



Análisis de métodos de eficiencia energética para vivienda existente ubicada en la ciudad de

Duitama

Edison Javier Verdugo Lozano

Código: 20481729312

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Civil

Facultad de Ingeniería Ambiental y Civil

Duitama, Boyacá, Colombia

2022

Análisis de métodos de eficiencia energética para vivienda existente ubicada en la ciudad de  
Duitama

Autor: Edison Javier Verdugo Lozano

Monografía de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:  
Ingeniero Civil

Directores:

Doctor, Ingeniero Edison Osorio Bustamante

MSc. Ingeniero Ramón Manrique

Línea de Investigación: Construcción

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Civil

Facultad de Ingeniería Ambiental y Civil

Duitama, Boyacá, Colombia

2022

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

El trabajo de grado titulado  
Análisis de métodos de eficiencia energética para vivienda existente ubicada en la ciudad de  
Duitama,  
Cumple con los requisitos para optar  
al título de Ingeniero Civil.

---

Firma del Tutor

---

Firma Jurado

---

Firma Jurado

Duitama, 25/05/2022.

## Agradecimientos

*Agradezco en primera medida a Dios por bendecirme en todo momento,  
a mis padres que son el motor de mi carrera y mi vida,  
a la universidad por darme la oportunidad de convertirme  
en un profesional apasionado por la ingeniería civil,  
a mis tutores de proyecto de grado  
Ing. Edison Osorio e Ing. Ramón Manrique  
quienes fueron mis grandes aliados para el cumplimiento  
de este proyecto de grado, por ultimo a todos mis compañeros  
que de una u otra manera me colaboraron a lo  
largo de mi trayecto profesional.*

## Índice

Lista de figuras.....	6
Lista de tablas .....	8
Resumen.....	9
Abstract.....	10
1. Introducción.....	11
2. Justificación.....	13
3. Objetivos.....	14
4. Metodología.....	15
5. Marco Teórico .....	17
Energía .....	17
Energías no Renovables: .....	18
Fenómenos del problema .....	19
Fenómeno Químico .....	19
Fenómenos térmicos.....	20
Conducción térmica.....	21
Radiación solar .....	23
Transferencia de calor radiante: .....	24
Energías Renovables .....	25
Eficiencia energética .....	26

Edificio Energía Cero ZEB (Zero Energy Building) .....	26
Categorías de la energía cero en edificios .....	28
Normatividad.....	32
Certificaciones ecológicas.....	33
6. Estado del conocimiento.....	41
7. Análisis de propuesta de uso de energía solar para una vivienda existente .....	50
8. Resultados.....	56
9. Conclusiones.....	67
10. Recomendaciones .....	69
11. Referencias bibliográficas.....	70
12. Anexo.....	77

## Lista de figuras

Figura 1 Formas de energía.....	17
Figura 2 Suministro total de energía.....	18
Figura 3 Fenómeno químico .....	19
Figura 4 Fenómeno térmico .....	20
Figura 5 Radiación solar en Colombia.....	23
Figura 6 Energías renovables.....	25
Figura 7 Muro trombe.....	29
Figura 8 Categorías de energía neta cero en edificios .....	30
Figura 9 Clasificación climatológica en Colombia.....	36
Figura 10 Tipos de certificación LEED .....	38
Figura 11 Sistemas de clasificación LEED.....	38
Figura 12 Certificación ecológica CASA COLOMBIA.....	39
Figura 13 Sistema integrado de bomba de calor Fotovoltaico-Térmico y aerogenerador .....	43
Figura 14 Consumo de energía para caso estudio casa con energía cero .....	44
Figura 15 Tecnología de diseño usada en caso estudio de ZEB .....	46
Figura 16 Porcentaje de factores de reducción de energía.....	48
Figura 17 Comparación de consumo de energía en casas de energía cero y casas convencionales .....	48
Figura 18 Localización de vivienda del caso propuesto .....	50
Figura 19 Componentes de un sistema solar fotovoltaico .....	51
Figura 20 Sistema de calentador solar de agua.....	53
Figura 21 Comparativa arquitectura real con modelado de la vivienda .....	58

Figura 22 Diseño red fotovoltaica para el tercer nivel de la vivienda .....	58
Figura 23 Diseño red de agua caliente conectada a calentador solar para dos baños del último nivel de la vivienda .....	59
Figura 24 Diseño de red fotovoltaica y de agua caliente para tercer nivel de la vivienda de caso propuesto.....	60



## Lista de tablas

Tabla 1 Diseño metodológico .....	15
Tabla 2 Coeficiente de proporcionalidad para materiales de construcción .....	22
Tabla 3 Transferencia de calor radiante .....	24
Tabla 4 Tecnologías solares pasivas en edificios de energía cero .....	27
Tabla 5 Ventajas y desventajas de los edificios de energía cero .....	31
Tabla 6 Normativa nacional e internacional sobre energías renovables .....	32
Tabla 7 Certificaciones ecológicas .....	34
Tabla 8 Porcentajes de ahorro para certificaciones EDGE .....	35
Tabla 9 Pasos a seguir para obtener la certificación LEED .....	37
Tabla 10 Pasos a seguir para recibir la certificación CASA COLOMBIA .....	39
Tabla 11 Comparación edificio energía cero con edificio convencional .....	47
Tabla 12 Cotización de calentador solar de agua .....	54
Tabla 13 Cotización kit solar fotovoltaico .....	55
Tabla 14 Consumo energético de electrodomésticos .....	56
Tabla 15 Cantidades de obra .....	60
Tabla 16 Análisis de precios unitarios .....	61
Tabla 17 Flujo de caja para un periodo de 14 años .....	64

## Resumen

El objetivo del presente trabajo de grado es realizar un estado del conocimiento sobre los métodos de eficiencia energética que podemos incluir en edificaciones, además de proponer un caso para implementar tecnologías de aprovechamiento solar en una vivienda existente ubicada en el municipio de Duitama.

Considerando los impactos ambientales negativos que han surgido por el consumo de energía durante el ciclo de vida de la edificación a nivel global, es de gran utilidad el uso de la energía cero, es decir, la unión de energías renovables y la eficiencia energética. Se analizará un caso propuesto de uso de energía solar, con energías renovables tales como un sistema fotovoltaico y un calentador solar de agua sanitaria caliente, utilizando como herramienta el software Revit, para el modelado y diseño de las redes fotovoltaica e hidráulica, donde podemos distinguir parámetros importantes a tener en cuenta para la ejecución del proyecto, tales como cantidades, presupuesto, viabilidad económica a través del valor futuro, y el impacto ambiental en cuanto a reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero en ton CO<sub>2</sub>/KW.

Palabras clave: Eficiencia energética, energía cero, energías renovables, edificación.

## Abstract

The objective of this degree work is to make a state of knowledge about the different energy efficiency methods that we can include in buildings, in addition to proposing a case to implement solar exploitation technologies in an existing house located in Duitama city.

Considering the negative environmental impacts that have arisen from energy consumption during the building's life cycle at a global level, the use of zero energy is very useful, that is, the union of renewable energies and energy efficiency. A proposed case of use of solar energy will be analyzed, using Revit software as a tool, for the modeling and design of photovoltaic and sanitary hot water networks, where we can distinguish important parameters to be taken into account for the execution of the project, such as the amounts, budget, economic viability through future value, and environmental impact in terms of CO<sub>2</sub> emission reductions in ton CO<sub>2</sub>/KW.

Keywords: Energy efficiency, zero energy, renewable energy, building.

## 1. Introducción

El sector de la construcción cada vez avanza con mayor rapidez debido al notorio crecimiento urbanístico que presentan las ciudades de Colombia, por tal motivo es necesario adaptarse a nuevas tecnologías y metodologías que ayuden con el ciclo de vida y sostenibilidad de una edificación. La construcción es un tema amplio e interesante que brinda una buena calidad de vida para las personas, sin embargo, dentro de la parte energética puede generar aspectos negativos en la sociedad, según la Agencia Internacional de la Energía (IEA), los sectores de la edificación y la construcción son conjuntamente responsables de más de un tercio del consumo final de energía a nivel global y de casi el 15% de todas las emisiones directas e indirectas de dióxido de carbono (IEA, 2020), lo que indica que el impacto ambiental que genera la construcción es notable.

En la presente monografía se desarrollará una literatura general acerca de métodos de eficiencia energética para edificaciones, involucrando parámetros relevantes como el uso de energías limpias y la integración de la denominada energía cero en edificaciones.

El trabajo se divide en 2 grandes objetivos, el primero es la consolidación de información nacional e internacional sobre mecanismos que reduzcan el impacto medioambiental de los edificios, en cuanto a la sostenibilidad energética se refiere, indagando en trabajos de grado, repositorios institucionales, plataformas académicas, resoluciones y certificaciones ecológicas; Mientras que la segunda parte consiste en analizar una propuesta de uso de energía solar para una vivienda existente en la ciudad de Duitama, donde se integrará un sistema solar fotovoltaico y un calentador de agua solar, teniendo en cuenta una metodología desde el punto de vista de un ingeniero civil, obteniendo resultados importantes para una buena gestión de proyectos, tales como cantidades de obra, presupuesto, viabilidad económica a través de

conocimientos básicos en matemática financiera, y un valor realmente muy importante en este proyecto, como lo es la cantidad de reducciones de emisiones de gases de invernadero que se puede solventar integrando dichos mecanismos en proyectos de ingeniería civil.

## 2. Justificación

La presente monografía refleja el compromiso a tener en cuenta con el medio ambiente, ya que busca investigar métodos que otorguen resultados positivos y confiables en cuanto a la eficiencia energética de los edificios existentes o que se encuentren en etapa de diseño. De igual manera, los parámetros y metodologías se irán dando a conocer en esta investigación, para que el profesional de la construcción tenga la necesidad de incluir dichos lineamientos en proyectos de infraestructura civil para la mejora y optimización de los sistemas energéticos. Asimismo, es importante incentivar al lector a investigar nuevas tecnologías que aporten con sistemas sostenibles, ya que es fundamental el trabajo con el medio ambiente.

Con ayuda de la literatura consultada, se busca recolectar estrategias energéticas a proponer en proyectos colaborativos al medio ambiente, ya que un adecuado diseño arquitectónico de ventanas, muros aislantes de calor, tejado, posición del edificio, uso de envolventes y tecnologías de aprovechamiento solar, son parámetros importantes que evitan ineficiencias energéticas y mejora considerablemente el confort de aquellos que lo habitan (Alis Restrepo, 2014).

Este proyecto se une a las investigaciones que promueven el buen uso de recursos naturales para la reducción de Gases de Efecto Invernadero (GEI), apoyando a las metas establecidas por la Naciones Unidas, para promover el desarrollo y la sostenibilidad en la sociedad, denominados Objetivos de Desarrollo Sostenible, mediante el cual, se contribuye con el objetivo siete, que corresponde a energía accesible y libre de contaminación, promoviendo así la garantía de acceso a energía segura, sostenible y moderna (Naciones Unidas, 2015);

### 3. Objetivos

#### Objetivo general

- Generar un estado del conocimiento acerca de métodos de eficiencia energética y proponer un caso para implementar tecnologías de aprovechamiento solar.

#### Objetivos específicos:

- Elaborar el estado del conocimiento de métodos de eficiencia energética para edificaciones.
- Realizar un análisis de propuesta de uso de energía solar para una vivienda existente.

#### 4. Metodología

El origen de la esta monografía se da por el interés del autor acerca de mecanismos que puedan generar la eficiencia energética en edificios, por tal motivo, el procedimiento que se está realizando en esta investigación parte desde la etapa de búsqueda. Inicialmente, la literatura consultada fue a través de las plataformas scopus, science direct, e-libro, trabajos de grado de repositorios institucionales de universidades nacionales e internacionales y paginas web oficiales, asimismo, en los parametros de búsqueda se utilizaron palabras clave como efficiency AND energy AND buildings AND Zero.

Para dar cumplimiento a los objetivos propuestos, se realizará una serie da fases y actividades que se presentarán a continuación.

**Tabla 1**

*Diseño metodológico*

Fase	Proceso
Fase 1: Literatura general	*Adaptación y familiarización de plataformas institucionales como scopus, sciencedirect, e-libro, entre otros *Revisión video-gráfica para determinar los factores más relevantes en la eficiencia energética en edificaciones
Fase 2: Identificación de métodos de eficiencia energética	*Búsqueda de casos de estudio relacionados a la sostenibilidad energética en edificios *Investigar e indagar sobre diseños sostenibles a implementar en este proyecto *Identificación de características importantes sobre el clima para el aprovechamiento de recursos naturales para edificaciones *Indagación sobre la normativa nacional e internacional, así como las certificaciones que se otorgan al realizar edificios sosteniblemente energéticos



Fase 3: Realizar un análisis de propuesta de uso de energía solar para una vivienda existente

- \*Realizar cotizaciones en el mercado sobre kit solares fotovoltaicos y calentadores solares
- \*Identificar el tipo de software a usar para la cuantificación de materiales del caso propuesto
- \*Hacer un estudio de consumo energético a satisfacer
- \*Hacer un modelado y diseño de las redes de agua caliente para el calentador y la red de tubería fotovoltaica para el tercer nivel de la vivienda de caso propuesto
- \*Llevar a cabo un análisis de precios unitarios para esclarecer de manera detallada el presupuesto del costo directo
- \*Ejecutar un estudio económico a un lapso de tiempo de 14 años, integrando factores como la inflación para tener certeza del valor futuro de la inversión para de esta manera mirar la viabilidad del proyecto
- \*Indagar sobre las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por la electricidad, y verificar cuantas emisiones podemos evitarlas con este proyecto

---

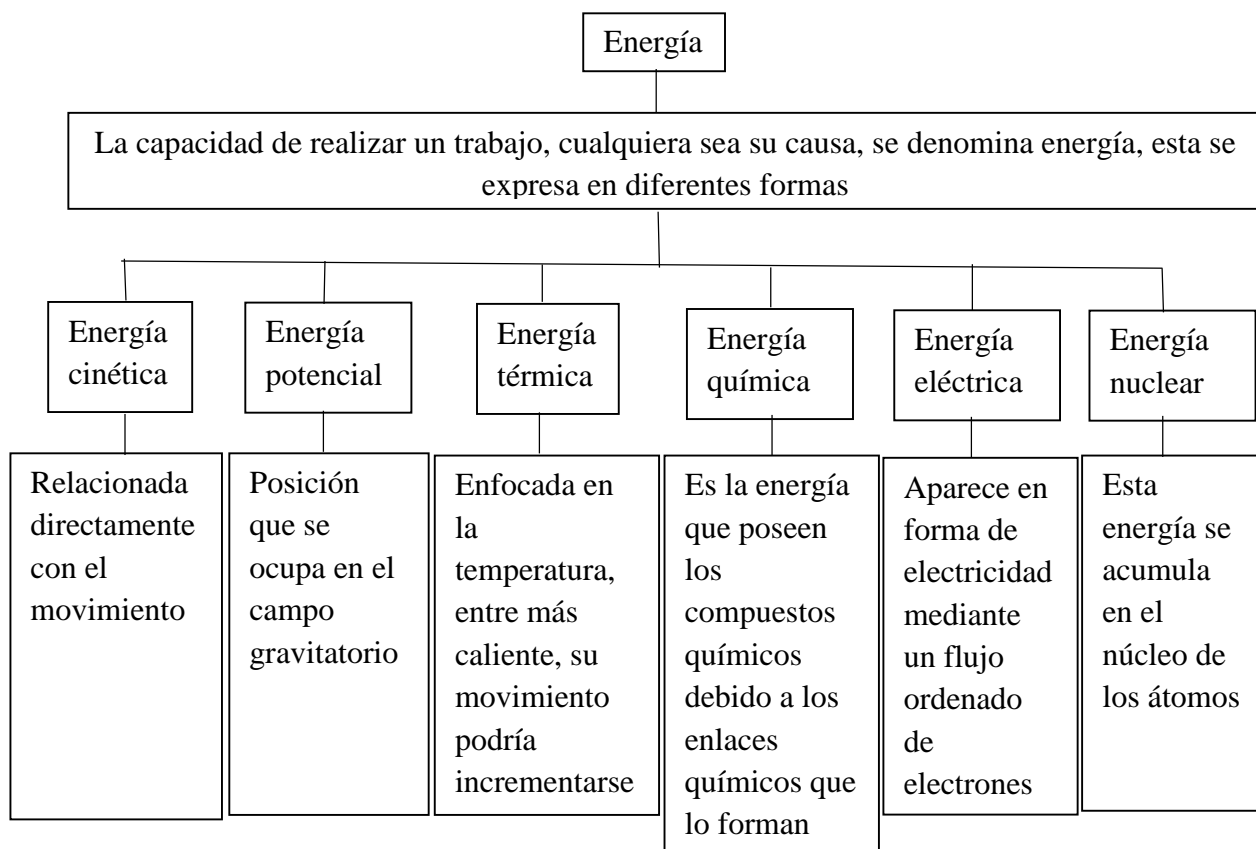
Nota: Tabla que resume de manera breve, las fases y procesos que se realizan para el cumplimiento de los objetivos de la presente monografía, elaboración propia.

## 5. Marco Teórico

La organización de naciones unidas promueve el desarrollo y sostenibilidad en la sociedad, aplicando una serie de objetivos a los cuales ellos denominan objetivos de desarrollo sostenible, el objetivo en esta monografía es el número siete, que corresponde a la energía asequible y no contaminante, fomentando de esta manera una garantía de acceso a energía segura, sostenible y moderna (ONU, 2015).

### Figura 1

#### *Formas de energía*



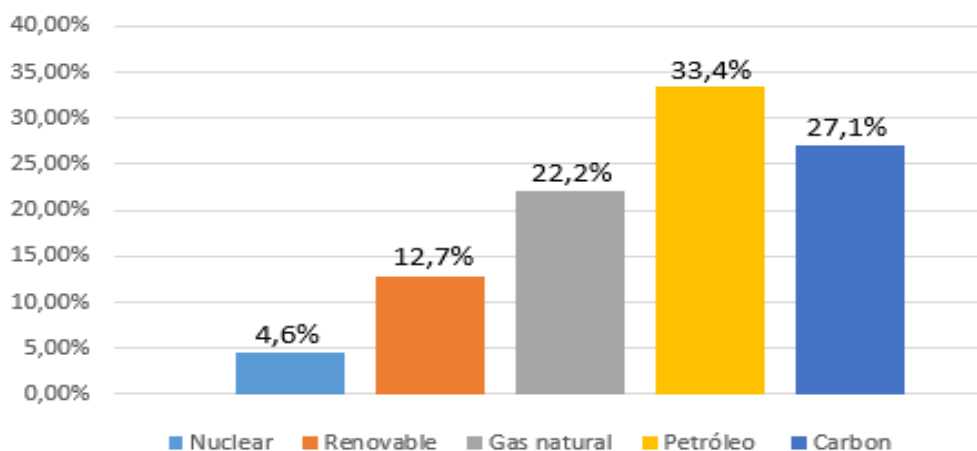
Nota: La figura 1 presenta de manera resumida las formas de energía, (González Velasco, 2009).

## Energías no Renovables:

Aunque las entidades gubernamentales motivan el uso de energías renovables, un alto porcentaje a nivel mundial utilizan energías no renovables a base de combustibles nucleares o fósiles, además, estos recursos son finitos y muy posiblemente en un futuro sean muy difícil de conseguir, ya que con el pasar del tiempo estos recursos no tendrán sustitutos ni sistemas de producción y/o extracción de material para la generación de energía. El suministro total de energía primaria en 2017, según Mehmet y Yunus Cengel (2020), el porcentaje de cada fuente de energía global se distribuye de la siguiente manera:

### Figura 2

#### *Suministro total de energía*



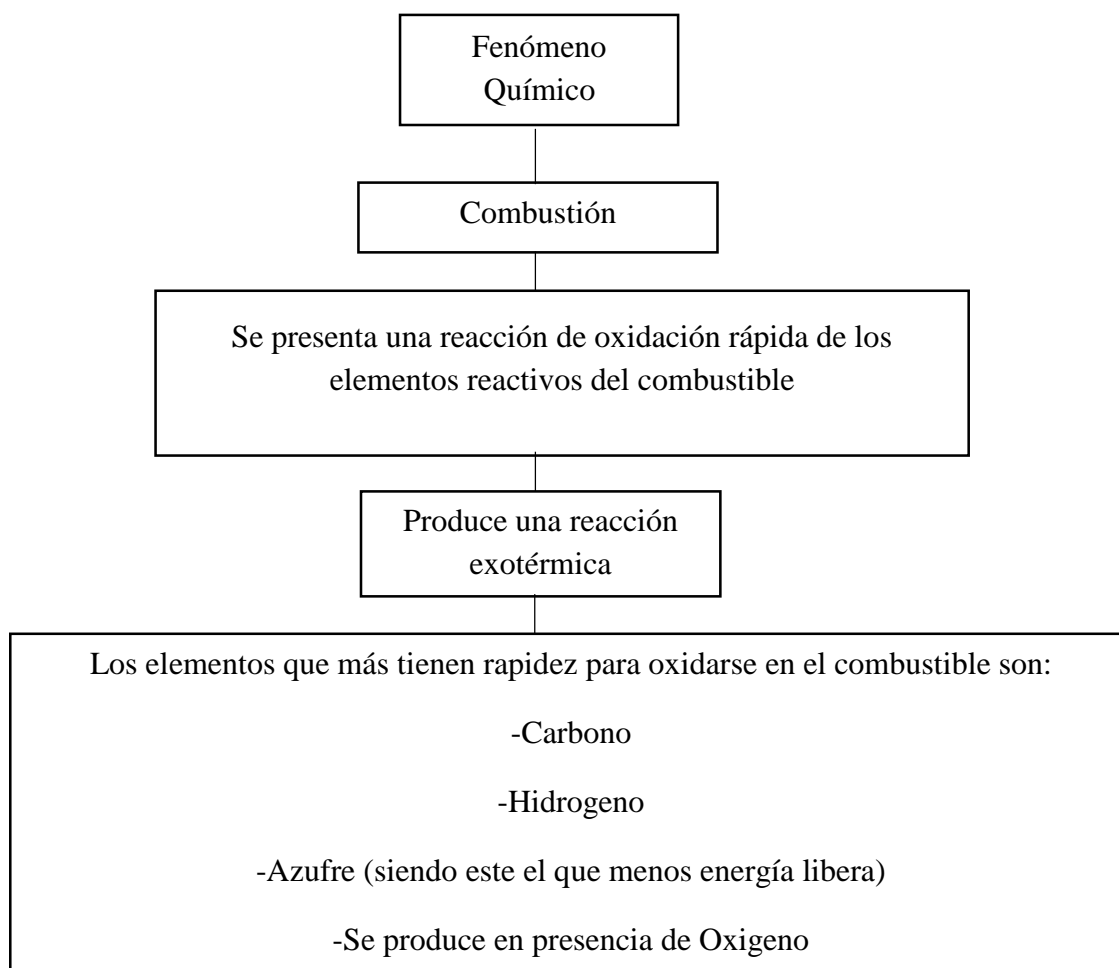
Nota: La figura muestra un diagrama de barras que revela el porcentaje de energía a nivel global, (Mehmet Kanoglu & Yunus A. Cengel, 2020).

## Fenómenos del problema

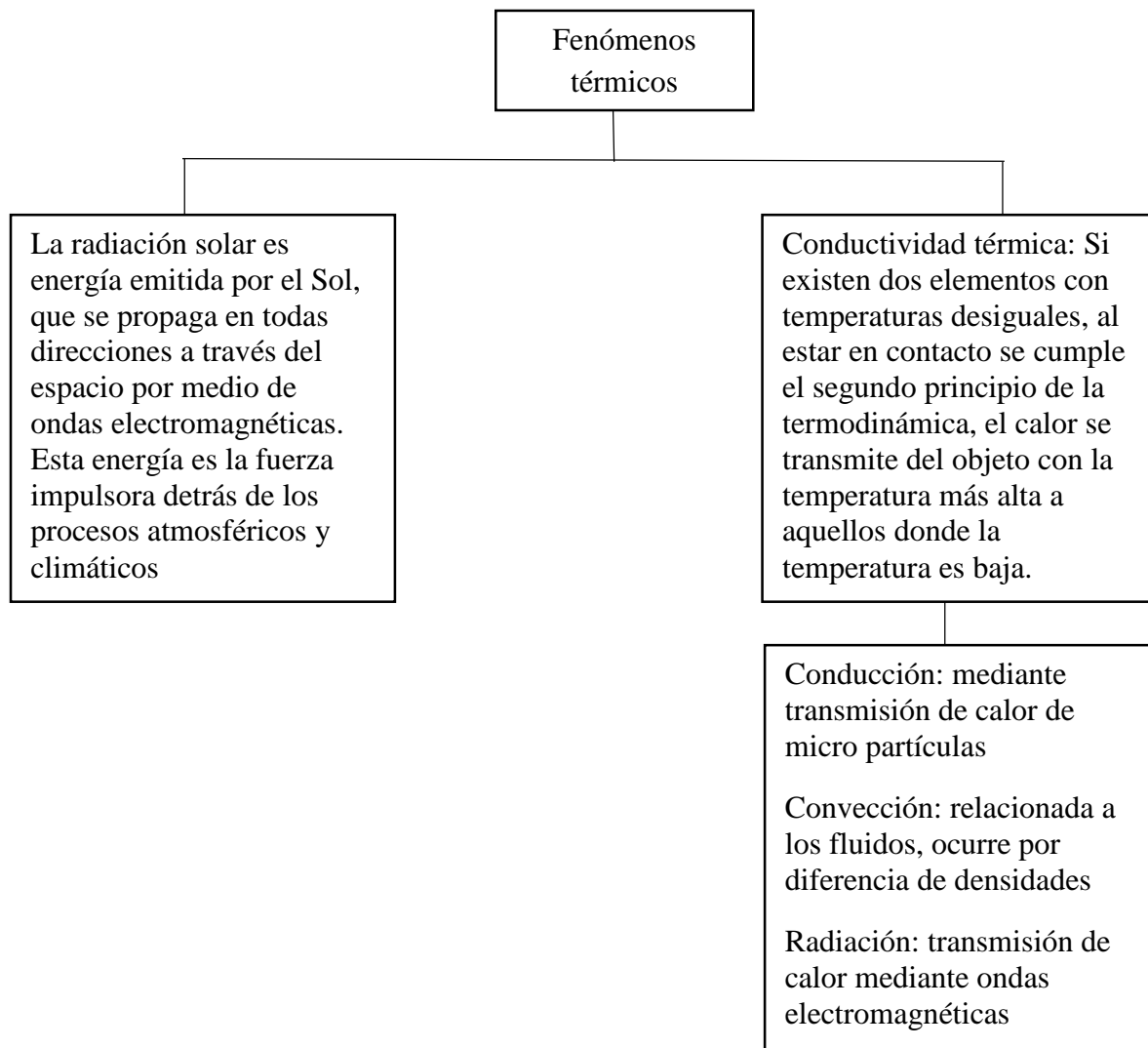
Debido a que el problema se basa en la contaminación generada por el consumo energético del ciclo de vida de las edificaciones, se identifican los principales fenómenos que afectan a la problemática, entre ellas se encuentran las siguientes.

### Figura 3

#### *Fenómeno químico*



Nota: Se evidencia el fenómeno químico mediante la combustión, adaptado de (Sánchez Naranjo, 2011).

**Figura 4***Fenómeno térmico*

Nota: Mapa conceptual resumido de los diferentes fenómenos térmicos, adaptado de (IDEAM, 2021) y (Arenas, 2020).

El calor puede ser transferido por tres mecanismos básicos, que son conducción, convección y radiación; En periodos de tiempo cortos, la cantidad de calor transferido es prácticamente siempre proporcional al tiempo. El calor transferido en 1 minuto será 60 veces mayor que el calor transferido en 1 segundo (Pinterić, 2021). Por lo tanto, en la ecuación 1 se

define el caudal de calor con la unidad vatio  $\Phi$  (W) como el cociente del calor transferido por el tiempo.

$$\Phi = \frac{dQ}{dt} \quad (1)$$

Por tanto, el vatio es igual a J/s. Para una situación estacionaria, es decir, independiente del tiempo el flujo de calor, se puede usar una forma no diferencial:

$$\Phi = \frac{Q}{t} \quad (2)$$

#### Conducción térmica

En el estudio de conducción con transferencia de calor constante, permitimos variaciones de temperatura en el espacio, pero no variaciones en el tiempo. La transferencia de calor a través de una losa sólida cuyas caras opuestas están en diferentes temperaturas; es decir, la cara más caliente está a mayor temperatura  $T_h$ , y la cara más fría está a la temperatura más baja  $T_l$ . La sección transversal de la losa es el área  $A$  y el espesor es  $d$ . Se puede demostrar experimentalmente que la tasa de flujo de calor siempre es:

- Proporcional al área de la sección transversal  $A$ .
- Inversamente proporcional al espesor  $d$ .
- Proporcional a la diferencia de temperatura, como se observa en ecuación 3.

$$\Delta T = T_h - T_l. \quad (3)$$

Lo escrito anteriormente se le denomina ley de conducción o ley de Fourier, y se representa en la ecuación 4.

$$\Phi = \lambda \frac{A\Delta T}{d} \quad (4)$$

La conducción térmica también depende del material a usar, experimentalmente se han determinado valores de coeficiente de proporcionalidad  $\lambda$  para algunos materiales de construcción, cabe resaltar que los buenos aislantes térmicos tienen baja conductividad térmica.

**Tabla 2**

*Coefficiente de proporcionalidad para materiales de construcción*

Material	Coefficiente de proporcionalidad $\lambda$ (W/m*K)
Poli estireno expandido	0,035
Lana mineral	0,035
Madera	0,13
Ladrillo macizo	0,8
Ladrillo perforado	0,22
Placas de yeso	0,21
Hormigón, densidad media	1,65
Vidrio de cal sedada	1
Cerámica, porcelana	1,3
Acero	50
Polietileno	0,42
Piedra cristalina	3,5
Piedra sedimentaria	2,3
Suelo y grava	2
Limo arcilloso de suelo	1,5
Agua	0,6
Aire	0,025

Nota: La tabla 2 evidencia los diferentes coeficientes de proporcionalidad para la conductividad térmica, tomado de (Pinterić, 2021).

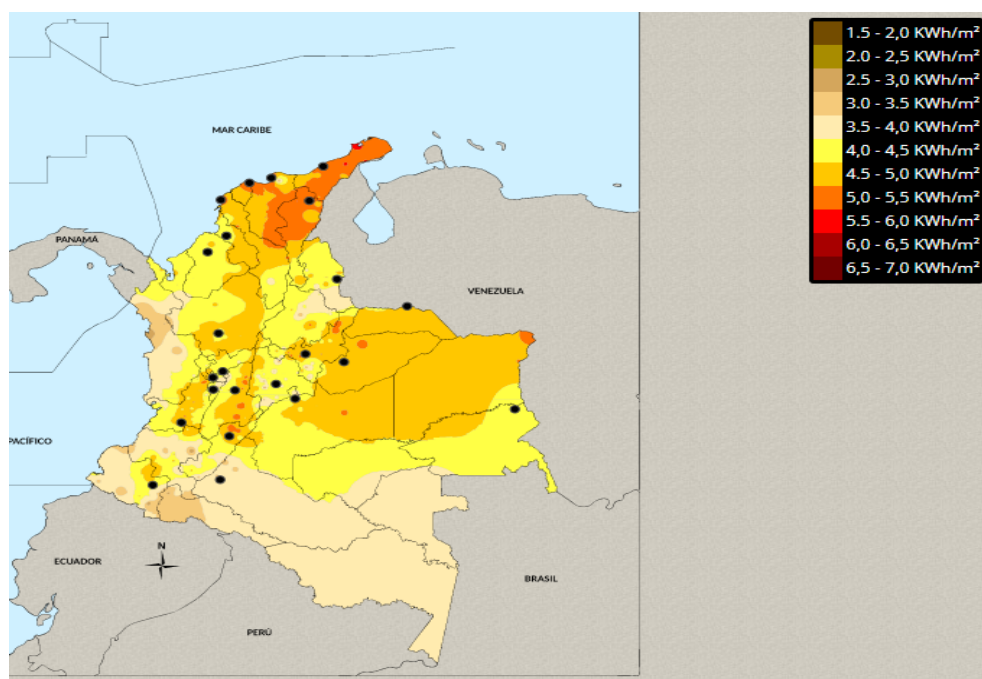
## Radiación solar

Los átomos y las moléculas de la materia no son estables. Su nivel de actividad depende de la temperatura, y sólo en el cero absoluto (0 K) estarían en reposo. Las cargas eléctricas transportadas por las partículas constantemente aceleran y desaceleran, generando ondas electromagnéticas de radiación. Una de las características de esta radiación es su longitud de onda  $\lambda$  (m). Con frecuencia, la longitud de onda se da en micrómetros ( $\mu\text{m} = 10^{-6}$  m) o en nanómetros ( $\text{nm} = 10^{-9}$  m). Dado que la radiación electromagnética se propaga a una velocidad conocida ( $c_0 = 2.998 \times 10^8$  m/s) (Medved, 2022). La frecuencia  $\nu$  (s<sup>-1</sup>) de la radiación electromagnética es:

$$\nu = \frac{c_0}{\lambda} \quad (5)$$

## Figura 5

### *Radiación solar en Colombia*





Nota: Radiación solar por zonas en Colombia, plataforma Atlas, (IDEAM, n.d.-a).

Transferencia de calor radiante:

Según Hens (2017), da a conocer una serie de variables presentes en el entorno debido a la transferencia de calor radiante, la cual expresa diferentes fórmulas tales como:

**Tabla 3**

*Transferencia de calor radiante*

Variable	Definición	Ecuación
Calor radiante (Q)	El calor emitido o recibido en forma de ondas electromagnéticas. Medida escalar, unidades J	
Flujo de calor radiante ( $\Phi_R$ )	El calor radiante por unidad de tiempo. Escalar, unidades W	$\frac{dQ}{dt}$
Flujo de calor radiante (q)	El flujo de calor radiante por unidad de superficie. Como una superficie emite radiación y la recibe de todas las direcciones, su unidad es W/m <sup>2</sup> , es un escalar.	$\frac{d^2Q}{dAdt}$
Intensidad de radiación (I)	La energía radiante emitida en una dirección específica. La intensidad es un vector, unidades W/(m <sup>2</sup> .rad) con $d\omega$ como el ángulo elemental en la dirección considerada.	$\frac{dq}{d\omega}$ o $\frac{d^2\Phi}{dAd\omega}$
Luminosidad (L)	La relación entre la tasa de flujo de calor radiante en una dirección $\beta$ y la superficie aparente, vista desde esa dirección. La luminosidad es un vector, unidades W/(m <sup>2</sup> .rad). Describe cómo una superficie receptora ve a una emisora.	$\frac{d^2\Phi}{\cos\beta dAd\omega}$

Nota: Tabla que identifica las variables de transferencia de calor radiante, tomado de (Hens, 2017).

**Figura 6***Energías renovables*

Energías  
Renovables

**Biomasa:** Materia biológicamente renovable (madera, carbón, etc.). Energía proveniente del sol, se manifiesta así:

Sólido: combustión; líquido: fermentación de azúcar, y, gaseoso: descomposición anaeróbica.

**Eólica:** Aprovechamiento del viento para la generación de energía mediante el movimiento de palas de un aerogenerador

**Geotérmica:** Es el calor interno generado por la corteza profunda de la tierra. Para el aprovechamiento de esta energía se necesitan acuíferos geotérmicos, inyectándoles vapor a alta presión, esto con el fin de accionar turbinas de vapor convencionales para energía eléctrica, más enfocado en la calefacción residencial

**Hidráulica:** Trabaja mediante la energía potencial del agua de ríos, ya que, al almacenarla, se puede descargar en niveles más bajos generando de esta manera energía para plantas hidroeléctricas.

**Oceánica:** como su nombre lo indica se presenta en océanos y/o mares, mediante mareas, corrientes marinas, y olas, se presenta energía cinética y potencial gracias a su movimiento. Se puede aprovechar para mover turbinas y generar corriente eléctrica.

**Solar:** Su fuente de alimentación es el sol, esta energía solar se presenta en dos maneras:

**Energía solar:** transformada a calorífica, exponiendo una superficie metálica al sol que calienta el agua al contacto térmico o concentrando la energía solar en espejos parabólicos

**Energía fotovoltaica:** la luz solar incide sobre celdas de silicio, creando diferencia potencial en los polos de la celda, generando corriente eléctrica. La constante solar de energía recibida es de 1370 w/m<sup>2</sup>

Nota: Figura que representa las diferentes energías renovables, (Creus Solé, 2014)

También denominadas energías alternativas, se usan mediante fuentes energéticas que se regeneran de manera natural y que son prácticamente inagotables, logrando así ser una metodología de generación de energía que busca poner pie fuerte para la reducción de gases de efecto invernadero y disminuir la dependencia de combustibles fósiles. Según la literatura, las energías renovables antes del siglo XVIII era las principales fuentes de energía, aprovechadas por el hombre para la agricultura y actividades domésticas, sin embargo, después de la llegada de la revolución industrial, las energías renovables se vieron en la necesidad de ceder terreno a energías a base de combustible fósil, ya que en ese entonces el recurso no renovable era considerada abundante y relativamente barata (Spiegeler & Cifuentes, 2016).

#### Eficiencia energética

Es una de las alternativas del siglo XXI para poner en práctica, ya que su principal función es la reducción significativa de energía, así como la mitigación de desperdicios, sin alterar de ninguna manera la calidad energética. Contribuyendo de esta manera a la reducción de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) para el mejoramiento de la calidad de vida al mejorar los problemas ambientales tales como el calentamiento global (Kappes Sáez, 2017). Uno de los propósitos por los que se encamina esta monografía es la de incentivar el uso de las energías limpias para el aprovechamiento de recursos naturales amigables con el ambiente, y de subir drásticamente el porcentaje de uso de energías renovables (véase figura 2), asimismo ir de la mano junto a las organizaciones de naciones unidas para colaborar con los objetivos de desarrollo sostenible, en especial el objetivo de energía asequible y no contaminante.

#### Edificio Energía Cero ZEB (Zero Energy Building)

Desde principios de la década de 1990, el potencial de la radiación solar incidente significativamente en las superficies de los edificios, para satisfacer las necesidades energéticas

se ha contribuido a la idea de edificios de energía neta cero, ganando aceptación generalizada como meta técnicamente factible a largo plazo. Un edificio ZEB o edificio de energía cero, normalmente se define como uno que, en un año promedio, produce tanta energía a partir de fuentes de energía renovable como el consumo de energía in situ. Casi toda la radiación solar se puede convertir en calor útil para la calefacción de espacios, así como otros fines útiles, como calentar agua y secar la ropa. Se deben establecer estas tecnologías para integrar y optimizar calor combinado y generación de energía para el avance de edificios hacia un consumo de energía cero (Athienitis & Brien, 2015).

Los edificios de energía cero combinan la eficiencia energética y la generación de energía renovable para consumir solo la energía que se puede producir en el sitio a través de recursos renovables durante un período de tiempo específico (U.S. Department of Energy, 2022).

**Tabla 4**

*Tecnologías solares pasivas en edificios de energía cero*

Tecnología	Descripción
Ventanas orientadas casi al ecuador con alta transmisión solar	Estas ventanas maximizan la cantidad de ganancias solares directas en el espacio del edificio, al tiempo que reduce las pérdidas y aumenta las ganancias de calor en envolventes de calefacción y refrigeración. Los tragaluces se emplean a menudo para la iluminación natural en edificios de oficinas y de uso habitacional.
Almacenamiento de energía térmica integrado en el edificio	El almacenamiento de energía térmica es comúnmente conocido como masa térmica, puede consistir en materiales de almacenamiento de calor sensible, como hormigón o ladrillo. Un muro de almacenamiento de colectores, conocido como muro trombe (Véase figura 7), consiste en una masa térmica que se coloca directamente frente al acristalamiento; Los sistemas de ganancia directa son la implementación más común de sistemas térmicos de almacenamiento debido a sus beneficios simultáneos para proporcionar calefacción pasiva, luz del día, y vistas al exterior.

<p>Envolvente o fachada opaca aislada herméticamente</p>	<p>Tal envoltura reduce la transferencia de calor hacia/desde el ambiente exterior, pero debe ser elegido para ser apropiado para el clima local. En la mayoría de los climas, este aspecto de eficiencia energética es una parte esencial en el diseño. Una tecnología solar que se puede emplear junto con opacas envolventes, es un aislamiento transparente combinado con masa térmica para almacenar las ganancias solares en una pared para convertirla en un elemento térmico de energía positiva. Además de optimizar su respuesta térmica, la envolvente debe controlar la transferencia de aire y humedad entre ambientes interiores y exteriores.</p>
<p>Tecnologías de iluminación natural y sistemas avanzados de control solar</p>	<p>Estas tecnologías proporcionar transmisión de luz diurna pasiva. Incluyen revestimientos electro crómicos y termo crómicos, persianas motorizadas que pueden controlarse automáticamente y dispositivos de persianas fijas, especialmente para aplicaciones de iluminación natural en el lugar de trabajo. Las tecnologías más nuevas, como la fotovoltaica transparente, también pueden generar electricidad mientras transmiten la luz del día. Estas tecnologías introducen un nuevo nivel de complejidad en el diseño de edificios ya que generan electricidad, tienen impactos indirectos en las cargas de refrigeración, así como el consumo de electricidad para iluminación.</p>
<p>Energía fotovoltaica integrada en edificios</p>	<p>Los paneles fotovoltaicos pueden servir como revestimiento exterior o tejas del techo mientras producen electricidad sin partes móviles. Así, pueden ser considerados un elemento pasivo. En algunos casos, la recuperación activa de calor de energía fotovoltaica integrada en edificios a través de circuito cerrado (p. ej., tuberías de agua como en las placas absorbentes del colector solar) o circuito abierto (aire que fluye en una cavidad detrás de los paneles fotovoltaicos) también se puede utilizar para producir calor útil.</p>

---

Nota: Tecnologías pasivas de edificios con energía neta cero, adaptado de (Athienitis & Brien, 2015).

### Categorías de la energía cero en edificios

Las tres categorías de medidas de edificios con energía neta cero son: pasivo, eficiencia energética y sistemas de energía renovable (Garde et al., 2017), con el mismo fin de reducir

emisiones y optimizar los recursos para la mejora de la sostenibilidad energética, en la figura 8 se evidencia las categorías de la energía cero en edificios.

### **Figura 7**

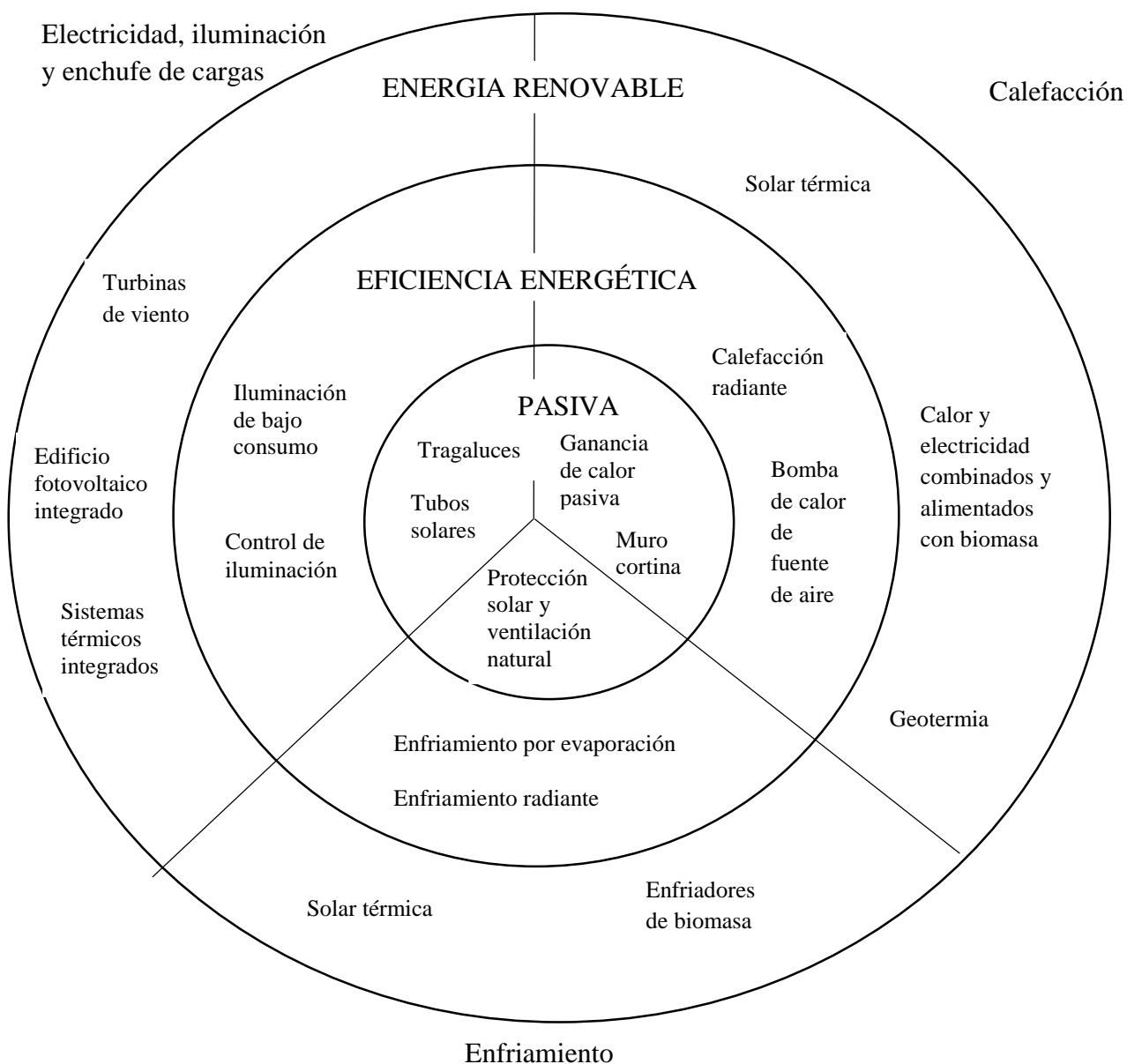
*Muro trombe*



Nota: Se aprecia el muro trombe recibiendo la luz solar a través del acristalamiento, que, a su vez, se comporta como masa térmica.

Figura 8

*Categorías de energía neta cero en edificios*



Nota: Figura que representa las categorías de la energía neta cero, así como la implementación de sistemas para su optimización energética, tomado de (Garde et al., 2017).

Los edificios de energía cero, suelen ser muy beneficiosos, pero también trae una serie de aspectos desfavorables que se deben pensar muy bien en la etapa de diseño, según F. Esmailion y A. Esmailion (2019), los edificios de energía cero tienen diferentes ventajas y desventajas, entre ellas se encuentran:

**Tabla 5**

*Ventajas y desventajas de los edificios de energía cero*

Ventajas	Desventajas
Estos edificios tienen una máxima adaptación a la naturaleza.	Los costos iniciales pueden ser más altos
Equilibrar el consumo y la demanda de energía	Son pocos los diseñadores o constructores que tengan experiencia y habilidades necesarias para construir un proyecto de energía cero.
Reducir la demanda de energía	El costo de la tecnología para nuevos equipos de celdas solares cae hasta un 17 % anual, lo que puede reducir el valor del dinero invertido en energía solar
Reducción significativa de la degradación ambiental debido al uso de energías renovables y cero combustibles fósiles.	
Mayor comodidad debido a temperaturas internas uniformes	
Estos edificios ahorran energía al reducir el consumo de energía en un 50%.	
Costos más bajos para una nueva estructura que instalar un dispositivo en un edificio antiguo.	
Fácil mantenimiento	

Nota: Ventajas y desventajas de implementar tecnologías de edificios de energía cero, tomado de (Esmailion & Esmailion, 2019).



## Normatividad

Para la construcción de edificios sostenibles en Colombia, se debe trabajar de la mano junto a la normativa vigente que regula todo lo relacionado con las buenas prácticas, normas técnicas y soluciones de eficiencia energética y sostenibilidad.

### Tabla 6

#### *Normativa nacional e internacional sobre energías renovables*

Norma	Que refiere
Ley 697 de 2001 del Ministerio de minas y energía	Se fomenta el empleo racional y eficiente de la energía, se impulsa el uso de energías alternativas en Colombia.
Resolución Número 18 0398 de 2004 del Ministerio de minas y energía	Reglamento técnico que da a conocer las condiciones técnicas que garanticen generación, transmisión, transformación, distribución y utilización de energía eléctrica en Colombia.
Resolución 0549 de 2015 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.	Normativa que establece parámetros que ayudan con la reducción de consumo de agua y energía, además de ser la resolución que regula la certificación EDGE (véase tabla 8)
ISO 50001	Es una norma internacional que establece criterios para la buena gestión del sistema energético, al igual como las actividades, productos o servicios requieran del uso de energía.
ISO/TS 12720:2014	Norma que fomenta la aplicación de principios generales y ayuda a las partes interesadas a considerar y/o incorporar el pensamiento de sostenibilidad en todas las fases del ciclo de vida del edificio o de las obras de ingeniería civil.
ISO 15392:2019	Sostenibilidad en edificación y obra civil, establece principios básicos de toma de decisiones y diseño para efectuar proyectos sostenibles.
ISO 16745-1: 2017	Proporciona requisitos para determinar y reportar una métrica de carbono de un edificio existente, asociado con la operación del edificio.

ISO 16745-2:2017	Norma encargada de la verificación de los cálculos métricos de carbono para emisiones nocivas al medio ambiente, se realiza de acuerdo a la ISO anteriormente mencionada (ISO 16745-1)
ISO 16818:2008	Esta norma internacional proporciona una serie de terminología para su empleo en el diseño de edificios energéticamente eficientes. Esta Norma Internacional es aplicable a edificios nuevos y edificios existentes reacondicionados.
ISO 52031:2020	Este documento hace parte de una serie destinada a la armonización internacional de la metodología para evaluar el rendimiento de energía en los edificios.

---

Nota: Tabla que da a conocer la normatividad vigente para uso racional de energía, tomado de (Ministerio de Minas y Energía, 2001), (Ministerio de Minas y Energía, 2004), (Ministerio de Vivienda, 2015), (International Organization for Standardization, 2011), (International Organization for Standardization, 2014), (International Organization for Standardization, 2019), (International Organization for Standardization, 2017a), (International Organization for Standardization, 2017b), (International Organization for Standardization, 2008) y (International Organization for Standardization, 2020).

Certificaciones ecológicas.

El impacto ambiental generado por la energía a través del sector de la construcción, como se ha mencionado, es evidente. Por lo tanto, es recomendable establecer criterios y técnicas constructivas en etapa de diseño que no solo mejoren la sostenibilidad del ciclo de vida de la vivienda, sino que también la calidad de vida de la persona. Se deben tener una serie de parámetros y lineamientos establecidos para recibir certificaciones ecológicas, a continuación, se

dará a conocer las certificaciones ecológicas más importantes que se pueden implementar en Colombia.

**Tabla 7**

*Certificaciones ecológicas*

Certificación	Concepto	Características	¿Cómo se otorga?
EDGE	Excellence in Design for Greater Efficiencies	Es un sistema de certificación de edificaciones amigables con el medio ambiente que permite a los diseñadores del sector de la construcción, construir de manera sostenible, esta metodología hace que sea más fácil y cómodo realizar diseños verdes. CAMACOL es el patrocinador oficial.	Cumplir con lo asignado en la resolución 0549 de 2015 (ver tabla 8).
LEED	Leadership in Energy & Environmental Design	Actualmente, es el Sistema más utilizado a nivel global, posee 4 niveles de certificación (véase figura 10), dependiendo del puntaje establecido por la esta organización, se otorga cierto nivel de certificación ecológico	Establecer criterios de diseño que efectúen ahorros energéticos, de agua, confort térmico, materiales ecológicos, de igual manera registrar el proyecto y realizar los diferentes criterios que exige en la página oficial LEED (ver tabla 9).
CASA COLOMBIA		El consejo colombiano de construcción sostenible (CCCS) incentiva la transformación de la construcción hacia la sostenibilidad, las certificaciones se presentan de acuerdo a puntuaciones de la entidad (véase figura 12 ).	Cumplir con diseños eficientes que mejoren la sostenibilidad del ciclo de vida de la vivienda, ver pasos en tabla 10.

Nota: Certificaciones ecológicas más importantes que se pueden implementar en Colombia, (EDGE Buildings, 2021), (Arquitectura Inteligente, 2022), (Consejo Colombiano de Construcción Sostenible, 2018), (Consejo Colombiano de Construcción Sostenible, 2021).

Tal como se ha mencionado, para obtener la certificación EDGE es necesario cumplir con una serie de requisitos propuestos por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, en su resolución 0549 de 2015, esta determina los porcentajes mínimos de ahorro de energía y agua, dichos porcentajes dependen de su clima tropical.

**Tabla 8**

*Porcentajes de ahorro para certificaciones EDGE*

Uso	Frio		Templado		Cálido seco		Cálido húmedo	
	Energía	Agua	Energía	Agua	Energía	Agua	Energía	Agua
Hoteles	20	25	35	10	25	35	45	45
Hospitales	35	10	25	40	35	10	30	40
Oficinas	30	30	30	35	40	45	30	20
Centros comerciales	25	25	40	15	35	45	30	20
Educativos	45	45	40	40	40	40	35	40
Vivienda NO VIS	25	25	25	25	25	20	45	20
Vivienda VIS	20	10	15	15	20	10	20	15
Vivienda VIP	15	10	15	15	20	10	15	15

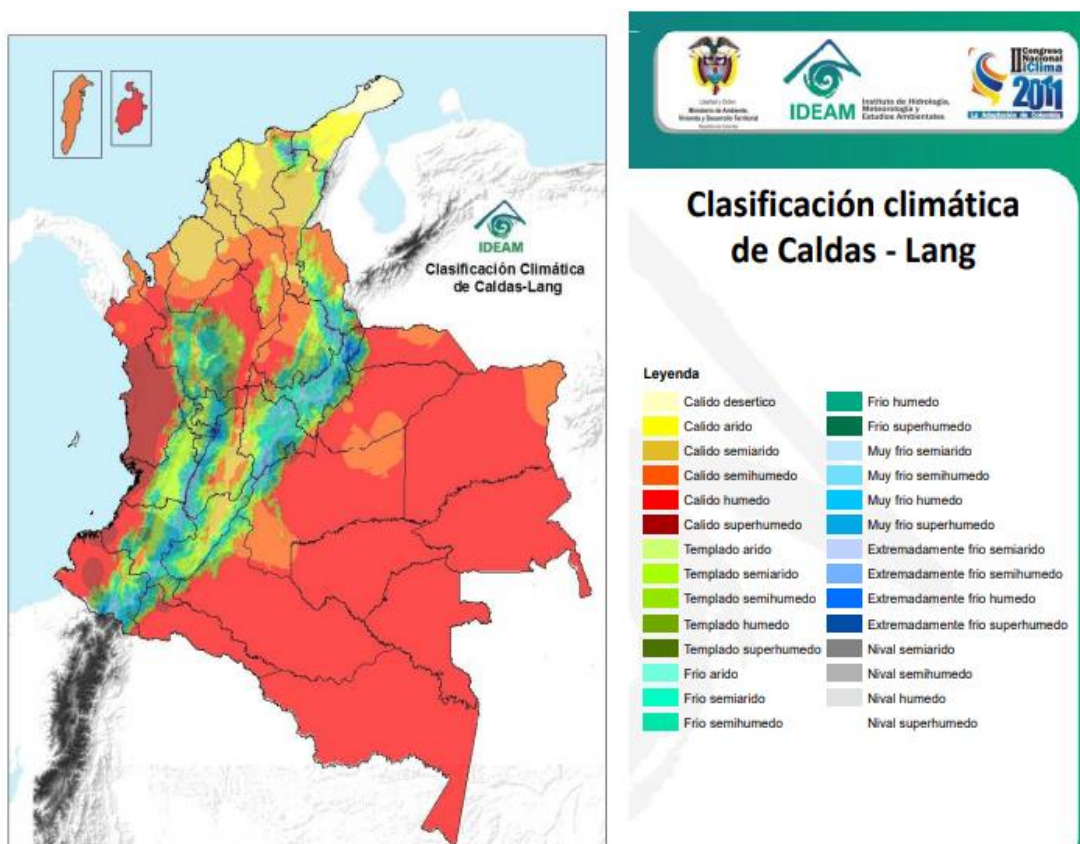
Nota: Porcentajes mínimos de ahorro de energía y agua dependiendo su uso y clima tropical, (Ministerio de Vivienda, 2015).

Para determinar las condiciones climáticas que se dan en el territorio colombiano, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Sostenible, el IDEAM y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, en trabajo en conjunto, a través de la

clasificación CALDAS-LANG, donde establece los valores de temperatura partiendo de la variación altitudinal y la relación de la precipitación con la temperatura, nos da una base para obtener información clave del clima tropical nacional, para establecer los porcentajes mínimos de ahorro de energía y agua (IDEAM et al., 2011).

## Figura 9

### Clasificación climatológica en Colombia



Nota: Mapa del territorio colombiano con clasificación climatológica por el método CALDAS-LONG, (IDEAM et al., 2011).

De igual manera, para obtener la certificación LEED para proyectos de construcción civil, se deben tener claro una serie de pasos y requisitos que se deben llevar a cabo con ayuda de

los profesionales LEED, a continuación, se muestra de manera resumida los pasos que se deben cumplir para obtener esta certificación.

**Tabla 9**

*Pasos a seguir para obtener la certificación LEED*

<b>Proceso</b>	<b>Descripción</b>
Viabilidad y utilidad de certificación	Este proceso se debe realizar incluso antes de obtener el terreno para construir, se debe establecer si el proyecto es viable para destinar los recursos del proyecto.
Requisitos mínimos del programa	1- El proyecto debe ser un edificio completo y permanente en un terreno existente 2- El proyecto debe ser mínimo de 93 m2, en proyectos de comercio e interiorismo mínimo 22 m2 3- Se debe contar con mínimo 1 ocupante permanente 4- Se debe evidenciar información del desempeño energético mínimo durante 5 años
Contratar un profesional o asesor LEED	Se debe contar con la presencia de un profesional o asesor LEED, ya sea ingeniero civil o arquitecto, que haga parte del grupo de trabajo para asesorar, identificar el proyecto, definir bases de diseño, supervisar, entre otros.
Sistema de clasificación	Todos los proyectos tienen objetivos diferentes, por tal motivo es importante conocer el sistema de clasificación que nos ofrece LEED (véase figura 11); Todo proyecto puede tener 1 o 2 sistemas de clasificación LEED.
Registrar el proyecto	El profesional es el encargado de registrar el proyecto ante GBCI, sus siglas en inglés Green Building Certification Institute, con el fin de obtener formatos base para el manejo de la plataforma online que permita el uso adecuado de la información que la plataforma suministra para dar inicio a la certificación LEED del proyecto
Cumplir con las categorías ambientales	Para continuar con el procesos de certificación LEED, es importante cumplir con las categorías ambientales presentadas por LEED, allí se presenta el lugar sostenible del proyecto, eficiencia de agua, energía y atmosfera, materiales y recursos, calidad del ambiente interior y por último la innovación y diseño

Reunir y enviar información	Se deben enviar la respectiva documentación de cada etapa (diseño y construcción), con los soportes correspondientes.
Certificación LEED	El GBCI (Instituto de certificación de edificios verdes) es el encargado de otorgar o negar la certificación LEED, en caso de no obtener dicha certificación, se podrá solicitar una aclaración de créditos donde se tengan dudas en su cumplimiento

Nota: Se presenta una serie de pasos de manera resumida que se deben tener en cuenta para obtener la certificación LEED, tomado de (Arquitectura Inteligente, 2022).

## Figura 10

### *Tipos de certificación LEED*



Nota: Nivel de certificación ecológica LEED, (Arquitectura Inteligente, 2022).

## Figura 11

### *Sistemas de clasificación LEED*



Nota: Sistemas de certificación ecológica LEED, (Arquitectura Inteligente, 2022).

Por último, dentro de las certificaciones ecológicas presentes en esta monografía, tenemos la certificación ecológica de CASA COLOMBIA, la cual tiene una serie de requisitos al igual que las anteriores, que son de carácter obligatorio su cumplimiento para poder recibir dicha certificación ecológica

**Figura 12**

*Certificación ecológica CASA COLOMBIA*



Nota: Nivel de certificación ecológica CASA COLOMBIA, (Consejo Colombiano de Construcción Sostenible, 2021)

**Tabla 10**

*Pasos a seguir para recibir la certificación CASA COLOMBIA*

Proceso	Descripción
Registro	Se diligencia y se firma el formato de acuerdo de registro y se realiza el pago directamente con CCCS, seguidamente se le asignará una persona para el acompañamiento técnico del proyecto
Pre certificación	Es un certificado que permite integrar el cumplimiento de los lineamientos y alternativas usadas para la sostenibilidad del proyecto, de igual manera, es una ayuda para la socialización de inversionistas y futuros compradores



Revisión de documentación de diseño	Bureau Veritas es la entidad encargada de realizar esta revisión, toda la información referente al proyecto en cuestión de diseño, se debe subir con sus respectivos soportes, en caso de que se requiera información adicional, Bureau Veritas se lo comunicará directamente.
Certificado y reconocimiento en diseño	Una vez cumplidos los lineamientos del paso anterior, Bureau Veritas y el Consejo Colombiano de Construcción Sostenible le otorga un certificado de diseño del proyecto
Revisión documentación de construcción	Bureau Veritas es la entidad encargada de realizar esta revisión, toda la información referente al proyecto en cuestión de construcción se debe subir con sus respectivos soportes, en caso de que se requiera información adicional, Bureau Veritas se lo comunicará directamente.
Auditoria final en sitio	Una vez aprobados los lineamientos anteriormente mencionados, Bureau Veritas programa una auditoría en el sitio del proyecto, para revisar la implementación de los lineamientos aprobados
Entrega de certificado	Proceso mediante el cual el Consejo Colombiano de Construcción Sostenible entrega el certificado al proyecto CASA COLOMBIA
Capacitación en sala de ventas	Es una herramienta para que los proyectos puedan establecer mejores estrategias de sostenibilidad a clientes y/o posibles compradores

---

Nota: Pasos resumidos a seguir para obtener la certificación CASA COLOMBIA, tomado de (Consejo Colombiano de Construcción Sostenible, 2022).

## 6. Estado del conocimiento.

La literatura es un factor muy importante para el cumplimiento de los objetivos del presente trabajo de grado, por tal motivo es indispensable dar a conocer los diferentes avances, tesis y trabajos de grado relacionados al tema de estudio y sostenibilidad energética en obras de infraestructura, donde se evidencian estándares, estrategias, mejoras y consultas teóricas que abarcan el sistema energético de un edificio.

Las principales fuentes de búsqueda son la plataforma scopus, sciencedirect, e-libro y trabajos de grado de diferentes universidades nacionales e internacionales en sus respectivos repositorios institucionales, con palabras clave energía cero, eficiencia energética, energías renovables, edificación.

1. Uno de los artículos consultados en la presente monografía, es la del aprovechamiento de la ventilación natural que presenta la ciudad de Bogotá con sus características propias climatológicas para llegar al confort térmico deseado, esta investigación se llevó a cabo en diferentes puntos de la ciudad, específicamente en 8 oficinas, el periodo de investigación y recolección de datos fue de 3 meses, del 19 de febrero al 11 de mayo de 2018. La toma de datos consistió en entrevistar a 72 personas, con un total de 790 encuestas, involucrando diferentes variables tales como temperatura interior del edificio, temperatura exterior, vestimenta de los encuestados, percepción y sensación térmica, por último, la preferencia térmica a la cual les gustaría estar trabajando. En esta investigación realizaron cálculos mediante la ecuación de Griffiths , dando como resultados a una aceptación térmica de 96,58%, y según el método de Griffiths, la temperatura ideal para la operación de las oficinas analizadas en lograr un confort térmico es de 23,47 ° C. Esto se diferencia de los modelos que recomienda la ASHRAE, que

establecen rangos de temperatura más bajos. La aplicación de estos modelos podría ayudar a incrementar el consumo de energía, en una ciudad donde los niveles adecuados de confort térmico podrían obtenerse principalmente a través de la ventilación natural (García et al., 2019).

2. Se realizó un estudio en la Universidad Nacional de Colombia, al integrar un sistema fotovoltaico en la facultad de ciencias de la UNC, consta de la comparación de dicho sistema implementado, respecto a otros sistemas de generación de energía convencionales (Carbón, Diésel, Gas Natural e Hidroeléctrica.), con ayuda de un software llamado Umberto NXT LCATM, este paquete de software cuenta con una interfaz gráfica que permite definir los flujos de materiales o energía según el modelo a analizar, y también establecer el impacto ambiental de forma cuantitativa durante el proceso. Dentro de sus resultados, está la comparación fotovoltaica con la hidroeléctrica, arrojando una comparativa muy similar, presentando los mismos impactos ambientales, mientras que la energía generada a través del carbón, genera un 84% de emisiones dañinas al ecosistema (Sierra et al., 2020).

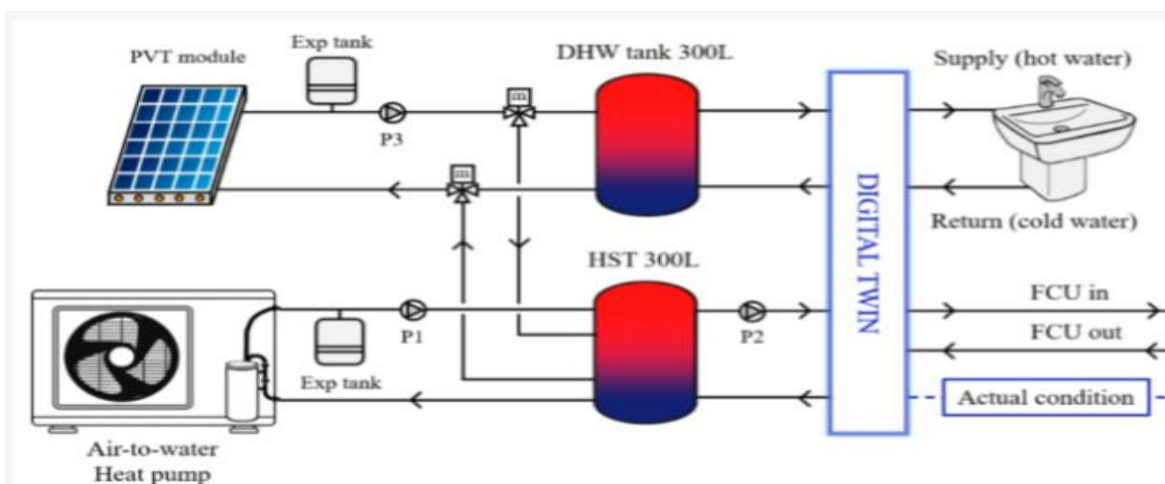
3. El siguiente artículo consultado, se centró en el edificio Centro Ático, ubicada en el campus de la pontificia Universidad Javeriana, para llevar a cabo el procedimiento de implementación de certificación LEED (Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental), indicando como datos iniciales los consumos energéticos y de agua, y el consumo de operación del edificio, se dan una serie de estrategias de para la mejora del edificio y poder obtener dicho certificado, al finalizar el diseño del edificio, se realiza una comparativa de los datos antes y después realizar modificaciones para la obtención de la certificación LEED, dando como resultado a que los costos de inversión para la certificación LEED, para el edificio centro ático, son \$ 700.672.765 [COP], expresados al año 2010; Concluyendo a una reducción en el consumo de agua y energía

eléctrica, con un valor de retorno de \$862.588.146 [COP], en un ciclo de vida de 30 años. Esta inversión genera una reducción anual del 42,7% en el uso de agua y del 31,2% en el uso de energía eléctrica (Ribero et al., 2016).

4. El siguiente caso estudio es muy interesante, el cual propone un sistema integrado fotovoltaico-térmico y de bomba de calor de fuente de aire para realizar ZEB (Zero Energy Building) en un edificio existente a pequeña escala. Este estudio fue dirigido a un edificio existente en la ciudad de Busan, República de Corea, su superficie construida de 110 m<sup>2</sup> y la altura del piso al techo de 3,9 m (Bae et al., 2022). El sistema integrado fotovoltaico-térmico con bomba de calor de fuente de aire está compuesto de la siguiente manera:

### Figura 13

*Sistema integrado de bomba de calor Fotovoltaico-Térmico y aerogenerador*



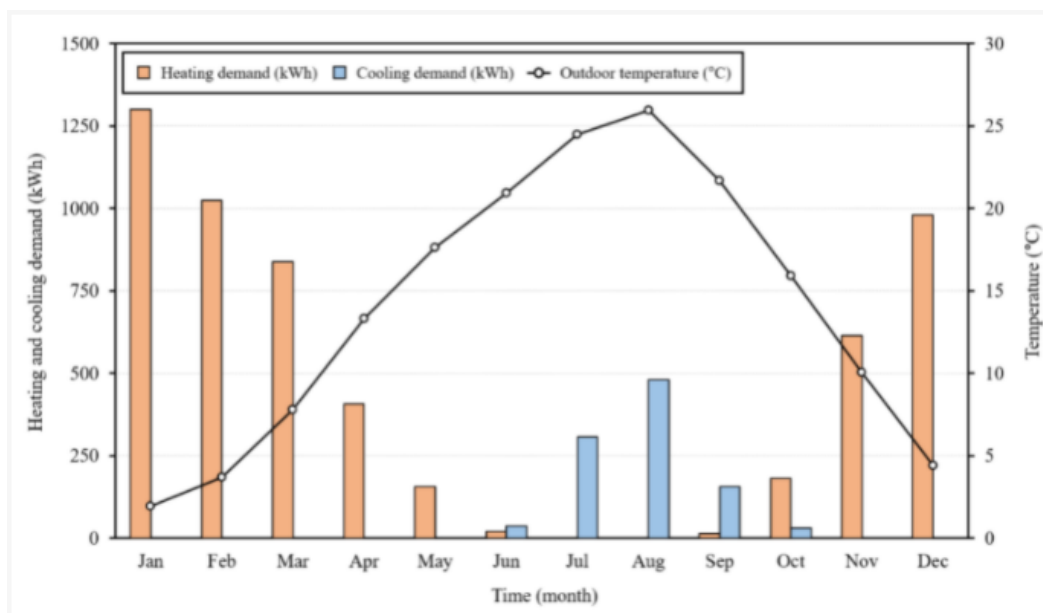
Nota: Diagrama que representa un sistema integrado de calor fotovoltaico-térmico y aerogenerador, tomado de (Bae et al., 2022).

El sistema consta de un módulo fotovoltaico (PVT), un depósito de agua caliente sanitaria (ACS), un depósito de almacenamiento de calor (HST), una bomba de calor de fuente

de aire (ASHP), una unidad de bobina de ventilador (FCU) y bombas de circulación. Además, el sistema de monitoreo en tiempo real se utiliza para medir las condiciones de operación, como las condiciones climáticas, la temperatura y el caudal de los equipos, y el uso de energía y las condiciones de producción. Durante el año de prueba se debió realizar estudios previos en cuanto las temporadas de calefacción y refrigeración.

### Figura 14

*Consumo de energía para caso estudio casa con energía cero*



Nota: Estudio de consumo de energía para calefacción y refrigeración en un periodo de un año, tomado de (Bae et al., 2022).

La figura anterior muestra las demandas de carga mensuales de calefacción y refrigeración del edificio, las demandas anuales de calefacción y refrigeración se calcularon en 5543 y 1016 KW/mes, respectivamente. Además, se encontró que las cargas máximas de calefacción y refrigeración eran de 15 y 3 kW, respectivamente. Para los análisis de demanda de calefacción y refrigeración, se utilizaron los datos meteorológicos proporcionados por la Administración Meteorológica de Corea para la ciudad de Busan, República de Corea. La

temperatura exterior promedio anual fue de 14 °C, y las temperaturas máxima y mínima de 26 °C y 2 °C, respectivamente.

Dentro de los resultados obtenidos al implementar el sistema fotovoltaico-térmico con bombas de calor con fuente de aire, son las siguientes:

- La producción de calor total diaria del módulo PVT fue de 1,2 kW y su eficiencia térmica máxima fue del 6,5%. El módulo PVT suministró agua caliente a una temperatura media de 21 °C al depósito de ACS de 11 a 14 h. En el área de Busan, la temperatura máxima de salida del módulo PVT en el día más frío (día representativo) fue de 23 °C.

- En la temporada de refrigeración, el módulo PVT podría suministrar agua caliente al depósito de ACS, a una temperatura aproximadamente 20 °C. Sin embargo, el módulo PVT no pudo cumplir con el estándar de temperatura del agua caliente (60 °C), recomendado por ASHRAE. Por lo tanto, se requiere una fuente de calor auxiliar de baja capacidad o una bomba de calor para el almacenamiento de calor para responder al estándar de temperatura del agua caliente.

- En la temporada de calefacción, el tanque de almacenamiento de calor disminuyó gradualmente en aproximadamente 0,12 °C/h debido a la temperatura ambiente y la pérdida de calor del tanque. Aunque se produjo una carga de calefacción a las 6:00 p. m., la temperatura del tanque se mantuvo en 43 °C debido al almacenamiento de calor por parte de la bomba de calor.

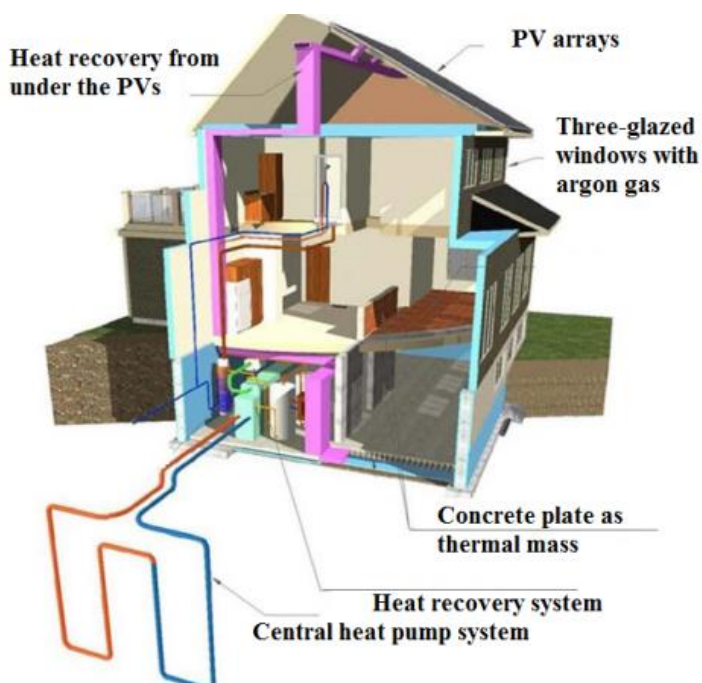
5. El siguiente estudio consultado se enfoca en la Economía circular, con esta metodología se puede mejorar significativamente la sostenibilidad en el sector de la construcción. Según los autores, este trabajo realiza un análisis científico cuantitativo de la

evolución de la aplicación de la Economía Circular en el sector de la edificación para detectar nuevas tendencias y destacar la evolución de este tema de investigación. Se recopilieron y analizaron alrededor de 7000 documentos publicados de 2005 a 2020 en Web of Science y Scopus, además de indicar parámetros como reutilización de materiales de construcción para reducir contaminantes en obras, energía y eficiencia energética en edificios, uso de materiales alternativos, industria 4.0, entre otros. También presenta estadísticas acerca de trabajos de investigación relacionados con el tema, de igual manera, recolecta información de todos los países, indicando que el país con mayor publicación de investigaciones es China, con un 18% del total (Norouzi et al., 2021).

6. Comparación de consumo de energía de edificios convencionales y edificios de energía cero, caso estudio ubicado en la Florida, U.S.A.

### Figura 15

*Tecnología de diseño usada en caso estudio de ZEB*



Nota: Imagen que demuestra la tecnología usada en edificios cero energía, (F. Esmailion & A. Esmailion, 2019).

En un proyecto en Estados Unidos, bajo el título “On the Road to Zero Energy”, se investigaron dos edificios en Florida para demostrar la eficiencia energética. El primer edificio era un edificio con arquitectura y equipamiento convencional, y el segundo edificio, el Edificio de Energía Cero, que utilizaba energía solar para sus necesidades de refrigeración, calefacción y spa interior. La infraestructura de ambos edificios y su ubicación eran similares en orientación geográfica. Al final del proyecto, se descubrió que la construcción de energía cero con tecnología de energía solar podía reducir el consumo de energía en un 90 %. Esto se debió al tipo de diseño y equipamiento que hizo que los dos edificios funcionaran de manera diferente. A continuación, se presenta una comparación de las tecnologías usadas en los dos edificios estudiados.

**Tabla 11**

*Comparación edificio energía cero con edificio convencional*

ZEB (Zero Building Energy)	Edificio convencional
Calentador de agua solar 2Kw	Revestimiento de asfalto oscuro
Sistema fotovoltaico de 4Kw	Aislamiento del ático
Aislamiento del ático	Aislamiento en paredes exteriores de hormigón
Aislamiento en paredes exteriores de hormigón	Marcos de ventanas de aluminio con vidrio simple
Ventanas de doble acristalamiento	Electrodomésticos estándar
Electrodomésticos de alta eficiencia	Sistema de iluminación estándar

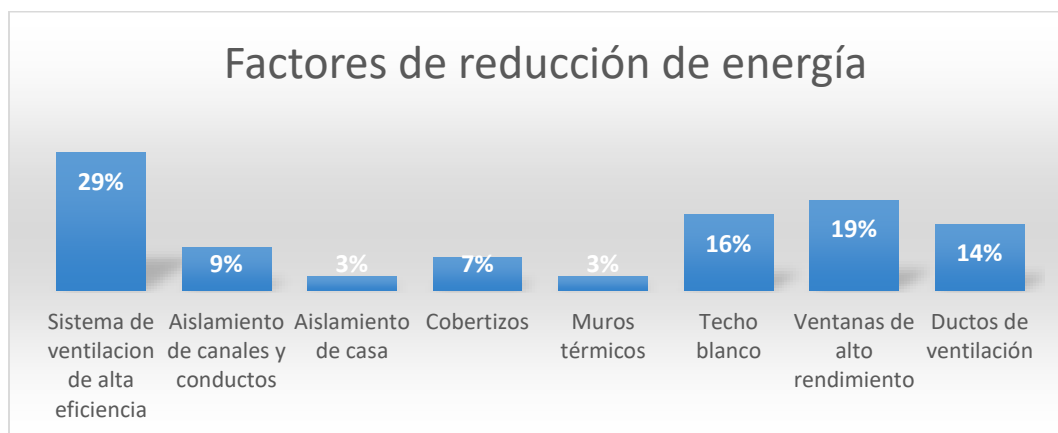


Nota: Tabla comparativa de edificios de caso estudio en la Florida, USA. Tomado de (F. Esmailion & A. Esmailion, 2019).

Como se observa en la figura 16, cada uno de los siguientes factores reduce el consumo de energía de una casa de energía cero en comparación de un edificio convencional.

### Figura 16

*Porcentaje de factores de reducción de energía*

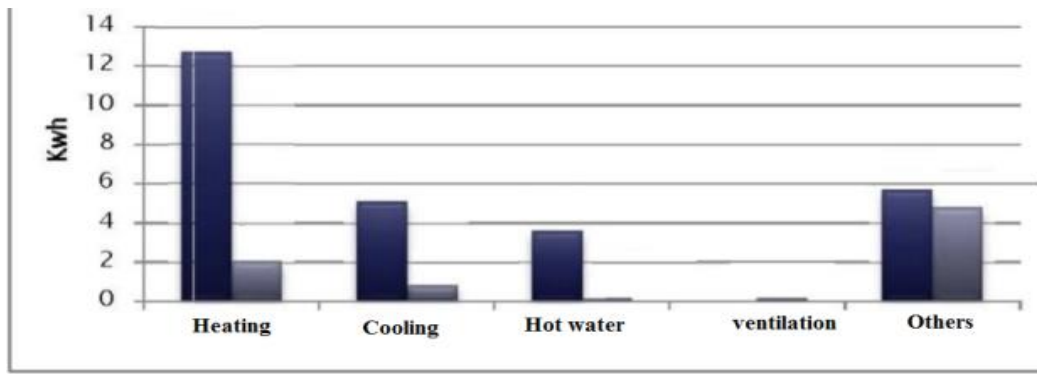


Nota: Se evidencian los porcentajes de ahorro energético que presenta cada factor de reducción de energía, tomado de (F. Esmailion & A. Esmailion, 2019).

Por último, la siguiente estadística evidencia la reducción significativa de energía para la calefacción, refrigeración, agua caliente, ventilación y demás aspectos.

### Figura 17

*Comparación de consumo de energía en casas de energía cero y casas convencionales*



Nota: Se puede ver que el diseño del hogar de energía cero reduce la cantidad de energía consumida en diferentes sectores, (F. Esmailion & A. Esmailion, 2019).

## 7. Análisis de propuesta de uso de energía solar para una vivienda existente

Es pertinente realizar un ejercicio práctico, donde se pretenda instalar uno o más sistemas de aprovechamiento de luz solar para la generación de energía eléctrica, por tal motivo, se desarrollará un caso propuesto para una vivienda de 9m x 11m y de una altura de entrepiso de 2,20 m ubicada en la ciudad de Duitama, donde se analizarán los lineamientos más importantes para la puesta en marcha de un kit solar fotovoltaico pre ensamblado y un calentador solar.

### Localización

La vivienda se ubica en la transversal 15 No. 20-93, en el barrio vaticano, con coordenadas geográficas  $5^{\circ}49'49.72''$  N  $73^{\circ}01'47,28''$  W, con una cota aproximada de 2550 msnm.

### Figura 18

#### *Localización de vivienda del caso propuesto*



Nota: Ubicación geográfica del caso propuesto para el desarrollo de la monografía, tomado de Google Earth.

## Condiciones climatológicas

Durante el año, en la ciudad de Duitama, las condiciones climatológicas se dividen en dos temporadas secas y dos lluviosas, mediante el cual, enero, febrero, julio y agosto suelen ser secos. La temporada de lluvias se extiende desde finales de marzo hasta inicios de junio y desde finales de septiembre hasta inicios de diciembre. La temperatura media es de 13,7°C. Al mediodía, la temperatura promedio es de 18 a 21 grados centígrados. A primera hora de la mañana, la temperatura mínima oscila entre los 5 y los 8 °C, aunque en verano y principios de verano, las temperaturas pueden descender a menos de 5 °C a primera hora de la mañana. El sol brilla unas 4 horas al día durante la época de lluvias, pero durante la estación seca la insolación alcanza las 6 horas diarias. La humedad relativa del aire es cercana al 70% en la época seca de principio de año y en épocas de lluvias alcanza valores de alrededor del 79% (IDEAM, n.d.).

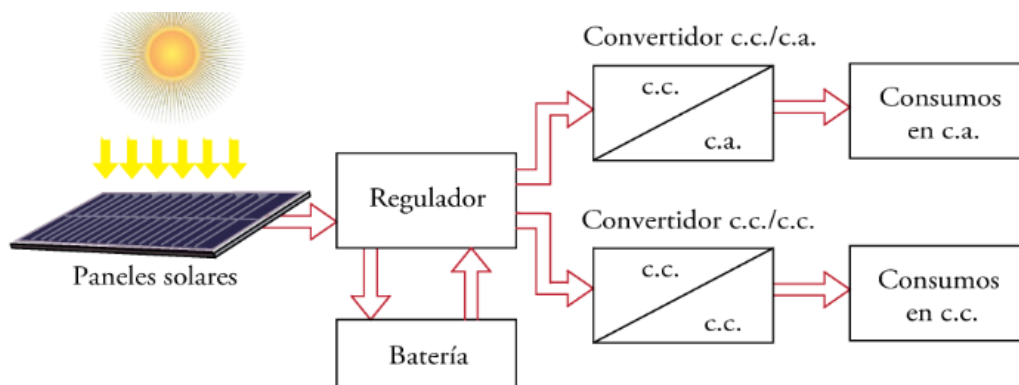
## Estudio técnico

Es importante conocer las características del kit solar fotovoltaico y el calentador solar, a continuación, se identifican brevemente cada componente de las tecnologías últimamente mencionadas.

## Componentes de un kit solar fotovoltaico

### **Figura 19**

*Componentes de un sistema solar fotovoltaico*



Nota: Ilustración de los componentes de un sistema fotovoltaico, tomado de (Tobajas Vázquez, 2018).

Panel solar:

Es una placa o dispositivo que aprovecha la energía solar para la generación de energía eléctrica gracias a la radiación solar que incide sobre las células fotovoltaicas del panel

Baterías:

Es una parte importante del kit fotovoltaico, ya que su función principal es la de almacenar energía para ser utilizada durante la noche o en periodos largos donde la radiación solar sea muy baja.

Regulador:

Su función principal es la de disipar y regular la entrada y salida de corriente de las baterías de acuerdo a su estado de carga, de esta manera protegen los componentes de la sobre carga o carga excesiva.

Convertidor:

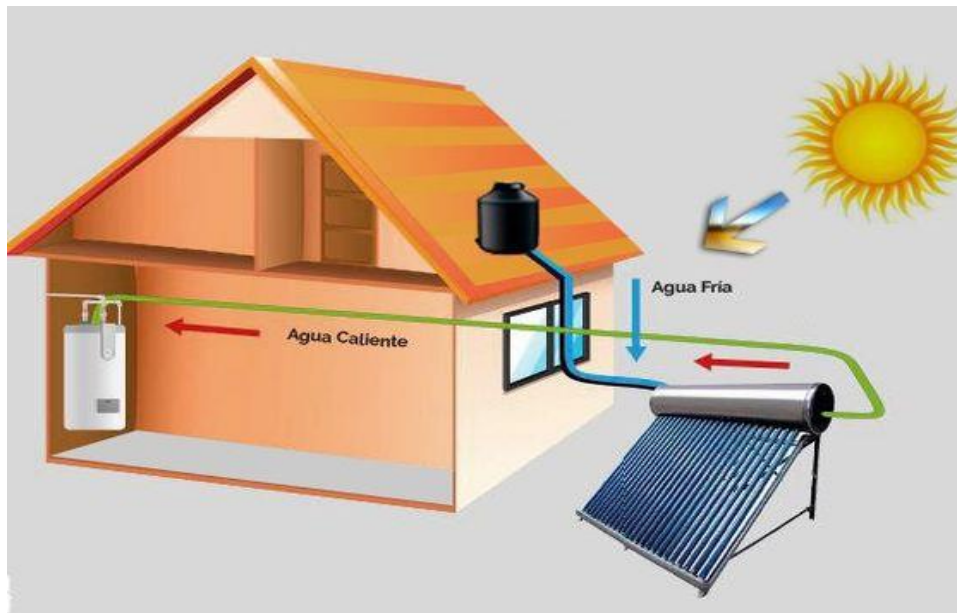
También llamado inversor, es la que convierte la energía continua, generalmente de 12, 24 y 48v que se generan gracias a los paneles, y adaptarlos a una red de mayor potencia de corriente alterna de 220v, es decir, para uso racional de energía.

### Calentador solar:

Se trata de un circuito de fluidos para calefacción, que suele utilizar agua directamente para uso sanitario, para calentar piscinas al aire libre o para duchas, este sistema ahorra energía y el mantenimiento es muy fácil, la desventaja de este sistema se presenta en periodos de climas frescos (Creus Solé, 2014). No obstante, Víctor Salcedo (2011) mediante una serie de pruebas que realizó en su tesis de grado con tubos al vacío de calentador solar, menciona que el tiempo necesario para que el agua alcance una temperatura mayor de  $60^{\circ}$  en un clima nublado y con poca presencia del sol es de aproximadamente 6 horas, mientras que la temperatura mínima del agua en primeras horas de la mañana se encuentra con una temperatura de  $17,5^{\circ}$  (Salcedo Cobo, 2011).

### Figura 20

*Sistema de calentador solar de agua*



Nota: sistema como funciona un calentador solar, tomado de (Salcedo Cobo, 2011)

### Orientación:

Como se puede observar en la tabla 4, para el aprovechamiento máximo de la luz solar, es recomendable usar la orientación en sentido a la línea del ecuador, como estamos en el hemisferio norte, la orientación óptima para los paneles solares y el calentador solar, se debe orientar hacia el sur.

### Cotizaciones de materiales en el mercado:

Dentro de las variables de estudio se encuentra el factor dinero, por tal motivo es muy importante realizar costes o estimaciones para implementar sistemas renovables, así que, se hará un presupuesto para la integración de un sistema fotovoltaico y un calentador solar de agua. Se realizaron cotizaciones en una empresa local y dos más en Bogotá, donde se da a conocer el valor del material que contiene el kit solar para 3 diferentes consumos, de igual modo, se realizan cotizaciones de calentadores solares de agua.

**Tabla 12**

#### *Cotización de calentador solar de agua*

Calentador solar de agua			
Empresa	Descripción	Precio	Capacidad
Power Grid s.a.s	Calentador solar de agua por gravedad de 250L	\$ 4.700.000	5 - 7 personas
Mercado Libre	Calentador solar de agua de 200L	\$ 4.990.000	5 personas
Calentadores premium	Capacidad para almacenar 150L	\$ 1.989.000	4 personas
	Capacidad para almacenar 300L	\$ 7.599.000	8 – 9 personas

Nota: Cotización calentador solar de agua con su respectiva capacidad, elaboración propia

**Tabla 13***Cotización kit solar fotovoltaico*

Empresa	Descripción	Precio	Consumo a satisfacer	
			diario (W/día)	mensual (KW/mes)
Power Grid s.a.s	Planta pre ensamblada que incluye: -2 paneles solares de 550w de potencia -1 Batería de 24v -1 controlador -1 Inversor de 24v	\$ 3.500.000	900	30
Emergente Energía Sostenible	Kit solar para viviendas aisladas o que requiera de la reducción hasta del 100% de consumo, consta de: -4 paneles poli cristalino de 330w de potencia con su respectiva estructura -1 inversor de 24v -2 baterías de 12v y 250Ah con su respectivo cableado -1 gabinete para baterías -1 caja de fusibles (controlador) -30m de cable solar con accesorios	\$ 9.300.000	2000	66,7
Enertec Colombia s.a.s	Kit solar que consta de: -6 paneles solares mono cristalinos de 440w -1 inversor de 24v -6 baterías de 12v y 200Ah -10 m de cable solar con accesorios -1 Caja protectora con 4 tacos -20 m de cable puesta en tierra	\$ 20.397.000	3000	100

Nota: Cotización de kit solar con su consumo a satisfacer, elaboración propia



## 8. Resultados

### Datos de consumo

La vivienda consta de 3 niveles, pero solo se plantea el caso propuesto para el último nivel, ya que los equipos seleccionados para el ahorro energético no cumplen con la suficiente capacidad de suministro de energía a satisfacer para los 3 niveles, por consiguiente, se debe tener claro el consumo que se va a satisfacer (tabla 14) con ayuda de las tecnologías renovables, en este caso el kit solar (véase figura 19) y calentador solar (véase figura 20). Según Power Grid, la empresa local proveedora de los materiales, el consumo neto que puede satisfacer estas dos tecnologías, es de 60 kW/mes. Cabe resaltar que el sistema solar fotovoltaico, para este caso, no es apto para satisfacer consumos altos como los de la lavadora, nevera y duchas eléctricas. A continuación, se da como ejemplo los electrodomésticos que pueden trabajar con las tecnologías a implementar

**Tabla 14**

#### *Consumo energético de electrodomésticos*

Fuente	Electrodoméstico	capacidad (w)	Cantidad	Horas al día	KW/día	KW/mes
Kit solar	Computador	150	1	3	0,45	13,5
	Bombillas	25	4	2	0,2	6
	Equipo de sonido	200	1	2	0,4	12
	Licuada	125	1	0,2	0,025	0,75
Calentador solar	Ducha eléctrica	3000	1	0,3	0,9	27
Total						59,25

Nota: Se presenta un ejemplo de que electrodomésticos pueden trabajar con la potencia de la tecnología a implementar, elaboración propia.

Según los electrodomésticos a conectar, el kit solar se encarga de producir energía a un computador personal por 3 horas diarias, un sistema de iluminación de 4 bombillas por 2 horas

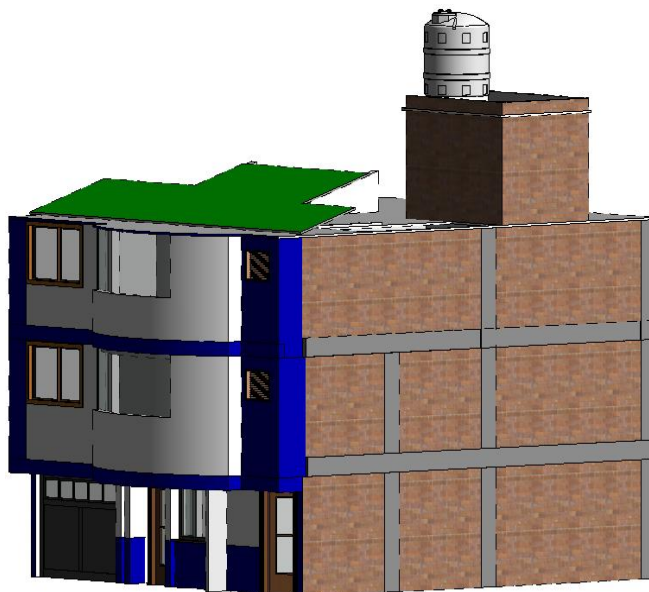
diarias, un equipo en uso de dos horas por día, una licuadora que funcionaría por unos 12 minutos al día, de esta manera el sistema fotovoltaico proveerá de 32,25 KW/mes, es decir, el 54,4% de consumo energético renovable. De igual modo, el calentador solar sería el cambio perfecto por las duchas eléctricas, ya que actualmente se usa este último sistema, lo cual genera una ayuda significativa al ahorro de energía, ya que la ducha eléctrica es uno de los aparatos que más consume, dicho electrodoméstico tiene un consumo de 3KW, si se pone en uso por 18 minutos al día, genera un consumo de 27 KW/mes, es decir, el 45,6% de consumo energético renovable.

#### Materiales:

Aparte de las tecnologías de eficiencia energética, se deberá tomar en cuenta otros factores tal como lo son los materiales a usar para la ejecución de la instalación de los dos sistemas, por ende, es importante realizar un modelado de la arquitectura presente, para posteriormente diseñar sobre ella las posibles redes de energía fotovoltaica y red de agua caliente sanitaria, se apoyó con el software Revit, de la empresa Autodesk, para poder tener una mejor visualización del proyecto, y asimismo obtener cantidades de las tuberías que se requieren para la ejecución del proyecto.

**Figura 21**

*Comparativa arquitectura real con modelado de la vivienda*

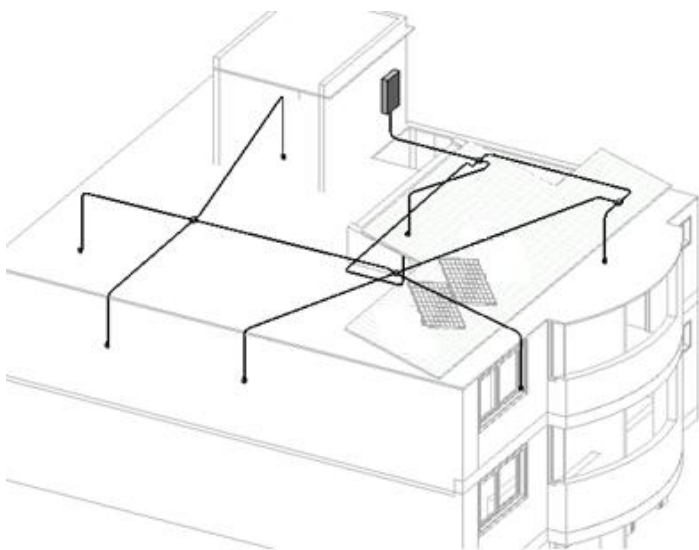


Art

Nota: Comparación arquitectura real con modelado de la vivienda, elaboración propia.

**Figura 22**

*Diseño red fotovoltaica para el tercer nivel de la vivienda*

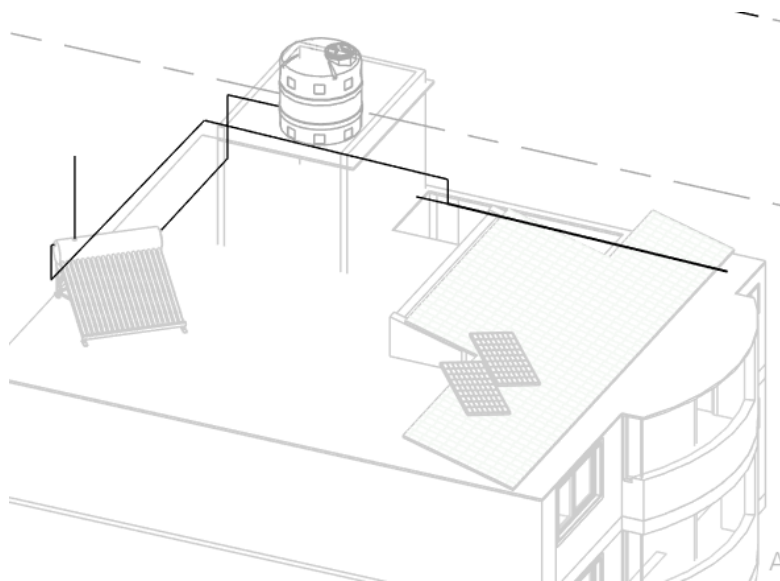


Nota: Diseño de la red fotovoltaica con sus diferentes componentes, elaboración propia.

Gracias a la posibilidad de diseñar en un software de trabajo interdisciplinar, es decir, junto con las demás especialidades (Arquitectura, estructura, redes), se puede proponer un sistema de red fotovoltaica mediante el cual se conectará el cableado eléctrico desde el kit solar hasta el lugar de suministro, el kit solar se ubica en el cuarto de la azotea, como se aprecia en la figura 22, dando resultado a 4 cajas octogonales, que son las que van en el techo del nivel 3, planteando de esta manera iluminación a las escaleras, la sala, una habitación y un baño, cada una inter cableada con sus interruptores y conectores.

### Figura 23

*Diseño red de agua caliente conectada a calentador solar para dos baños del último nivel de la vivienda*



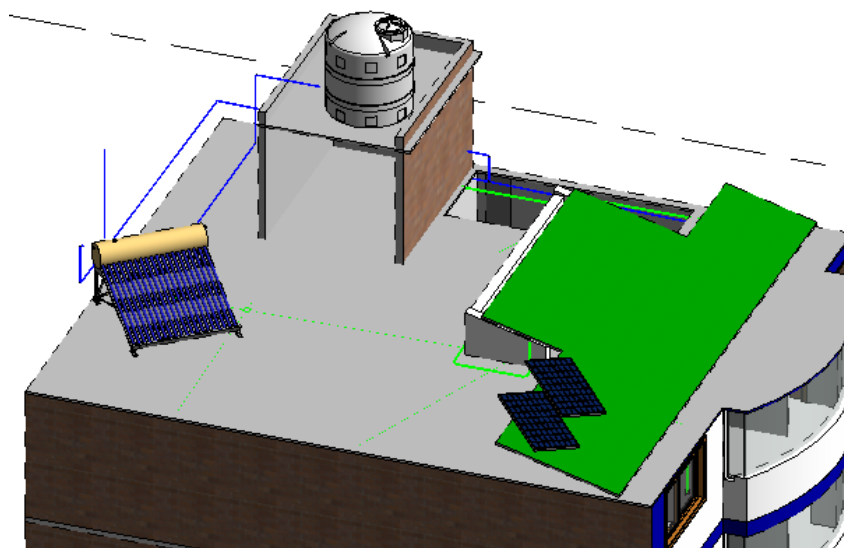
Nota: Diseño red de agua caliente conectada a calentador solar, elaboración propia.

Al igual que la red fotovoltaica, se propone un sistema de tuberías para la instalación del calentador solar de agua para dos baños del tercer nivel de la vivienda, se diseñan las 2 redes

sobre la arquitectura existente para evitar interferencias que atrasen la etapa de ejecución. Las redes instaladas se aprecian en la figura 24.

### Figura 24

*Diseño de red fotovoltaica y de agua caliente para tercer nivel de la vivienda de caso propuesto*



Nota: Red de agua caliente (red azul) y red fotovoltaica (red verde) reflejada en el modelado de la vivienda para evitar interferencias, elaboración propia.

Cantidades de obra:

Al realizar el respectivo modelado, se tiene la posibilidad de obtener cantidades de obra, en este caso cantidades de longitud de tuberías a usar y los diferentes accesorios que contiene cada tubería. A continuación, se evidencia de manera breve las cantidades de obra a usar en la vivienda existente como caso propuesto.

### Tabla 15

*Cantidades de obra*

Descripción	UN	Cantidad
Kit solar preinstalado con 2 paneles de 550w	Un	1,00
Tubo Conduit pvc 1/2" X 3m 10und	MI	50,80
Caja octagonal 100 x 100 x 47 mm conduit	Un	4,00
Caja sencilla 103x60x45 mm	Un	6,00
Interruptor sencillo y toma corriente P/T Primmus	Un	6,00
Codo de tubo conduit 1/2"	Un	20,00
Calentador solar de agua por gravedad de 250L	Un	1,00
Conector macho metálico 1/2"	Un	1,00
Conector hembra metálico 1/2"	Un	1,00
Tubo pvc 1/2" red caliente sanitaria	MI	27,13
Codo pvc 1/2"	Un	7,00
Pegante pvc 1/8 de galón	Un	1,00
Cinta Teflón ptfe Basic 1/2" x 10m	Un	3,00
Te pvc 1/2"	Un	2
Ducha sencilla Daila pro más registro	Un	1

Nota: Una vez finalizado el modelado, obtenemos las cantidades en la presente tabla, elaboración propia.

Presupuesto:

Una vez obtenidas las cantidades a usar, se recomienda realizar un Análisis de precios unitarios (APU), o presupuesto general, mediante el cual se indican valores unitarios, cantidad, mano de obra, valores parciales y totales.

## Tabla 16

### *Análisis de precios unitarios*

APU					
1. Equipo					
Descripción	UN	Cantidad	Vr Unitario	Vr Total	
Herramienta y equipo menor	%	5%	\$ 250.000,00	\$	12.500,00
<b>Subtotal</b>				\$	12.500,00

**2. Materiales**

<b>Descripción</b>	UN	Cantidad	Vr Unitario	Vr Total
Kit solar preinstalado con 2 paneles de 550w	Un	1,00	\$ 3.500.000,00	\$ 3.500.000,00
Tubo Conduit Pvc 1/2" X 3m 10und	MI	50,80	\$ 3.900,00	\$ 198.120,00
Caja octagonal 100 x 100 x 47 mm conduit	Un	4,00	\$ 2.500,00	\$ 10.000,00
Caja sencilla 103x60x45 mm	Un	6,00	\$ 2.250,00	\$ 13.500,00
Interruptor sencillo y toma corriente P/T Primmus	Un	6,00	\$ 16.900,00	\$ 101.400,00
Codo de tubo conduit 1/2"	Un	20,00	\$ 15.000,00	\$ 300.000,00
Calentador solar de agua por gravedad de 250L	Un	1,00	\$ 4.700.000,00	\$ 4.700.000,00
Conector macho metálico 1/2"	Un	1,00	\$ 21.900,00	\$ 21.900,00
Conector hembra metálico 1/2"	Un	1,00	\$ 25.900,00	\$ 25.900,00
Tubo pvc 1/2" red caliente sanitaria	MI	27,13	\$ 6.700,00	\$ 181.771,00
Codo pvc 1/2"	Un	7,00	\$ 1.800,00	\$ 12.600,00
Pegante pvc 1/8 de galón	Un	1,00	\$ 86.900,00	\$ 86.900,00
Cinta Teflón ptfe Basic 1/2" x 10m Metros	Un	3,00	\$ 2.100,00	\$ 6.300,00
Te pvc 1/2"	Un	2	\$ 900,00	\$ 1.800,00
Ducha sencilla Daila pro más registro	Un	1	\$ 70.900,00	\$ 70.900,00
			<b>Subtotal</b>	\$ 9.231.091,00

**3. Transporte**

<b>Descripción</b>	UN	Cantidad	Vr Unitario	Vr Total
Acarreo de materiales	\$	1,00	\$ 40.000,00	\$ 40.000,00
			<b>Subtotal</b>	\$ 40.000,00

**4. Mano de obra**

<b>Trabajador</b>	UN	Cantidad	Vr Unitario	Vr. Total
Electricista	Jr	2,00	\$ 50.000,00	\$ 100.000,00
Oficial de construcción	Jr	2,00	\$ 40.000,00	\$ 80.000,00
Ayudante de construcción	Jr	2,00	\$ 35.000,00	\$ 70.000,00
			<b>Subtotal</b>	\$ 250.000,00
			<b>Total costo directo</b>	\$ 9.533.591,00
			<b>AIU 30%</b>	\$ 2.860.077,30
			<b>TOTAL</b>	\$ 12.393.668,30

Nota: Análisis detallado del presupuesto para la instalación de 2 tecnologías renovables, elaboración propia.

En la tabla 16 se presenta un presupuesto detallado general con los parámetros importantes, tal como la mano de obra, transporte, equipo y herramienta y los materiales antes mencionados, añadiendo al costo total directo, un porcentaje para la Administración, Imprevistos y Utilidades (AIU), de acuerdo con la resolución 076 del 23 de agosto de 2013, el porcentaje que se le añade a proyectos de obras públicas en la gobernación de Boyacá, es del 30% (Gobernación de Boyacá, 2013), entonces para este caso propuesto se usará dicho porcentaje.

Estudio financiero:

Se propone establecer un estudio económico a largo plazo, donde se incluyen parámetros como la inflación para determinar valores futuros, en este caso, se analizará para un periodo de tiempo de 14 años, tal lapso de tiempo se debe a que las baterías tienen una vida útil de máximo 7 años, por lo tanto, en este transcurso de tiempo se cambiará una vez la batería; Por otro lado, según el DANE, en marzo de 2022, la variación anual del Índice de Precios al Consumidor (IPC), está en 8,53% (DANE, 2022). Tal dato se incluirá para determinar el valor futuro a un lapso de tiempo de 14 años. La siguiente fórmula que se usará para el estudio financiero, fue suministrada en (Rodríguez Franco et al., 2014)

$$VF = M * (1 + I)^n \quad (6)$$

Siendo:

VF: Valor futuro

M: Monto a invertir o valor presente

I: Interés

n: Número de periodos



Además, se deben calcular los ingresos recibidos durante el lapso de tiempo de 14 años a un valor presente, para este caso los ingresos se toman como el valor que se deja de pagar por el servicio de energía, es decir, el valor monetario que representa el consumo que suministra el calentador solar y el sistema fotovoltaico, de esta manera, tenemos certeza del valor que podemos recibir en ganancias durante cualquier tiempo, y pasarlo automáticamente a valor presente, este ejercicio se realiza con la ecuación 6, despejando la variable M, y en el interés que se usa es el valor de la tasa de descuento, según el departamento nacional de planeación, la tasa de descuento para proyectos de horizonte de evaluación de proyectos de un lapso de 6 a 25 años, su tasa de descuento será de 6,4% (Departamento Nacional de Planeación, 2022).

**Tabla 17**

*Flujo de caja para un periodo de 14 años*

Año	Inversión				Ahorro en costo de energía	
	Costo de construcción	Pago de servicio + mantenimiento	Valor futuro	Valor presente	Valor futuro	Valor presente
0	\$ 12.393.668	\$0	\$12.393.668	\$12.393.668	\$520.246	\$520.246
1		\$520.246	\$564.623	\$530.661	\$564.623	\$530.661
2		\$520.246	\$612.785	\$541.284	\$612.785	\$541.284
3		\$520.246	\$665.056	\$552.120	\$665.056	\$552.120
4		\$520.246	\$721.785	\$563.172	\$721.785	\$563.172
5		\$520.246	\$783.353	\$574.446	\$783.353	\$574.446
6		\$520.246	\$850.173	\$585.946	\$850.173	\$585.946
7		\$2.420.246	\$4.292.478	\$2.780.460	\$922.693	\$597.676
8		\$520.246	\$1.001.399	\$609.641	\$1.001.399	\$609.641
9		\$520.246	\$1.086.818	\$621.845	\$1.086.818	\$621.845
10		\$520.246	\$1.179.524	\$634.294	\$1.179.524	\$634.294
11		\$520.246	\$1.280.137	\$646.992	\$1.280.137	\$646.992
12		\$520.246	\$1.389.333	\$659.944	\$1.389.333	\$659.944
13		\$520.246	\$1.507.843	\$673.155	\$1.507.843	\$673.155

14	\$520.246	\$1.636.462	\$686.631	\$1.636.462	\$686.631
<b>TOTAL</b>			<b>\$23.054.258</b>		<b>\$8.998.052</b>
IPC	8,53%				
Tasa de descuento	6,40%				
Valor unitario	\$ 688,156				
60 kw/mes	\$ 41.289				
Valor anual de consumo	\$ 495.472				
Valor anual de consumo + 5% de mantenimiento	\$ 520.246				

Nota: Tabla que identifica una breve descripción de matemática financiera del proyecto, elaboración propia.

Como se observa, los valores totales a futuro tanto de la inversión, como la del ahorro en gastos de energía, se deben calcular a valor presente para identificar con claridad y exactitud los ingresos generados a lo largo de 14 años. Realizando el cálculo de valor futuro de la inversión más los costos de operación, con una inflación del 8,53%, en 14 años, y retomándolos a valor presente mediante la tasa de descuento de 6,4%, tendría un valor aproximado de \$23.054.258 COP, mientras que el valor del ahorro al cabo de los mismos 14 años sería de \$8.998.052 COP, es decir, una amortización total del 39%, mientras que el valor total actual para la implementación de estas dos tecnologías renovables, tiene un valor actual de \$12.393.668,20 COP.

#### Impacto ambiental

La unidad de planeación minero-energética, mediante la resolución 382 de 2021, da a conocer la actualización del factor de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), dando como resultado un factor de 203g CO<sub>2</sub>/KW (UPME, 2021). Por consiguiente, si el consumo a

satisfacer gracias al kit solar fotovoltaico y el calentador solar es de 60KW/mes, se puede recurrir a la siguiente formula

$$Em: Fg * Ct \quad (7)$$

Donde:

Em: Emisiones GEI generadas a la atmosfera

Fg: Factor de emisiones GEI

Ct: Consumo generado por las tecnologias renovables en 14 años

$$203gCo2/Kw * 60 KW/mes * 12 meses * 14 años$$

$$203gCo2/Kw * 720 KW/año * 14 años$$

Dando resultado a 2'046.240 g CO2 generados en 14 años, lo que equivale a 2,04 ton de CO2 que contribuimos en la no generación de gases de efecto invernadero al medio ambiente.

## 9. Conclusiones

- Se determinó de manera satisfactoria los métodos que se pueden aplicar a proyectos de ingeniería civil, ya sea de forma de uso de luz solar, a través de fuentes de aprovechamiento de viento, usando el calor del subsuelo mediante energía geotérmica, y con razonamiento propio, implementando eficiencia energética minimizando al máximo desperdicios energéticos.
- Esta investigación científica aporta al cumplimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible número siete, incentivando al uso de recursos naturales como la luz solar, para que los profesionales gestionen edificaciones sosteniblemente energéticas y de energía cero.
- Al realizar el estudio económico al caso propuesto, se determinó que, para el proyecto de implementación de tecnologías de aprovechamiento solar, desde el punto de vista económico, no es viable, dado que el costo durante el ciclo del proyecto tiene un valor más alto que el beneficio en el mismo lapso de tiempo.
- Desde el punto de vista de un ingeniero civil, es importante realizar modelados para obtener resultados de cantidades que se pueda requerir en la obra, de igual modo, contribuir en el diseño para el aprovechamiento de luz natural para reducir la cantidad de energía de los sistemas de iluminación.
- Construyendo proyectos sosteniblemente energéticos, podemos aplicar a una serie de certificaciones ecológicas, algo que va muy de la mano con la calidad de las organizaciones, dentro de ellas están las certificaciones LEED, EDGE y CASA COLOMBIA.
- Al llevar a cabo las cotizaciones de las tecnologías usadas en este proyecto, se evidencio que pocas empresas sugieren realizar este tipo de proyectos para bajos consumos de

energía eléctrica, puesto que no es recomendable económicamente, de igual manera, nos relatan que es recomendable trabajar estas tecnologías desde un consumo superior a 500KW/mes, es decir, 4.16 veces más que el consumo usado para esta monografía.

- La mayor cantidad de generación de energía a nivel global se produce gracias al petróleo, con un porcentaje de 33.4%, mientras que las del uso de energías limpias tiene un uso del 12,7%.
- La investigación de métodos de eficiencia energética es vital para proyectos de infraestructura, lo ideal es contemplar dichos parámetros en la etapa de diseño para maximizar los recursos naturales para el confort deseado por las personas

## 10. Recomendaciones

- Se recomienda realizar seguimientos periódicos a temas relacionados con las metodologías implementadas en obra civil referente a sistemas de eficiencia energética.
- Se sugiere la instalación de kit solares pre ensamblados por su fácil instalación, de igual modo, su instalación debe ir en sitios cerrados y todo el sistema debe recurrir a un mantenimiento de limpieza mínimo 1 vez al año
- Motivar a la dirección de proyectos en trabajos futuros para implementar sistemas de energía limpia, el cuidado por el medio ambiente va en relación con los sistemas de calidad de la organización.

## 11. Referencias bibliográficas

Alis Restrepo, J. E. (2014). *Metodología para la evaluación energética de edificios comerciales en Colombia basados en estándares y normas internacionales*.

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/52242>

Arenas, F. C. (2020). *Transferencia de calor*. Jorge Sarmiento Editor - Universitas.

<https://ezproxy.uan.edu.co:2830/es/ereader/bibliouan/174535?page=12>

Arquitectura Inteligente. (2022). *Certificación LEED® | Arquitectura Inteligente +Arquitectos*.

<https://arquitectura.co/certificacion-lead/>

Athienitis, A., & Brien, W. O. (2015). *Modelling, design and optimization of Net-Zero Energy Buildings, 1st ed.*

Bae, S., Chae, S., & Nam, Y. (2022). Performance Analysis of Integrated Photovoltaic-Thermal and Air Source Heat Pump System through Energy Simulation. *Energies 2022, Vol. 15, Page 528, 15(2), 528*. <https://doi.org/10.3390/EN15020528>

Consejo Colombiano de Construcción Sostenible. (2018). *Programa LEED® en Colombia – Consejo Colombiano de Construcción Sostenible – CCCS*.

<https://www.cccs.org.co/wp/capacitacion/talleres-de-preparacion-lead/>

Consejo Colombiano de Construcción Sostenible. (2021). *Niveles de Certificación – Consejo Colombiano de Construcción Sostenible – CCCS*. <https://www.cccs.org.co/wp/niveles-de-certificacion/>

Consejo Colombiano de Construcción Sostenible. (2022). *Sistema de Certificación de Construcción Sostenible - CASA Colombia*. <https://casa.cccs.org.co/>

Creus Solé, A. (2014). *Energías renovables (2da. ed.)*.

<https://ezproxy.uan.edu.co:2830/es/ereader/bibliouan/43075?page=329>

DANE. (2022). *IPC información técnica*. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/precios-y-costos/indice-de-precios-al-consumidor-ipc/ipc-informacion-tecnica>

Departamento Nacional de Planeación. (2022). *Justificación técnica - Tasa social de descuento*.

<https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Normatividad/Justificacion-tecnica-Tasa-social-de-descuento.pdf>

EDGE Buildings. (2021). *EDGE en Colombia | EDGE Buildings*.

<https://edgebuildings.com/certify/colombia/?lang=es#toggle-id-1>

Esmailion, F., & Esmailion, A. (2019). *Zero Energy Buildings (from Idea to Implementation)*.

García, A., Olivieri, F., Larrumbide, E., & Ávila, P. (2019). Thermal comfort assessment in naturally ventilated offices located in a cold tropical climate, Bogotá. *Building and Environment*, 158, 237–247. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2019.05.013>

Garde, F., Aelenei, D., Aelenei, L., Scognamiglio, A., & Ayoub, J. (2017). Solution Sets for Net-Zero Energy Buildings. In *Solution Sets for Net-Zero Energy Buildings*.

<https://doi.org/10.1002/9783433604663>

Gobernación de Boyacá. (2013). *Resolución 076 de 23 de agosto de 2013*.

[https://www.boyaca.gov.co/wp-content/uploads/2013/09/images\\_Noticias\\_DocumentosNoticias\\_Resolucion-de-precios.pdf](https://www.boyaca.gov.co/wp-content/uploads/2013/09/images_Noticias_DocumentosNoticias_Resolucion-de-precios.pdf)

González Velasco, J. (2009). *Energías renovables*. Editorial Reverté.



<https://ezproxy.uan.edu.co:2830/es/ereader/bibliouan/46748?page=18>

Hens, S. L. C. H. (2017). Building Physics - Heat, Air and Moisture 3e Fundamentals and Engineering Methods with Examples and Exercises. In *Building Physics - Heat, Air and Moisture 3e Fundamentals and Engineering Methods with Examples and Exercises*. Wilhelm Ernst & Sohn. <https://doi.org/10.1002/9783433608548>

IDEAM. (n.d.-a). *Atlas Interactivo - Radiación IDEAM*. Retrieved February 13, 2022, from <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>

IDEAM. (n.d.-b). *Características climatológicas de ciudades principales y municipios turísticos*. Retrieved April 14, 2022, from <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/418894/Características+de+Ciudades+Principales+y+Municipios+Turísticos.pdf/c3ca90c8-1072-434a-a235-91baee8c73fc>

IDEAM. (2021). *RADIACIÓN SOLAR - IDEAM*. <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar-ultravioleta>

IDEAM, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, & Meteorología, I. de H. y. (2011). *Clasificaciones climatológicas Colombia*. <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21789/climas+%5BModo+de+compatibilidad%5D.pdf/d8c85704-a07a-4290-ba65-f2042ce99ff9>

IEA. (2020). Buildings – Topics - IEA. In *Iea*. <https://www.iea.org/topics/buildings>

International Organization for Standardization. (2008). *ISO 16818:2008, Building environment design — Energy efficiency — Terminology*. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:16818:ed-1:v1:en>

International Organization for Standardization. (2011). *ISO 50001*.

<https://www.isotools.org/normas/medio-ambiente/iso-50001/>

International Organization for Standardization. (2014). *ISO/TS 12720:2014, Sustainability in buildings and civil engineering works — Guidelines on the application of the general principles in ISO 15392*. <https://www.iso.org/standard/51654.html>

International Organization for Standardization. (2017a). *ISO 16745-1:2017, Sustainability in buildings and civil engineering works — Carbon metric of an existing building during use stage — Part 1: Calculation, reporting and communication*.

<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:16745:-1:ed-1:v1:en>

International Organization for Standardization. (2017b). *ISO 16745-2:2017, Sustainability in buildings and civil engineering works — Carbon metric of an existing building during use stage — Part 2: Verification*. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:16745:-2:ed-1:v1:en>

International Organization for Standardization. (2019). *ISO 15392:2019, Sustainability in buildings and civil engineering works — General principles*.

<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:15392:ed-2:v1:en>

International Organization for Standardization. (2020). *ISO 52031:2020, Energy performance of buildings — Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies — Space emission systems (heating and cooling)*.

<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:52031:ed-1:v1:en>

Kappes Sáez, L. F. (2017). *Eficiencia energética en vivienda social, Chile*. 14.

<http://repositorio.umayor.cl/xmlui/handle/sibum/5825>

Medved, S. (2022). *Building Physics Heat, Ventilation, Moisture, Light, Sound, Fire, and Urban Microclimate*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-57484-4>

Mehmet Kanoglu, & Yunus A. Cengel. (2020). *Energy Efficiency and Management for Engineers, 1st Edition*. McGraw-Hill Education.  
<https://ezproxy.uan.edu.co:2107/content/book/9781260459098/chapter/chapter1>

Ministerio de Minas y Energia. (2001). *Ley 697 de 2001 Minciencias*.  
<https://minciencias.gov.co/node/288>

Ministerio de Minas y Energia. (2004). *RESOLUCION NÚMERO 18 0398 DE 2004*.  
<https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/23517/22074-2284.pdf>

Ministerio de Vivienda, C. y T. (2015). *Resolución 0549 de 2015 – Consejo Colombiano de Construcción Sostenible – CCCS*. <https://www.ccs.org.co/wp/download/resolucion-0549-de-2015/>

Norouzi, M., Chàfer, M., Cabeza, L. F., Jiménez, L., & Boer, D. (2021). Circular economy in the building and construction sector: A scientific evolution analysis. *Journal of Building Engineering*, 44. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102704>

ONU. (2015). *Energía - Desarrollo Sostenible*.  
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/>

Pinterić, M. (2021). *Building Physics From physical principles to international standards Second Edition*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-57484-4>

Ribero, Ó., Garzón, D., Alvarado, Y., & Gasch, I. (2016). Economic benefits of LEED

certification: a case study of the Centro Ático building. *Revista Ingeniería de Construcción*, 31(2), 139–146. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732016000200007>

Rodríguez Franco, J., Rodríguez Jiménez, E. C., & Pierdant Rodríguez, A. I. (2014).

*Matemáticas financieras.*

<https://ezproxy.uan.edu.co:2830/es/ereader/bibliouan/40386?page=45>

Salcedo Cobo, V. M. (2011). *Influencia del estudio de la tecnología de vacío en tubos sobre la eficiencia para el calentamiento de agua usando la energía solar.*

[https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/1168/1/Tesis I. M. 133 - Salcedo Cobo Victor Manuel.pdf](https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/1168/1/Tesis%20I.%20M.%20133%20-%20Salcedo%20Cobo%20Victor%20Manuel.pdf)

Sánchez Naranjo, C. (2011). *Teoría de la combustión.*

[https://ezproxy.uan.edu.co:2830/es/ereader/bibliouan/85139?page=66.](https://ezproxy.uan.edu.co:2830/es/ereader/bibliouan/85139?page=66)

Sierra, D., Aristizábal, A. J., Hernández, J. A., & Ospina, D. (2020). Life cycle analysis of a building integrated photovoltaic system operating in Bogotá, Colombia. *Energy Reports*, 6, 10–19. <https://doi.org/10.1016/J.EGYR.2019.10.012>

Spiegeler, C., & Cifuentes, J. I. (2016). *Definición e información de energías renovables.*

<http://www.repositorio.usac.edu.gt/4455/>

Tobajas Vázquez, M. C. (2018). *Energía solar fotovoltaica*. Cano Pina,.

<https://ezproxy.uan.edu.co:2830/es/ereader/bibliouan/45047?page=7>

U.S. Department of Energy. (2022). *Zero Energy Buildings*.

<https://www.energy.gov/eere/buildings/zero-energy-buildings>

UPME. (2021). *Resolución No. 000382 de 2021*.

[https://www1.upme.gov.co/Normatividad/382\\_2021.pdf](https://www1.upme.gov.co/Normatividad/382_2021.pdf)

**12. Anexo**

ARTÍCULO

Análisis de métodos de eficiencia energética para vivienda existente ubicada en la ciudad de  
Duitama

Edison Javier Verdugo Lozano

Código: 20481729312

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Civil

Facultad de Ingeniería Ambiental y Civil

Duitama, Boyacá, Colombia

2022

## Resumen

Considerando los impactos ambientales negativos que han surgido por el consumo de energía durante el ciclo de vida de la edificación a nivel global, es de gran utilidad el uso de la energía cero, es decir, la unión de energías renovables y la eficiencia energética. Se analizará un caso propuesto de uso de energía solar, con energías renovables tales como un sistema fotovoltaico y un calentador solar de agua sanitaria caliente, utilizando como herramienta el software Revit, para el modelado y diseño de las redes fotovoltaica e hidráulica, donde podemos distinguir parámetros importantes a tener en cuenta para la ejecución del proyecto, tales como cantidades, presupuesto, viabilidad económica a través del valor futuro, y el impacto ambiental en cuanto a reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero.

## Introducción

El sector de la construcción cada vez avanza con mayor rapidez debido al notorio crecimiento urbanístico que presentan las ciudades de Colombia, por tal motivo es necesario adaptarse a nuevas tecnologías y metodologías que ayuden con el ciclo de vida y sostenibilidad de una edificación. La construcción es un tema amplio e interesante que brinda una buena calidad de vida para las personas, sin embargo, dentro de la parte energética, puede generar aspectos negativos en la sociedad, según la Agencia Internacional de la Energía (AIE), los sectores de la edificación y la construcción son conjuntamente responsables de más de un tercio del consumo final de energía a nivel global y de casi el 15% de todas las emisiones directas e indirectas de dióxido de carbono (IEA, 2020), lo que indica que el impacto ambiental que genera la construcción es notable.

Este artículo se une a las investigaciones que promueven el buen uso de recursos naturales para la reducción de Gases de Efecto Invernadero (GEI), apoyando a las metas establecidas por la Naciones Unidas, para promover el desarrollo y la sostenibilidad en la sociedad, denominados Objetivos de Desarrollo Sostenible, mediante el cual, se contribuye con el objetivo siete, que corresponde a energía accesible y libre de contaminación, promoviendo así la garantía de acceso a energía segura, sostenible y moderna (Naciones Unidas, 2015); Además de, incentivar al lector a seguir indagando sobre el tema de estudio

El objetivo principal es realizar un estudio de pre factibilidad a una propuesta de uso de energía solar para una vivienda existente en el municipio de Duitama, contribuyendo al sector de la investigación científica e incentivando al lector a seguir analizando contenidos referentes al tema de estudio.



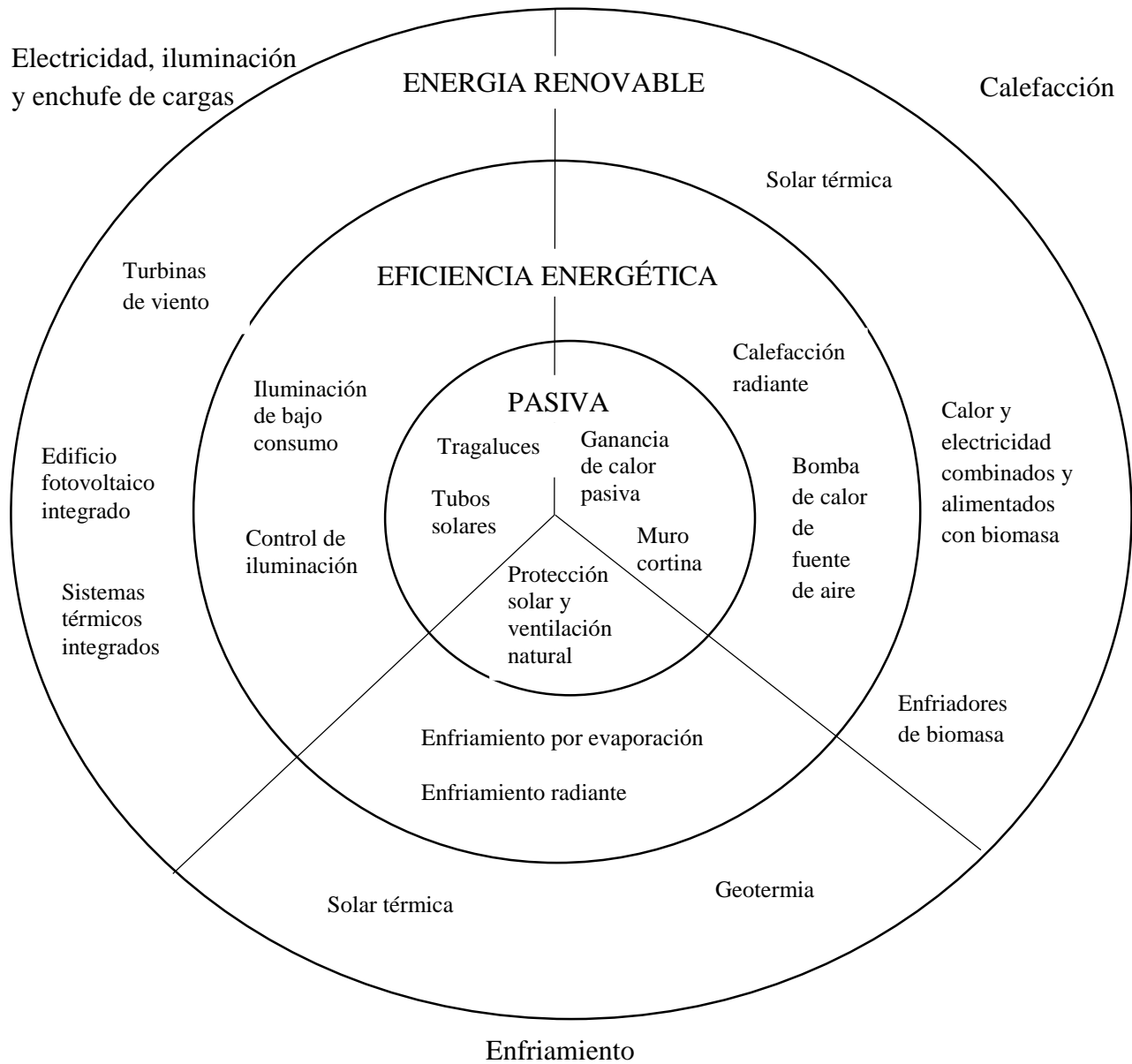
En la literatura consultada se evidencia el aporte científico de múltiples personas enfocadas a la sostenibilidad energética de los edificios, identificando características técnicas importantes y promoviendo la implementación de tecnologías renovables.

Energías renovables: También denominadas energías alternativas, se usan mediante fuentes energéticas que se regeneran de manera natural y que son prácticamente inagotables, logrando así ser una metodología de generación de energía que busca poner pie fuerte para la reducción de gases de efecto invernadero y disminuir la dependencia de combustibles fósiles (Spiegeler & Cifuentes, 2016).

Eficiencia energética: Es una de las alternativas del siglo XXI para poner en práctica, ya que su principal función es la reducción significativa de energía, así como la mitigación de desperdicios, sin alterar de ninguna manera la calidad energética. Contribuyendo de esta manera a la reducción de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) para el mejoramiento de la calidad de vida al mejorar los problemas ambientales tales como el calentamiento global (Kappes Sáez, 2017).

Energía cero: Los edificios de energía cero combinan la eficiencia energética y la generación de energía renovable para consumir solo la energía que se puede producir en el sitio a través de recursos renovables durante un período de tiempo específico (U.S. Department of Energy, 2022).

A continuación, se da a conocer de manera general los 3 principales conceptos del artículo y como se clasifican de acuerdo a su operación.

**Figura 1***Principales conceptos y su clasificación*

Nota: Figura que representa las categorías de la energía neta cero, así como la implementación de sistemas para su optimización energética, tomado de (Garde et al., 2017).

## Metodología

**Tabla 1**

*Metodología*

Fase	Proceso
Fase 1: Literatura general	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Adaptación y familiarización de plataformas institucionales como scopus, sciencedirect, e-libro, entre otros</li> <li>*Revisión video-gráfica para determinar los factores más relevantes en la eficiencia energética en edificaciones</li> </ul>
Fase 2: Identificación de métodos de eficiencia energética	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Buscar casos estudio relacionados a la sostenibilidad energética en edificios</li> <li>*Investigar e indagar sobre diseños sostenibles a implementar en este proyecto</li> <li>*Identificación de características importantes sobre el clima para el aprovechamiento de recursos naturales para edificaciones</li> <li>*Conocer la normativa presente nacional e internacionalmente, así como las certificaciones que se otorgan al realizar edificios sosteniblemente energéticos</li> </ul>
Fase 3: Análisis de propuesta de uso de energía solar para vivienda existente	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Realizar cotizaciones en el mercado sobre kit solares fotovoltaicos y calentadores solares</li> <li>*Identificar el tipo de software a usar para la cuantificación de materiales del caso propuesto</li> <li>*Hacer un estudio de consumo energético a satisfacer</li> <li>*Hacer un modelado y diseño de las redes de agua sanitaria caliente para el calentador, y la red de tubería fotovoltaica para el tercer nivel de la vivienda de caso propuesto</li> <li>*Llevar a cabo un análisis de precios unitarios para esclarecer de manera detallada el presupuesto del costo directo</li> <li>*Ejecutar un estudio económico a un lapso de tiempo de 14 años, integrando factores como la inflación para tener certeza del valor futuro de la inversión para de esta manera mirar la viabilidad del proyecto</li> <li>*Indagar sobre las emisiones de CO2 generadas por la electricidad, y verificar cuantas emisiones podemos evitarlas con este proyecto</li> </ul>

Nota: Diseño metodológico para el cumplimiento del artículo, elaboración propia.

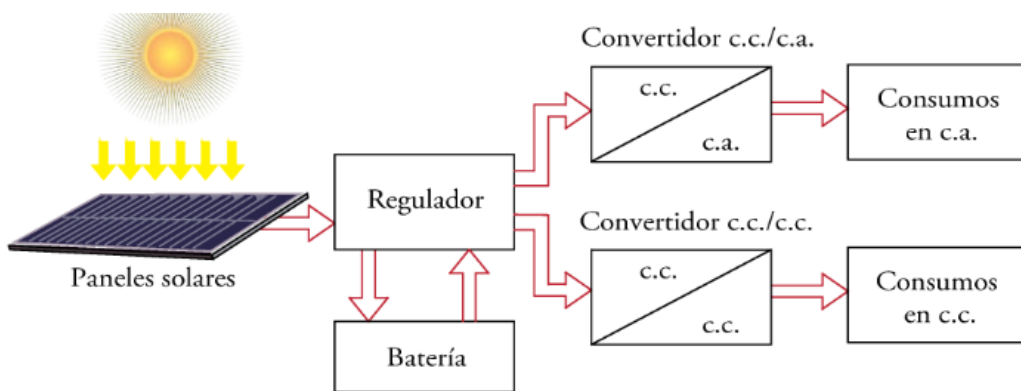
## Propuesta de uso de energía solar para vivienda existente

Es pertinente realizar un ejercicio práctico, donde se pretenda instalar uno o más sistemas de aprovechamiento de luz solar para la generación de energía eléctrica, por tal motivo, se desarrollará un caso propuesto para una vivienda de 9m x 11m y de una altura de entresuelo de 2,20 m ubicada en la ciudad de Duitama, donde se analizarán los lineamientos más importantes para la puesta en marcha de un kit solar fotovoltaico pre ensamblado y un calentador solar. La vivienda se ubica en la transversal 15 No. 20-93, en el barrio vaticano, con coordenadas geográficas  $5^{\circ}49'49.72''$  N  $73^{\circ}01'47,28''$  W, con una cota aproximada de 2550 msnm.

Las tecnologías de energía renovable que se proponen son un kit solar fotovoltaico, compuesto por 2 paneles solares de 550W de potencia, una batería, un regulador y un inversor o convertidor, por otro lado, el calentador solar se compone del tanque y los tubos al vacío con recubrimiento térmico.

### Figura 2

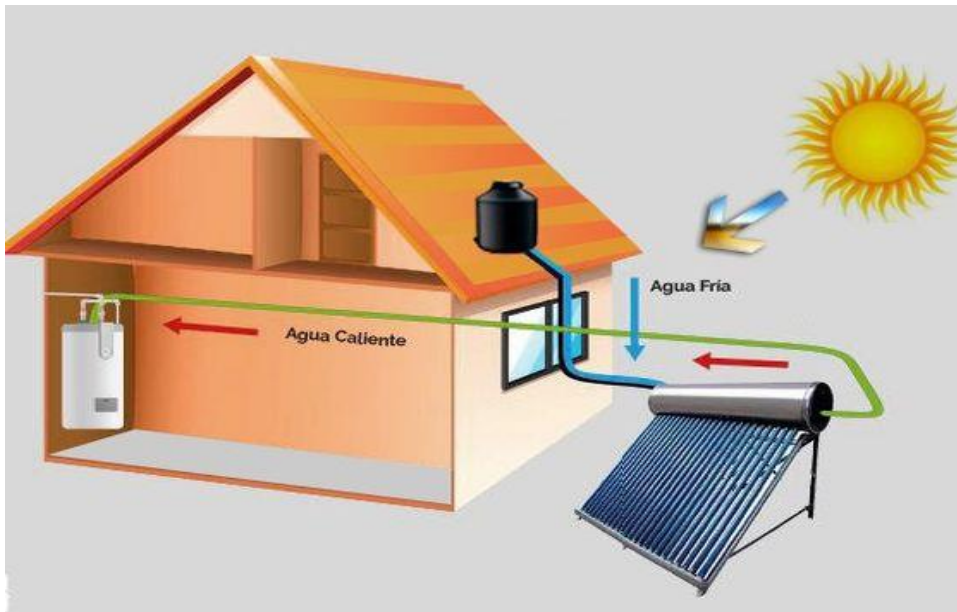
*Componentes de un sistema solar fotovoltaico*



Nota: Ilustración de los componentes de un sistema fotovoltaico, tomado de (Tobajas Vázquez, 2018).

### Figura 3

*Sistema de calentador solar de agua*



Nota: sistema como funciona un calentador solar, tomado de (Salcedo Cobo, 2011)

## Resultados

Datos de consumo:

La vivienda consta de 3 niveles, pero solo se plantea el caso propuesto para el último nivel, ya que los equipos seleccionados para el ahorro energético no cumplen con la suficiente capacidad de suministro de energía a satisfacer para los 3 niveles

**Tabla 2**

*Consumo energético de electrodomésticos*

Fuente	Electrodoméstico	capacidad (w)	Cantidad	Horas al día	KW/día	KW/mes
Kit solar	Computador	150	1	3	0,45	13,5
	Bombillas	25	4	2	0,2	6
	Equipo de sonido	200	1	2	0,4	12
	Licuada	125	1	0,2	0,025	0,75
Calentador solar	Ducha eléctrica	3000	1	0,3	0,9	27
Total						59,25

Nota: Se presenta un ejemplo de que electrodomésticos pueden trabajar con la potencia de la tecnología a implementar, elaboración propia.

Como se aprecia en la tabla anterior, el sistema fotovoltaico proveerá de 32,25 KW/mes, es decir, el 54,4% de consumo energético renovable. De igual modo, el calentador solar, reemplazo directo a la ducha, con un consumo de 3KW, si se pone en uso por 18 minutos al día, genera un consumo de 27 KW/mes, es decir, el 45,6% de consumo energético renovable.

Seguido, se realiza el modelado de la vivienda existente, con el fin de trabajar sobre medidas reales y asimismo proponer el diseño fotovoltaico e hidráulico en la vivienda.

**Figura 4**

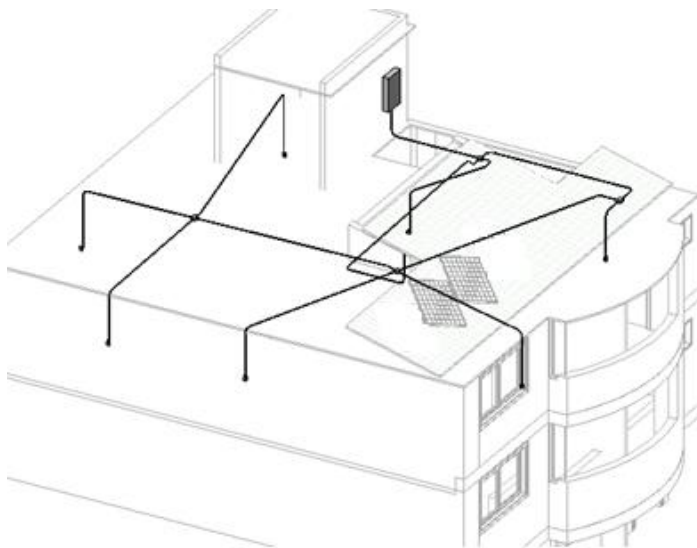
*Comparativa arquitectura real con modelado de la vivienda*



Nota: Comparación arquitectura real con modelado de la vivienda, elaboración propia.

**Figura 5**

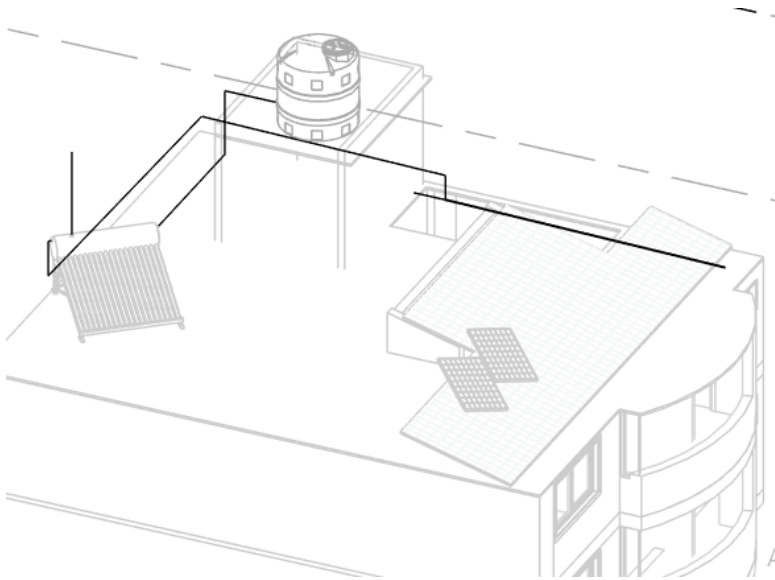
*Diseño red fotovoltaica para el tercer nivel de la vivienda*



Nota: Diseño de la red fotovoltaica con sus diferentes componentes, elaboración propia.

### Figura 6

*Diseño red de agua caliente conectada a calentador solar para dos baños del último nivel de la vivienda*



Nota: Diseño red de agua caliente conectada a calentador solar, elaboración propia.

Presupuesto:

Al realizar el respectivo modelado, se tiene la posibilidad de obtener cantidades de obra, en este caso cantidades de longitud de tuberías a usar y los diferentes accesorios que contiene cada tubería; Seguido, se recomienda realizar un Análisis de precios unitarios (APU), o presupuesto general, mediante el cual se indican valores unitarios, cantidades, mano de obra, herramienta menor, transporte, valores parciales y totales, al igual que un incremento de Administración, Imprevistos y Utilidades (AIU), que según la resolución 076 del 23 de agosto de 2013, el porcentaje que se le añade a proyectos de obras públicas en la gobernación de Boyacá, es del 30% (Gobernación de Boyacá, 2013), entonces para este caso propuesto se usará dicho porcentaje.



**Tabla 3***Análisis de precios unitarios*

<b>APU</b>				
<b>1. Equipo</b>				
Descripción	UN	Cantidad	Vr Unitario	Vr Total
Herramienta y equipo menor	%	5%	\$ 250.000,00	\$ 12.500,00
			<b>Subtotal</b>	<b>\$ 12.500,00</b>
<b>2. Materiales</b>				
Descripción	UN	Cantidad	Vr Unitario	Vr Total
Kit solar preinstalado con 2 paneles de 550w	Un	1,00	\$ 3.500.000,00	\$ 3.500.000,00
Tubo Conduit Pvc 1/2" X 3m 10und	MI	50,80	\$ 3.900,00	\$ 198.120,00
Caja octagonal 100 x 100 x 47 mm conduit	Un	4,00	\$ 2.500,00	\$ 10.000,00
Caja sencilla 103x60x45 mm	Un	6,00	\$ 2.250,00	\$ 13.500,00
Interruptor sencillo y toma corriente P/T Primmus	Un	6,00	\$ 16.900,00	\$ 101.400,00
Codo de tubo conduit 1/2"	Un	20,00	\$ 15.000,00	\$ 300.000,00
Calentador solar de agua por gravedad de 250L	Un	1,00	\$ 4.700.000,00	\$ 4.700.000,00
Conector macho metálico 1/2"	Un	1,00	\$ 21.900,00	\$ 21.900,00
Conector hembra metálico 1/2"	Un	1,00	\$ 25.900,00	\$ 25.900,00
Tubo pvc 1/2" red caliente sanitaria	MI	27,13	\$ 6.700,00	\$ 181.771,00
Codo pvc 1/2"	Un	7,00	\$ 1.800,00	\$ 12.600,00
Pegante pvc 1/8 de galón	Un	1,00	\$ 86.900,00	\$ 86.900,00
Cinta Teflón ptfe Basic 1/2" x 10m Metros	Un	3,00	\$ 2.100,00	\$ 6.300,00
Te pvc 1/2"	Un	2	\$ 900,00	\$ 1.800,00
Ducha sencilla Daila pro más registro	Un	1	\$ 70.900,00	\$ 70.900,00
			<b>Subtotal</b>	<b>\$ 9.231.091,00</b>
<b>3. Transporte</b>				
Descripción	UN	Cantidad	Vr Unitario	Vr Total
Acarreo de materiales	\$	1,00	\$ 40.000,00	\$ 40.000,00
			<b>Subtotal</b>	<b>\$ 40.000,00</b>
<b>4. Mano de obra</b>				

<b>Trabajador</b>	<b>UN</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Vr Unitario</b>	<b>Vr. Total</b>
Electricista	Jr	2,00	\$ 50.000,00	\$ 100.000,00
Oficial de construcción	Jr	2,00	\$ 40.000,00	\$ 80.000,00
Ayudante de construcción	Jr	2,00	\$ 35.000,00	\$ 70.000,00
			<b>Subtotal</b>	\$ 250.000,00
			<b>Total costo directo</b>	\$ <b>9.533.591,00</b>
			<b>AIU 30%</b>	\$ 2.860.077,30
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 12.393.668,30</b>

Nota: Análisis detallado del presupuesto para la instalación de 2 tecnologías renovables, elaboración propia.

Estudio financiero:

Se propone establecer un estudio económico a largo plazo, donde se incluyen parámetros como la inflación para determinar valores futuros, en este caso, se analizará para un periodo de tiempo de 14 años, tal lapso de tiempo se debe a que las baterías tienen una vida útil de máximo 7 años, por lo tanto, en este transcurso de tiempo se cambiará una vez la batería; Por otro lado, según el DANE, en marzo de 2022, la variación anual del Índice de Precios al Consumidor (IPC), está en 8,53% (DANE, 2022), tal dato se incluirá para determinar el valor futuro. La siguiente fórmula que se usará para el estudio financiero, fue suministrada en (Rodríguez Franco et al., 2014)

$$VF = M * (1 + I)^n \quad (1)$$

Siendo:

VF: Valor futuro

M: Monto a invertir o valor presente

I: Interés

n: Número de periodos

Además, se deben calcular los ingresos recibidos durante el lapso de tiempo de 14 años a un valor presente, para este caso los ingresos se toman como el valor que se deja de

pagar por el servicio de energía, es decir, el valor monetario que representa el consumo que suministra el calentador solar y el sistema fotovoltaico, de esta manera, se tendrá certeza del valor que se puede recibir en ganancias durante cualquier tiempo, y pasarlo automáticamente a valor presente, de acuerdo con el departamento nacional de planeación, la tasa de descuento para proyectos de horizonte de evaluación de proyectos de un lapso de 6 a 25 años, su tasa de descuento será de 6,4% (Departamento Nacional de Planeación, 2022).

$$M = \frac{VF}{(1+I)^n} \quad (2)$$

Siendo:

VF: Valor futuro

M: Monto a invertir o valor presente

I: Tasa de descuento

n: Número de periodos

#### Tabla 4

*Flujo de caja para un periodo de 14 años*

Año	Inversión				Ahorro en costo de energía	
	Costo de construcción	Pago de servicio + mantenimiento	Valor futuro	Valor presente	Valor futuro	Valor presente
0	\$ 12.393.668	\$0	\$12.393.668	\$12.393.668	\$520.246	\$520.246
1		\$520.246	\$564.623	\$530.661	\$564.623	\$530.661
2		\$520.246	\$612.785	\$541.284	\$612.785	\$541.284
3		\$520.246	\$665.056	\$552.120	\$665.056	\$552.120
4		\$520.246	\$721.785	\$563.172	\$721.785	\$563.172
5		\$520.246	\$783.353	\$574.446	\$783.353	\$574.446
6		\$520.246	\$850.173	\$585.946	\$850.173	\$585.946

7	\$2.420.246	\$4.292.478	\$2.780.460	\$922.693	\$597.676
8	\$520.246	\$1.001.399	\$609.641	\$1.001.399	\$609.641
9	\$520.246	\$1.086.818	\$621.845	\$1.086.818	\$621.845
10	\$520.246	\$1.179.524	\$634.294	\$1.179.524	\$634.294
11	\$520.246	\$1.280.137	\$646.992	\$1.280.137	\$646.992
12	\$520.246	\$1.389.333	\$659.944	\$1.389.333	\$659.944
13	\$520.246	\$1.507.843	\$673.155	\$1.507.843	\$673.155
14	\$520.246	\$1.636.462	\$686.631	\$1.636.462	\$686.631
TOTAL			\$23.054.258		\$8.998.052
IPC	8,53%				
Tasa de descuento	6,40%				
Valor unitario	\$ 688,156				
60 kw/mes	\$ 41.289				
Valor anual de consumo	\$ 495.472				
Valor anual de consumo + 5% de mantenimiento	\$ 520.246				

Nota: Tabla que identifica una breve descripción de matemática financiera del proyecto, elaboración propia.

#### Impacto ambiental:

La unidad de planeación minero-energética, mediante la resolución 382 de 2021, da a conocer la actualización del factor de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), dando como resultado un factor de 203g CO<sub>2</sub>/KW (UPME, 2021). Por consiguiente, si el consumo a satisfacer gracias al kit solar fotovoltaico y el calentador solar es de 60KW/mes, se puede recurrir a la siguiente fórmula

$$Em: Fg * Ct \quad (3)$$

Donde:

Em: Emisiones GEI generadas a la atmósfera

Fg: Factor de emisiones GEI

Ct: Consumo generado por las tecnologías renovables en 14 años

$203\text{gCo}_2/\text{Kw} * 60 \text{ KW/mes} * 12 \text{ meses} * 14 \text{ años}$

$203\text{gCo}_2/\text{Kw} * 720 \text{ KW/año} * 14 \text{ años}$

Dando resultado a 2'046.240 g CO<sub>2</sub> generados en 14 años, lo que equivale a 2,04 ton de CO<sub>2</sub> que contribuimos en la no generación de gases de efecto invernadero al medio ambiente.

## Conclusiones

- La implementación del kit solar fotovoltaico de dos paneles con una potencia de 550w cada uno, y el calentador solar con capacidad de 6 personas, es capaz de reducir hasta el 50% el consumo de energía, ya que de los 120 KW/mes que en promedio se consume en la vivienda del caso propuesto, estas tecnologías suministran un consumo de hasta 60 kW/mes.
- Según los electrodomésticos a conectar, el kit solar se encarga de producir energía a un computador personal por 3 horas diarias, un sistema de iluminación de 4 bombillas por 2 horas diarias, un equipo de sonido en uso de dos horas por día, una licuadora que funcionaria por unos 12 minutos al día, de esta manera el sistema fotovoltaico proveerá de 32,25 KW/mes, es decir, el 54,4% de consumo energético renovable.
- El calentador solar sería el cambio perfecto por las duchas eléctricas, ya que actualmente se usa este último sistema, lo cual genera una ayuda significativa al ahorro de energía, ya que la ducha eléctrica es uno de los aparatos que más consume, dicho electrodoméstico tiene un consumo de 3KW, si se pone en uso por 18 minutos al día, genera un consumo de 27 KW/mes, es decir, el 45,6% de consumo energético renovable.
- Realizando el cálculo de valor futuro de la inversión más los costos de operación, con una inflación del 8,64%, en 14 años, y retomándolos a valor presente mediante la tasa de descuento de 6,4%, tendría un valor aproximado de \$23.054.258 COP, mientras que el valor del ahorro al cabo de los mismos 14 años sería de \$8.998.052 COP.

- El valor total para la implementación de estas dos tecnologías renovables, tiene un valor actual de \$12.393.668 COP.
- La amortización que hay para suplir los gastos totales de inversión y operación, es de un 39%, desde el punto de vista económico no es viable.
- El impacto ambiental que se puede reducir trabajando con el kit solar y el calentador solar en conjunto, es muy interesante, ya que puede reducir emisiones de 2,04 ton de CO2 en un lapso de 14 años.

## Referencias bibliográficas

- DANE. (2022). *IPC información técnica*. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/precios-y-costos/indice-de-precios-al-consumidor-ipc/ipc-informacion-tecnica>
- Departamento Nacional de Planeación. (2022). *Justificación técnica - Tasa social de descuento*. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Normatividad/Justificacion-tecnica-Tasa-social-de-descuento.pdf>
- Garde, F., Aelenei, D., Aelenei, L., Scognamiglio, A., & Ayoub, J. (2017). Solution Sets for Net-Zero Energy Buildings. In *Solution Sets for Net-Zero Energy Buildings*. <https://doi.org/10.1002/9783433604663>
- Gobernación de Boyacá. (2013). *Resolución 076 de 23 de agosto de 2013*. [https://www.boyaca.gov.co/wp-content/uploads/2013/09/images\\_Noticias\\_DocumentosNoticias\\_Resolucion-de-precios.pdf](https://www.boyaca.gov.co/wp-content/uploads/2013/09/images_Noticias_DocumentosNoticias_Resolucion-de-precios.pdf)
- IEA. (2020). Buildings – Topics - IEA. In *Iea*. <https://www.iea.org/topics/buildings>
- Kappes Sáez, L. F. (2017). *Eficiencia energética en vivienda social, Chile*. 14. <http://repositorio.umayor.cl/xmlui/handle/sibum/5825>
- ONU. (2015). *Energía - Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/>



Rodríguez Franco, J., Rodríguez Jiménez, E. C., & Pierdant Rodríguez, A. I. (2014).

*Matemáticas financieras.*

<https://ezproxy.uan.edu.co:2830/es/ereader/bibliouan/40386?page=45>

Salcedo Cobo, V. M. (2011). *Influencia del estudio de la tecnología de vacío en tubos sobre la eficiencia para el calentamiento de agua usando la energía solar.*

<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/1168/1/Tesis I. M. 133 - Salcedo Cobo Victor Manuel.pdf>

Spiegeler, C., & Cifuentes, J. I. (2016). *Definición e información de energías renovables.*

<http://www.repositorio.usac.edu.gt/4455/>

Tobajas Vázquez, M. C. (2018). *Energía solar fotovoltaica* . Cano Pina,.

<https://ezproxy.uan.edu.co:2830/es/ereader/bibliouan/45047?page=7>

U.S. Department of Energy. (2022). *Zero Energy Buildings* .

<https://www.energy.gov/eere/buildings/zero-energy-buildings>

UPME. (2021). *Resolución No. 000382 de 2021.*

[https://www1.upme.gov.co/Normatividad/382\\_2021.pdf](https://www1.upme.gov.co/Normatividad/382_2021.pdf)