



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

Abstract

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, with renewable energies such as a photovoltaic system and a solar hot water heater, using Revit software as a tool, for the modeling and design of photovoltaic and hydraulic networks, where we can distinguish important parameters to take into account for the execution of the project, such as quantities, budget, economic viability through future value, and the environmental impact in terms of greenhouse gas emission reductions

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).

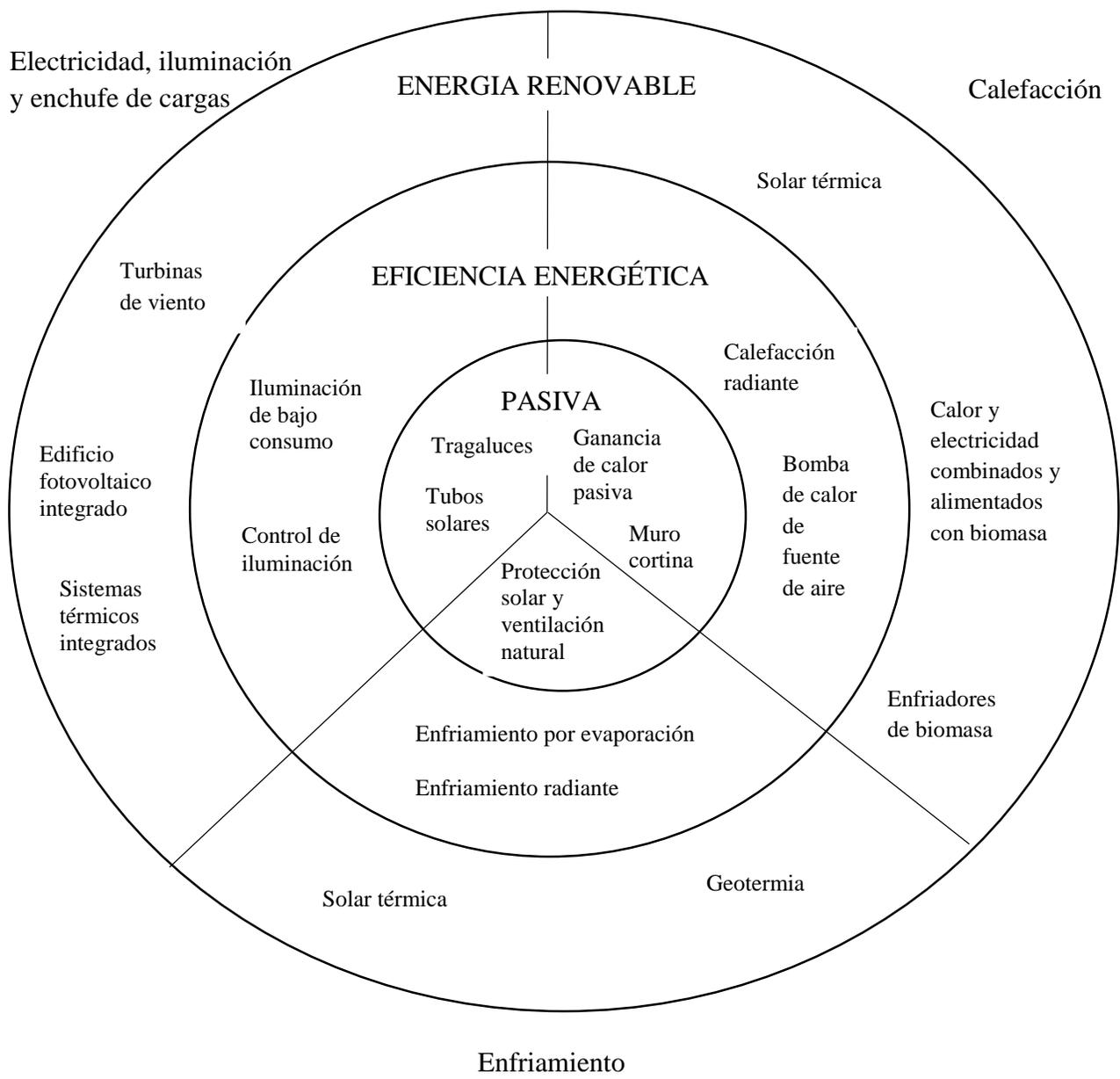
Eficiencia energética: Es una de las alternativas del siglo XXI para poner en práctica, ya que su principal función es la reducción significativa de energía, así como la mitigación de desperdicios, sin alterar de ninguna manera la calidad energética. Contribuyendo de esta manera a la reducción de dióxido de carbono (CO₂) 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"> *Adaptación y familiarización de plataformas institucionales como scopus, science direct, 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	<ul style="list-style-type: none"> *Buscar casos 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 *Conocer la normativa presente nacional e internacionalmente, así como las certificaciones que se otorgan al realizar edificios sosteniblemente energéticos
Fase 3: Análisis de propuesta de uso de energía solar para vivienda existente	<ul style="list-style-type: none"> *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 sanitaria 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 CO2 generadas por la electricidad, y verificar cuantas emisiones podemos evitarlas con este proyecto

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

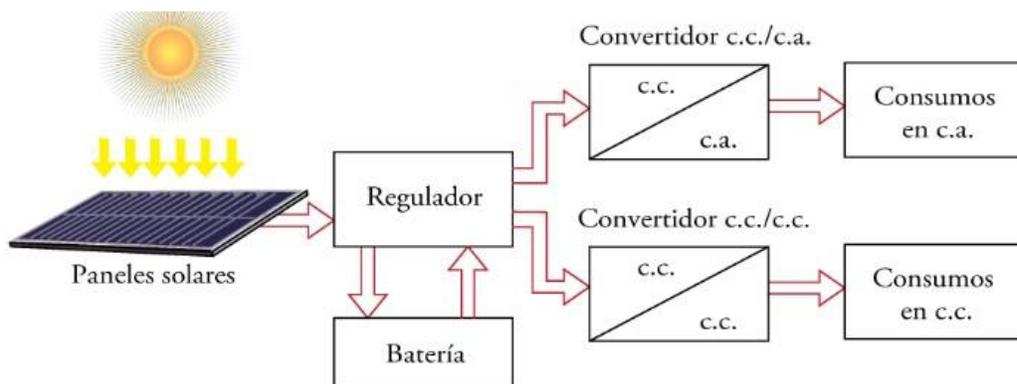
Propuesta de uso de energía solar para vivienda existente

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 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. 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.

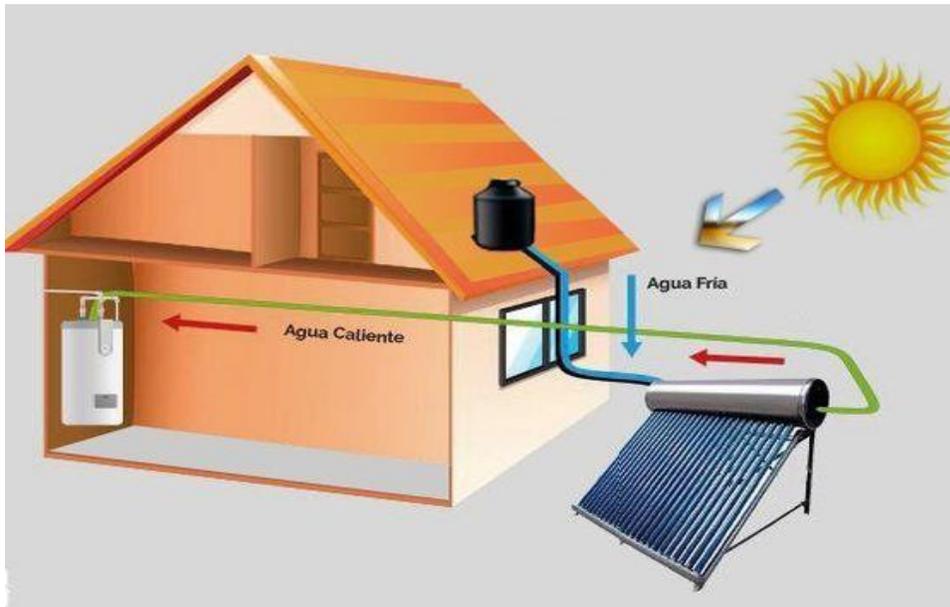
Las tecnologías de energía renovable que se proponen son un kit solar fotovoltaico, compuesto por 2 paneles solares de 550W de potencia, una batería, un regulador y un inversor o convertidor, por otro lado, el calentador solar se compone del tanque y los tubos al vacío con recubrimiento térmico.

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
	Licadora	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

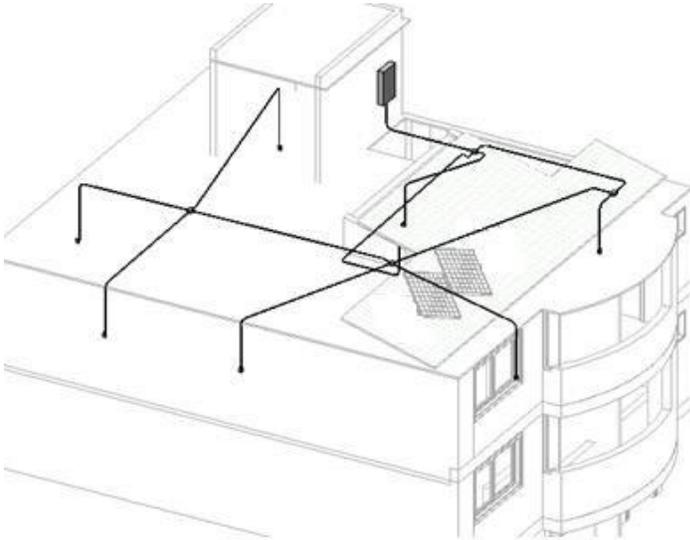
Comparativa arquitectura real con modelado de la vivienda



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

Figura 5

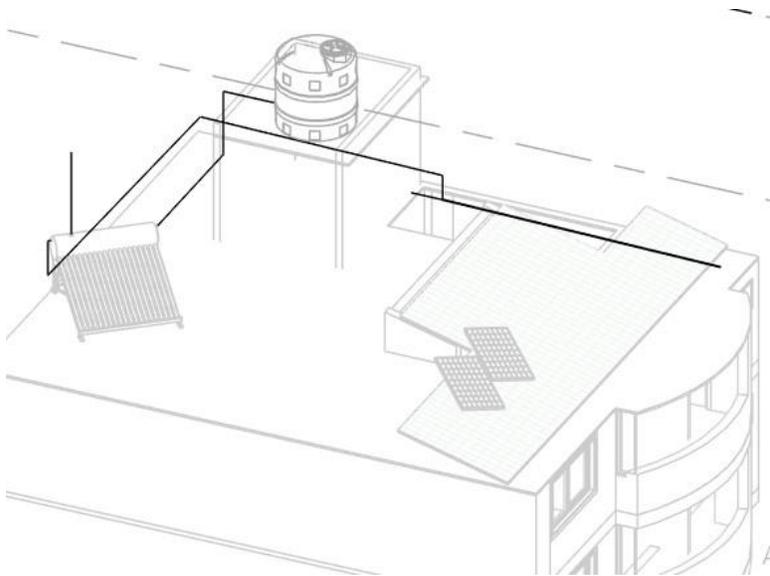
Diseño red fotovoltaica para el tercer nivel de la vivienda



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

APU					
1. Equipo					
Descripción	UN	Cantidad	Vr Unitario	Vr Total	
Herramienta y equipo menor	%	5%	\$ 250.000,00	\$ 12.500,00	
			Subtotal	\$ 12.500,00	
2. Materiales					
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	Ml	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	Ml	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
Subtotal					\$	9.231.091,00

3. Transporte

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

4. Mano de obra

Trabajador	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
Subtotal					\$	250.000,00
Total costo directo					\$	9.533.591,00
AIU 30%					\$	2.860.077,30
TOTAL					\$	12.393.668,30

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 futuro	Valor presente	Valor	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 CO₂/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

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

Donde:

Em: Emisiones GEI generadas a la atmosfera

Fg: Factor de emisiones GEI

Ct: Consumo generado por las tecnologías renovables en 14 años

$$203gCo_2/Kw * 60 KW/mes * 12 meses * 14 años$$

$$203gCo_2/Kw * 720 KW/año * 14 años$$

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.

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/estadisticaspor-tema/precios-y-costos/indice-de-precios-al-consumidor-ipc/ipc-informaciontecnica>

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](https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Normatividad/Justificacion%20tecnica%20-%20Tasa%20social%20de%20descuento.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/wpcontent/uploads/2013/09/images_Noticias_Documentos Noticias_Resolucin-deprecios.pdf](https://www.boyaca.gov.co/wpcontent/uploads/2013/09/images_Noticias_Documentos_Noticias_Resolucin-deprecios.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