



Ciencia Latina
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), noviembre-diciembre 2024,
Volumen 8, Número 6.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i6

**ESTUDIO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN
UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR USANDO LOS
PROGRAMAS COMPUTACIONALES CERMA Y
CE3X.**

**STUDY OF THE ENERGY EFFICIENCY OF A SINGLE-FAMILY
HOUSE USING THE CERMA AND CE3X COMPUTER
PROGRAMS.**

Robinson José García Gavilánez

Universidad Internacional de Investigación México

Carlos Miguel Garzón Cárdenas

Investigador independiente. Quito y Ecuador

Estudio de la eficiencia energética en una vivienda unifamiliar usando los programas computacionales CERMA y CE3X

Robinson José García Gavilánez¹

robinson.jose.garcia.gavilanez@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0005-0929-3844>

Universidad Internacional de Investigación
México

Carlos Miguel Garzón Cárdenas

carlosmiguelaries1974@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0005-1414-5547>

Investigador independiente. Quito y Ecuador

RESUMEN

Este artículo analiza la eficiencia energética de una vivienda unifamiliar en Quito, Ecuador. Este fue evaluado mediante simulaciones computacionales implementadas utilizando los softwares CERMA y CE3X, en particular, esta casa, construida en 1995, originalmente tuvo una calificación de E, reflejando un alto consumo de energía primaria no renovable, es decir, 250 kWh/m²·año, así como altas emisiones de CO₂, a saber, 75 kg/m²·año, las medidas que se aplicaron en su calidad incluyeron la instalación de aislamiento de muro, techo y suelo, la adopción de una caldera de biomasa para ACS y calefacción, así como un sistema solar térmico, después de la implementación de varias intervenciones, la casa registró un consumo energético de 80 kWh/m²·año, una disminución del 68%, y emisiones de CO₂ de 20 kg/m²·año, una disminución del 73%, lo permitió obtener una calificación energética de A, los resultados son concluyentes al demostrar una viabilidad técnica y ambiental, destacando la necesidad de combinar alternativas para mejorar la eficiencia energética como implementar energías renovables, estrategias de aislamiento para optimizar el consumo energético.

Palabras clave: cerma, ce3x, eficiencia energética, calificación energética

¹ Autor principal

Correspondencia: robinson.jose.garcia.gavilanez@gmail.com

Study of the energy efficiency of a single-family house using the CERMA and CE3X computer programs

ABSTRACT

This article analyzes the energy efficiency of a single-family home located in Quito, Ecuador. The evaluation was conducted through computational simulations implemented using CERMA and CE3X software. Specifically, this house, built in 1995, initially received an energy rating of E, reflecting high consumption of non-renewable primary energy, amounting to 250 kWh/m²·year, and significant CO₂ emissions of 75 kg/m²·year. The applied improvement measures included the installation of wall, roof, and floor insulation, the adoption of a biomass boiler for domestic hot water (DHW) and heating, as well as a solar thermal system. Following the implementation of these interventions, the house recorded an energy consumption of 80 kWh/m²·year, representing a 68% reduction, and CO₂ emissions of 20 kg/m²·year, a 73% decrease. This improvement achieved an energy rating of A. The results conclusively demonstrate technical and environmental feasibility, emphasizing the importance of combining renewable energy solutions with insulation strategies to optimize energy consumption.

Keywords: cerma, ce3x, energy efficiency, energy rating

Artículo recibido 23 octubre 2024

Aceptado para publicación: 25 noviembre 2024



INTRODUCCIÓN

El sector de la construcción es uno de los principales responsables de las emisiones globales de CO₂, representando aproximadamente el 37% del total de emisiones derivadas del consumo de energía en 2020, para abordar este problema y alinearse con el Acuerdo de París, existe un enfoque creciente en la infraestructura sostenible, de bajas emisiones de carbono y resiliente, tanto en los sectores público como privado (Alvear, Esmaeili, González-Mahecha, Hernandez, & Minoja, 2022).

La eficiencia energética y el desarrollo de fuentes de energía renovable se consideran los caminos más viables hacia una energía sostenible (Rodríguez Ponce, Sánchez García, & Soto Carrión, 2022). La industria de la construcción está implementando diversas soluciones para el ahorro de energía, incluyendo materiales energéticamente eficientes y la mejora del rendimiento térmico de los componentes constructivos (Ismail, y otros, 2023) .

Sin embargo, los esfuerzos actuales para desvincular las emisiones de CO₂ del crecimiento económico son insuficientes para lograr la neutralidad de carbono para 2050 (Galindo, Reyes Martínez, & González, 2022). Para cumplir con los objetivos climáticos, el sector de la construcción debe incorporar medidas de mitigación y adaptación, que pueden generar beneficios ambientales, ahorros económicos, mayor confort para los usuarios y una resiliencia incrementada (Alvear, Esmaeili, González-Mahecha, Hernandez, & Minoja, 2022).

Estudios recientes destacan la importancia de la eficiencia energética en edificios, especialmente en economías emergentes como Ecuador. En Quito, el clima subtropical de altura genera fluctuaciones térmicas significativas, lo que aumenta la demanda energética para calefacción y refrigeración (Rueda, 2022). El alto potencial solar de Ecuador ofrece oportunidades para la implementación de energías renovables, con una capacidad fotovoltaica estimada que supera los 15 GW (Inca Yajamín, Cabrera Carrión, Villalta Gualán, Bautista Zurita, & Cabrera Carrión, 2023).

Investigaciones sobre materiales de construcción y técnicas constructivas revelan que el sistema Light Steel Framing (LSF) puede alcanzar mayores niveles de confort térmico en comparación con la mampostería tradicional en Cuenca, logrando un 62% de confort térmico horario anual sin mejoras y un 86% con mejoras (Brito-Peña, Villa-Enderica, & Zalamea-León, 2022). Auditorías energéticas y simulaciones demuestran el potencial de reducir significativamente el consumo de energía primaria no renovable y las emisiones de

CO₂ mediante mejoras en la eficiencia y la integración de energía solar térmica (Rueda, 2022). Además, la incorporación de materiales regionales sostenibles, como la madera, puede contribuir al ahorro energético en la construcción (Jimenez & Jacobo, 2021).

Un potencial significativo para reducir el consumo de energía primaria no renovable y las emisiones de CO₂ es mediante mejoras en la eficiencia y la integración de energía solar térmica (Rueda, 2022). Los calentadores solares de agua para calefacción de espacios demostraron una eficiencia promedio del 59,09%, ofreciendo perspectivas prometedoras para aplicaciones de energía renovable en edificios (Arguello Bravo, Martínez-Gómez, & Urresta Suárez, 2021). Investigaciones sobre sistemas de microgeneración fotovoltaica conectados a la red para edificios de servicios eléctricos propusieron diseños con y sin almacenamiento en baterías, destacando la importancia del análisis técnico-económico para la viabilidad de la implementación (Angamarca Ipiales & Guevara Pajuña, 2020).

La importancia de la optimización energética y la certificación en edificios residenciales, la certificación energética obligatoria para viviendas puede reducir las asimetrías de información para los consumidores, pero requiere esfuerzos significativos de comunicación e implementación (Encinas, Bustamante, & Ladrón de Guevara, 2020). Un estudio sobre la optimización del rendimiento térmico y energético en climas templados demostró una reducción del 50 % en las cargas de refrigeración y del 30 % en las de calefacción mediante modificaciones en el diseño arquitectónico y simulaciones computacionales (Delgado-Ramírez, Díaz-Pineda, & Chi-Pool, 2023).

En Córdoba, España, una geocaracterización de la eficiencia energética de las viviendas reveló calificaciones predominantemente bajas, lo que sugiere la necesidad de estudios transdisciplinarios para desarrollar respuestas locales realistas al cambio climático (Cuerdo Vilches & Navas Martín). Otro estudio encontró que la metodología actual de certificación energética favorece de manera desproporcionada a las viviendas más grandes en el parámetro de agua caliente sanitaria, resaltando la necesidad de un enfoque más equilibrado (Asiain Martínez, Gonzalez García, Moron Fernandez, & Payan De Tejada)

Este estudio tiene por enfoque determinar el impacto de las medidas de mejora en la eficiencia energética de una vivienda unifamiliar en la ciudad de Quito en Ecuador, esas propuestas incluyen la implementación de sistemas térmicos de energía solar, el mejoramiento de los aislamientos térmicos de techos, suelos, paredes interiores y paredes exteriores, para hacer esto posible se utilizaran dos herramientas de simulación

que permitirán obtener la calificación energética de la vivienda tal y como esta en un inicio, identificar sus debilidades y establecer propuestas de mejora en calificación energética y disminuir las emisiones de CO₂, los programas utilizados son CERMA y CE3X.

METODOLOGÍA

Software de simulación utilizados

Para realizar el estudio de la eficiencia y calificación energética se usaron los softwares **CERMA** y **CE3X**, herramientas estándar que permiten la simulación del comportamiento térmico de edificaciones, muestran posibles alternativas de mejora y calculan el consumo de energía y las emisiones de CO₂.

CERMA: El programa permite obtener la calificación energética de la vivienda, en función de las características constructivas y geométricas de la envolvente, los sistemas térmicos y demás factores (UTN, 2023).

CE3X: Es una herramienta utilizada para la certificación energética de edificios en Europa, que permite evaluar el consumo energético y las emisiones de CO₂, además ayuda a comparar entre las diferentes alternativas de mejora en la eficiencia energética, tomando en cuenta aspectos técnicos y económicos (Castro-Fernández, Vilaragut Llanes, & Oloroun-Shola Bissiriou, 2021).

Simulación inicial de la envolvente de la vivienda en el programa CERMA

Para realizar la simulación se necesita primeramente establecer las características de la envolvente de la vivienda y las condiciones ambientales de la localidad.

Tabla 1. Características generales de la vivienda sin mejoras

Elemento	Descripción
Tipo de vivienda	Unifamiliar, de dos plantas.
Área total	120 m ²
Año de construcción	1995
Materiales principales	Ladrillo para muros, hormigón para suelos, techo de teja de arcilla.
Sistemas de calefacción	Caldera de gas para calefacción y agua caliente sanitaria (ACS).
Ventanas	Vidrio simple, marcos de aluminio.
Ubicación	Quito, Ecuador (clima subtropical de altura, con variaciones

térmicas moderadas).

Energías renovables

Ninguna (no se utiliza energía solar ni otras fuentes renovables).

Tabla 2. Características térmicas de los materiales constituyentes de la vivienda

Componente	Material	Conductividad térmica (W/m·K)	Espesor (cm)	Resistencia térmica (m ² ·K/W)
Muros exteriores	Ladrillo (15 cm)	0.72	15 cm	2.08
Techo	Teja de arcilla (5 cm)	0.60	5 cm	0.83
Suelos	Hormigón (10 cm)	1.40	10 cm	7.14
Ventanas	Vidrio simple (4 mm)	1.05	4 mm	0.0038

Con todos los datos recopilados de la vivienda en cuanto a sus dimensiones, zona climática equivalente y características de los materiales constructivos se procede con la simulación en el programa CERMA, la simulación inicial de la vivienda servirá para determinar el punto de partida en la que se encuentra la vivienda en consumo energético y emisiones de CO₂, con esto se podrá tomar decisiones e identificar los aspectos que necesitan una intervención.

Los pasos para realizar la simulación en CERMA son:

Ingresar los datos generales de la vivienda

En este apartado se selecciona el alcance del estudio, para este análisis se eligió certificación y verificación, un parámetro importante en este paso es la correcta selección de zona climática la cual establece los parámetros y características ambientales de la locación de la vivienda, al ser un programa desarrollado en España se debe realizar previamente un estudio de equivalencia climática, ese estudio ya se desarrolló en investigaciones anterior establecido que Quito equivale a una zona climática E1 (García Gaviláñez, 2019).



Fig. 1. Ingreso de datos generales de la vivienda, alcance del estudio CERMA

The screenshot shows the CERMA v4.2 interface. At the top, there are tabs for 'Edificio' (New/Existing) and 'Versión programa: CERMA v4.2 Septiembre 2016'. Below this, the 'Edificio (campos obligatorios)' section contains fields for:

- Nombre edificio: Vivienda Unifamiliar Quito Ecuador
- Ref. catastral/s: No disponible
- Año construcción: 2002
- Legislación aplicable: cte 2013
- Dirección: Quito-Ecuador Calle K y calle número 2
- Provincia: Teruel
- Municipio: Valdelinares
- CP: [empty]
- Comunidad Autónoma: Aragón
- a.s.n.m.: 1699
- latitud(°): 40.39
- Zona climática: Temperatura (HE1) E1
- Radiación (HE4) IV

 The 'Certificador (campos obligatorios)' section contains:

- Nombre apellidos: Robinson José García Gavilánez
- Razón social: Auditoria Energéica
- Domicilio: Quito-Ecuador
- Provincia: Teruel
- Municipio: Valdelinares
- CP: [empty]
- Comunidad Autónoma: Aragón
- e-mail: robinson.jose.garcia.gavilanez@gmail.com
- Titulación habilitante: Otros
- NIF: 0202295689
- CIF: 0202295689
- Telefono: 593978831675

Ingresar los datos detallados de la geometría y área de la vivienda

Es necesario especificar el número de habitaciones, el área habitable, el volumen, poner especial atención en los lugares húmedos como baños y la concina para que el programa establezca las renovaciones de aire.

Fig. 2. Ingreso de datos detallados del número habitaciones, áreas y volúmenes en CERMA

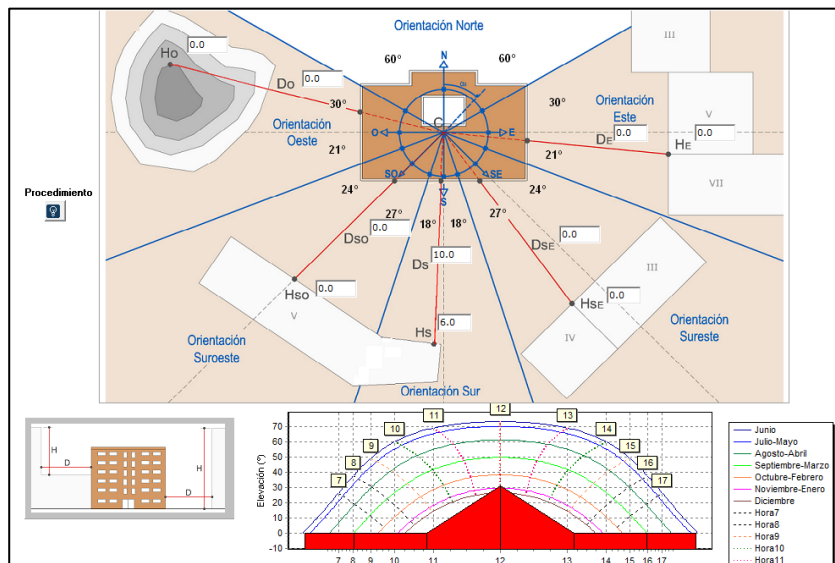
The screenshot shows the detailed data entry section of CERMA. It includes:

- Tipo de edificio:** Viviendas Unifamiliares
- Número de plantas sobre rasante:** 1
- Número de plantas bajo rasante:** 0
- Generales:**
 - Volumen total (m3): 322.4
 - Suelo habitable (m2): 128.9
 - Clase de higrometría: 3 (55%)
- Ayuda cálculo nº de renovaciones (CTE-HS3):**
 - espacios secos:
 - nº dormitorios dobles (>8* m2): 1
 - nº dormitorios sencillo (>6* m2): 1
 - nº de estar-comedor (>16* m2): 1
 - espacios húmedos:
 - nº de cuartos de baño: 2
 - Superficie cocina * (m2): 12.4
- Results:**
 - nº renovaciones: 0.61
 - nº renov/hora finales (utilizado por el programa): 0.61

Estudio de elementos de sombra que podrían afectar a la envolvente de la vivienda

La geometría, orientación y distancia a la que se encuentran otras construcciones es necesaria ya que esto podrá brindar resultados más precisos, en concreto la vivienda se ve afectada en su fachada sur por un edificio que se encuentra a una distancia de 10 metros y tienen una altura de 6 metros, sobre todo en los meses de noviembre y diciembre, de 7 am a 5 pm.

Fig. 5. Análisis de sobras que afectan a la vivienda en CERMA



Ingreso de características constructivas y térmicas de la envolvente de la vivienda

Los muros que están expuestos al exterior son la fachada Norte, la fachada Sur y una pequeña parte de la fachada Este, en el programa se ingresa el valor del área expuesta sin tomar en cuenta el área de puerta ni ventanas, también se establecen las características de los materiales constituyentes de las paredes.

Fig. 6. Definición del área en contacto con el exterior

Ext. Tipo 1

	Area total (m2)	Area fuera 1º plano (m2)
N,NO,NE	31.1	
U (W/m2K)	0.0	0.0
SO	0.0	0.0
S...	25.8	0.0
SE	0.0	0.0
E...	3.5	0.0

Muro exterior vivienda Qui

Fig. 7. Selección de los materiales constituyentes de los muros exteriores

Todos

Base Datos

CTE

SI

NO

	λ W/mK	den kg/m3	cp J/kgK	μ adimensional	rterm m2K/W	esp m
EPS Poliestireno Expandido [0.029 W/[mK]] (0,040 m)	0,029	30	1000	20	1,379	0,040
EPS Poliestireno Expandido [0.029 W/[mK]] (0,060 m)	0,029	30	1000	20	2,069	0,060
EPS Poliestireno Expandido [0.029 W/[mK]] (0,080 m)	0,029	30	1000	20	2,759	0,080
EPS Poliestireno Expandido [0.037 W/[mK]] (0,030 m)	0,037	30	1000	20	0,811	0,030
EPS Poliestireno Expandido [0.037 W/[mK]] (0,040 m)	0,037	30	1000	20	1,081	0,040
EPS Poliestireno Expandido [0.037 W/[mK]] (0,060 m)	0,037	30	1000	20	1,622	0,060
EPS Poliestireno Expandido [0.037 W/[mK]] (0,080 m)	0,037	30	1000	20	2,162	0,080
EPS Poliestireno Expandido [0.046 W/[mK]] (0,040 m)	0,046	30	1000	20	0,870	0,040
EPS Poliestireno Expandido [0.046 W/[mK]] (0,060 m)	0,046	30	1000	20	1,304	0,060
EPS Poliestireno Expandido [0.046 W/[mK]] (0,080 m)	0,046	30	1000	20	1,739	0,080
XPS Expandido con dióxido de carbono CO2 [0.034 W/[mK]] (0,040 m)	0,034	38	1000	100	1,176	0,040
XPS Expandido con dióxido de carbono CO2 [0.034 W/[mK]] (0,060 m)	0,034	38	1000	100	1,765	0,060
XPS Expandido con dióxido de carbono CO2 [0.034 W/[mK]] (0,080 m)	0,034	38	1000	100	2,353	0,080
XPS Expandido con dióxido de carbono CO2 [0.038 W/[mK]] (0,040 m)	0,038	38	1000	100	1,053	0,040
XPS Expandido con dióxido de carbono CO2 [0.038 W/[mK]] (0,060 m)	0,038	38	1000	100	1,579	0,060
XPS Expandido con dióxido de carbono CO2 [0.038 W/[mK]] (0,080 m)	0,038	38	1000	100	2,105	0,080

Incluir capa material

Crear cerramiento

Subtipo: F14 Otro

Nombre: Muro exterior vivienda Quito(D)(D)

Composición

EXTERIOR

esp m

λ W/mK

rterm m2K/W

rvapor

masa kg/m2

Coef. convección exterior (W/m2K) 25,00

Enlucido de yeso 1000 < d < 1300 (0,010 m)	0,010	0,570	0,018	0,06	12
1 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm (0,150 m)	0,150	0,743	0,202	1,50	0
Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	0,010	0,700	0,014	0,10	14

La pared Este y Oeste están en contacto con espacios habitados por otras viviendas, por lo que a estas fachadas se consideran medianeras, de igual manera en el programa se define el área y las características constructivas de esas paredes.

Fig. 8. Área de las medianeras

En contacto terreno

Profundidad 1.0 m

Area (m2) 0.0

U (W/m2K) 0.00

No definido

Particiones interiores con unid. distinto uso, zonas comunes y medianeras

92.1

1.45

Mediadera Quito

Particiones interiores cuando delimiten unidades mismo uso

0.00

No definido

Fig. 9. Selección de los materiales constituyentes de las medianeras

Composición	OTRO LOCAL	esp m	λ W/mK	rterm m2K/W	rvapor	masa kg/m2
Mortero de yeso (0,010 m)		0,010	0,800	0,012	0,06	15
1 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm (0,150 m)		0,150	0,743	0,202	1,50	0
1 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm (0,150 m)		0,150	0,743	0,202	1,50	0
Mortero de yeso (0,010 m)		0,010	0,800	0,012	0,06	15

Las paredes interiores usadas para separar las diferentes estancias de la vivienda se consideran como tabiques, en el programa se ingresa su área y se deja por defecto la profundidad de contacto terreno.

Fig. 10. Área de la paredes interiores o tabiques

En contacto terreno

Profundidad 1.0 m

Area (m2) 62.6

U (W/m2K) 2.32

Particiones interiores con unid. distinto uso, zonas comunes y medianeras

Particiones interiores vertic

Particiones interiores cuando delimiten unidades mismo uso

0.00

No definido

Fig. 11. Materiales de los tabiques interiores

Composición	OTRO LOCAL	esp m	λ W/mK	rtem m2K/W	rvapor	masa kg/m2
Enlucido de yeso 1000 < d < 1300 (0,010 m)		0,010	0,570	0,018	0,06	12
1 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm (0,100 m)		0,100	0,743	0,135	1,00	0
Enlucido de yeso 1000 < d < 1300 (0,010 m)		0,010	0,570	0,018	0,06	12

La cubierta de la vivienda es horizontal de hormigón

Fig. 11. Área total de la cubierta de hormigón

Ext. Horiz Tipo 1 **1**

Area m2 total 79.9

Area m2 Sombra 0.0

U (W/m2K) 5.46

Fig. 12. Características constructivas y térmicas del hormigón de la cubierta

Composición	SUPERIOR	esp m	λ W/mK	rtem m2K/W	rvapor	masa kg/m2
Hormigón armado 2300 < d < 2500 (0,100 m)		0,100	2,300	0,043	8,00	0

El piso de la planta baja está en contacto con la tierra.

Fig. 13. Área de suelo en contacto con el terreno

Suelos Terreno Tipo 1 **1**

Dimensiones

Area..... 79.9 m2

Profundidad.. 0.0 m

Perímetro ext 0.0 m

U (W/m2K) 3.79

Suelo Quio

Aislamiento

☐ Periférico

☐ Continuo

☒ Sin aislam.

Fig. 14. Características y materiales constituyentes del suelo en contacto con el terreno

Composición	SUPERIOR	esp m	λ W/mK	rtem m2K/W	rvapor	masa kg/m2
Azulejo cerámico (0,030 m)		0,030	1,300	0,023	29999	69
Hormigón con áridos ligeros 1800 < d < 2000 (0,050 m)		0,050	1,350	0,037	3,00	95
Polietileno baja densidad [LDPE] (0,004 m)		0,004	0,330	0,012	400,00	0
Caliza muy dura [2200 < d < 2590] (0,100 m)		0,100	2,300	0,045	20,00	0

La vivienda es de dos plantas por lo que tiene una partición horizontal que separa la planta baja con el primer piso, esta pared horizontal está construida de hormigón

Fig. 15. Área de la pared horizontal de hormigón

Exterior.....		0.0	0.00	No definido	
Particiones interiores con unid. distinto uso, zonas comunes y medianeras		41.9	2.86	Partición interior horizontal	
Particiones interiores cuando delimiten unidades mismo uso		0.00		No definido	

Fig. 16. Características y materiales constituyentes de la pared horizontal de hormigón

Composición	SUPERIOR	esp m	λ W/mK	rtem m2K/W	rvapor	masa kg/m2
Azulejo cerámico (0,030 m)		0,030	1,300	0,023	29999	69
Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido		0,010	0,550	0,018	0,10	11
Hormigón en masa 2000 < d < 2300 (0,150 m)		0,150	1,650	0,091	10,50	0
Enlucido de yeso 1000 < d < 1300 (0,010 m)		0,150	0,570	0,018	0,06	12

Los últimos espacios por definir son ventanas y puertas (Considerados como huecos), salientes, pilares, terreno, esquinas entre otros (Puentes térmicos).

Las ventanas, las puertas se definen en el aparatado de huecos con una única diferencia que en las puertas el tamaño del marco es del 100 %

Fig. 17. Definición de huecos en CERMA

Dimensiones

Alto: 1.48

Ancho: 0.40 m

Dimensiones

Alto: 0.40

Ancho: 0.80 m

Dimensiones

Alto: 2.15

Ancho: 1.00 m

Vidrio

Monolíticos 4

Marco

Metálico sin rotura puente térmico

Global Hueco

U hueco (W/m2K): 5.70

Factor solar hueco: 0.78

Vidrio

Monolíticos 4

Marco

Metálico sin rotura puente térmico

Global Hueco

U hueco (W/m2K): 5.70

Factor solar hueco: 0.78

Vidrio

Monolíticos 4

Marco

Madera densidad media alta

Global Hueco

U hueco (W/m2K): 2.20

Factor solar hueco: 0.06

Para los puentes térmicos se consideran que todos están en función de las características constructivas ingresadas anteriormente y que ni los forjados, ni los pilares tienen aislamiento térmico.

Fig. 18. Características de los puentes térmicos

☒ Estimados ☐ Facilitados		Forjados	Cubiertas	Suelo ext.	Esq salientes - entrantes	Ventanas	Suelo terreno	N	O	SO	S	SE	E
		0	36	0	3	39	36	5	0	0	4	0	1

Forjados no aislados			Puentes verticales fachada	Ventana	Terreno	Pilar
Encuentros horizontales fachada			Esquina saliente	aislamiento no continuo hasta el marco		no aislado
Forjados	Cubierta	Suelo exterior				
 $\Psi_f = 0.39 \text{ W/mK}$ $f = 0.79$	 $\Psi_c = 0.38 \text{ W/mK}$ $f = 0.74$	 $\Psi_{se} = 0.33 \text{ W/mK}$ $f = 0.67$	 $\Psi_{es} = 0.08 \text{ W/mK}$ $f = 0.85$	 $\Psi_v = 0.41 \text{ W/mK}$ $f = 0.7$	 $\Psi_t = 0.12 \text{ W/mK}$ $f = 0.74$	 $\Psi_p = 0.72 \text{ W/mK}$ $f = 0.67$

Dispositivos térmicos con los que cuenta inicialmente la vivienda

Por las condiciones climatológicas en la ciudad de Quito no es común utilizar equipos de refrigeración y calefacción, en esta vivienda en particular solamente se usa un termo eléctrico son las características que se especifican en la siguiente imagen.

Fig. 18. Características del equipo para el calentamiento de agua caliente sanitaria de la vivienda

Servicio Nombre: ACS		Tipo de servicio: ☒ Calefacción + Refrigeración ☐ Refrigeración ☐ Calefacción	☒ ACS ☐ ACS + Calefacción
Equipos de ACS Nº equipos: 1			
☒ ACS Tipo de generador: ☐ Caldera convencional ☐ Bomba de calor aire-agua ☒ Termo eléctrico ☐ Rend. estacional conocido			
Datos de cada equipo: Pot. calorífica nominal (kW): 24.00 Rendimiento nominal (%): 100		Volumen UA (W/K) (litros): 100 Temp. consigna alta (°C) baja (°C): 90 60	

Resultados

Calificación energética

Fig. 19. Calificación energética obtenida por la vivienda tanto en consumo de energía como en emisiones de CO₂

Calificación energética Emisiones Totales CO ₂ (kg/m ²)		Calificación energética Energía primaria no renov.(kWh/m ²)
A: < 15.1		A: < 67.7
B: 15.1 < 23.2		B: 67.7 < 104.0
C: 23.2 < 34.5		C: 104.0 < 155.2
D: 34.5 < 51.5		D: 155.2 < 231.1
E: 51.5 < 102.3	E 80.9	E: 231.1 < 442.6
F: 102.3 < 119.7		F: 442.6 < 517.8
G: >= 119.7		G: >= 517.8
		E 385.4

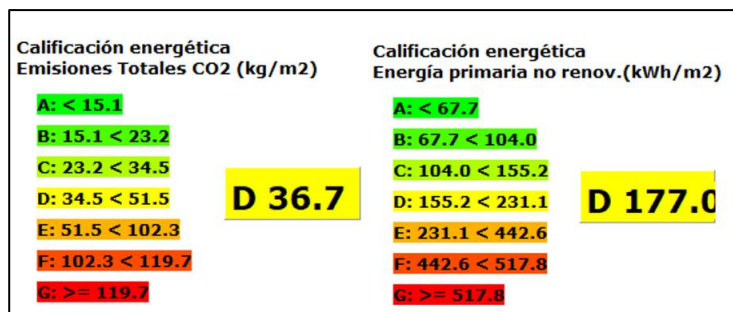
La vivienda tiene una calificación baja E, lo que significa que eficiencia energética es deficiente, esto como resultado de que en el año que fue construida la edificación no existía en Ecuador una legislación que



técnica y económicamente.

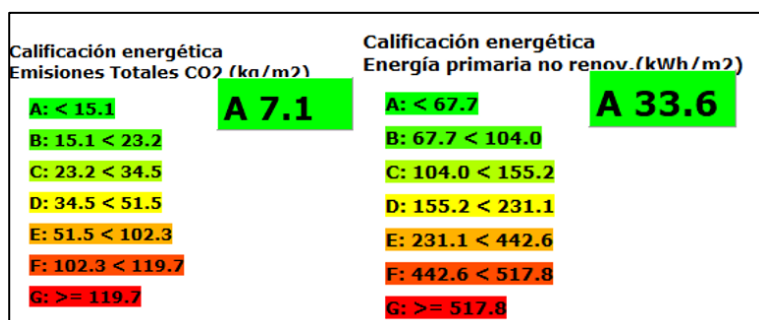
Mejora en la envolvente, consiste en colocar a asilamientos en cubiertas ese aislamiento es de un espesor mayor a 80 mm.

Fig. 23. Calificación energética obtenida tras la aplicación de modificación en la envolvente en CERMA



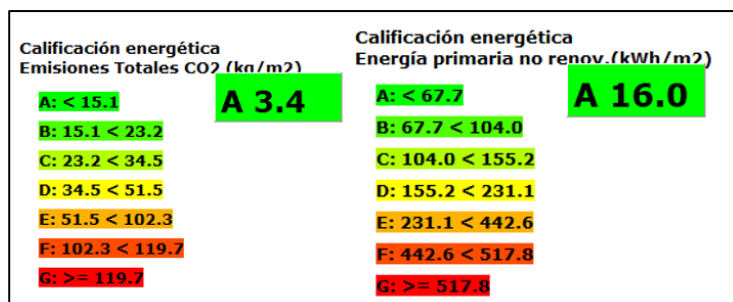
Mejora en equipos, la integración de una caldera de biomasa con pellet para reemplazar el equipo anterior de producción agua caliente sanitaria y para calefacción de la vivienda, pues en el estudio se ha identificado la necesidad de integrar calefacción.

Fig. 24. Calificación energética obtenida tras el cambio de quipo de ACS y calefacción en CERMA



Combinación de la mejora en la envolvente y en equipos

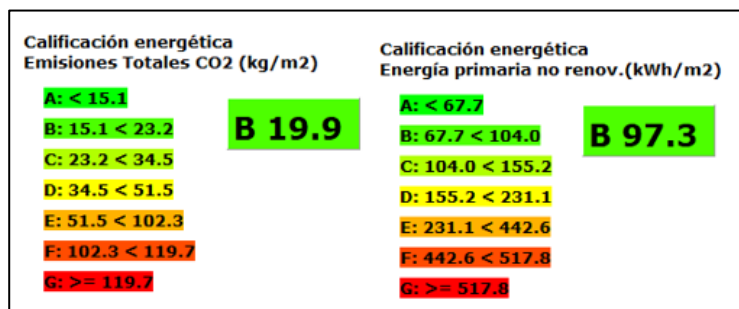
Fig. 25. Calificación energética de la combinación de cambios en la envolvente y equipos para la primera medida de mejora en CERMA



Segunda medida de mejora

Se toma la sugerencia de mejorar los puentes térmicos con eso se modifica en la envolvente, la mejora es colocar aislamiento continuo en puentes térmicos, también en cubierta, muros y suelo colocar aislamiento superior a 80 mm

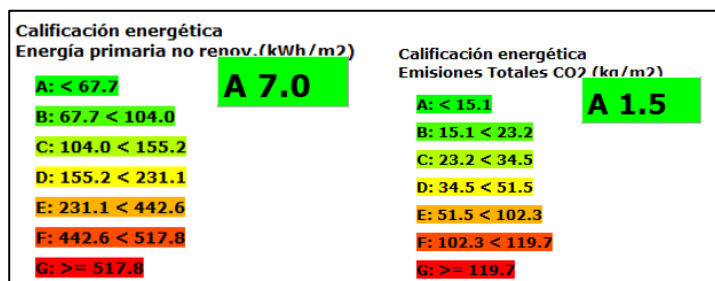
Fig. 26. Calificación energética al modificar puentes térmicos, cubierta, muros y suelos en CERMA



La modificación de los equipos es la misma que en el anterior una caldera de biomasa con pellets para calefacción y producción de ACS, igual que en la figura 24.

Se combinan las mejoras de la envolvente sobre puentes térmicos, muros y suelos con los equipos.

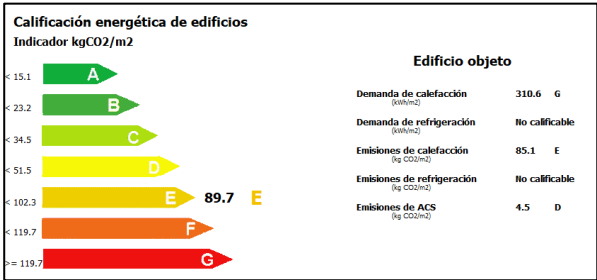
Fig. 27. Calificación energética de la combinación de cambios en la envolvente y equipos para la segunda medida de mejora en CERMA



Calificación energética de la vivienda con CE3X

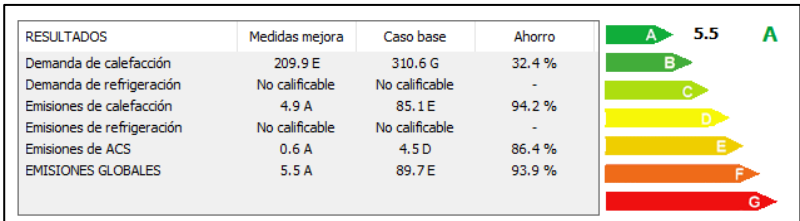
Para poder comparar el rendimiento y hacer un análisis económico de las alternativas propuestas se utiliza la herramienta CE3X, los datos que se ingresaron fueron los mismos que en CERMA, por lo que el resultado de la calificación inicial de la vivienda sin mejoras es la misma.

Fig. 28. Calificación inicial de la vivienda con CE3X



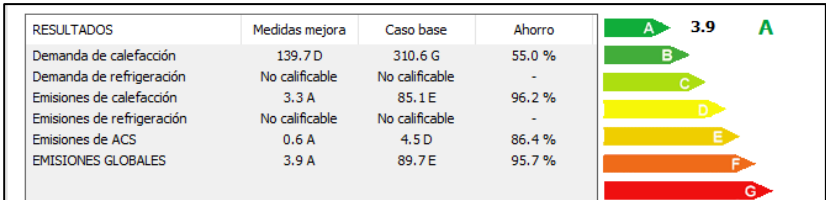
Simulación de la primera medida de mejora en CE3X

Fig. 29. Calificación energética de la combinación de cambios en la envolvente y equipos para la primera medida de mejora en CE3X



Simulación de la segunda medida de mejora en CE3X

Fig. 30. Calificación energética de la combinación de cambios en la envolvente y equipos para la segunda medida de mejora en CE3X



Comparación de las medidas de mejora

CE3X además de calificar la edificación permite comparar las medidas propuestas, de la siguiente manera.

Fig. 30. Comparativa de las dos medidas de mejora

Listado comparativo de conjuntos de medidas de mejora

Medidas de Mejora	Dda Cal.	Dda Ref.	Emis. Cal.	Emis. Ref.	Emis. ACS	Emis. Glob...	Ahorro
CASO BASE	310.1 G	0.8 No ca...	84.9 E	0.1 No ca...	4.5 D	89.6 E	-
Mejora 1	209.5 E	0.0 No ca...	4.9 A	0.0 No ca...	0.6 A	5.5 A	93.9%
Mejora 2	139.6 D	0.0 No ca...	3.3 A	0.0 No ca...	0.6 A	3.9 A	95.7%

Resumen de resultados

Simulación inicial de la vivienda (sin mejoras)

La simulación inicial de la vivienda, en su estado original sin mejoras, dio como resultado los siguientes parámetros de desempeño energético:

Tabla 3. Resultados de la calificación energética de la vivienda sin las mejoras

Parámetro	Valor
Calificación energética	E
Consumo energético	250 kWh/m ² ·año (energía primaria no renovable)
Emisiones de CO ₂	75 kg/m ² ·año
Demanda de calefacción	90 kWh/m ² ·año
Demanda de ACS	40 kWh/m ² ·año
Energías renovables	No se utiliza ningún sistema de energía renovable.

Resultados de las simulaciones con las mejoras

Tabla 4. Calificaciones energéticas con las mejoras realizadas

Parámetro	Sin mejoras	Con mejoras de aislamiento	Con mejoras de sistemas térmicos	Con energía solar térmica
Calificación energética	E	D	C	A
Consumo energético	250 kWh/m ² ·año	200 kWh/m ² ·año	150 kWh/m ² ·año	80 kWh/m ² ·año
Emisiones de CO ₂	75 kg/m ² ·año	60 kg/m ² ·año	45 kg/m ² ·año	20 kg/m ² ·año
Demanda de calefacción	90 kWh/m ² ·año	60 kWh/m ² ·año	50 kWh/m ² ·año	30 kWh/m ² ·año
Demanda de ACS	40 kWh/m ² ·año	30 kWh/m ² ·año	25 kWh/m ² ·año	10 kWh/m ² ·año

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos tras la simulación de la vivienda en su estado inicial y tras la implementación de las mejoras proponen un análisis integral sobre la eficiencia energética, el impacto ambiental y la viabilidad de las soluciones propuestas. A continuación, se exploran los efectos de las medidas de mejora en el rendimiento energético de la vivienda y su relación con las normativas y estudios previos.

Calificación energética de la vivienda

El significativo cambio en la calificación energética de E a A, después de la implantación de las medidas de mejora, reflejan que impacto en la optimización del uso de la energía está directamente relacionado con la implementación de estrategias como, optimización de la envolvente de la vivienda, mejora en su aislamiento, optimización de sistemas de energía solar, inclusión de dispositivos de calefacción y calentamiento sostenibles, todo con el objetivo principal de minimizar la pérdidas de energías y disminuir las emisiones, cumpliendo esta nueva vivienda simulada con los estándares internacionales de eficiencia energética.

En los muros, cubiertas y suelos, la resistencia térmica de los materiales aislante se mostraron como una variable de vital importancia en la mejora de la calificación energética, los cuales permitieron disminuir las pérdidas de calor, afectando positivamente en la demanda de energía, este resultado coincide con estudios previos en donde el emplear adecuadamente materiales aislante en la envolvente de la vivienda reduce el consumo de energía hasta un 40%, en lugares similares a la ciudad de Quito. (Galindo, Reyes Martínez, & González, 2022)

La mejora de las características de la envolvente no solo permite mejorar la calificación de eficiencia energética, sino también las condiciones de calidad de vida al mejorar el confort térmico, evitando cambios bruscos de temperatura.

Efecto de las medidas en el consumo energético

La efectividad de las medidas mostro una reducción del 68% de consumo de energías primarias pasando de 250 kWh/m². año a 80 kWh/m². año, además esto permite alinearse a los objetivos de descarbonización del sector residencial, buscando aumentar la independencia con respecto al uso de energía de fuentes no renovables.

La implementación de una caldera de biomasa con pellets se destaca por su excelente capacidad en la

conversión de energía, lo que permite explicar la reducción del 67% en la demanda por calefacción que inicialmente era de 90 kWh/m²·año a 30 kWh/m²·año.

Decrecimiento en las emisiones de CO₂,

Sin duda la reducción de emisiones de CO₂ de 75kg/m²·año a 20kg/m²·año, es el beneficio más importante para el medio ambiente, esto por el aporte de las energías renovables, como la energía solar y la caldera de pellets, estas energías renovables tienen una huella de carbono insignificante en comparación con las fuentes convencionales de energía.

De manera técnica los sistemas térmicos para la producción agua caliente sanitaria implementados como una medida de mejora es una de las soluciones más eficaces, minimiza el consumo de energía de fuentes primarias aprovechando las zonas de alta radiación solar como Quito, se evidenció que se redujo la huella de carbono en un 30 %, la demanda de energía para ACS por fuentes convencionales bajo de 40 kWh/m²·año a 10 kWh/m²·año, esta integración de dispositivos de energía renovable mejora el rendimiento global de la vivienda.

Viabilidad técnica de la implantación

Desde una perspectiva técnica, las mejoras implementadas presentan una viabilidad elevada, especialmente en contextos como el de Quito, donde la radiación solar es abundante y los costos de las tecnologías renovables, como los sistemas solares térmicos, han disminuido considerablemente en los últimos años. Según la Agencia Internacional de Energía Renovable, los costos de instalación de sistemas solares térmicos han disminuido en un 45% en la última década, lo que facilita la adopción de estas tecnologías en viviendas unifamiliares.

Además, las soluciones implementadas no solo aportan beneficios energéticos y ambientales, sino también una mejora en el confort térmico. El aislamiento térmico y la integración de sistemas de calefacción más eficientes contribuyen a un entorno interior más confortable, reduciendo la variabilidad de la temperatura y asegurando temperaturas más estables durante todo el año.

Limitaciones del estudio y posibles líneas de investigación

Aunque los resultados son alentadores, existen algunas limitaciones que deben ser consideradas en la interpretación de estos datos. Primero, la simulación no ha considerado factores como el comportamiento real de los ocupantes de la vivienda, lo que podría influir en los patrones de consumo energético. Además,

los costos iniciales de implementación de estas soluciones, aunque reducidos en comparación con otras alternativas, pueden seguir siendo una barrera en algunos contextos.

CONCLUSIONES

Este estudio ha demostrado que la implementación de medidas de mejora en la eficiencia energética de una vivienda unifamiliar en Quito puede generar mejoras significativas en la calificación energética, el consumo de energía y la reducción de emisiones de CO₂. A través de simulaciones realizadas con los programas CERMA y CE3X, se evaluaron diversas medidas que incluyeron la mejora del aislamiento térmico, la optimización de sistemas térmicos y la integración de energías renovables. Las principales conclusiones son las siguientes:

La vivienda, inicialmente clasificada con una calificación energética E, experimentó una mejora sustancial en su desempeño energético, alcanzando la calificación A tras la implementación de las mejoras. Esto demuestra el impacto positivo de las intervenciones en la eficiencia energética, alineándose con las metas internacionales de descarbonización y sostenibilidad en el sector residencial.

La implementación de las mejoras resultó en una reducción del 68% en el consumo energético, de 250 kWh/m²·año a 80 kWh/m²·año. Las estrategias de aislamiento térmico y la optimización de sistemas térmicos (caldera de biomasa y bomba de calor) contribuyeron a este ahorro, lo que indica un uso más eficiente de la energía y una reducción de la dependencia de fuentes no renovables.

La reducción de emisiones de CO₂ fue notable, pasando de 75 kg/m²·año a 20 kg/m²·año, lo que subraya la eficacia de las soluciones implementadas en términos de sostenibilidad ambiental. La sustitución de fuentes de energía fósil por tecnologías renovables, como la biomasa y la energía solar térmica, ha sido clave en esta reducción de emisiones, alineándose con los compromisos internacionales de mitigación del cambio climático.

La implementación de un sistema solar térmico para la producción de agua caliente sanitaria (ACS) resultó en una reducción significativa de la demanda de energía convencional para ACS, lo que demuestra el potencial de las energías renovables para optimizar el consumo energético en viviendas. Este hallazgo resalta la viabilidad de integrar tecnologías renovables en edificios residenciales, especialmente en zonas con alta radiación solar como Quito.

Además de los beneficios energéticos y ambientales, las mejoras implementadas también contribuyeron a

mejorar el confort térmico en la vivienda. El aislamiento adecuado y los sistemas de calefacción eficientes proporcionaron temperaturas más estables, reduciendo la variabilidad térmica y mejorando la comodidad de los ocupantes.

También sería útil explorar el uso de materiales de aislamiento innovadores, como los materiales de cambio de fase (PCM), que podrían mejorar aún más la eficiencia energética de la vivienda. La integración de sistemas fotovoltaicos en combinación con la energía solar térmica podría ser otra línea de investigación prometedora.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvear, A., Esmaili, M., González-Mahecha, E., Hernandez, C., & Minoja, L. (2022). Edificios verdes: lineamientos para la incorporación y contabilización de medidas de mitigación y adaptación al cambio climático. *Banco Interamericano de Desarrollo*. doi:<http://dx.doi.org/10.18235/0004627>
- Angamarca Ipiales, J. G., & Guevara Pajuña, R. D. (2020). *Diseño de microgeneración fotovoltaica conectada a la red para el suministro eléctrico de los centros operativos y agencias de la EEQ ubicados al noroccidente y sur de la ciudad de Quito*. [Tesis, Escuela Politécnica Nacional], Ecuador. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20865>
- Arguello Bravo, D. A., Martínez-Gómez, J., & Urresta Suárez, E. F. (2021). Performance Analysis of a Solar Water Heater for Space Heating in Residential and Commercial Buildings. *Recent Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-030-72212-8_1
- Asiain Martínez, J. L., Gonzalez García, M., Moron Fernandez, C., & Payan De Tejada, A. (s.f.). INFLUENCIA DE LA METODOLOGÍA PARA LA CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA DE EDIFICIOS SOBRE LOS RESULTADOS EN EL INDICADOR DE AGUA CALIENTE SANITARIA. *DYNA*, 95(3), 257-260. doi:<https://doi.org/10.6036/9578>
- Brito-Peña, R., Villa-Enderica, D., & Zalamea-León, E. (2022). ANÁLISIS COMPARATIVO DE CONFORT TÉRMICO DE VIVIENDA UNIFAMILIAR EN LSF FRENTE A MAMPOSTERÍA. *Ingenius, Revista de Ciencia y Tecnología*, 28, 100-124. doi:<https://doi.org/10.17163/ings.n28.2022.10>



- Castro-Fernández, M., Vilaragut Llanes, M., & Oloroun-Shola Bissiriou, A. (2021). Certificación energética de un edificio de oficinas. *Revista Tecnología En Marcha*, 34(7), 70-82. doi:<https://doi.org/10.18845/tm.v34i7.6015>
- Cuerdo Vilches, T., & Navas Martín, M. Á. (s.f.). Geo-caracterización energética de la vivienda cordobesa: Aplicación de clústeres aproximativos a escala municipal. *WPS Review International on Sustainable Housing and Urban Renewal*, 11(12), 112-130. doi:<https://doi.org/10.24310/wps.vi11-12.15906>
- Delgado-Ramírez, S., Díaz-Pineda, A. L., & Chi-Pool, D. A. (2023). Optimización y evaluación del rendimiento térmico y energético de viviendas en climas templados. *Hemeroteca digital UAEMéx*, 18(34). doi:<https://doi.org/10.36677/legado.v18i34.21359>
- Encinas, F., Bustamante, W., & Ladrón de Guevara, F. (2020). Calificación energética obligatoria para viviendas: aportes para la discusión. *CEDEUS*. doi:<https://doi.org/10.7764/cedeus.dpp.08>
- Galindo, L. M., Reyes Martínez, P. G., & González, F. (2022). Escenarios para la transición energética a una economía carbono neutral en América Latina y el Caribe: algunos hechos estilizados. *Sobre México Temas De Economía*, 1(6), 5-39. doi:<https://orcid.org/0000-0003-0833-2862>
- García Gavilánez, R. (2019). *Auditoría energética de una vivienda unifamiliar localizada en la ciudad de Quito*. [Tesis maestría, Universidad Internacional de la Rioja].
- Inca Yajamín, G. S., Cabrera Carrión, D. F., Villalta Gualán, D. F., Bautista Zurita, R. C., & Cabrera Carrión, H. D. (2023). Evaluación de la actualidad de los sistemas fotovoltaicos en Ecuador: avances, desafíos y perspectivas. *Ciencia Latina Revista Multidisciplinar*, 7(3), 9493-9509. doi:https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i3.6835
- Ismail, A. R., Lino, F., Henríquez, J., Tegggar, M., Abdelghani, L., Arici, M., . . . Rodríguez, D. (2023). Enhancement Techniques for the Reduction of Heating and Cooling. *LIDSEN: Journal of Energy and Power Technology*, 5(4). doi:10.21926/jept.2304031
- Jimenez, J., & Jacobo, G. (2021). Análisis de la sustentabilidad de los materiales naturales regionales para el desarrollo de tecnologías constructivas que generen eficiencia energética en la edificación del NEA. *ADNea*, 9(9). doi:<https://doi.org/10.30972/adn.095795>



- Rodríguez Ponce, Y., Sánchez García, E., & Soto Carrión, C. (2022). ENERGÍA VS DESARROLLO SOSTENIBLE: PARADIGMAS AL ACTUAL MODELO ENERGÉTICO. *Hatun Yachay Wasi*, 1(2), 2955-8255. doi:<https://doi.org/10.57107/hyw.v1i2.28>
- Rueda, V. (2022). Auditoría energética a un bloque de aulas en Quito, Ecuador como estrategia de reducción de emisiones de CO2. *Revista Técnica "E"*, 18(2), 1390-5074. doi:<https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v18.n2.2022.477>
- UTN, U. (2023). XI Seminario Nacional “Energía y su Uso Eficiente. AJEA (Actas De Jornadas Y Eventos Académicos De UTN), 20. doi:<https://doi.org/10.33414/ajea.1175.2023>

