

Recibido 09/09/2024 Aceptado 17/06/2025

Diseño y aplicación de un modelo financiero para la estandarización del montaje de plantas generadoras de energía eléctrica a través de sistemas solares fotovoltaicos en viviendas rurales no interconectadas a la red eléctrica en el municipio de Ibagué

Design and Implementation of a Financial Model for the Standardization of the Installation of Electric Power Generation Plants through Photovoltaic Solar Systems in Rural Housing Units Not Connected to the Electrical Grid in the Municipality of Ibagué

Gerson Alejandro Saavedra Molano ¹

Miguel Antonio Portilla Castro ²

Como citar:

Saavedra Molano, G. A., & Portilla Castro, M. A. (2025). Diseño y aplicación de un modelo financiero para la estandarización del montaje de plantas generadoras de energía eléctrica a través de sistemas solares fotovoltaicos en unidades de vivienda rurales no interconectadas a la red eléctrica localizadas en el municipio de Ibagué. *Vía Innova*, 12(1), 188–211. <https://revistas.sena.edu.co/index.php/RVI/>

¹ Gerson Alejandro Saavedra Molano, Ingeniero Mecatrónico, Magíster en Sistemas Mecatrónicos y Magíster en Administración, Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), saavedram@sena.edu.co, Ibagué, Colombia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0555-4929>

² Miguel Antonio Portilla Castro, Ingeniero Electrónico, Magíster en Administración de Empresas con especialidad en Calidad, Seguridad y Medio Ambiente, Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), mportillac@sena.edu.co, Ibagué, Colombia, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3912-9475>

Resumen

Las fuentes de energía eléctrica en Colombia dependen principalmente del recurso hídrico del país y en algunos sectores rurales el servicio de energía eléctrica no alcanza a llegar o su infraestructura es frágil, causando daños a los electrodomésticos y apagones frecuentes. A esta problemática se le ha querido dar solución con otros tipos de fuentes de energía como la solar. No obstante, si no se realiza adecuadamente una caracterización de las zonas rurales objeto de instalación, se pueden presentar incrementos en costos y mantenimientos correctivos frecuentes en esta clase de solución.

Por tal razón, el objetivo de este trabajo de investigación fue proponer un modelo financiero que incorporara los aspectos claves para estandarizar el montaje de plantas generadoras de energía a través de sistemas solares fotovoltaicos en las viviendas no interconectadas a la red en la zona rural de Ibagué. Para este estudio se llevó a cabo una investigación cuantitativa, iniciando con la exploración de antecedentes de proyectos similares. Posteriormente, se hizo un análisis general de las características geográficas, climáticas y de localización de las veredas, para determinar el tipo de sistema fotovoltaico e inversión para el montaje de cada planta generadora de energía, logrando estructurar un modelo financiero CAUE.

Como resultado, este modelo arrojó que el 90% de las veredas de Ibagué son aptas para una alternativa de inversión con energía solar y que los costos en el modelo tienen relación directa con aspectos como estructura técnica de la planta, características geográficas, climáticas y energéticas de las locaciones estudiadas.

Palabras Clave: Modelización financiera, paneles solares, sistema aislado, energía fotovoltaica, sistema conectado a Red.

Abstract

Electric power sources in Colombia depend mainly on the country's water resources and in some rural areas the electric power service is not available or its infrastructure is fragile, causing damage to appliances and frequent power outage. This problem has been attempted to be solved with other types of energy sources such as solar energy. However, if a proper characterization of the rural areas to be installed is not carried out, increases in costs and frequent corrective maintenance may occur in this type of solution.

For this reason, the objective of this research work was to propose a financial model that incorporated the key aspects to standardize the installation of power plants through photovoltaic solar systems in homes not connected to the grid in the rural area of Ibagué. For this study, a quantitative research was carried out, starting with the exploration of backgrounds of similar projects. Subsequently, a general analysis of the geographical, climatic and location characteristics of the villages was carried out to determine the type of photovoltaic system and investment for the installation of each energy generating plant, achieving structuring a CAUE financial model.

As a result, this model showed that 90% of the villages in Ibagué are suitable for an investment alternative with solar energy and that the costs in the model are directly related to aspects such as the technical structure of the plant, geographical, climatic and energy characteristics of the locations studied.

Keywords: Financial modeling, solar panels, isolated system, photovoltaic energy, grid-connected system.

1. Introducción

En la actualidad las fuentes de energía alternativas al petróleo están siendo impulsadas por los gobiernos municipales y nacionales, ya que al ser renovables tienen la capacidad de perdurar en el tiempo y disminuir en gran medida la contaminación del medio ambiente (López, 2022). Particularmente en Colombia se han adoptado medidas para impulsar la energía solar esencialmente con la disminución de aranceles en sus dispositivos eléctricos a través de la ley 1715, causando una disminución en los precios de las instalaciones fotovoltaicas (Gubinelli, 2020). Sin embargo, los costos de las instalaciones dependen de la selección de sus componentes que un alto porcentaje tiene relación con ciertas características climatológicas, geográficas y energéticas que en zonas rurales no interconectadas a la red son más susceptibles a obviar y que en definitiva puede causar un aumento considerable en el mantenimiento y precio final de la implementación de esta clase de generación de energía eléctrica, lo cual no incentiva su masificación y uso (Pinilla, 2016).

De esta forma, el presente trabajo de investigación tuvo como objetivo principal estructurar un modelo financiero de costo anual uniforme equivalente (CAUE), el cual es un indicador utilizado en los proyectos de inversión que convierte todos los ingresos y egresos a una cantidad anual uniforme equivalente en un mismo periodo de tiempo (Tarquin y Blank, 2002). Principalmente, el modelo financiero de este proyecto compara dos alternativas de solución energética para las veredas de Ibagué y sus viviendas sin conexión eléctrica a la red. En donde, la primera alternativa establecida, fue la inversión de un sistema solar fotovoltaico mientras que la segunda opción a valorar, fue la conexión de este servicio mediante la empresa comercializadora de energía.

En cuanto al proceso metodológico de esta investigación en el desarrollo del primer objetivo se realizó una recolección de datos mediante fuentes secundarias para lograr la caracterización de los 17 corregimientos y 133 veredas objeto de estudio, para el segundo, se estudiaron e identificaron los diferentes tipos de instalaciones fotovoltaicas en donde se estipuló que la más adecuada para este tipo de zonas rurales no interconectadas es el aislado de la red. Y a partir de esta determinación, se seleccionaron y calcularon los dispositivos solares más idóneos para los lugares de instalación. En donde en el objetivo número 3, se conformaron ocho configuraciones distintas de kits solares que se relacionan directamente con variables climatológicas y energéticas propias de estos sitios. Estos grupos solares están compuestos de paneles solares, baterías del GEL, reguladores de carga, inversores 800W y otros dispositivos eléctricos como cables y protecciones que son necesarios para producir y hacer uso de la energía eléctrica. Por último, en el cuarto objetivo se propone un modelo financiero CAUE con un periodo de 8 años, el cual es alimentado por toda la información recogida de las veredas y de las configuraciones solares establecidas previamente. Además, para la alternativa de inversión de energía convencional se incorpora en el modelo los costos de instalación, facturación, su tasa de incremento y oportunidad para obtener un costo anual uniforme. Por ende, en este objetivo, se finaliza con un análisis y la interpretación de validez de la alternativa de solución fotovoltaica.

Es importante recalcar que, este modelo al final permitió validar si la alternativa de inversión con energía solar fotovoltaica es la óptima a implementar en la zona rural del municipio de Ibagué.

2. Metodología de la investigación

Para la realización de la siguiente investigación se utilizó el enfoque cuantitativo, soportado por una tarea exhaustiva de revisión de fuentes secundarias que soportaran las características técnicas y de inversión para la instalación de plantas solares fotovoltaicas y que desde sus componentes estructuraron el modelo financiero que representó la estandarización de estas. Es importante recordar que el enfoque cuantitativo “es lineal y demostrativo, sigue una secuencia y cada una de sus fases precede la posterior, no se pueden evitar las distintas etapas de este, además expone el método científico clásico y trata de tener el mayor control posible” (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014). Por lo tanto, para el cumplimiento de los objetivos se llevó un orden lógico de actividades gruesas, en el cual, en un comienzo se hizo un levantamiento de la información de aspectos geográficos y climáticos de las localidades potenciales de solución de la energía desde las celdas fotovoltaicas y de su situación actual de necesidades de suministro de energía, se identificó el requerimiento de inversiones para la solución de las necesidades antes mencionadas, se ejecutó un análisis de costo beneficio de las alternativas de inversión para la solución requerida y se identificaron aspectos del modelo financiero para estandarizar una solución de planta generadora de energía eléctrica a través de sistemas solares fotovoltaicos para el servicio de las veredas en el municipio de Ibagué. Este modelo permitió la estandarización de aspectos de inversión para llevar la solución de energía eléctrica a comunidades aisladas y distantes que requieran del servicio.

2.1 Tipos de estudio

En primera instancia se llevó un estudio exploratorio del entorno en donde se abordaron variables del problema como: localización, infraestructura y capacidad eléctrica de las veredas a través de datos e información secundaria (Jiménez, 1998).

Seguido de esto, con la información recopilada se caracterizaron las veredas objeto de investigación, llevando a cabo un estudio descriptivo para especificar las características y propiedades que fueron sometidas a un análisis. Es importante recalcar que el análisis descriptivo “implica precisar la magnitud y características del problema y para ello se pueden utilizar diferentes técnicas participativas, es decir, cualquier técnica de investigación que no implique separación entre el investigador y los investigados” (Hurtado, 2000, pág. 116). Para finalizar, con toda la información recopilada, organizada y caracterizada en los pasos anteriores, se estructuró un modelo financiero que expresó las relaciones de las variables en forma matemática, lo que hizo necesario llevar a cabo un estudio correlacional “el cual tiene como propósito mostrar o examinar la relación entre variables o resultados de variables” (Bernal, 2010, pág. 114). De esta manera, se logró dejar especificados aquellos componentes o variables que, desde la operacionalización del modelo, definen la estructura de inversiones y demás aspectos para dar vía libre a esta alternativa de solución de energía eléctrica para comunidades específicas.

2.2 Población y muestra

Según Tamayo (2012), “la población es la totalidad del fenómeno a estudiar en donde estas unidades poseen una característica común, la cual se estudia y da origen a los datos de la investigación” (p.114). Así mismo, Eyssautier (2002) lo define como “el grupo de personas o cosas similares en uno o varios aspectos, que forman

parte del objeto de estudio” (p.196). Por lo tanto, la población de esta investigación estuvo compuesta por las 133 veredas del municipio de Ibagué.

Por su parte, en este estudio se realizó con un censo debido al bajo número de veredas de la ciudad de Ibagué. Es importante mencionar que según sabino (2002), “el censo poblacional es el estudio que utiliza todos los elementos disponibles de una población definida” (p.77). También, Bavaresco (2001) “lo define como un estudio de todo y cada uno los elementos de la población para obtener una misma información” (p.171).

2.3 Instrumentos y técnicas de recolección de información

Según Sabino (2012) “Las técnicas de recolección de datos son la implementación instrumental del diseño escogido” (p.29). Por lo tanto, para la presente investigación se utilizó un formato que recopiló toda la información relevante de las fuentes secundarias como localización, altitud, población, radiación entre otros.

3. Resultados

3.1 configuración de los kits solares y costos de cada uno.

A continuación, se observan las diferentes configuraciones de los kits solares aislados individuales de hogares rurales, que serían instalados en las veredas objeto de estudio dependiendo de las cargas en las viviendas y la radiación del lugar. En total se propusieron 4 sistemas fotovoltaicos diferentes que a su vez se dividen en dos clases, debido al tipo de panel solar a utilizar.

En las tablas 1 y 2 se especifica la primera distribución correspondiente para una vereda que se encuentra a una altitud mayor a 1000 m.s.n.m, con una carga de 2.0 KW/h, sin brillo solar de 3 días y radiación solar de 4.0 KW/m²/día.

Tabla 1. Configuración Número 1a

Elemento	Cantidad	Tipo de instalación	Sin Brillo solar
Panel monocristalino 270w – 24 V	3	En serie	
Baterías 300Ah -12 V	2	En serie	2 días
Regulador 30A	1	En paralelo	
Inversor 800W	1		

Tabla 2. Configuración Número 1b

Elemento	Cantidad	Tipo de instalación	Sin Brillo solar
Panel policristalino 270w – 24 V	3	En serie	
Baterías 300Ah -12 V	2	En serie	2 días
Regulador 30A	1	En paralelo	

Inversor 800W 1

A su vez, en las tablas 3 y 4 se observa la opción 2 de planta fotovoltaica para una locación menor a 1000 m.s.n.m, con cargas de 2.5 KW/h, autonomía de 2 días y radiación solar de 4.5 KW/m²/día.

Tabla 3. Configuración Número 2a

Elemento	Cantidad	Tipo de instalación	Sin Brillo solar
Panel monocristalino 310w – 24 V	3	En serie	
Baterías 250Ah -12 V	2	En serie	2 días
Regulador 30A	1	En paralelo	
Inversor 800W	1		

Tabla 4. Configuración Número 2b

Elemento	Cantidad	Tipo de instalación	Sin Brillo solar
Panel policristalino 310w – 24 V	3	En serie	
Baterías 250Ah -12 V	2	En serie	2 días
Regulador 30A	1	En paralelo	
Inversor 800W	1		

Por otro lado, las tablas 5 y 6 muestran la configuración del kit solar para zonas con una altura mayor a 1000 m.s.n.m, con cargas en las viviendas de 2.0 KW/h día, sin brillo solar 2 días y con radiación solar a 4.0 KW/m²/día.

Tabla 5. Configuración Número 3a

Elemento	Cantidad	Tipo de instalación	Sin Brillo solar
Panel monocristalino 270w – 24 V	3	En serie	
Baterías 200Ah -12 V	2	En serie	2 días
Regulador 30A	1	En paralelo	
Inversor 800W	1		

Tabla 6. Configuración Número 3b

Elemento	Cantidad	Tipo de instalación	Sin Brillo solar
Panel policristalino 270w – 24 V	3	En serie	
Baterías 200Ah -12 V	2	En serie	2 días

Regulador 30A	1	En paralelo
Inversor 800W	1	

Así mismo, para zonas con elevaciones mayores a 1000 m.s.n.m, autonomía de 2 días y considerando cargas 2.0 KW/h día con una radiación solar de 4.5 KW/m²/día, en las tablas 7 y 8 se observa la configuración tipo de su kit solar.

Tabla 7. Configuración Número 4a

Elemento	Cantidad	Tipo de instalación	Sin Brillo solar
Panel monocristalino 270w – 24 V	3	En serie	
Baterías 200Ah -12 V	2	En serie	2 días
Regulador 30A	1	En paralelo	
Inversor 800W	1		

Tabla 8. Configuración Número 4b

Elemento	Cantidad	Tipo de instalación	Sin Brillo solar
Panel policristalino 270w – 24 V	3	En serie	
Baterías 200Ah -12 V	2	En serie	2 días
Regulador 30A	1	En paralelo	
Inversor 800W	1		

A continuación, se pueden observar los requerimientos de inversión estructural por configuración de solución fotovoltaica. Por tal motivo, En la tabla 9 se pueden observar los costos del kit solar Número 1.

Tabla 9. Costo configuración planta solar 1

Tipo de Configuración	1A	1B
Tipo de Panel	Monocristalino	Policristalino
Potencia panel (W)	270	270
Cantidad de Paneles	3	3
Costo	\$1.397.736	\$1.047.600
Tipo de Batería (Ah)	300	300
Cantidad de Baterías	2	2
Costo	\$2.934.000	\$2.934.000
Tipo de Regulador (A)	30	30

Cantidad de Reguladores	1	1
Costo	\$561.000	\$436.100
Tipo de Inversor (W)	800	800
Cantidad de Inversores	1	1
Costo	\$653.950	\$653.950
Costo total del sistema	\$5.546.686	\$5.071.650

En la tabla 10 se ilustran el valor de costo total la configuración de la planta solar Número 2.

Tabla 10. Costo configuración planta solar 2

Tipo de Configuración	2A	2B
Tipo de Panel	Monocrystalino	Policristalino
Potencia panel (W)	310	310
Cantidad de Paneles	3	3
Costo	\$1.377.900	\$1.460.136
Tipo de Batería (Ah)	250	250
Cantidad de Baterías	2	2
Costo	\$2.502.000	\$2.502.000
Tipo de Regulador (A)	30	30
Cantidad de Reguladores	1	1
Costo	\$436.100	\$436.100
Tipo de Inversor (W)	800	800
Cantidad de Inversores	1	1
Costo	\$653.950	\$653.950
Costo total del sistema	\$4.969.950	\$5.052.186

Los costos del kit solar número 3 se visualizan en la tabla 11.

Tabla 11. Costo configuración planta solar 3

Tipo de Configuración	3A	3B
Tipo de Panel	Monocrystalino	Policristalino
Potencia panel (W)	270	270
Cantidad de Paneles	3	3

Costo	\$1.397.736	\$1.047.600
Tipo de Batería (Ah)	200	200
Cantidad de Baterías	2	2
Costo	\$2.055.094	\$2.055.094
Tipo de Regulador (A)	30	30
Cantidad de Reguladores	1	1
Costo	\$436.100	\$436.100
Tipo de Inversor (W)	800	800
Cantidad de Inversores	1	1
Costo	\$653.950	\$653.950
Costo total del sistema	\$4.542.880	\$4.192.744

Por último, el valor del costo total para la configuración solar número 4 se representa en la tabla 12.

Tabla 12. *Costo configuración planta solar 3*

Tipo de Configuración	4A	4B
Tipo de Panel	Monocrystalino	Policristalino
Potencia panel (W)	270	270
Cantidad de Paneles	3	3
Costo	\$1.397.736	\$1.047.600
Tipo de Batería (Ah)	200	200
Cantidad de Baterías	2	2
Costo	\$2.055.094	\$2.055.094
Tipo de Regulador (A)	30	30
Cantidad de Reguladores	1	1
Costo	\$436.100	\$436.100
Tipo de Inversor (W)	800	800
Cantidad de Inversores	1	1
Costo	\$653.950	\$653.950
Costo total del sistema	\$4.542.880	\$4.192.744

En definitiva, como se observa en las tablas 9, 10, 11 y 12 los kits solares más económicos son los números 3B

y 4B con un costo total de \$4.192.744, por otro lado, el de mayor costo es el número 1A con un precio final de \$5.546.686.

Así mismo, En la tabla 13 se resaltan los costos de los gastos complementarios en dispositivos eléctricos que complementan los kits solares y los cuales son estándares para cualquier tipo de instalación objeto de este estudio.

Tabla 13. Costos de gastos complementarios en dispositivos eléctricos

Dispositivo	Cantidad	Precio
Interruptor automático termo magnético	5 unidades	\$89.400
Cable encauchetado para paneles solares	20 metros	\$75.000
Conectores MC4	2 kits	\$285.800
Conectores MC4 en rama	2 kits	\$171.800
Tablero cofre eléctrico de control industrial 60x40x25	1 unidad	\$419.900
Soporte estructura para panel solar	1 unidad	\$313.000
Sistema de puesta a tierra	1 unidad	\$240.880
Costo total		\$1.595.780

3.2 Validación financiera del modelo de inversión en la estandarización de configuraciones

En la figura 1 se puede observar el modelo financiero de costo anual uniforme equivalente (CAUE), el cual se utilizó para evaluar la inversión de las dos alternativas de suministro eléctrico para las veredas sin conexión eléctrica en el municipio de Ibagué.

Modelo Financiero CAUE									
Concepto									
EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DESDE EL MODELO DE INVERSIÓN									
CONCEPTO	PERIODOS EN AÑOS								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
ALTERNATIVA ENERGÍA FOTOVOLTAICA									
Inversión									
Inversión Total	\$ 88.589.484								
Porción de Rescate	60%								
Valor de Rescate									\$ 53.153.690
Tasa de oportunidad (>180 días)	7%								
Número de Periodos Vida Útil	8								
Costo Uniforme Anual		\$ 9.655.111,39							
ALTERNATIVA ENERGÍA COMERCIALIZADA									
Costos de energía comercializada anual									
Instalación	\$ 29.400.000								
Facturación anual		\$ 3.931.200	\$ 4.245.696	\$ 4.585.352	\$ 4.952.180	\$ 5.348.354	\$ 5.776.223	\$ 6.238.320	\$ 6.737.386
Tasa incremento facturación	8%								
Valor presente facturación	\$ 30.371.757								
Porción de Rescate	n.a.								
Valor de Rescate									n.a
Tasa de oportunidad (>180 días)	7%								
Número de Periodos Vida Útil	8								
Costo Uniforme Anual		\$ 10.009.842,42							
VALIDEZ DEL MODELO DE INVERSIÓN		VÁLIDO							

Figura 1. Modelo Financiero CAUE

Para el funcionamiento de este modelo se consideraron variables que dependen directamente de las características geográficas, climáticas y energéticas de cada vereda y que, a su vez determinan el tipo de configuración solar a instalar como se muestra en la figura 2.

Datos generales		Corregimiento	Dantas
		Vereda	Dantas
		Número de vereda	1
Supuestos y premisas			
	Supuestos		
		Variables Ambientales y Geograficas	
		Temperatura	24
		Días sin brillo solar	3
		Radiacion Solar	4.0
		Altitud	1998
		Variables Energeticas	
		Viviendas sin energía eléctrica	14
		Cantidad de carga de la vivienda	2
		Cantidad de viviendas sin energía por corregimiento	25
Configuración de la plantas solar			
	Tipo de Kit solar		1a
		Dispositivos del Kit solar	
		Tipo de panel solar	Monocristalino
		Potencia del panel (W)	270
		Cantidad de paneles solares	3
		Costo de los paneles solares	\$ 1.397.736
		Baterias	300
		Cantidad de baterias	2
		Costo de las baterias	\$ 3.062.000
		Regulador	30
		Cantidad de reguladores	1
		Costo de los reguladores	\$ 561.000
		Inversor	800
		Cantidad de inversores	1
		Costo de los inversores	\$ 1.193.100
		Costo de las plantas solares	
		Costo por unidad de vivienda	\$ 6.213.836
		Costo por vereda	\$ 86.993.704
		Gastos complementarios	
		Dispositivos eléctricos estándares	\$ 1.595.780
		Total de inversión	\$ 88.589.484

Figura 2. Ejemplo de Datos Generales de las Veredas

Como se mencionó anteriormente en el modelo se evaluaron dos alternativas con periodos similares de 8 años. En donde, en la figura 3 se presenta la inversión con energía fotovoltaica. Es importante mencionar que en esta alternativa su costo uniforme anual varía según la vereda objeto de estudio, mientras que, por otro lado, sus variables fijas son el porcentaje de rescate, la tasa de oportunidad y el número de periodos.

EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DESDE EL MODELO DE INVERSIÓN									
CONCEPTO	PERIODOS EN AÑOS								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
ALTERNATIVA ENERGÍA FOTOVOLTAICA									
Inversión									
Inversión Total	\$ 88.589.484								
Porción de Rescate	60%								
Valor de Rescate									\$ 53.153.690
Tasa de oportunidad (>180 días)	7%								
Número de Periodos Vida Útil	8								
Costo Uniforme Anual		\$ 9.655.111,39							

Figura 3. Inversión energía fotovoltaica

3.2.1 Inversión Total.

Este ítem corresponde al costo total de la instalación fotovoltaica y varía dependiendo del tipo de vereda y su correspondiente configuración solar que va asociada a ciertas características típicas de cada vereda como, por ejemplo, número de viviendas sin conexión a energía solar, localización geográfica o altura sobre el nivel del mar. Para este proyecto se tuvieron en cuenta 4 sistemas fotovoltaicos diferentes que a su vez se dividen en dos clases, debido al tipo de panel solar a utilizar. Por otro lado, es importante recalcar que en la inversión total no se asumieron costos de mantenimiento, ya que en los primeros 8 años solo corresponde realizar mantenimientos preventivos de limpieza y los puede realizar el dueño de la vivienda.

3.2.2 Porción de Rescate.

Este valor corresponde al valor de salvamento total que no se afecta al término del periodo de 8 años y es fijo para todas las configuraciones fotovoltaicas correspondiendo al 60% del costo de todos los elementos. Este valor se definió debido a que técnicamente por garantías y vida útil es claro que dentro de la estructura de inversión de activos hay un desgaste en el 40% en todas las configuraciones fotovoltaicas, el cual corresponde a las baterías ya que estas necesitan un mantenimiento correctivo o remplazo a los 8 años de uso.

3.2.3 Tasa de oportunidad y número de periodos de vida útil.

La tasa de oportunidad es una variable fija en el modelo, la cual representa el costo de oportunidad y para este estudio se toma en el 7% EA. Esta es una tasa a la cual la población objeto del beneficio de esta solución de energía puede llegar a poner sus recursos. Entendiéndose como la tasa histórica que en los últimos periodos reflejó las opciones de inversión en renta fija en el sistema financiero colombiano. Por otro lado, el número de periodos de vida útil corresponde a 8 años, siendo este un valor constante para todas las configuraciones solares, y se optó por este periodo porque es el tiempo promedio en donde se realiza el primer mantenimiento correctivo a los kits solares en donde se remplazan las baterías.

3.2.4 Costo uniforme anual.

Es el valor anual de la solución fotovoltaica y varía dependiendo de cada vereda siendo este el costo a comparar con la solución de energía convencional.

Con respecto a la solución de energía comercializada, en la figura 4 se revelan las variables que componen esta parte del modelo, siendo conformadas por costos fijos tales como: los de gastos de instalación, tasa de incremento de facturación, tasa de oportunidad y número de periodos. En cuanto a los costos variables estos se encuentran en la facturación anual y el costo uniforme anual.

ALTERNATIVA ENERGÍA COMERCIALIZADA									
Costos de energía comercializada anual									
Instalación	\$ 29.400.000								
Facturación anual		\$ 3.931.200	\$ 4.245.696	\$ 4.585.352	\$ 4.952.180	\$ 5.348.354	\$ 5.776.223	\$ 6.238.320	\$ 6.737.386
Tasa incremento facturación	8%								
Valor presente facturación	\$ 30.371.757								
Porción de Rescate	n.a.								
Valor de Rescate									n.a
Tasa de oportunidad (>180 días)	7%								
Número de Periodos Vida Útil	8								
Costo Uniforme Anual		\$ 10.009.842,42							
VALIDEZ DEL MODELO DE INVERSIÓN		VÁLIDO							

Figura 4. Inversión Energía Convencional

3.2.5 Instalación.

Este ítem corresponde al costo de instalación que debe asumir una persona cuando requiere tener el servicio de energía eléctrica en una residencia y es un valor fijo de \$2.100.000 que incluye medidor, caja de medidor, puesta a tierra y acometida eléctrica para la vivienda.

3.2.6 facturación anual.

Este valor corresponde al costo anual de facturación de energía eléctrica para una unidad familiar con un consumo básico o de subsistencia para un estrato 1. Conviene subrayar que este valor es un promedio tomado de la empresa de energía CELSIA Tolima S.A. E.S.P., la cual es la encargada de la comercialización de este servicio público en el departamento del Tolima.

3.2.7 Tasa de incremento de facturación.

Esta variable fija, es el incremento porcentual del costo anual de facturación y se estableció en 8%, debido a que este valor es un promedio que se ha experimentado en los últimos años. Los incrementos porcentuales del precio de la energía dependen básicamente del índice de precios del productor los cuales son regulados por la CREG y que en años anteriores tenía un comportamiento del 3% de incremento anual, sin embargo, en los últimos meses este se ha presentado con un indicador bastante atípico que ha variado del 5 al 22%, lo que ha generado que el gobierno nacional se haya propuesto a bajar los precios de la energía eléctrica en Colombia a partir de noviembre.

3.2.8 Valor presente de facturación.

Este es el valor que tiene en la actualidad la facturación de energía eléctrica que se pagará en los próximos 8 periodos anuales.

3.2.9 Tasa de oportunidad y número de periodos de vida útil.

La tasa de oportunidad es una variable fija en el modelo, la cual representa el costo de oportunidad y para este estudio se toma en el 7% EA. Esta es una tasa a la cual la población objeto del beneficio de esta solución de energía puede llegar a poner sus recursos. Entendiéndose como la tasa histórica que en los últimos periodos reflejo las opciones de inversión en renta fija en el sistema financiero colombiano. Por otro lado, el número de periodos de vida útil corresponde a 8 años, siendo este un valor constante ya que depende de la inversión fotovoltaica.

3.2.10 Costo uniforme anual.

Es el valor anual de la solución con energía convencional y varía dependiendo de cada vereda, siendo este el

costo a comparar con la solución de energía fotovoltaica.

3.2.11 Validez del modelo de inversión.

En esta casilla el modelo arroja un Válido o No Válido, entendiéndose por válido cuando una solución con energía solar es más económica que la solución por energía convencional. Por otro lado, No válido se interpreta, cuando la inversión con energía fotovoltaica es más costosa que la que suministra la empresa comercializadora.

3.3 Síntesis de viabilidad desde el modelo financiero

Al evaluar todas las veredas con el modelo financiero propuesto, a primera vista se puede observar que el 90% de estas tienen una respuesta válida a la inversión solar, mientras 10% no la tienen. También, En la tabla 15 se pueden apreciar con más detenimiento que la configuración solar 3a aporta al modelo la mayor cantidad de veredas con una solución fotovoltaica válida ascendiendo a 34 de estas. Por el contrario, el kit solar que muestra el mayor número de locaciones sin viabilidad es el 1a con tan solo siete verederas. Todo esto se debe a diferentes factores que se analizarán a continuación.

Tabla 15. Configuraciones solares con respuestas válidas y no válidas según el modelo

Configuración	Número de veredas Válidas	Número de veredas No válidas
Configuración 1a	0	7
Configuración 1b	0	1
Configuración 2a	N/A	N/A
Configuración 2b	22	0
Configuración 3a	34	0
Configuración 3b	18	0
Configuración 4a	9	0
Configuración 4b	20	0
Total	99	12

3.3.1 Análisis comparativo de la configuración 1a.

Este tipo de solución aplicada a las veredas muestra que la mejor alternativa es la inversión de energía comercial. Así mismo, en la tabla 16 se ilustra que de las siete veredas que fueron analizadas por el modelo, todas muestran un resultado negativo para la inversión fotovoltaica. Es importante mencionar que, la característica principal de estas veredas es que se encuentran en zonas con altitudes mayores a los 1000 m.s.n.m. y pueden llegar a tener 3 días seguidos sin sol, causando que sus costos aumenten al requerir paneles monocristalinos, baterías y reguladores más potentes.

Tabla 16. Número y Nombre de Veredas Validadas y no Validadas por el Modelo Financiero Kit 1a

Número y nombre de la vereda validada por el modelo financiero	Número y nombre de la vereda No validada por el modelo financiero
--	---

1.Dantas

- 2.Dantas las Pavas
- 3.Perú Corozal
- 34. Toche
- 35- San Juan
- 36. Quebradas
- 37. Alto Grande

3.3.2 Análisis comparativo de la configuración 1b.

Este tipo de kit solar solo aplicó para la vereda Juntas y su resultado es No Válida para una inversión con energía solar. Esto se debe a gran medida a que esta locación tiene 3 días sin brillo solar y esto aumenta el costo de las baterías.

3.2.3 Análisis comparativo de la configuración 2a.

Esta configuración se ajustó a algunas veredas, sin embargo, no se tuvo en cuenta ya que estas veredas no cuentan con viviendas sin conexión a la red eléctrica.

3.2.4 Análisis comparativo de la configuración 2b.

En la tabla 17 se puede observar que las 22 veredas con la configuración solar 2b son idóneas para tener una solución de inversión con paneles solares. Esto como consecuencia a que la radiación solar que cae sobre estos lugares es alta disminuyendo los costos en los paneles solares. Además, porque los días sin brillo solar en estos sectores se reducen a dos lo que permite mayor autonomía del sistema y de esta forma requerir unas baterías de menor capacidad de almacenamiento, incidiendo en la disminución de costos.

Tabla 17. Número y Nombre de Veredas Validadas y no Validadas por el Modelo Financiero Kit 2b

Número y nombre de la vereda validada por el modelo financiero
85.San Bernardo
86. La Flor
88. Yataí
89. San Cayetano Bajo
90. San Cayetano Alto
91. San Antonio
92. San Rita
93. Rodeíto
98. Chucuni
102. La Esperanza

- 103. La Elena
- 112. Los Cauchos Parte Baja
- 113. Carmen de Bulira
- 114. Alto del Combeima
- 116. Cural Combeima
- 118. Rodeo
- 119. Aparco
- 120. El Totumo
- 106. Alto de Gualanday
- 107. Briceño
- 108. Buenos Aires
- 109. Picaleña Sector Rural

3.2.5 Análisis comparativo de la configuración 3a.

En Este tipo de clasificación como se puede detallar en la tabla 18, alberga la mayor cantidad de veredas, con un total de 38, en donde es válido aplicar una solución de inversión en energética fotovoltaica. En contraste, ningún lugar muestra validez para una alternativa de inversión comercial. Esto se debe a que, estos lugares tienden a tener un menor consumo de energía por su clima y localización geográfica, además, que solo tienen dos días sin brillo solar lo que permite instalar una planta solar con menores costos específicamente en las baterías.

Tabla18. *Número y Nombre de Veredas Validadas y no Validadas por el Modelo Financiero Kit 3a*

Número y nombre de la vereda validada por el modelo financiero

- 4. Salitre
- 5. San Rafael
- 6. Altamira
- 7. Los Pastos
- 8. Laureles
- 9. Coello Cócora
- 10. Honduras
- 11. La Cima

- 12. La Linda
- 14. Morro Chusco
- 15. San Cristóbal Alta
- 16. San Cristóbal Baja
- 17. San Francisco
- 18. San Isidro
- 19. San Simón
- 20. Santa Ana
- 21. Santa Bárbara
- 22. Curalito-Lusitania
- 23. Gamboa
- 24. Tambo
- 25. Perico
- 26. Peñaranda Baja – El Porvenir
- 27. Los Naranjos
- 28. Cataima
- 29. Cataimita
- 30. El Guaico
- 31. El Ingenio
- 32. El Moral
- 33. Tapias
- 51. Pastales
- 60. La cascada
- 129. El Tejar
- 130. Charco Rico
- 13. Loma Cócora

3.2.6 Análisis comparativo de la configuración 3b.

En la tabla 19, se muestran las 18 veredas que hacen parte de la configuración 3b y que fueron validadas por el modelo para optar por una inversión de paneles solares. Estos lugares tienen la particularidad que la instalación

se realizaría con paneles solares policristalinos lo que reduce el costo de la planta solar. También, que el consumo diario promedio en estos sitios no supera los 2 kilovatios/día causando una disminución de los costos en el regulador y las baterías.

Tabla 19. *Número y Nombre de Veredas Validadas y no Validadas por el Modelo Financiero Kit 3b*

Número y nombre de la vereda validada por el modelo financiero
39. Tres Esquinas
41. Berlín
42. Chapetón Rural
43. El Corazón
44. El Retiro
45. El Secreto
46. La María Combeima
47. La María Piedra Grande
52. Pico de Oro
54. Ramos y Astilleros
55. Villa Restrepo
56. Cay Parte Baja
59. El Gallo
61. La Coqueta
62. La Victoria
63. Pie de Cuesta las Amarillas
64. Chapetón Rural
128. El Cedral

3.2.7 Análisis comparativo de la configuración 4a.

Este tipo de configuración da como resultado en el modelo 9 veredas aptas para un tipo de inversión con celdas solares y por el contrario ninguna locación válida para instalación con energía convencional. Así que, en la tabla 20 se muestran las 9 veredas en donde sus características semejantes son dos días sin brillo solar que disminuyen la cantidad de baterías y por ende su costo. De igual manera, en estos lugares la radiación solar alcanza 4.5 Kw/m² lo que permite producir mayor cantidad de energía a menor costo.

Tabla 20. *Número y Nombre de Veredas Validadas y no Validadas por el Modelo Financiero Kit 4a*

Número y nombre de la vereda validada por el modelo financiero
76. Aures
77. China Media
78. El Rubí
79. La Beta
80. La Isabela
82. La Violeta
83. San Juan de la China
117. Charco Rico
124. Martinica Parte Alta

3.2.8 Análisis comparativo de la configuración 4b.

Esta clase de configuración se resalta en la tabla 21 y acoge a 20 veredas que según el modelo financiero estructurado se acoplan a una alternativa de inversión con energía fotovoltaica. Por el contrario, este Kit no muestra veredas válidas para una solución de tipo comercial. Esto se debe en gran medida, a que en las veredas objeto de estudio cae una alta radiación solar lo que permite el uso de paneles solares policristalinos, adicionalmente, su consumo energético no es alto y sus días sin brillo solar es tan solo de dos días. Consecuentemente se reducen los costos de las plantas fotovoltaicas.

Tabla 21. *Número y Nombre de Veredas Validadas y no Validadas por el Modelo Financiero Kit 4b*

Número y nombre de la vereda validada por el modelo financiero
66. Alaska
67. Ambala Parte Alta
68. Ancon Tesorito
71. Ancon Tesorito Sector los Pinos
73. Calambeo
75. San Antonio Ambala
94. Carrizales
95. Chembe
96. China Alta

97. China Alta Sector Casebanco

100. El Jaguo

104. La María

110. Los Cauchos Parte Alta

111. La Cueva

115. Cañadas Potrerito

121. Potero Grande Parte Alta

122. La montañita

125. Martinica Parte Baja

126. Potrero Grande

101. La Belleza

Conclusiones

El modelo financiero propuesto se suscribe a 8 estructuras de inversión descritas como 1a, 1b, 2a, 2b, 3a ,3b, 4a y 4b las cuales incorporan requerimientos de inversión en baterías, paneles solares, inversores, regulador de carga y conexiones eléctricas, elementos que permitirán en la mayoría de los casos una justificación financiera por los beneficios a obtener.

Para la validez financiera de las distintas configuraciones que se describen en el modelo de inversión, se hace uso del modelo de costo anual uniforme equivalente para darle la viabilidad a la alternativa de solución de energía eléctrica a través de sistemas solares fotovoltaicos en las veredas de Ibagué. Consecuentemente, como resultado de esta evaluación de validez se puede inferir que el 90% de las veredas son susceptibles a una inversión de alternativa fotovoltaica. Por otra parte, al ser el modelo financiero alimentado por diferentes plantas estandarizadas que fueron calculadas y seleccionadas para condiciones de consumo energético muy propias de la región central de Colombia, este se puede aplicar a cualquier zona rural del centro del país.

Se puede concluir que, las condiciones de servicio público de energía eléctrica no son las mejores en las zonas rurales de este municipio en donde se encontró que las unidades de vivienda sin conexión a la red eléctrica alcanzan una cifra de 614, aunado a que la mayoría de los centros poblados se ven afectados por constantes cortes y apagones. Por otro lado, la zona rural de Ibagué cuenta con locaciones ubicadas en diferentes pisos térmicos y climas. Como, por ejemplo, la vereda Dantas que posee un clima frío mientras que la vereda Briceño goza de un clima cálido, que consecuentemente diversifica el tipo de estructura de la planta solar fotovoltaica a instalar.

En el objetivo específico 2 se concluye que todos los componentes técnicos de las plantas fotovoltaicas están asociados directamente a las características geográficas, climáticas y energéticas de las veredas objeto de estudio y que, si no se tienen en cuenta estas características, la solución con energía solar fotovoltaica puede ser más costosa que la convencional ya que se puede sobredimensionar los requerimientos de inversión. También, se identificó que el tipo de sistema solar a emplear para las zonas rurales debe ser aislado de la red, debido a la dispersión geográfica de las viviendas en estos sitios, su bajo consumo promedio de energía que no alcanza a superar el de subsistencia, aunado a que varias residencias veredales no están conectadas a la red eléctrica.

Se concluye que para los 17 corregimientos y 131 veredas es necesario crear 8 diferentes configuraciones solares que van a depender del consumo eléctrico mensual de la vivienda, de la altitud de la vereda, de la radiación solar y de los días sin brillo solar. Estas variables intervienen directamente en los dispositivos eléctricos de las plantas solares y claramente en los costos. Lo anterior se evidencia notablemente en la configuración 4b la cual es la más económica y en donde un principal rasgo es una radiación alta que incrementa la generación de energía solar y, por ende, un menor costo de producción. En cambio, en locaciones que pertenecen a la configuración 1a, como Perú Corozal en donde su característica climática es estar 3 días sin brillo solar al mes, afectando directamente la entrega de energía eléctrica y causando que se necesite usar dispositivos más potentes, y de allí una elevación en los costos.

Se puede concluir que el modelo financiero más adecuado para este estudio es el CAUE ya que permite evaluar dos alternativas de inversión en un mismo periodo de tiempo, para este caso la energía fotovoltaica en contraste con la convencional. Es importante mencionar que el periodo de tiempo determinado fue de 8 años, debido a que el primer mantenimiento correctivo se da en baterías al finalizar este ciclo. Así mismo, para este estudio, el modelo muestra una solución válida o favorable cuando la alternativa de inversión fotovoltaica tiene un costo menor a la comercial.

Por último, Este modelo suministró como resultado que, de 111 veredas, 99 tienen validez para una solución fotovoltaica y que, en definitiva, la configuración que más locaciones válidas arrojó fue el 3a con 34 de estas, seguida de la 2b con 22. En contraste, las configuraciones 1a y 1b fueron las que menor cantidad de veredas validadas evidencio el modelo financiero con 7 y 1 respectivamente.

Referencias

ACERA. (2019). *Estadísticas sector de generación de energía eléctrica renovable*. Santiago de Chile. Obtenido de <https://acera.cl/estadisticas/>

Alcaldía de Ibagué. (2019). *Centro de Información Municipal para la Planeación Participativa*. Obtenido de <https://cimpp.ibague.gov.co/wp-content/uploads/2019/12/9CAY-DIC-19.pdf>

Alcaldía de Ibagué. (2019). *Centro Información Municipal para la Planeación Participativa*. Obtenido de <https://cimpp.ibague.gov.co/wp-content/uploads/2019/12/2.-LAURELES->

Bavaresco, A. (2013). *Proceso metodológico de la investigación*. Caracas: Imprenta internacional.

Becquerel, A. (1867). *La lumière, ses causes et ses effets*. Paris: Firmin Didot Frères.

Benninga, S. (2014). *Financial modeling*. Massachusetts: The MIT press.

Bernal, C. (2010). *Metodología de la investigación*. Mexico D.C.: Pearson Education.

Chivelet, N., & Fernández, I. (2007). *La envolvente fotovoltaica en la arquitectura*. Barcelona: Reverté.

Conejo, A., Arroyo, J., Milano, F., Alguacil, N., Polo, J., Garcia, R., . . . López, L. (2007). *Instalaciones eléctricas*. Madrid: Mc Graw Hill.

Cucó, S. (2020). *Instalación fotovoltaica en autoconsumo*. Valencia: Universitat politècnica de valencia.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (31 de Octubre de 2019). *DANE*. Obtenido de <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>

Díaz, T., & Carmona, G. (2010). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Madrid: Mc Graw Hill.

Ganchev, I., Dragan, V., & Valle costa, O. (2013). Stochastic Modeling and Financial Applications. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 1-3.

Gimeno, F. (2011). *Convertidores electrónicos: energía solar fotovoltaica, aplicaciones y diseño*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

Gitman, L. (2007). *Principios de administración financiera*. Mexico DC: Pearson Education.

Greene, J., & Caracelli, V. (2003). *Making paradigmatic sense of Mixed Methods practice*. San francisco.

Gubinelli, G. (11 de Junio de 2020). *Energía estratégica*. Obtenido de <https://www.energiaestrategica.com/por-decreto-finalmente-el-gobierno-de-colombia-habilita-beneficios-de-iva-aranceles-y-renta-para-proyectos-de-energias-renovables/>

Gutiérrez, J. (2008). *Modelos Financieros con Excel*. Bogotá: Ecoe ediciones.

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación*. Mexico D.C: Mac Graw Hill.

Hurtado, J. (2000). *Metodología de la Investigación*. Caracas: Quirón editores.

IDEAM. (s.f.). *El medio ambiente en Colombia*. Obtenido de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/005192/medioambiente/cap3parteI.pdf>

Innovación y Cualificación. (2017). *Montaje mecánico de instalaciones solares fotovoltaicas*. Antequera: IC Editorial.

Innovación y Cualificación, S.L. (2017). *Montaje eléctrico y electrónico en instalaciones solares fotovoltaicas*. Antequera: IC Editorial.

Jiménez, R. (1998). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN*. La Habana: Ciencias Médicas.

Lawson, D., & Marion, G. (2008). *An Introduction to Mathematical Modelling*. Glasgow: WILEY.

Lopez de ponce, A. (2013). *Necesidades energéticas y propuestas de instalaciones solares*. Antequera: Ic editorial.

Lopez de ponce, A. (2013). *Necesidades energéticas y propuestas de instalaciones solares*. Málaga: IC Editorial.

López, A. (21 de Julio de 2022). *El Colombiano*. Obtenido de <https://www.elcolombiano.com/negocios/las-cuatro-petroleras-que-apuestan-por-las-energias-renovables-KK18121803>

Marrufo, E., & Castillo, J. (2010). *Instalaciones eléctricas interiores*. Madrid: Mc Graw Hil.

Ministerio de Minas y Energía. (2020). *Instalacion de sistemas solares fotovoltaicos individuales en zonas no interconectadas*. Bogotá.

Murmson, S. (23 de Abril de 2018). *Sciencing*. Obtenido de <https://sciencing.com/geographic-location-mean-8667.html>

OCHA. (3 de Junio de 2014). Obtenido de <https://wiki.salahumanitaria.co/wiki/Vereda>

Peréz, M., & Morales, I. (2017). The hour equivalent solar pick, definition and interpretation. *Ingenieria Energética*, 124-131.

Pinilla, A. (2016). Soluciones energéticas para zonas rurales. *Revista de ingenieria*, 36-39.

Proctor, S. (2010). *Building Financial Models with Microsoft Eccel*. New jersey: WILEY FINANCE.

Ramírez, M. (2014). Modelo financiero para la detección de quiebras con el uso de análisis discriminante múltiple. *InterSedes*, 4-19.

Reyes, G., & Briceño, A. (2010). Propuesta de modelo financiero para crecimiento corporativo sostenible. *Finanzas y Política Económica*, 57-64. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=323527254005>

Rodríguez , A., & Iturralde, T. (2007). *Modelización Financiera Aplicada*. Madrid: Delta Ediciones.

Sabino, C. (1992). *El proceso de investigación*. Caracas: Panapo.

Sánchez, A. (22 de Mayo de 2021). Obtenido de <https://conceptodefinicion.de/localizacion/>

Sánchez , M. (2008). *Energía solar fotovoltaica* . Mexico DF: Limusa.

Stein, D. (2017). *Financial modeling in excel for dummies*. Hoboken: Jhon wisey and son inc.

Tamayo y Tamayo, M. (2012). *El proceso de la investigación científica* . Bogotá: Limusa.

Tarquin, A., & Blank, L. (2002). *Ingeniería Económica*. Mexico DC: Mc Graw Hill.

Terrazas , R. (2009). MODELO DE GESTIÓN FINANCIERA PARA UNA ORGANIZACIÓN. *Perspectivas*, 55-72. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/4259/425942159005.pdf>

Tobajas, M. (2012). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Cano Piña.

Van Horne , J., & Wachowichz , J. (2010). *Fundamentos de Administración Financiera*. Mexico D.C: Prentice Hall.