redujo a 936L/día, equivalente a 234L/hab/día. No obstante, la vivienda aún supera el valor de dotación permitido para la región, registrando un índice de eficiencia hídrica del 146%, lo que evidencia que el cumplimiento estrictamente normativo por sí solo no garantiza un uso eficiente del agua. Por tanto, debe complementarse con estrategias sostenibles adicionales que promuevan la reducción del consumo.
- La incorporación de aparatos sanitarios de bajo consumo permitió una reducción significativa del uso de agua, disminuyendo el consumo total a 541.8L/día, lo que se refleja en un consumo per cápita de 135.45L/hab/día y en un índice de eficiencia hídrica del 85%, cumpliendo así el criterio de eficiencia para la región amazónica. Al integrar hábitos de uso responsable y sistemas de aprovechamiento de agua lluvia, el consumo total descendió hasta 241.4L/día, con un consumo per cápita de 60.35L/hab/día, alcanzando un índice de eficiencia del 38%. Estos resultados consolidan la sostenibilidad del sistema hidrosanitario y demuestran el potencial de las estrategias combinadas (tecnológicas y de comportamiento) para lograr un uso racional del recurso.
- El análisis de la memoria técnica eléctrica reveló que la vivienda base presenta un consumo total de 2,965KWh/año, con una intensidad energética de

55.9KWh/m²/año. La simulación energética realizada en DesignBuilder identificó que el techo es el elemento con mayor aporte térmico, alcanzando los 71,079.02w/m² de ganancia anual, seguido por las ventanas, lo que provoca sobrecalentamiento interior y demuestra la ineficiencia energética del diseño original.

- La aplicación de estrategias pasivas de eficiencia, control solar en ventanas, aislamiento térmico en cubierta y muros, e iluminación eficiente redujo el consumo energético específico de 35.80KWh/m²/año a 4.16KWh/m²/año, alcanzando un ahorro del 88.38% del consumo anual. Estas acciones también disminuyeron la temperatura operativa interior en 0.94°C, redujeron las ganancias solares en la cubierta en 83.97% y en las ventanas en 71.80%, transformando una vivienda con sobrecalentamiento y alta demanda energética en una solución térmicamente estable, eficiente y confortable.
- Los indicadores de eficiencia demuestran que la vivienda optimizada supera ampliamente al diseño original del MIDUVI, alcanzando un índice de eficiencia hídrica del 21.06% con un ahorro del 78.94% en el consumo de agua, y un índice de eficiencia energética del 11.62% con una reducción del 88.38% en el consumo de energía. Para mantener estos resultados, es esencial el compromiso de los usuarios y la comunidad, fomentando hábitos responsables de consumo que garanticen la sostenibilidad real del sistema.
- La implementación de las mejoras incremento el costo de la vivienda de USD 12,052.18 en el diseño original a USD 13,921.92 en la propuesta optimizada, lo que representa un aumento del 15.51%. Sin embargo, gracias a la reducción en los consumos de agua y energía, este valor adicional se recupera en aproximadamente tres a cuatro años, tras los cuales la vivienda continúa generando beneficios económicos y ambientales sostenibles a lo largo de su vida útil.

.4.2. Recomendaciones

- Implementar estrategias pasivas de diseño climático en futuras viviendas del MIDUVI en la Amazonía y en otras regiones del país, considerando la orientación, ventilación cruzada, uso de aleros y materiales con buena inercia térmica, con el fin de reducir la carga térmica y mejorar el confort sin aumentar el consumo energético. Estrategias como el uso de persianas, generan una barrera que disminuye la incidencia solar y el calor a la cámara de aire de la ventana, logrando la máxima reducción del Factor Solar en conjunto ventana - persiana ($SHGC \leq 0.15$, en la posición de sombreado).
- Promover la instalación de sistemas de captación y reutilización de agua lluvia, especialmente para usos no potables como riego, limpieza o sanitarios, adaptando los diseños a la normativa INEN y considerando la alta pluviosidad de la región amazónica.
- Fomentar el uso de materiales locales y de bajo impacto ambiental, en viviendas de interés social, prefiriendo aquellos con menor huella de carbono y que permitan aplicar principios de economía circular, como el uso de residuos de construcción y demolición o materiales certificados fabricados a partir de materias primas secundarias.
- Aplicar herramientas de simulación energética e hídrica desde las etapas iniciales del diseño arquitectónico, como DesignBuilder o similares, para evaluar de forma anticipada el comportamiento del edificio y optimizar la toma de decisiones técnicas.
- Capacitar a técnicos, diseñadores y funcionarios del MIDUVI en criterios de sostenibilidad y diseño bioclimático, con el fin de institucionalizar prácticas responsables en los programas de vivienda social del país.
- Incluir especificaciones de iluminación, luminarias de tecnología LED con una alta eficiencia lumínica (lúmenes/vatio) y sistemas de control (sensores de presencia u programados).
- Para lograr una reducción significativa en la ganancia de calor de las edificaciones de hasta un 80% como en el presente estudio, se recomienda el uso de un aislamiento de alta eficiencia, un valor de $U \leq 0.51 \text{w/m}^2\text{k}$., o una resistencia térmica $R > 1.92 \text{m}^2\text{k/w}$, para mitigar la carga solar masiva.

4.3. Futuras Investigaciones

- Profundizar en futuros estudios el análisis de costo-beneficio de incorporar tecnologías sostenibles, como el uso de productos y materiales sostenibles incluyendo una evaluación del ciclo de vida (LCA) y análisis económico de retorno de inversión (ROI) detallado, para demostrar su viabilidad a largo plazo.
- Ampliar este tipo de investigaciones a otras zonas climáticas del Ecuador, comparando estrategias sostenibles en Sierra, Costa y Amazonía, para construir un marco de diseño regionalizado y eficiente a nivel nacional.
- Evaluar el comportamiento térmico y energético de la vivienda con materiales alternativos locales (como madera certificada, bahareque, bloques de tierra comprimida u otros), mediante simulaciones y/o estudios experimentales, para determinar su impacto real en la eficiencia y la sostenibilidad del diseño.
- Aplicar técnicas de monitoreo in situ en viviendas construidas, mediante sensores de temperatura, humedad, consumo de energía y agua, para validar los resultados obtenidos por simulación en DesignBuilder y mejorar los modelos de predicción.
- Explorar la integración de sistemas fotovoltaicos, calentadores solares y otras fuentes renovables, evaluando su viabilidad técnica, económica y el impacto en la reducción de emisiones de CO₂ a lo largo de la vida útil en edificios de apartamentos de interés social.

BIBLIOGRAFÍA

- AIE. (2015). *Indicadores de Eficiencia Energética: Bases Esenciales para el Establecimiento de Políticas*. www.iea.org/t&c/
- ARCONEL. (2023.). *Estadística Anual y Multianual 2023 DEL SECTOR ELÉCTRICO ECUATORIANO Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables*. Retrieved November 2, 2025, from <https://www.rekursyenergia.gob.ec>
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2014). LEY ORGANICA DE RECURSOS HIDRICOS USOS Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA Registro Oficial Suplemento 305 de 06-ago.-2014. 2014. www.lexis.com.ec
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2019, March 19). *Ley Orgánica de Eficiencia Energética Suplemento del Registro Oficial N° 449*. 2019. www.registroficial.gob.ec
- ASHRAE. (2016). *ASHRAE 90.1 – Energy Standard for Buildings*. <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standard-90-1>
- ASHRAE. (2017). *Thermal Environmental Conditions*. <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standard-55>
- ASHRAE. (2019). *Normas 62.1 y 62.2 Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*. <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standards-62-1-62-2>
- Baker, E., Moore, T., Daniel, L., Caines, R., Padilla, H., Lester, L., Baker, E., Moore, T., Daniel, L., Caines, R., & Padilla, H. (2023). *From the AHURI Inquiry: Inquiry into housing in a circular economy Sustainable social housing retrofit? Circular economy and tenant trade-offs AHURI Final Report No. 397 Sustainable social housing retrofit? Circular economy and tenant trade-offs i Title* <https://doi.org/10.18408/ahuri3128301>
- Castillo-Ávalos Yerko, & Rovira-Pinto Adriano. (2013). Eficiencia hídrica en la vivienda. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 159–171.
- CEPAL. (2023). *Los servicios básicos de agua potable y electricidad como sectores clave para la recuperación transformadora en América Latina y el Caribe | CEPAL*. <https://www.cepal.org/es/enfoques/servicios-basicos-agua-potable-electricidad-como-sectores-clave-la-recuperacion>
- Crawley, D. B., Hand, J. W., Kummert, M., & Griffith, B. T. (2008). Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs. *Building and Environment*, 43(4), 661–673. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2006.10.027>
- Curado, M. T., Resende, R., Vasco, &, & Rato, M. (2024). Sustainability: Science, Practice and Policy Circular economy: current view from the construction industry based on published definitions Brief report Circular economy: current view from the construction industry based on published definitions. *SuSustainability: Science, Practice and Policy*, 20(1), 2364954. <https://doi.org/10.1080/15487733.2024.2364954>

- DesignBuilder Software Ltd. (2025a). *Agua caliente sanitaria*.
https://designbuilder.co.uk/helpv7.0/Content/Domestic_Hot_Water.htm
- DesignBuilder Software Ltd. (2025b). *DesignBuilder CFD*.
- DesignBuilder Software Ltd. (2025c). *DesignBuilder CFD Manual 1.5 2*.
https://www.designbuildersoftware.com/docs/designbuilder/DesignBuilder_CFD_DraftManual.pdf
- Devos K. (2025). *Are salvaged materials the future of building design?*
<https://www.ft.com/content/98fb67a0-5f66-49ae-98ef-b00f3b358a3f>
- Duran, M. (2025). *Residents' values: Co-designing social housing retrofit*.
<https://doi.org/10.3390/architecture5030058>
- ECyL Rural. (2025). *PROYECTO SUREFIT - Europe Direct*. ECyL Rural.
<https://edcastillayleonrural.eu/proyecto-surefit/>
- Ekos Negocios. (2024). *'Harmony', de Rosero Construye, se convierte en el primer edificio carbono neutro del Ecuador*. | Ekosnegocios. Ekos Negocios.
<https://ekosnegocios.com/articulo/harmony-de-rosero-construye-se-convierte-en-el-primer-edificio-carbono-neutro-del-ecuador>
- El Amazónico. (2023, October 23). *50 soluciones habitacionales cien por ciento subsidiadas se entregarán en Zamora – Diario*. <https://www.elamazonico.com/portal/50-soluciones-habitacionales-cien-por-ciento-subsidiadas-se-entregaran-en-zamora/>
- EMAPAZ EP. (2024). *homeemapaz - EMAPAZ EP*. <https://www.emapaz.gob.ec/>
- EPCPT, & MIDUVI. (2019). *Expediente Técnico de Vivienda Unifamiliar 2D – EPCPT/MIDUVI*.
- European Commission. (2024). *Construyendo un camino hacia la eficiencia energética | Noticias | CORDIS | Comisión Europea*. CORDIS – EU Research Results.
<https://cordis.europa.eu/article/id/450532-building-a-path-towards-energy-efficiency>
- European Parliament, & Council. (2010). Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast). *Official Journal of the European Union (OJEU)*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/>
- EVO. (2012). *International Performance Measurement and Verification Protocol Concepts and Options for Determining Energy and Water Savings Volume 1*. www.evo-world.org
- Financial Times. (2023). *How to build a biodegradable house*.
<https://www.ft.com/content/afef59a5-12c7-4195-aa13-792b03e061f7>
- Ghaffarianhoseini, A., Dahlan, N. D., Berardi, U., Ghaffarianhoseini, A., Makaremi, N., & Ghaffarianhoseini, M. (2013). Sustainable energy performances of green buildings: A review of current theories, implementations and challenges. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 25, pp. 1–17). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.01.010>

- Gonzalo, D. A., Santamaría, M., Montero Burgos, B. ;, Caggiano, A., Portnov, B. A., Del, F., Gonzalo, A., Santamaría, B. M., Jesús, M., & Burgos, M. (2023). Assessment of Building Energy Simulation Tools to Predict Heating and Cooling Energy Consumption at Early Design Stages. *Sustainability* 2023, Vol. 15, Page 1920, 15(3), 1920. <https://doi.org/10.3390/SU15031920>
- Government of Canada. (2022). *RETSscreen - Recursos Naturales Canadá*. <https://natural-resources.canada.ca/maps-tools-publications/tools-applications/retscreen>
- Grupo Solinc. (2025). *Sun Moon Mansion: El edificio solar más grande del mundo* -. Grupo Solinc. <https://gruposolinc.com/sun-moon-mansion/>
- Halliday, S. (2018). *Sustainable Construction*. <https://doi.org/10.1201/9781315514819>
- IEA. (2023). *Buildings - Energy System - IEA*. <https://www.iea.org/energy-system/buildings>
- IFC. (2023). *Building Green: Sustainable Construction in Emerging Markets*. www.ifc.org.
- INEC. (2024.). *Información Ambiental en Hogares*. Retrieved November 1, 2025, from <https://www.ecuadorencifras.gob.ec>
- INEC. (2022). *Un Método Alternativo para Medir el DÉFICIT HABITACIONAL UN MÉTODO ALTERNATIVO PARA MEDIR EL DÉFICIT HABITACIONAL-CENSO ECUADOR 2022 Créditos Institucionales*.
- INEC. (2024). *Estimaciones y Proyecciones de la Población de Ecuador, Revisión 2024 – Boletín Técnico*. www.ecuadorencifras.gob.ec
- INEN 035. (2019). *Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 035 (1R). Eficiencia energética en artefactos de refrigeración de uso doméstico. Reporte de consumo de energía, métodos de prueba y etiquetado*. <https://www.tuv.com/regulations-and-standards/en/ecuador-first-revision-1r-of-ecuadorian-technical-regulation-rte-inen-035-energy-efficiency-of-household-refrigeration-appliances.html>
- INEN 036. (2010). *INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN REGLAMENTO TÉCNICO ECUATORIANO RTE INEN 036:2010 EFICIENCIA ENERGÉTICA. LÁMPARAS FLUORESCENTES COMPACTAS. RANGOS DE DESEMPEÑO ENERGÉTICO Y ETIQUETADO*.
- ISO. (2007). *ISO 10456:2007 - Materiales y productos de construcción — Propiedades higrotérmicas — Valores de diseño tabulados y procedimientos para determinar los valores térmicos declarados y de diseño*. <https://www.iso.org/standard/40966.html>
- ISO. (2014). *Energy management systems-Measuring energy performance using energy baselines (EnB) and energy performance indicators (EnPI)-General principles and guidance(E) ii COPYRIGHT PROTECTED DOCUMENT*. www.iso.org
- ISO. (2017). *ISO 52000-1:2017(en), Energy performance of buildings — Overarching EPB assessment — Part 1: General framework and procedures*. <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:52000:-1:ed-1:v1:en>

- ISO. (2018). *ISO - ISO 50001 — Gestión de la energía*. <https://www.iso.org/iso-50001-energy-management.html>
- IUC – International Urban Cooperation. (2020). *CONSTRUCCIÓN VERDE Santiago – Edificio Transoceánica*. <http://www.transoceanica.cl/>
- Kibert, C. J. . (2022). *Sustainable construction : green building design and delivery*. 634. <https://www.oreilly.com/library/view/sustainable-construction-5th/9781119706458/>
- Kitsopoulou, A., Bellos, E., & Tzivanidis, C. (2024). An Up-to-Date Review of Passive Building Envelope Technologies for Sustainable Design. *Energies 2024, Vol. 17, Page 4039*, 17(16), 4039. <https://doi.org/10.3390/EN17164039>
- MAAP – Monitoring of the Andean Amazon Project. (2024). *MAAP #230: Minería en la Amazonía ecuatoriana, Sector Central - Provincia de Napo - MAAP*. <https://www.maaprogram.org/ecuador-mining-napo/>
- Manga, M., Ngobi, T. G., Okeny, L., Acheng, P., Namakula, H., Kyaterekera, E., Nansubuga, I., & Kibwami, N. (2021). The effect of household storage tanks/vessels and user practices on the quality of water: a systematic review of literature. In *Environmental Systems Research* (Vol. 10, Issue 1). Springer Medizin. <https://doi.org/10.1186/s40068-021-00221-9>
- MIDUVI. (2018). *Tipologías de vivienda aprobadas – Programa Casa Para Todos*. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/TIPOLOGÍAS-DE-VIVIENDA-APROBADAS.pdf>
- MIDUVI. (2020a). *NEC-HS-ER-Energías-Renovables*. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>
- MIDUVI. (2020b). *Norma Ecuatoriana de la Construcción – Capítulo NEC-HS-CL Climatización*. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/03/NEC-HS-EE-Final.pdf?>
- MIDUVI. (2021). *Norma Ecuatoriana de la Construcción – Eficiencia Energética en Edificaciones Residenciales (NEC-HS-EE)*. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/03/NEC-HS-EE-Final.pdf>
- MIDUVI. (2024). *Informe Narrativo de Rendición de Cuentas año 2023*. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2024/03/Informe-Narrativo-de-Rendicion-de-Cuentas-ano-2023-15-03-2024-rev-ml-20-03-2024.pdf>
- Ministerio de Energía y Minas. (2023.). *Energía, sociedad y ambiente*. Retrieved November 2, 2025, from <https://www.rekursosyenergia.gob.ec>
- Naciones Unidas. (2015). *TRANSFORMING OUR WORLD: THE 2030 AGENDA FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT UNITED NATIONS UNITED NATIONS TRANSFORMING OUR WORLD: THE 2030 AGENDA FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT*.

- <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf>
- Navalta, R., & Fox, M. S. (2019). *A Water and Sanitation Ontology for Global City Indicators (ISO 37120)*.
- ONU - Hábitat. (2024). *State of efforts to progressively realize adequate housing for all*.
<https://au.int/agenda2063>.
- ONU. (2025). *Objetivos y metas de desarrollo sostenible - Desarrollo Sostenible (ODS)*.
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Ossio, F., Salinas, C., & Hernández, H. (2023). Circular economy in the built environment: A systematic literature review and definition of the circular construction concept. *Journal of Cleaner Production*, 414, 137738. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2023.137738>
- PDOT - Timbara. (2023). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia Timbara 2023–2027*.
- Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., & Pout, C. (2008). A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*, 40(3), 394–398.
<https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2007.03.007>
- Phuong, V. N. V. (2023). Situation and solutions for the construction industry in the trend of green economic development in Vietnam. *E3S Web of Conferences*, 403, 02019.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340302019>
- Rodrigues, F., Silva-Afonso, A., Pinto, A., Macedo, J., Santos, A. S., & Pimentel-Rodrigues, C. (2020). Increasing water and energy efficiency in university buildings: a case study. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(5), 4571–4581.
<https://doi.org/10.1007/s11356-019-04990-w>
- Rosa e Silva, M. C. S., Vaz, I. C. M., & Ghisi, E. (2025). *Rainwater Harvesting in Social Housing: An Analysis Across Twelve Cities in Brazil*. 4.
<https://doi.org/10.3390/eesp2025032004>
- SUREFIT Project. (2025). *Casos de éxito del proyecto Surefit - Todos los casos de éxito del proyecto*. <https://surefitproject.eu/success-stories/>
- Taušová, M., Čulková, K., Kudelas, D., Gabániová, L., Koščo, J., & Mehana, I. (2022). Evaluation of Water Resources through Efficiency Index and Water Productivity in EU. *Energies* 2022, Vol. 15, Page 9123, 15(23), 9123. <https://doi.org/10.3390/EN15239123>
- The Guardian. (2024, June 18). *'People think they'll smell but they don't': homes built from mushrooms-mycohab-mycelium*.
<https://www.theguardian.com/environment/article/2024/jul/18/namibia-homes-built-from-mushrooms-mycohab-mycelium>
- Uddin, M. A., Shahabuddin, M., Jameel, M., Rahman, M., Hosen, A., Alanazi, F., AbdelMongy, M., & El-kady, M. S. (2025). Sustainable construction practices in urban areas: innovative

- materials, technologies, and policies to address environmental challenges. *Energy and Buildings*, 341, 115831. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2025.115831>
- UNEP. (2024). *Global Status Report for Buildings and Construction: Beyond foundations: Mainstreaming sustainable solutions to cut emissions from the buildings sector*. United Nations Environment Programme. <https://doi.org/10.59117/20.500.11822/45095>
- United Nations. (2020.). *The Sustainable Development Goals Report 2020*. Retrieved November 2, 2025, from <https://unstats.un.org/sdgs/report/2020/>
- U.S. Green Building Council USGBC. (2021). *WE Prerequisite: Indoor Water Use Reduction (LEED v4 BD+C Reference Guide)*. <https://www.usgbc.org/node/2756240>
- Waterwise. (2022). *UK Water Efficiency Strategy to 2030*.
- WHO, & UNICEF. (2021). *WHO/UNICEF Joint Monitoring Programme for Water Supply, Sanitation and Hygiene Special focus on inequalities*. Retrieved November 2, 2025, from <https://apps.who.int/iris>
- World Economic Forum. (2024). *WEF_Towards_Green_Building_Value_Chains_2024*.
- World Green Building Council. (2023, July). *2023 Advancing Net Zero Status Report*. https://worldgbc.org/wp-content/uploads/2023/07/WorldGBC-ANZ-Status-Report-2023_FINAL-compressed_1.pdf
- Zajemska, M., Wojtyto, D., Michalik, J., & Berski, S. (2025). Review of Current Trends in Sustainable Construction. In *Energies* (Vol. 18, Issue 10). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/en18102559>

ANEXOS

Anexo 1 - Informe del Carbono Incorporado y Equivalente en la vivienda 2D

Se incluye el informe generado por el software, en el cual se cuantifica el carbono incorporado y el carbono equivalente de los materiales utilizados en la Vivienda Tipo 2D.

Descripción del Cálculo:

Los datos estimados de carbono incorporado y carbono equivalente mostrados a continuación se basan en datos de carbono a granel obtenidos de Bath ICE y otras fuentes de datos. El carbono incorporado asociado a los servicios del edificio, como el equipo HVAC (calefacción, ventilación y aire acondicionado), no está cubierto en estos resultados.

El carbono equivalente es similar al carbono incorporado, pero también incluye los efectos de otros gases de efecto invernadero para proporcionar una cantidad equivalente de CO₂ que causaría la misma cantidad de calentamiento global que los gases de efecto invernadero reales (que pueden incluir dióxido de azufre, metano, etc.) emitidos por los procesos involucrados en la producción del material.

Debe asegurarse de que todos los materiales de construcción y sistemas de acristalamiento utilizados en el proyecto tengan estos datos definidos en la pestaña "Carbono incorporado" de los diálogos de materiales y acristalamiento.

Los resultados son solo indicativos y es responsabilidad del usuario asegurarse de que los datos de entrada se verifiquen y se comprenda la base de los cálculos.

Inventario y Carbono Incorporado de Materiales

Material	Área (m ²)	Carbono Incorporado (kgCO ₂)	CO ₂ Equivalente (kgCO ₂)	Masa (kg)
Envolvente caucho pared	100.5	1235.0	1351.1	351.8
Bloques/baldosas de hormigón - bloque aireado	100.5	2488.0	2563.4	7539.5
Baldosas cerámicas/arcilla - baldosas de piso cerámico Seco	47.3	222.0	222.0	482.6
Roble Pintado / madera	6.0	0.0	0.0	148.2
Aislamiento de techo	48.6	2.2	2.4	1.8
Acero (techo)	7.6	314.9	339.9	177.9

Concreto de 4 in. a R-0.0625/in (NW 145 lb/ft3 concreto sólido)	47.3	0.0	0.0	11158.3
Subtotal		4,262.2	4,478.7	19,860.1

Inventario y Carbono Incorporado de Construcciones

Construcción	Área (m ²)	Carbono Incorporado (kgCO ²)	CO ² Equivalente (kgCO ²)
Puerta de metal	3.8	314.9	339.9
cielo falso	48.6	2.2	2.4
Puerta de madera	6.0	0.0	0.0
pared 2d	100.5	3723.0	3914.5
CONCRETO de piso intermedio - Losa de concreto de 4 in. (100mm)	47.3	222.0	222.0
Subtotal	206.3	4262.15	4478.72

Inventario y Carbono Incorporado de Acristalamiento

Acristalamiento	Área (m ²)	Carbono Incorporado (kgCO ²)	CO ² Equivalente (kgCO ²)
Acristalamiento interno del proyecto	2.6	71.1	71.1
Dbl Bronce 6mm/13mm Aire	10.8	389.1	389.1
Sombreado local		540.4	540.4
Sombreado de ventana		540.4	540.4
Subtotal	13.4	1541.0	1541.0

Inventario y Carbono Incorporado de Renovables

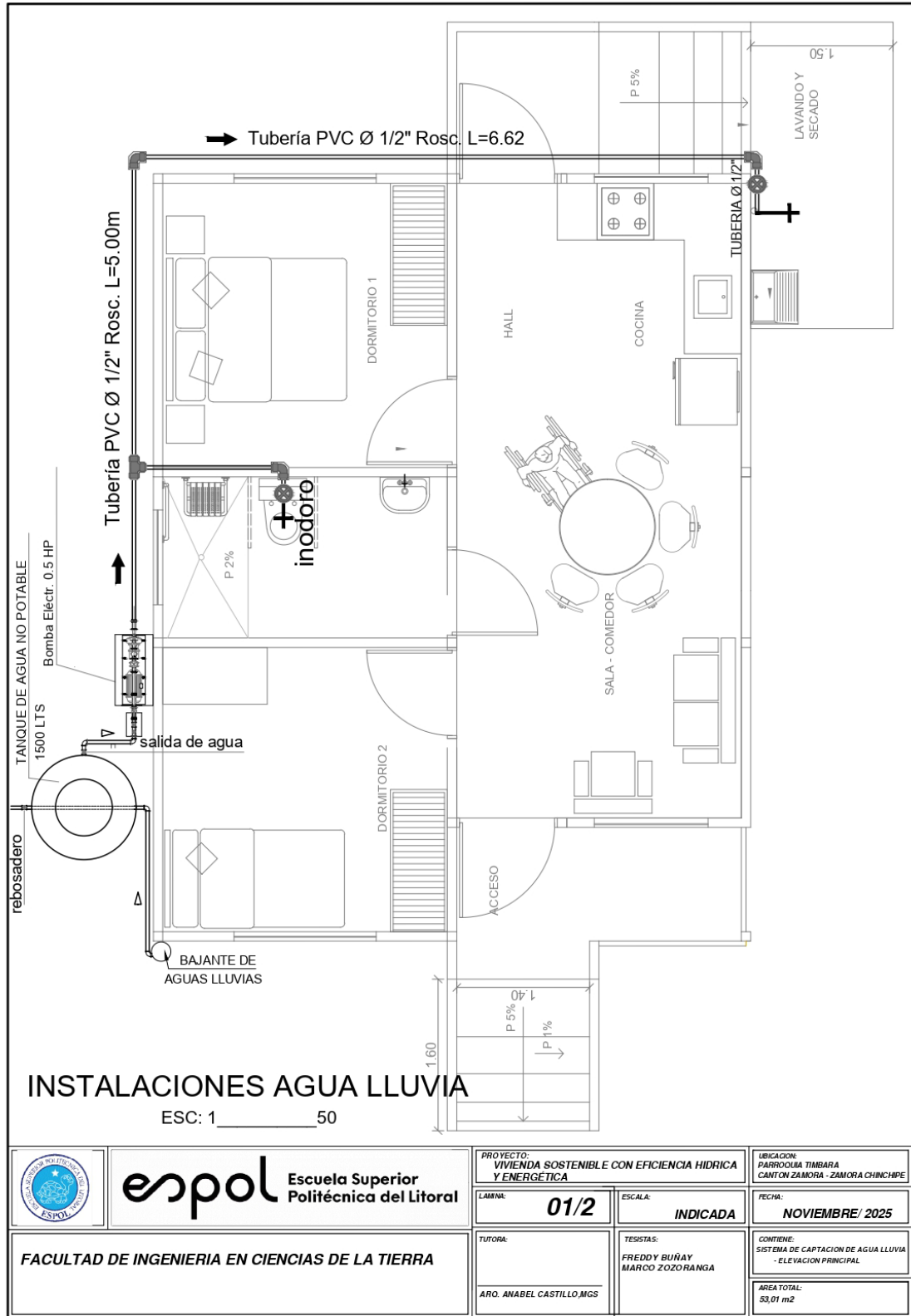
Renovables	Área (m ²)	Carbono Incorporado (kgCO ²)	CO ² Equivalente (kgCO ²)
Paneles fotovoltaicos (PV Panels)	0.0	0.0	0.0
Subtotal	0.0	0.0	0.0

Total, carbono incorporado en la Vivienda 2D

Métrica	Valor
Área Total	219.7 m ²
Carbono Incorporado Total	5803.2 kgCO ²
CO² Equivalente Total	6019.8 kgCO²

Anexo 2 – Laminas de equipamiento hídrico y energético para la vivienda 2D

- Sistema de aprovechamiento de agua lluvia – Planta de equipamiento sanitario



espol Escuela Superior
Politécnica del Litoral

FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

PROYECTO:
VIVIENDA SOSTENIBLE CON EFICIENCIA HIDRICA
Y ENERGETICA

LAMINA:
01/2

ESCALA:
INDICADA

UBICACION:
PARROQUIA TIMBARA
CANTON ZAMORA - ZAMORA CHINCHIPE

FECHA:
NOVIEMBRE/ 2025

TUTORA:

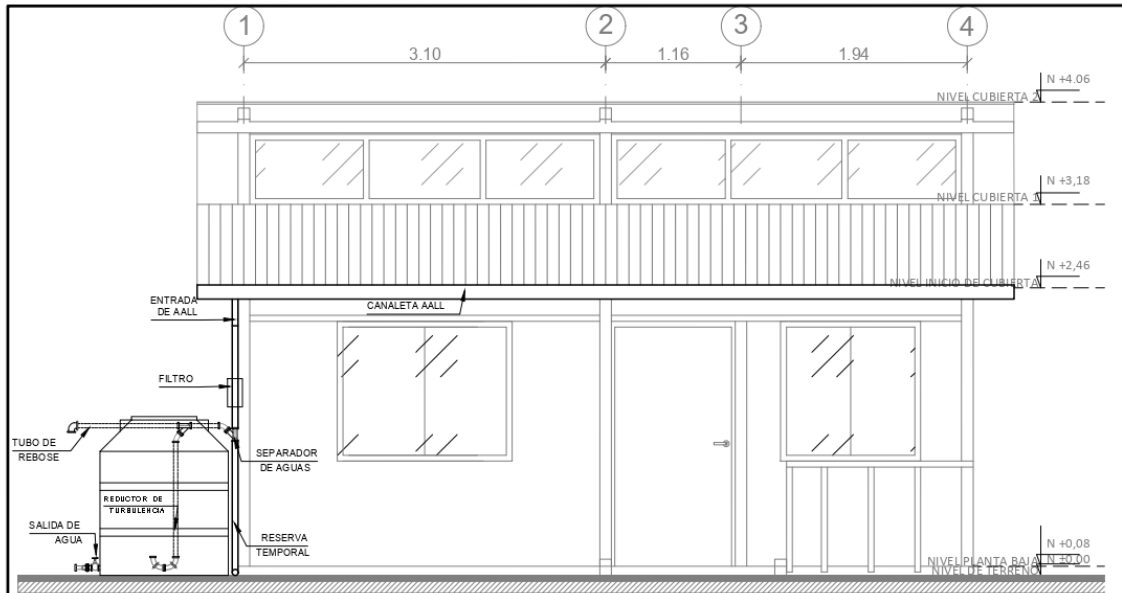
ARO. ANABEL CASTILLO, MGS

TESISTAS:
FREDDY BUÑAY
MARCO ZOZORANGA

CONTIENE:
SISTEMA DE CAPTACION DE AGUA LLUVIA
- ELEVACION PRINCIPAL

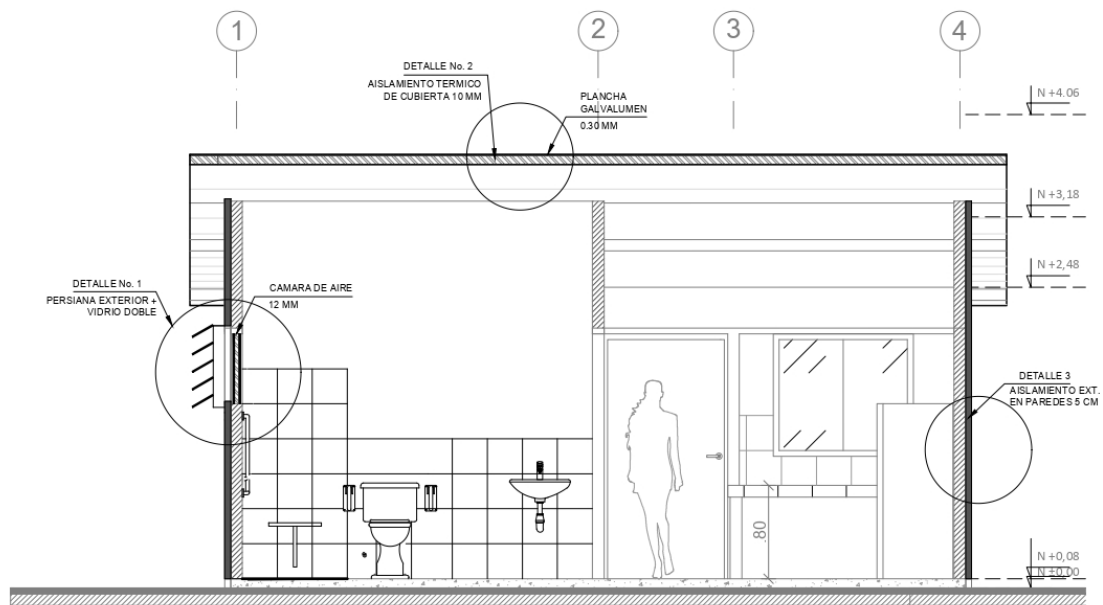
AREA TOTAL:
53,01 m²

- Sistema de aprovechamiento de agua lluvia y especificaciones constructivas para la mejora del confort térmico – Elevación.



EFICIENCIA HÍDRICA - ELEVACION

ESC: 1 _____ 50



EFICIENCIA ENERGETICA - ELEVACION

ESC: 1 _____ 50

	espol Escuela Superior Politécnica del Litoral	PROYECTO: VIVIENDA SOSTENIBLE CON EFICIENCIA HIDRICA Y ENERGETICA	UBICACION: PARROQUIA TIMBARA CANTON ZAMORA - ZAMORA CHINCHIPE
		LAMINA: 02/2	ESCALA: INDICADA
FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA		TUTORA: ARO. ANABEL CASTILLO.MGS	TESTISTAS: FREDDY BUÑAY MARCO ZOZORANGA
		CONTIENE: SISTEMA DE CAPTACION DE AGUA LLUVIA - ELEVACION PRINCIPAL	
		AREA TOTAL: 53,01 m ²	