

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD FOTOVOLTAICO EN VIVIENDA CON  
PROBLEMAS DE SUMINISTRO ELÉCTRICO.



Estudio de prefactibilidad para el diseño de implementación de un sistema fotovoltaico en  
vivienda con problemas de suministro eléctrico.

John Fredy Escobar Rincón

Jorge Eliecer García Gutiérrez

Alejandro Mesa Muñoz

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Virtual y a Distancia

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

agosto de 2021

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD FOTOVOLTAICO EN VIVIENDA CON  
PROBLEMAS DE SUMINISTRO ELÉCTRICO.

Estudio de prefactibilidad para el diseño de implementación de un sistema fotovoltaico en  
vivienda con problemas de suministro eléctrico.

John Fredy Escobar Rincón

Jorge Eliecer García Gutiérrez

Alejandro Mesa Muñoz

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Especialista en Gerencia de  
Proyectos

Asesor(a)

Jhony Alexander Barrera

Magister en Administración y Dirección de Empresas

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Virtual y a Distancia

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

agosto de 2021

Estudio de prefactibilidad para el diseño de implementación de un sistema fotovoltaico en vivienda con problemas de suministro eléctrico.

### **Dedicatoria**

Dedicamos el presente trabajo de grado a Dios por habernos permitido llegar hasta este punto y también a todos nuestros propósitos fuente de motivación en nuestras vidas.

Estudio de prefactibilidad para el diseño de implementación de un sistema fotovoltaico en vivienda con problemas de suministro eléctrico.

### **Agradecimientos**

Los autores del proyecto expresan su agradecimiento principalmente a Dios por ser el eje de nuestras vidas, a nuestros docentes que fueron guías en todo nuestro proceso formativo, compartieron su conocimiento apoyando la culminación de este trabajo y a nuestras familias por todo el apoyo incondicional en cada etapa de nuestras vidas.

Agradecemos Especialmente a:

Nuestro Director de Trabajo de Grado profesor y Magister en Administración y Dirección de Empresas Jhony Alexander Barrera, por su dedicación, atención y orientación.

A la Corporación Universitaria Minuto de Dios y a la Facultad de Ciencias Empresariales, por darnos la oportunidad de crecer como personas y obtener conocimiento para ser integrales sirvan a la sociedad desde su saber ser y saber hacer.

Estudio de prefactibilidad para el diseño de implementación de un sistema fotovoltaico en vivienda con problemas de suministro eléctrico.

## Contenido

Lista de tablas .....	9
Lista de figuras.....	11
Lista de anexos.....	12
Resumen.....	13
Abstract .....	15
Introducción .....	17
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
1.1 Descripción del problema.....	19
1.1.1 Árbol del problema.....	21
1.1.2 Análisis del árbol del problema.....	23
1.2 Descripción de la situación a abordar .....	24
1.2.1 Ubicación .....	25
1.2.2 Problemáticas domesticas .....	28
1.2.3 Problemáticas sociales.....	29
1.3 Objetivos .....	29
1.3.1 Objetivo general .....	29
1.3.2 Objetivos específicos.....	30
1.4 Justificación.....	30
2. DISEÑO DE SOLUCIÓN.....	32

Estudio de prefactibilidad para el diseño de implementación de un sistema fotovoltaico en vivienda con problemas de suministro eléctrico.

2.1 Estudio técnico de viabilidad .....	32
2.2 Diseño técnico .....	36
2.2.1 Requerimientos del panel solar .....	37
2.2.2 Requerimientos del controlador de carga.....	38
2.2.3 Requerimientos de las baterías .....	39
2.2.4 Requerimientos del inversor.....	40
2.3 Descripción de tecnología necesaria .....	41
2.4 Características de seguridad del equipamiento .....	47
2.5 Descripción de la normatividad aplicada .....	48
2.5.1 Normatividad legal.....	48
2.5.2 Normatividad técnica .....	52
2.6 Impactos esperados .....	55
3. PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN.....	57
3.2 Flujo de proceso .....	57
3.2 Descripción de obras de infraestructura y adecuación .....	58
3.3 Presentación de planimetría .....	60
3.3.1 Ubicación espacial.....	60
3.3.2 Ubicación de elementos de captación .....	62
3.4 Cronograma de implementación .....	63

Estudio de prefactibilidad para el diseño de implementación de un sistema fotovoltaico en vivienda con problemas de suministro eléctrico.

4.	PRESUPUESTO DE INVERSIÓN.....	65
4.1	Presupuesto de infraestructura y adecuaciones .....	66
4.2	Presupuesto de tecnología .....	67
4.3	Presupuesto de mano de obra asociada a la construcción de infraestructura y adecuación ....	68
4.4	Resumen de las inversiones.....	68
5.	PRESUPUESTO DE GASTOS.....	69
5.1	Presupuesto de herramientas .....	69
5.2	Presupuesto de gastos financieros .....	71
5.3	Presupuesto de gastos asociados al acompañamiento en la ejecución .....	72
5.4	Presupuesto de gastos periódicos de mantenimiento .....	73
6.	PRESUPUESTO DE FINANCIACIÓN .....	74
6.1	Recursos propios .....	75
6.2	Recursos con terceros.....	75
6.2.1	Proyección de financiación .....	76
6.2.2	Resultados de proyección de costos totales de financiación .....	77
6.2.3	Flujo de caja .....	77
7.1	Evaluación financiera.....	79
7.1.1	Tasa de descuento.....	80
7.1.2	Valor Presente Neto .....	80
7.1.3	Tasa Interna de Retorno .....	81

Estudio de prefactibilidad para el diseño de implementación de un sistema fotovoltaico en vivienda con problemas de suministro eléctrico.

7.2 Evaluación social.....	82
8. CONCLUSIONES.....	83
Referencias.....	85
Anexos .....	90

Estudio de prefactibilidad para el diseño de implementación de un sistema fotovoltaico en vivienda con problemas de suministro eléctrico.

### Lista de tablas

Tabla 1 <i>Promedio horario de la radiación</i> .....	35
Tabla 2 <i>Parametrización de la carga</i> .....	36
Tabla 3 <i>Consumo de potencia instantánea</i> .....	40
Tabla 4 <i>Ficha técnica panel fotovoltaico</i> .....	42
Tabla 5 <i>Ficha técnica regulador de carga</i> .....	43
Tabla 6 <i>Ficha técnica inversor</i> .....	44
Tabla 7 <i>Ficha técnica batería</i> .....	44
Tabla 8 <i>Resumen de la normatividad Legal</i> .....	51
Tabla 9 <i>Resumen de la normatividad técnica</i> .....	54
Tabla 10 <i>Inclinación de los paneles solares de acuerdo con su ubicación</i> .....	62
Tabla 11 <i>Cronograma de actividades</i> .....	65
Tabla 12 <i>Elementos constructivos</i> .....	66
Tabla 13 <i>Elementos de tecnología</i> .....	67
Tabla 14 <i>Actividades asociadas a la mano de obra</i> .....	68
Tabla 15 <i>Resumen de actividades asociadas al presupuesto de inversión</i> .....	69
Tabla 16 <i>Equipos de medición y herramientas</i> .....	70
Tabla 17 <i>Costos alquiler de herramientas</i> .....	71
Tabla 18 <i>Resumen de gastos financieros</i> .....	72
Tabla 19 <i>Gastos indirectos</i> .....	72
Tabla 20 <i>Mantenimientos periódicos</i> .....	73
Tabla 21 <i>Distribución de estructura de capital</i> .....	75

Estudio de prefactibilidad para el diseño de implementación de un sistema fotovoltaico en vivienda con problemas de suministro eléctrico.

Tabla 22 <i>Tabla de amortización</i> .....	76
Tabla 23 <i>Valores totales amortización de crédito</i> .....	77
Tabla 24 <i>Proyección de flujo de caja</i> .....	78
Tabla 25 <i>Indicadores de evaluación financiera TIR</i> .....	81
Tabla 26 <i>Exposición de indicadores financieros</i> .....	81
Tabla 27 <i>Resumen de indicadores</i> .....	84

Estudio de prefactibilidad para el diseño de implementación de un sistema fotovoltaico en vivienda con problemas de suministro eléctrico.

### Lista de figuras

Figura 1 <i>Formulación del árbol de problemas</i> .....	22
Figura 2 <i>Generalidades topográficas del predio</i> .....	26
Figura 3 <i>Visualización del predio</i> .....	27
Figura 4 <i>Visualización cardinal del inmueble</i> .....	28
Figura 5 <i>Intensidad de radiación solar</i> .....	33
Figura 6 <i>Captación de brillo solar</i> .....	34
Figura 7 <i>Ubicación de estación meteorológica</i> .....	34
Figura 8 <i>Conexión banco de baterías</i> .....	40
Figura 9 <i>Descripción funcionamiento de sistema solar fotovoltaico</i> .....	46
Figura 10 <i>Flujograma de procesos</i> .....	58
Figura 11 <i>Distribución del predio y ubicación de elementos fotovoltaicos</i> .....	61
Figura 12 <i>Posicionamiento de paneles solares</i> .....	63

Estudio de prefactibilidad para el diseño de implementación de un sistema fotovoltaico en vivienda con problemas de suministro eléctrico.

### **Lista de anexos**

Anexo 1 <i>Factura de empresa eléctrica Enel</i> .....	90
--	----

Estudio de prefactibilidad para el diseño de implementación de un sistema fotovoltaico en vivienda con problemas de suministro eléctrico.

## **Resumen**

En Colombia la demanda eléctrica sigue en aumento y las formas tradicionales de obtención energética han venido impactando negativamente el medio ambiente, el aumento paulatino de la temperatura global, la pérdida de biodiversidad a causa de la construcción de megaproyectos hidroeléctricos, termoeléctricos y el posible agotamiento de combustibles de origen no renovable, hacen necesario la exploración de técnicas que sean más amigables con el entorno.

Una de las fuentes que cumple con las expectativas de aprovechamiento eléctrico es la energía proveniente de la radiación solar del tipo fotovoltaico, no obstante, aunque se encuentra dentro del plan de desarrollo energético del país y existe normatividad vigente que la ampara, su uso no ha sido difundido lo suficiente y por ende su implementación actual es muy baja.

La energía solar foto voltaica hace parte de una gama de fuentes de energías limpias que ha sido seleccionada para investigación. El factor innovador, la versatilidad de montaje para amoldarse a las necesidades del usuario y la ganancia a largo plazo cuantificable también en el mejoramiento de la calidad de vida, son los beneficios que traerá su investigación y se convertirá en el centro de estudio a lo largo del documento.

Teniendo en cuenta la oportunidad de estudio, el beneficio ambiental y la viabilidad en su implementación, se quiere desarrollar el estudio de prefactibilidad en la utilización de un sistema

Estudio de prefactibilidad para el diseño de implementación de un sistema fotovoltaico en vivienda con problemas de suministro eléctrico.

fotovoltaico enfocado al autoabastecimiento energético de una familia habitante de una casa rural con dificultades en el suministro eléctrico tradicional.

Este documento comprende un diagnóstico del estudio de mercado, técnico y financiero en el que se contempla el entorno ambiental y geográfico para el aprovechamiento de la radiación solar a pequeña escala llevado a cabo en el municipio de La Calera en las cercanías del Parque Nacional Chingaza.

***Palabras clave:*** *Electricidad, energía, hidroeléctrico, termoeléctrico, radiación solar, fotovoltaico,*

Estudio de prefactibilidad para el diseño de implementación de un sistema fotovoltaico en vivienda con problemas de suministro eléctrico.

### **Abstract**

In Colombia, the electricity demand continues to increase and the traditional ways of obtaining energy have been negatively impacting the environment, the gradual increase in global temperature, the loss of biodiversity due to the construction of hydroelectric and thermoelectric megaprojects and the possible depletion of Non-renewable fuels make it necessary to explore techniques that are more environmentally friendly.

One of the sources that meets the expectations of electrical use is the energy from solar radiation of the photovoltaic type, however, although it is within the country's energy development plan and there are current regulations that protect it, its use has not been sufficiently publicized and therefore its current implementation is very low.

Photovoltaic solar energy is part of a range of clean energy sources that has been selected for research. The innovative factor, the versatility of mounting to suit the needs of the user and the long-term, measurable gain also in the improvement of the quality of life, are the benefits that your research will bring and it will become the center of study throughout of the document.

Taking into account the opportunity of study, the environmental benefit and the feasibility of its implementation, we want to develop the pre-feasibility study in the use of a photovoltaic system focused on the energy self-sufficiency of a family living in a rural house with difficulties in the electricity supply traditional.

Estudio de prefactibilidad para el diseño de implementación de un sistema fotovoltaico en vivienda con problemas de suministro eléctrico.

This document includes a diagnosis of the market, technical and financial study in which the environment and geography are considered for the use of solar radiation on a small scale carried out in the municipality of La Calera in the vicinity of the Chingaza National Park.

*Keywords:* Electricity, energy, hydroelectric, thermoelectric, solar radiation, photovoltaic

## **Introducción**

El presente documento tiene la finalidad de exponer la factibilidad en la implementación de un sistema de energía fotovoltaico solar como alternativa de suministro de energía eléctrica para iluminación, conexión de equipos eléctricos, calefacción y calentamiento de agua en una casa rural en las cercanías del Parque Nacional Chingaza.

La lejanía del predio, los bajos voltajes, la inestabilidad del suministro, el elevado costo tarifario, el desinterés de la empresa prestadora de servicio en mejorar la calidad del suministro eléctrico para zonas apartadas y adicional el dejar de usar recursos no renovables contaminantes en calefacción y cocina son factores que dieron la iniciativa para el planteamiento de este proyecto.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, el mundo se encuentra en un periodo de crisis ecológica por el uso desmedido en la utilización de fuentes de energía procedentes de fósiles, productos y técnicas de generación tradicionales, las cuales son altamente contaminantes y han dejado una huella de carbono contribuyendo al deterioro ambiental. El aumento paulatino de la temperatura ambiente, la pérdida de biodiversidad, construcción de megaproyectos hidroeléctricos, termoeléctricos y el posible agotamiento de combustibles de origen no renovable, hacen que se genere la alternancia a la búsqueda de nuevas formas de suministro que reemplacen a las usadas tradicionalmente.

La Organización de las Naciones Unidas con el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático en su informe del 2013, dan conclusiones claras y solidas en la que la ciencia demuestra con una seguridad del 95% que la actividad humana es la causa dominante del calentamiento observado desde mediados del siglo XX. (IPCC, 2020)

Al igual que ha ocurrido en el resto del mundo, en Colombia la demanda de energía sigue en aumento y en la búsqueda de mitigar su consumo energético, en el año 2003 se han expedido decretos como el 3683 en el cual se estableció el programa para el uso racional y eficiente de energía y fuentes no convencionales, orientado a la disminución de la intensidad y mejoramiento de la energía eléctrica en los sectores de consumo y se han establecido esfuerzos como el Plan de Acción Indicativo (PAI) descrito en la resolución 180919 de 2010 con metas de ahorro energético del año 2010-2015, aun así posterior mente, mediante la Resolución 41286 se generó un nuevo PAI 2017-2022 en búsqueda de acciones, medidas sectoriales y estrategias para el

cumplimiento de metas de ahorro de energía al año 2022. (Consejo Nacional de Política Económica y Social, 2019)

Así como lo describe el Conpes 3969. La dependencia de Colombia por el suministro energético proveniente de fuentes convencionales de energía como la hidráulica y la térmica es considerablemente alta llegando a alcanzar el 94%, mientras que la minihidráulica abarca un 5%, la eólica 0,1% y la solar 0,1% (Consejo Nacional de Política Económica y Social, 2019). Estas cifras dan a una visión global en la necesidad de buscar una solución en el uso de un sistema eléctrico que mitigue el cambio climático y cree alternativas de generación diferentes a las habituales.

## **1.1 Descripción del problema**

Se identificó el problema del uso de madera para producir combustión y satisfacer las necesidades de calefacción. Esta práctica es común en las zonas rurales y lo que se quiere es mejorar las condiciones de calidad y bienestar suministrando energía a calentadores de agua propios de la vivienda mitigando el impacto ambiental.

La creencia más común indica que los sistemas de energías renovables solo están dirigidos reducir costos tarifarios, pero en realidad sus alcances tienen una connotación más profunda que abarca gran cantidad de beneficios tangibles y no tan tangibles, en nuestro caso se proyecta divisar ambos beneficios, y medirlos para poder cuantificar las mejoras en todas sus variables.

Los problemas eléctricos para este grupo de personas conllevan a una serie de repercusiones en los ámbitos habitacionales que dificultan el buen desempeño de sus actividades diarias, reducen su calidad de vida y afectan negativamente su economía. Esto lleva a pensar en

modos de implementar un sistema híbrido que ayude a suplir los problemas de baja calidad energética, reflejados en interrupciones constantes en el suministro, baja calidad en el fluido eléctrico como lo son los voltajes fuera de los valores nominales y la incertidumbre diaria de daños en los equipos por la caída constante en el servicio.

Ante la ausencia de medidas institucionales que apoyen directamente el uso de las fuentes de energías renovables provenientes de fuentes no convencionales de energía en el pasado, el Estado Colombiano ha dado impulsos en el apoyo a estas prácticas con la emisión de leyes que apoyan su uso, intentando de ese modo hacerlas más visible, pero pese a estos esfuerzos, preexiste un desconocimiento de los beneficios de este tipo de legislación.

La nación por su parte ha efectuado la identificación del problema y ha clasificado por zonas en lo que se refiere a la prestación del servicio. Las zonas del Sistema Interconectado Nacional (SIN) que son zonas cubiertas en la infraestructura eléctrica y procuran la satisfacción de la demanda mediante redes de interconexión y las Zonas No Interconectadas (ZNI) que son aquellos lugares no conectados al SIN, ya sea por aspectos geográficos, técnicos o en muchos casos por elevados costos de conexión por usuario.

El gobierno de Colombia a través de El Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para zonas no interconectadas IPSE, identificó varias causas que dificultan la expansión del suministro eléctrico a la población que vive en zonas rurales por aspectos como son: difícil acceso, baja densidad de población, presencia de comunidades étnicas, restricciones ambientales, conflicto armado, bajo nivel de ingreso de sus pobladores y escaso desarrollo económico de los territorios, ineficiente operación y mantenimiento de los sistemas de generación eléctrica implementados para la prestación del servicio en las zonas no interconectadas.

Por lo tanto, es necesario buscar nuevas alternativas como el uso de las Fuentes No Convencionales de Energías Renovables (FNCER) que permitan diversificar y reducir la dependencia a térmicas de generación depredadoras del medio ambiente.

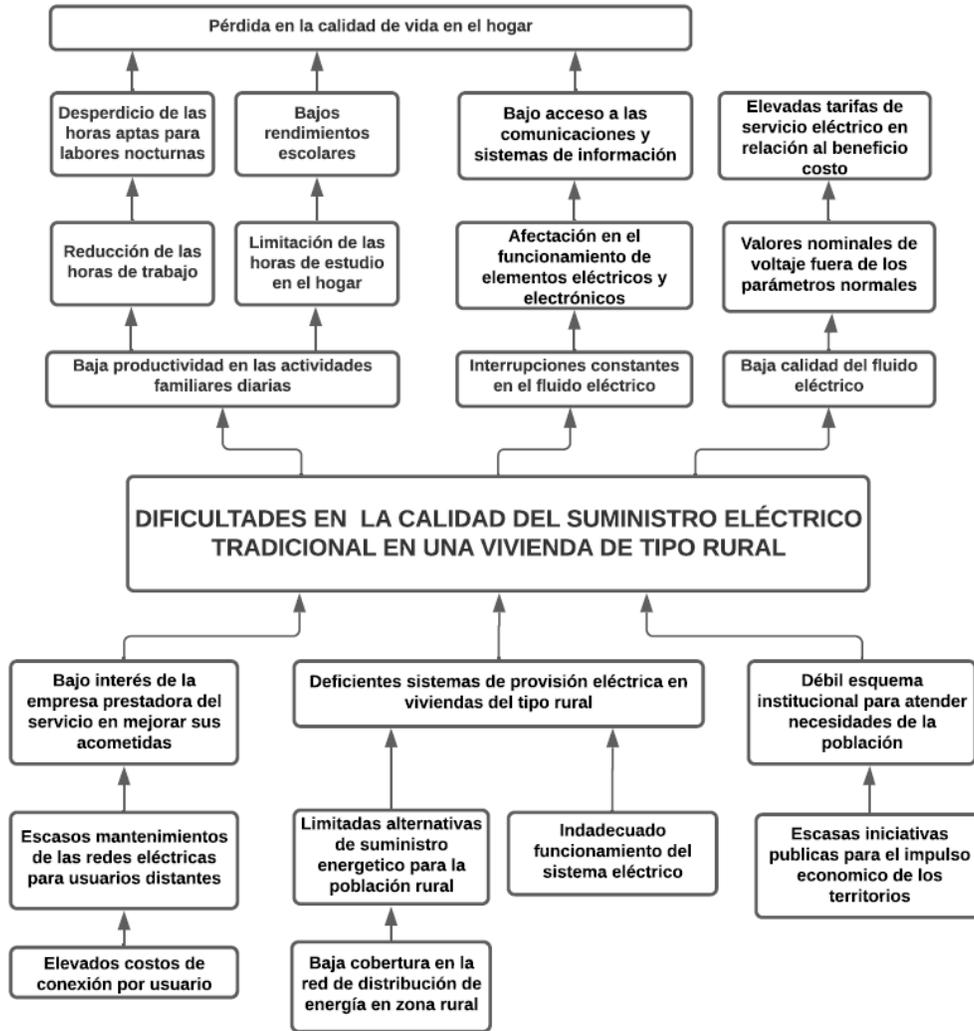
### **1.1.1 Árbol del problema**

El árbol de problemas es una técnica empleada para identificar una situación negativa que condensa las relaciones causales en una sola expresión, hay que tener en cuenta que estas relaciones causales se basan en problemas existentes y no ficticios y el problema deberá ser analizado como un estado existente negativo con temporal ausencia de solución. (CISE, 2017)

Se desea exponer la problemática actual abarcando en primera medida aquellas dificultades que dieron origen a dicho problema para ello en el árbol de problemas se plantean tres partes, en su parte inferior las diversas complicaciones que dieron origen a la problemática, todas estas situaciones negativas se condensan en un problema central. Después de haber identificado el problema principal que condensa todas las complicaciones, se procede a ubicar en su parte superior los efectos o consecuencias acarreadas por el problema principal.

**Figura 1**

*Formulación del árbol de problemas*



*Nota.* Comprende los componentes que dieron origen al problema central y las consecuencias que acarrearón.

### **1.1.2 Análisis del árbol del problema**

Diversas problemáticas con características exógenas han repercutido en el modo de vida de los habitantes de un hogar rural disminuyendo la calidad de vida de quienes habitan el lugar. Partiendo del análisis del árbol de problemas fueron plasmadas las dificultades como se indica a continuación.

En su base se encuentran identificados varios problemas creados por la baja gestión en lo técnico y administrativo por parte de la empresa de servicios públicos, este desinterés es generado por los altos costos que representa el sostenimiento de las acometidas en zonas de difícil acceso puesto que las zonas rurales no comprenden una densidad significativa de usuarios, pero si una alta inversión en infraestructura, muy similar a zonas con mayor densidad poblacional. Adicional a ello, toda red eléctrica necesita de mantenimientos periódicos, esto repercute negativamente en la economía de la empresa prestadora del servicio puesto que dichos costos deben ser asumidos por la compañía eléctrica y en ellos se incluye las nóminas de las cuadrillas de trabajadores y la inversión en materiales que serían recuperados con los cobros facturados si hubieran más usuarios que requirieran el servicio en el lugar, pero al ser tan pocos los consumidores en la zona, estas pérdidas del no retorno de capital de inversión deben ser asumidas por la misma empresa. Otro problema identificado es la escasa gestión pública que no representa las necesidades de la población siendo el reflejo de las escasas iniciativas regionales y del débil impulso económico de los territorios por parte de sus gobernantes, al final todos estos problemas repercuten en los pobladores y en el caso particular en los habitantes de este grupo poblacional rural habitante del predio.

Las circunstancias negativas que dieron origen al problema se condensan en la complicación central que es la dificultad en la calidad del suministro eléctrico tradicional en una vivienda del tipo rural. Esto repercute en consecuencias que afectan la normalidad del entorno familiar como lo es la reducción de la productividad en las actividades familiares diarias que conlleva tanto a afectar la vida escolar y al desperdicio de las horas laborables nocturnas.

Por otro lado, identificaron otros efectos que alteran la calidad de vida, un ejemplo es que muchas de las actividades dependen de equipos eléctricos y electrónicos y al presentarse un servicio eléctrico con características deficientes o ausentes, el desarrollo de estas actividades toman más tiempo de lo habitual o alteran las actividades normales. Es importante resaltar que según informe de revisión 18 (Schneider Electric, s.f.), las subtensiones podrían reducir la vida útil de los equipos eléctricos es por esto por lo que se debe seguir al pie de la letra la ficha técnica que el fabricante recomienda. Además, el proveedor de red actual no cuenta con equipos de control para la medición de calidad de energía que entrega a los usuarios, por lo mismo la empresa no asume las intermitencias o interrupciones de servicio de energía y así mismo tampoco se ven representadas en la factura de servicios públicos.

## **1.2 Descripción de la situación a abordar**

El lugar se encuentra en la vereda Santa Helena municipio de la Calera, zona rural colindante con la reserva natural del Parque Nacional Natural Chingaza a 3100msnm, es un lugar apartado del casco urbano con características agrícolas, alta presencia de vegetación y fuentes hídricas. Lo distante de la zona hace que a la empresa de energía se le dificulte prestar un servicio de calidad, eso se ve reflejado en cortes recurrentes en el fluido del suministro eléctrico y voltajes fuera de los valores nominales.

Dentro del presente estudio de localización se tuvo en cuenta diferentes condiciones para la ubicación espacial del proyecto, analizando aspectos de macro y microlocalización, en la periferia para asegurar la maximización de beneficios en la producción energética solar.

### **1.2.1 Ubicación**

A continuación, se explicará la macrolocalización, microlocalización y generalidades que caracterizan la ubicación del predio donde se llevara a cabo el proyecto

#### ***1.2.1.1 Macrolocalización***

El municipio de la calera tiene una superficie de 34.000 Hectáreas o 340Km<sup>2</sup>, tiene de vecinos a los municipios de Chía, Guasca, Choachí y Bogotá. La altura media se encuentra a 2718msnm y se ubica a una distancia de 17km de los límites de la Ciudad de Bogotá. La macrolocalización también comprende el parque natural Chingaza que tiene una extensión de 76.600 hectáreas y alturas máximas de 4.050 msnm. Su máxima altura se encuentra en la Serranía de Los Órganos, en el cerro San Luis, frontera entre los municipios de Fómeque, San Juanito y El Calvario y entre los departamentos de Cundinamarca y el Meta.

(www.municipio.com, 2019)

#### ***1.2.1.2 Microlocalización***

El lugar de ejecución se ubica en la vereda Santa Helena, zona rural a 40 minutos del casco urbano del municipio de la Calera con acceso vial del tipo terciario. La zona de implementación cuenta con geografía boscosa, alta presencia de vegetación, fauna y fuentes

hídricas. Además, con una planimetría inclinada debido a ser una zona montañosa. La ubicación precisa del predio es  $4^{\circ}44'21.8875''$ ,  $-73^{\circ}53'58.948''$ .

**Figura 2**

*Generalidades topográficas del predio*



*Nota.* Describe por medio de plano topográfico la estructura del lote donde se realizará la implementación.

### ***1.2.1.3 Generalidades físicas del predio***

La geografía del sitio con alta presencia de flora y fauna nativa del lugar crean un ambiente húmedo y frío, alta presencia de boscosidad en el costado oriental del predio ya que tiene límites con la reserva natural propiedad de la Empresa de acueducto de Bogotá

### **Figura 3**

*Visualización del predio*

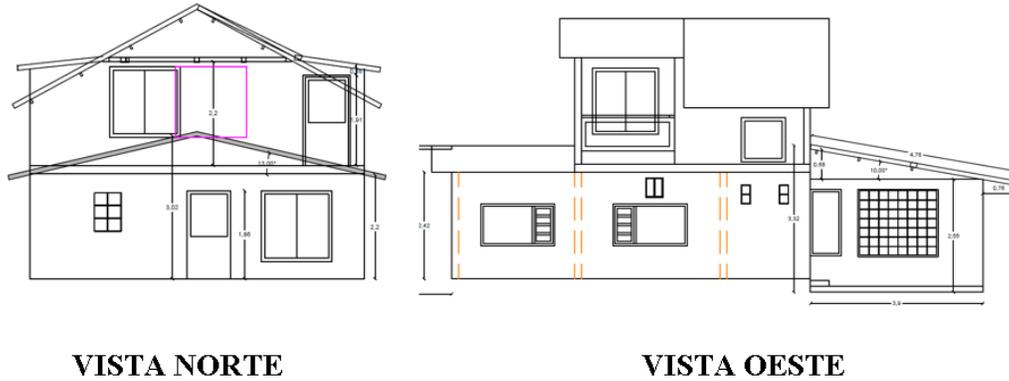


*Nota.* Ilustra el inmueble el cual va a ser beneficiado con la implementación fotovoltaica y actualmente presenta problemas de fluido eléctrico constante.

La orientación cardinal es fundamental para la efectividad y el correcto funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos, una correcta orientación ayudara a obtener la máxima captación solar siendo esto un aspecto fundamental para el proyecto. Adicional es necesario contemplar aquellos elementos contiguos que pudieran servir de obstáculos a la luz solar produciendo sombra.

#### Figura 4

*Visualización cardinal del inmueble*



*Nota.* Ilustra el inmueble desde el punto de vista de orientación cardinal para indicar los posibles lugares de toma de sol de los paneles fotovoltaicos.

#### 1.2.2 Problemáticas domesticas

El problema originado por la baja calidad del fluido eléctrico tradicional trae implicaciones para usos que desean realizar diariamente los habitantes del predio, su vida cotidiana se ha visto interrumpida por falencias que dificultan sus actividades cotidianas traducidas en falta de iluminación, refrigeración de alimentos, esparcimiento con medios televisivos y alimentación eléctrica de sistemas como celulares y computadores. Además, es tradición en esta zona la búsqueda de calefacción por medio de la obtención calorífica a partir del consumo de recursos no renovables como leña, óptimo para suplir la necesidad térmica, pero negativa para el ambiente en los ámbitos deforestación y agotamiento de los recursos naturales y por la posterior producción de dióxido de carbono CO<sub>2</sub>.

### **1.2.3 Problemáticas sociales**

Las implicaciones sociales que conlleva las falencias en el fluido eléctrico tradicional al grupo poblacional afectado abarcan desde el tema alimentario ya que dificulta la refrigeración de alimentos, también afecta las horas hábiles en las que se puede realizar actividades con luz artificial, la falta de iluminación constante que disminuye las actividades de labores para los adultos y la ejecución de tareas escolares en los niños, en actividades de esparcimiento del tipo familiar en donde la familia se reúne a departir a socializar o a debatir temas de importancia en el entorno familiar.

## **1.3 Objetivos**

A continuación, se presentan los objetivos general y específicos en los cuales se plantean las metas que se quieren alcanzar, orientan el documento y establecen puntos de partida de la idea que se quiere desarrollar.

### **1.3.1 Objetivo general**

Realizar el estudio de factibilidad para la instalación de un sistema fotovoltaico en la casa rural ubicada en el municipio de La calera en la vereda Santa Helena en cercanías al parque Nacional Chingaza.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

Realizar el estudio de viabilidad técnica para el montaje electrónico y de ingeniería de detalle del sistema solar fotovoltaico para la casa rural ubicada en la vereda Santa Helena municipio de La Calera.

Determinar los aspectos legales y normativos para el montaje de un sistema fotovoltaico, para la casa rural ubicada en la Vereda Santa Helena municipio de La Calera.

Determinar la estructura de operación del proyecto para el montaje de un sistema fotovoltaico para una casa rural ubicada en la vereda Santa Helena en el Municipio de La Calera

Realizar el estudio financiero para el montaje de un sistema fotovoltaico, para la casa rural ubicada en la Vereda Santa Helena municipio de La Calera Cundinamarca.

Determinar el impacto social para el montaje de un sistema fotovoltaico, para la casa rural ubicada en la Vereda Santa Helena municipio de La Calera.

### **1.4 Justificación**

El proyecto de prefactibilidad tiene la finalidad de explorar la viabilidad del uso de fuentes no convencionales de energía solar fotovoltaica, para suplir las necesidades habitacionales de los residentes de un predio ubicado en la zona rural oriental del municipio de La Calera en las cercanías del parque nacional Chingaza.

Por largo tiempo los habitantes del predio han tenido dificultades de calidad en el suministro eléctrico. Las caídas de voltaje, tensiones fuera de los valores nominales e

interrupción no programadas en el fluido eléctrico, son algunos de los problemas que han aquejado a estos residentes durante mucho tiempo. Por ello se quiere dar solución en el mejoramiento de la calidad de vida de estas personas, en una investigación transversal que toque todos los ámbitos relacionados para la correcta implementación de una red de captación solar fotovoltaica.

La transversalidad en lo referente a como se desea abordar el estudio es lo especial en el desarrollo del proyecto, tocando todos los ámbitos y haciendo una exploración integral de la situación a abordar. Además, el análisis se exhibe como pionero, puesto que no hay ningún sistema implementado de energías renovables en la zona, siendo éste un ejemplo de innovación en la vereda.

La legislación nacional contempla el aprovechamiento de las fuentes no convencionales de energía desde el año 2014, pero la efectividad en la implementación de la ley 1715 ha sido un tanto lenta, la investigación es un buen apalancamiento en términos de mostrar la normatividad nacional vigente, la viabilidad de ser implementada y el aporte que puede dejar en la solución de problemas relevantes en una comunidad. (Congreso de la Republica de Colombia. , 2014)

## **2. DISEÑO DE SOLUCIÓN**

El diseño de solución representa el modelamiento y relación de los aspectos físicos y lógicos requeridos específicamente para a dar la solución al problema.

### **2.1 Estudio técnico de viabilidad**

Las zonas de influencia solar varían de acuerdo con factores como la altimetría y la geoposición del lugar. Para determinar la incidencia de luminiscencia solar se usan mapas de estudios previamente establecidos, en los que se determinan cuáles son los volúmenes de la radiación solar

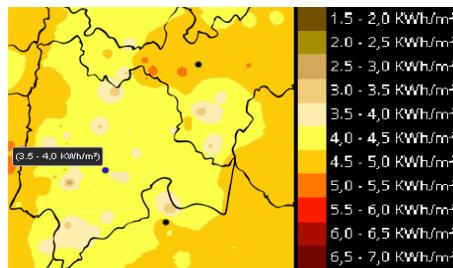
El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM es una agencia gubernamental que se encarga de información hidrológica, meteorológica y científica relacionada con el medio ambiente, el IDEAM posee mapas del país divididos en brillo solar, días sin brillo solar y radiación ultravioleta para todo el territorio colombiano. Es de vital importancia ya que es una carta de navegación en lo referente a influencia solar, la cual ayuda a la determinación de la intensidad vista desde el punto de potencia de la radiación solar.

Para poder captar con precisión la cantidad de luz solar, el IDEAM tiene implementadas estaciones para el seguimiento climatológico equipadas con piranómetros que captan la radiación solar, compilan la información y luego entregan las lecturas para la ejecución de mapas de las intensidades lumínicas del territorio nacional. (IDEAM, sf.)

Para la zona de estudio se tiene la aproximación de datos solares que se encuentra bajo una irradiación media diaria de 3.5 a 4.0 KWh/m<sup>2</sup> por día, valores comparables con la mayoría de irradiancia (Energía/Área) presente en la mayor parte del departamento de Cundinamarca, (IDEAM, s.f)

### Figura 5

*Intensidad de radiación solar*



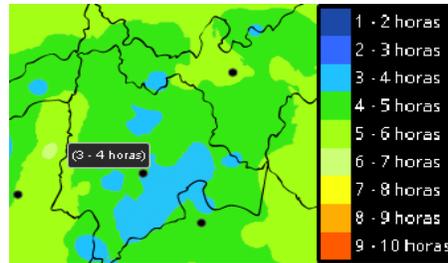
*Nota.* Visualización de zonas de influencia solar para el departamento de Cundinamarca y escala de intensidad lumínica. Fuente: (IDEAM, s.f).

Otro factor a tener en cuenta para la implementación de un sistema fotovoltaico es el comportamiento de brillo solar, estableciendo que la hora solar pico es el valor de la energía solar total incidente sobre una superficie cuya unidad en tiempo es la hora. Este parámetro puede ser captado con el uso de un Heliógrafo, este instrumento registrador proporciona las horas de sol efectivo en el día cuando la irradiación solar directa rebasa más de 120W/m<sup>2</sup>. (IDEAM, s.f)

El IDEAM establece en la evaluación de brillo solar de 3 a 4 horas en la zona implementación.

### Figura 6

*Captación de brillo solar*



*Nota.* El IDEAM establece en la evaluación de brillo solar de 3 a 4 horas en la zona implementación. Fuente: (IDEAM, s.f).

La estación meteorológica del IDEAM que lleva la trazabilidad del promedio horario de la radiación con información más completa se encuentra ubicada en la Universidad Nacional, por motivos de cercanía de tan solo 23Km se adoptó las mediciones de esta estación para los cálculos de este proyecto fotovoltaico.

### Figura 7

*Ubicación de estación meteorológica*



*Nota.* Distancia estación meteorológica IDEAM y la zona de implementación fotovoltaica.

Fuente: (Google Earth.com, s.f).

El comportamiento solar en la región andina presenta un comportamiento bimodal, en el cual los mayores promedios se dan en enero y febrero, seguidos de una disminución hasta un mínimo en los meses de abril y mayo y de un incremento hasta julio y agosto. Posteriormente se registra una disminución hasta un segundo mínimo en octubre, finalizando con un incremento para llegar nuevamente a los máximos de enero. (IDEAM, s.f)

**Tabla 1**

*Promedio horario de la radiación*

<b>Radiación solar (Wh/m<sup>2</sup>)</b>														
HORA	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio horario	% Horario
0-1	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,2	0,3	0,3	0,283	0,1%
1-2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,4	0,5	0,4	0,2	0,4	0,4	0,317	0,1%
2-3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	0,5	0,4	0,2	0,3	0,3	0,283	0,1%
3-4	0,2	0,2	0,1	0,3	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,2	0,3	0,3	0,275	0,1%
4-5	0,1	0,1	0,3	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,2	0,4	0,3	0,267	0,1%
5-6	0,2	0,1	0,3	1,3	2,5	1,9	1,2	1,2	2,0	3,0	2,7	0,7	1,425	0,3%
6-7	31,8	28,1	39,5	52,9	66,3	62,0	55,2	50,6	60,2	71,0	61,4	50,2	52,433	10,5%
7-8	184,9	162,3	149,3	177,2	188,3	188,0	191,0	172,9	180,6	205,6	198,3	208,9	183,942	36,8%
8-9	351,3	342,2	264,3	309,3	294,4	291,3	313,7	290,8	284,5	346,4	356,3	378,8	318,608	63,7%
9-10	507,6	455,8	366,7	388,1	391,4	389,5	399,7	387,8	399,5	457,6	458,6	504,3	425,550	85,1%
10-11	589,9	543,7	469,8	425,6	431,5	447,8	476,8	467,0	460,2	501,8	519,1	545,5	489,892	97,9%
11-12	607,4	544,1	483,3	433,2	455,7	497,2	520,6	491,4	489,4	458,0	488,2	533,5	500,167	100,0%
12-13	560,1	503,8	433,2	412,9	464,7	490,0	544,6	494,3	481,1	442,4	414,1	491,1	477,692	95,5%
13-14	475,7	465,6	389,8	365,9	404,2	476,3	499,4	457,5	432,5	393,3	355,3	423,4	428,242	85,6%
14-15	375,9	357,0	313,5	307,7	334,2	391,8	404,2	392,0	398,2	315,9	274,7	348,9	351,167	70,2%
15-16	304,4	275,2	231,1	225,1	245,4	275,5	292,9	305,2	298,4	209,9	188,3	254,7	258,842	51,8%
16-17	171,2	145,7	145,0	135,4	143,1	158,6	177,2	168,1	168,4	111,0	90,2	124,9	144,900	29,0%
17-18	46,4	48,7	47,7	35,6	35,7	46,3	59,4	48,9	34,5	16,7	13,0	26,0	38,242	7,6%
18-19	0,5	0,9	0,7	0,2	0,3	0,5	1,1	0,9	0,4	0,3	0,4	0,4	0,550	0,1%
19-20	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,225	0,0%
20-21	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,3	0,3	0,217	0,0%
21-22	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,2	0,225	0,0%
22-23	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,3	0,2	0,2	0,3	0,225	0,0%
23-0	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,3	0,3	0,5	0,2	0,3	0,2	0,233	0,0%

Acumulada diaria	4207	3873	3334	3270	3458	3717	3937	3729	3690	3533	3421	3891	3672	
------------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	--

	Entre 0 y 200 (Wh/m <sup>2</sup> )		Entre 400 y 600 (Wh/m <sup>2</sup> )		Mayor a 800 (Wh/m <sup>2</sup> )
	Entre 200 y 400 (Wh/m <sup>2</sup> )		Entre 600 y 800 (Wh/m <sup>2</sup> )		

*Nota.* Muestra el resumen de los promedios de radiación solar por hora en cada mes del año y los mayores porcentajes de intensidad. demostrando mayores intensidades lumínicas de 11h a 12h del día. (IDEAM, s.f)

## 2.2 Diseño técnico

El diseño técnico está ligado al dimensionamiento a partir de las necesidades del consumo de los usuarios que será determinado de acuerdo con la carga o cantidad de electrodomésticos que se conectarán al sistema, se debe dimensionar, cuantificar y su resultado va a representar la carga de sistema. La carga de potencia diaria del sistema fue estimada en 2,86KW/día.

**Tabla 2**

*Parametrización de la carga*

Elemento	Potencia (watts)	Cantidad	Horas día	Watts/h x día
Nevera	70	1	8	560
TV	60	1	6	360
Luminaria LED	8	6	4	192
Calentador agua	750	1	2	1500
Otras disposiciones	100	1	2	200
<b>Consumo simultaneo diario W/h</b>				2.812
<b>Total simultaneidad mensual (Wh)</b>				84.360

*Nota.* Se indica la distribución por potencia de cada de uno de los elementos que pueden hacer parte del sistema y fueron contemplados como primera necesidad para el proyecto.

A partir de las necesidades energéticas de 2.812 Wh diario, se inicia el planteamiento de requerimientos. El diseñador determina que el voltaje del sistema con el que se desea trabajar es de 24VCC.

$$\text{Corriente requerida [Ah/día]} = \frac{\text{Necesidad energética [Wh/día]}}{\text{Voltaje del sistema fotovoltaico [V]}}$$

En donde:

$$117.16 \text{ Ah/día} = \frac{2812 \text{ Wh/día}}{24\text{V}}$$

Se determina que la corriente para suplir las necesidades del sistema para trabajar a 24V es de 117.16 Ah/día.

### 2.2.1 Requerimientos del panel solar

Ahora, con los valores hallados en el IDEAM de Brillo solar diario de 4 horas mostrados en la Figura 6 y con la Corriente máxima de salida IMP de 9.52A proveniente del panel seleccionado se puede determinar la potencia capaz de suministrar un panel solar. (Csun, 2019)

$$\text{Corriente diaria del panel [A]} = \text{Brillo Solar Diario [H]} * \text{Corriente panel IMP [A]}$$

En donde:

$$38.08 \text{ Ah/día} = 4 \text{ [H]} * 9.52 \text{ [A]}$$

Se determina que un panel solar es capaz de producir 38.08Ah en el día. Ahora, se requiere saber la cantidad de paneles que serán necesarios para suplir las necesidades energéticas de la vivienda.

$$\# \text{ de paneles requeridos} = \frac{\text{Corriente requerida [Ah/día]}}{\text{Corriente diaria del panel[A]}}$$

En donde:

$$3.07 \text{ Paneles solares} = \frac{117.16 \text{ [Ah/día]}}{38.08 \text{ Ah/día}}$$

Por aproximación superior se deben instalar 4 paneles para que se suplan todos los requerimientos de corriente. Esto garantiza que hay suficiente tolerancia en caso de que se presenten pérdidas de alguna índole en el sistema, para el caso puntual la tolerancia de reserva en los paneles corresponde a 23%.

### 2.2.2 Requerimientos del controlador de carga

El controlador de carga va a evitar la sobrecarga de la batería, es decir una vez que la batería alcance el 100% de su carga no debe continuar cargándose, de esta manera se evita la acumulación de gases y la disminución del líquido de la batería, por otro lado el controlador de carga administra el consumo de la batería para protegerla y que no se descargue de manera profunda.

De acuerdo con los resultados obtenidos de corriente máxima IMP de 9.52A proveniente del panel seleccionado y sabiendo que la cantidad de paneles que se van a usar es igual a 4. Se determina la corriente máxima que debe soportar el regulador de carga.

$$\text{Corriente maxima [A]} = \text{Corriente IMP[A]} * \text{Número de paneles}$$

En donde:

$$38.8 \text{ [A]} = 9.52 \text{ [A]} * 4$$

El regulador de carga debe cumplir con los parámetros de trabajo y poder soportar al menos un 10% por encima de la capacidad máxima de corriente del sistema, es decir, a la corriente requerida se le agrega el 10% de tolerancia para la selección del equipo. El equipo regulador seleccionado debe soportar 42.68 Amperios a un voltaje de 24V.

### 2.2.3 Requerimientos de las baterías

Las baterías en un sistema solar fotovoltaico permiten tener una reserva energética en el caso que el sistema de captación solar no sea capaz de cumplir la demanda energética requerida por el usuario. El cálculo de capacidad de baterías es de fundamental importancia y sirve para determinar el tamaño de estos acumuladores.

Se realiza el cálculo del banco de baterías para que el sistema sea capaz de proveer energía a la vivienda cuando haya total ausencia de luz solar y que tenga autosuficiencia máxima de 1 día.

$$Capacidad\ baterias[A] = \frac{Carga\ total\ [Wh/dia] * Autonomia\ [días]}{Voltaje\ banco\ baterias[V] * Profundidad\ descarga[\%]}$$

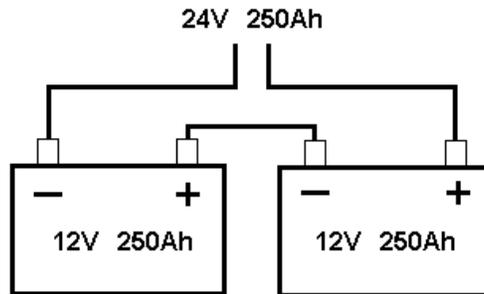
En donde:

$$195[Ah] = \frac{2810 \left[ \frac{Wh}{dia} \right] * 1[días]}{24[V] * 60[\%]}$$

En conclusión, se requiere un banco de baterías que trabaje a 24 Voltios y tenga acumuladores de 195 Amperios/hora para suplir la necesidad, pero se recomienda que las baterías tengan un 20% de mayor capacidad. El tipo de conexión debe ser en serie para duplique el voltaje a la salida del banco y conserve la misma corriente como lo muestra la figura a continuación.

### Figura 8

Conexión banco de baterías



Nota. Indicación de conexión de banco de baterías.

#### 2.2.4 Requerimientos del inversor

La función del inversor es transformar la corriente directa que provee el banco de baterías de 24V y convertirla en corriente alterna de 110 Voltios a una frecuencia de 60 Hertz. Para seleccionar el dispositivo inversor adecuado que cumpla con las características, se requiere identificar el consumo máximo de potencia instantánea haciendo la suposición que todos los elementos de carga están siendo utilizados al mismo tiempo por los usuarios. En la tabla a continuación se muestra la potencia instantánea máxima.

Tabla 3

Consumo de potencia instantánea

Elemento	Potencia (Watts)
Nevera 120L	70
TV	60
Luminaria LED	8

Calentador agua	750
Otras disposiciones	100
Total simultaneidad instantánea	988Wh

---

*Nota.* Sumatoria del consumo de potencia eléctrica instantánea.

Se recomienda dejar una tolerancia del 20% en la selección del inversor previniendo así posibles daños por trabajo excesivo del elemento inversor y se selecciona un inversor capaz de soportar la carga por encima de los 2000Wh.

### **2.3 Descripción de tecnología necesaria**

Para la implementación de un sistema fotovoltaico se requiere el uso de paneles solares como el componente más importante. El panel solar ha sido diseñado para captar las partículas de fotones provenientes del sol, los fotones se transportan en la radiación solar que al colisionar sobre la material del panel compuesto por celdas de silicio y arseniuro de galio son liberados y luego de este fenómeno el material se ve forzado a actuar químicamente separando los electrones y protones dando lugar una polaridad positiva y negativa (Nandwani, 2005, pág. 19), es decir, los átomos separan los electrones con el objetivo de formar una polarización a través de un electrodo, ya obtenida la polaridad del sistema se emplean los electrodos que van hasta el punto a alimentar normalmente los terminales de un batería para almacenar la carga y luego tenerla disponible para ser consumida por la carga. De ese modo se crea un flujo constante de energía eléctrica en DC (Corriente Directa).

Con la obtención de la energía solar convertida en un flujo que el sistema puede interpretar y se puede tomar, se continua con la fase de conversión. La luz solar en primera

medida fue captada por el panel solar, luego fue convertida en energía eléctrica del tipo directo DC, fluye a través de conductores eléctricos de cobre, en este momento la energía puede ser acumulada en baterías, pero antes requiere ser dimensionada para que cumpla características de almacenaje (Tecnológico de estudios superiores de Ecatepec, 2009, pág. 33).

Para ese procesamiento del flujo de energía hacia las baterías, se implementa un elemento electrónico llamado regulador o controlador, el cual tiene como funciones captar ese flujo eléctrico, analizar el volumen de ese flujo de energía entregado por el panel, interpretar dicho volumen y entregarlo a las baterías para su almacenaje, es de resaltar que requiere de una previa programación de acuerdo con las características del banco de baterías. Esto garantizará la protección de las baterías alargando su vida útil (Tecnológico de estudios superiores de Ecatepec, 2009, pág. 37).

El inversor es un elemento instalado en cascada posterior al controlador de carga, puede tomar energía eléctrica directamente del controlador de carga o del banco de baterías, su función principal es convertir el voltaje DC (Corriente Directa) a voltaje AC (Corriente Alterna) con características dimensionales de 110Vrms y 60 ciclos de alternancia por segundo (Hz).

Otros componentes dentro del sistema son los breakers o corta circuitos que sirven para interrumpir el flujo de corriente, pueden ser implementados para aislar los paneles solares y para interrumpir el flujo de corriente antes de ser entregado al usuario final.

#### **Tabla 4**

*Ficha técnica panel fotovoltaico*

---

<b>Panel solar</b>
CSun

---



Módulo monocristalino CSUN 370-72M  
 Tensión de trabajo [V]: 24  
 Dimensiones [mm]: 1956 x 992 x 40  
 Potencia del panel solar [W]: 370W  
 Corriente máxima de salida IMP [A]: 9.52  
 Corriente en cortocircuito ISC [A]: 9.90  
 Voltaje máximo potencia VMP [V]: 38.9  
 Voltaje en circuito abierto VOC [V]: 47.5  
 Peso [Kg]: 22 Garantía: 25 Años

*Nota.* Indica las características del panel solar fotovoltaico. Fuente: (Csun, 2019).

**Tabla 5**

*Ficha técnica regulador de carga*

---

**Controlador de carga sistema solar**

---



Morningstar Corporation  
 TS-MPPT-60-150V  
 Tensión nominal [V]: 12, 24, 36 o 48  
 Corriente máxima [A]: 60Amp  
 Voltaje máximo solar [V]: 150VCC  
 Rango voltaje de batería [V]: 8 – 72 VCC  
 Dimensiones [mm]: 291 x 130 x 142  
 Potencia nominal 24[V]: 1600Watts  
12[V]: 800Watts 48[V]: 3200Watts

---

*Nota.* Indica las características del regulador de carga. Fuente: (Morningstar Corporation, s.f).

**Tabla 6**

*Ficha técnica inversor*

<b>Inversor</b>	
	Inti photovoltaics
	IIP243000
	Potencia continua [W]: 3000VA
	Potencia pico [W] 6000VA
	Voltaje DC [V]: 24V
	Voltaje AC [V]: 120 – 230
	Frecuencia [Hz]: 50 - 60
Forma de onda: Onda pura	

*Nota.* Indica las características del inversor. Fuente: (Inti photovoltaics, s.f).

**Tabla 7**

*Ficha técnica batería*

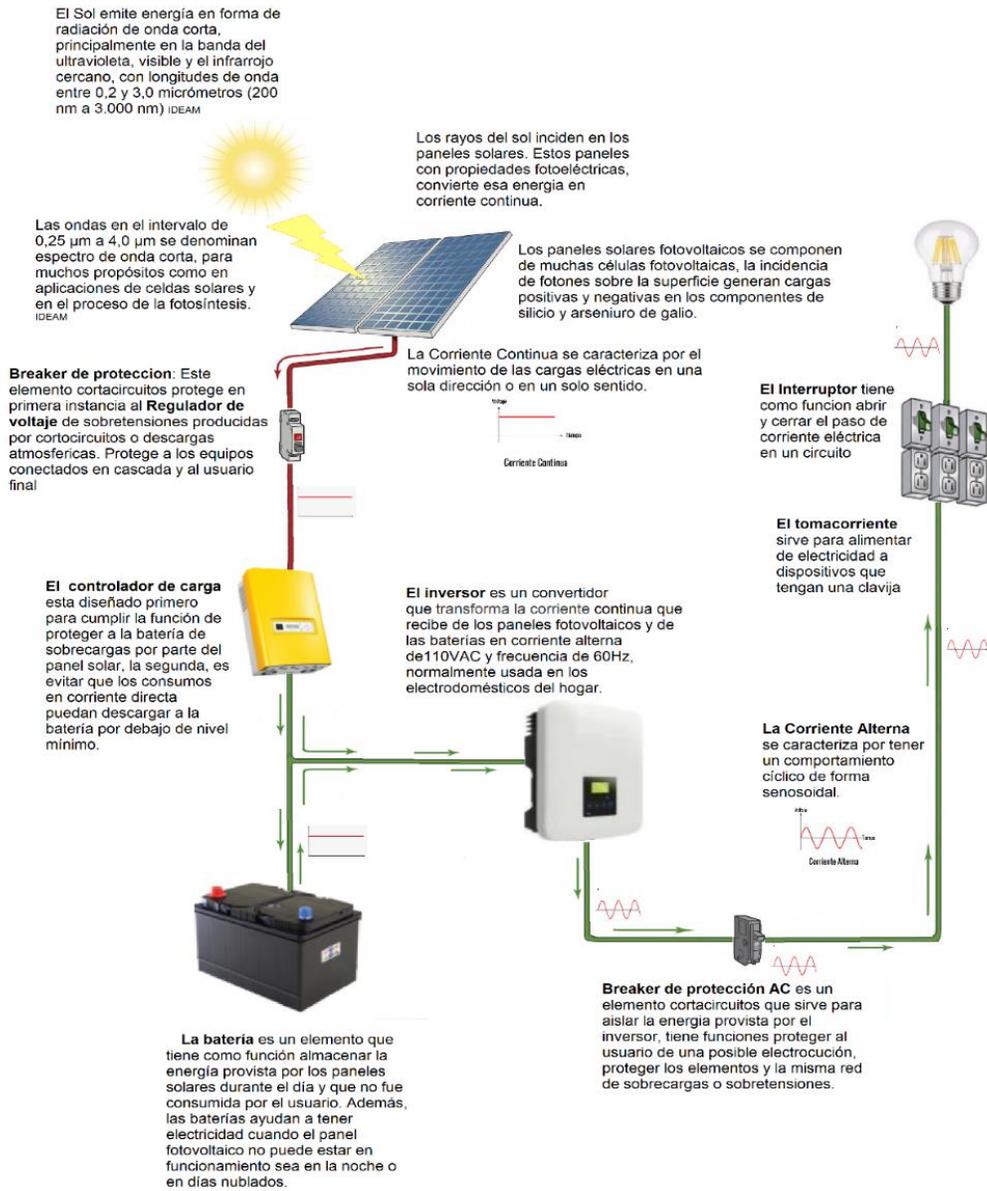
<b>Batería</b>	
	Tensite
	AGM DC 12-250
	Voltaje nominal [V]: 12
	Capacidad nominal [Ah]: 250
	Voltaje ciclo de recarga [V]: 14.1 – 14.4
	Voltaje de flotación [V]: 13,50 – 13.80
Temperatura de mantenimiento[C°]:25	

*Nota.* Indica las características de las baterías. Fuente: (Tensite, s.f).

Los elementos fueron seleccionados a partir de su ficha técnica y cumplen con las especificaciones requeridas para el montaje del sistema solar fotovoltaico que se desea implementar. Adicionalmente, con la selección de componentes se buscó tuvieran un nivel de holgura en sus características que permiten no copar el límite de sus capacidades técnicas.

### Figura 9

#### Descripción funcionamiento de sistema solar fotovoltaico



Nota. Descripción paso a paso de un sistema solar fotovoltaico desde su captación hasta la entrega energética final.

Existen varios tipos de diseños fotovoltaicos todos orientados al mismo resultado, pero con variantes en el servicio y tipos de conexión explicados a continuación:

**Grid-Off:** Cuando se implementa un sistema fotovoltaico de este modo, significa que no está conectado de ninguna manera al sistema de energía de empresa de servicios públicos. Es 100% autosuficiente en su uso de energía lo cual requiere tener baterías de respaldo.

**Grid-On:** Significa que el sistema solar está conectado paralelamente a un sistema de energía comercial o de servicios públicos local y funciona como respaldo cuando el sistema convencional no da la capacidad de consumo diario.

**Híbrido:** Son sistemas que combinan el concepto de conexión a la red y fuera de la red para ofrecer una solución sencilla para reducir el consumo máximo de energía durante el día con baterías de respaldo y el suministro de energías convencionales. (Siliconsolar, s.f)

## **2.4 Características de seguridad del equipamiento**

Todas las instalaciones cumplirán con los requerimientos de protecciones y seguridad de las personas dispuestas en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE y la Norma Técnica Colombiana NTC2050 (ICONTEC, 2020) y como lo establece la circular de la Dirección de Energía Eléctrica del Ministerio de Minas y Energía para ser acatada por Instituciones de educación Superior, Asociaciones gremiales, Asociaciones de ingenieros. (Madrigal, 2020)

Se incluirán los elementos de seguridad obligatorios para protección de los individuos previniendo una descarga directa e indirecta, entre los que se encuentran cortacircuitos automáticos, materiales aislados y puesta a tierra.

Los equipos activos y pasivos de la instalación contarán con la aprobación de Underwriters Laboratories UL inscrita en el dispositivo, certificando que el elemento cumple con garantías de calidad, seguridad y normas vigentes en lo que refiere a calidad ignífuga, descarga eléctrica y peligros mecánicos.

Se seleccionarán equipos para funcionamiento en intemperie con nivel de protección mínimo IP65 y se establecerán equipos con nivel de protección IP20 para equipos de funcionamiento bajo techo. Se cumplirán las normas para estándares de sistemas solares ordenadas por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC para compatibilidad eléctrica.

## **2.5 Descripción de la normatividad aplicada**

La implementación de sistemas fotovoltaicos en Colombia está regulada de acuerdo con los lineamientos establecidos por el Gobierno colombiano en lo que corresponde a implementación, alcances y factores técnicos

### **2.5.1 Normatividad legal**

El estado colombiano ha declarado un asunto de interés social, público y de conveniencia nacional la promoción en el uso de energías fuentes renovables no convencionales para que sean una alternativa sostenible con el medio ambiente. Siendo así se han establecido normativas gubernamentales enfocadas para dicho fin.

Con la Ley 697 de 2001, reglamentada por el Decreto Nacional 3683 de 2003, mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía y se declara el uso Racional y Eficiente de la Energía (URE) como un asunto de interés social fundamental para asegurar el

abastecimiento energético pleno y oportuno, la competitividad de la economía colombiana, la protección al consumidor y la promoción del uso de energías no convencionales de manera sostenible con el medio ambiente y los recursos naturales. (Congreso de la Republica de Colombia., 2001)

Tiempo después con la intención de lograr la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional e impulsar el uso de las fuentes alternativas de energía, se aprobó el 13 de mayo de 2014 la ley 1715 estableciendo así, los parámetros de promoción, aprovechamiento y de alcance desde el marco legal en lo que concierne al desarrollo y utilización de fuentes no convencionales de energía principalmente aquellas de carácter renovable. La ley fue encaminada a la reducción de efecto de los gases de invernadero, integración en el mercado eléctrico, producción energética en las zonas no interconectadas en aras del desarrollo económico sostenible y la seguridad del abastecimiento energético. (Congreso de la Republica de Colombia. , 2014)

El objetivo de la Ley 1715 es también establecer líneas de acción para el cumplimiento de los compromisos adquiridos por Colombia en la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero promoviendo la gestión eficiente de la energía en ámbitos públicos, privados y entes que intervengan en políticas de desarrollo de fuentes energéticas de carácter renovable. (Congreso de la Republica de Colombia. , 2014)

Adiciones en torno a la Ley 1715 se establecen en el Decreto 2143 de 2015, (Presidencia de la Republica, 2015) en el cual se adiciona el decreto único reglamentario del sector administrativo de minas y energía, Decreto 1073 de 2015, (Presidencia de la Republica de Colombia, 2015) en lo relacionado con la definición de los lineamientos para la aplicación de los

incentivos establecidos en el Capítulo III de la Ley 1715 de 2014. (Presidencia de la Republica, 2015)

El Ministerio del Medio Ambiente también busca incentivar el uso de energías renovables, es por ello que en la Resolución Min Ambiente 1283 de 3 agosto de 2016, se establece el procedimiento y requisitos para la expedición de la certificación de beneficio ambiental por nuevas inversiones en proyectos de fuentes no convencionales de energías renovables FN CER y gestión eficiente de la energía, para obtener los beneficios tributarios que son tratados en los artículos 11, 12, 13 y 14 de la Ley 1715 de 2014 y se adoptan otras determinaciones". (Ministerio del medio ambiente, 2016)

La Unidad de Planeación Minero Energética UPME adscrita al Ministerio de Minas y Energía apoya en la formulación e implementación de la política pública en el desarrollo energético desde el punto de vista técnico y en la Resolución UPME 703 del 14 de diciembre de 2018 establecen el procedimiento y los requisitos para obtener la certificación que avala los proyectos de Fuentes No Convencionales de Energía (FNCE), con miras a obtener el beneficio de la exclusión del IVA y la exención de gravamen arancelario de que tratan los artículos 12 y 13 de la Ley 1715 de 2014, y se adoptan otras disposiciones. (Unidad de planeación Minero-Energética., 2015)

La Resolución UPME 0281 de 2015, define el límite máximo de potencia de la autogeneración a pequeña escala. (Unidad de planeación Minero-Energética, 2015)

## Tabla 8

### *Resumen de la normatividad Legal*

<b>Norma de Ley</b>	<b>Descripción</b>
Ley 697 del 6 de octubre 2001	Con la cual se crea el Programa de Uso Racional y eficiente de la energía y demás formas de Energía no Convencionales PROURE, El gobierno nacional apoyará programas de investigación de Uso Racional y Eficiente de la energía a través de Colciencias por lo establecido en la Ley 29 de 1990 y el Decreto 393 de 1991.
Ley 1715 del 13 de mayo 2014	Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional.
Decreto 2143 del 4 de noviembre 2015	Por el cual se adiciona el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía, 1073 de 2015, en lo relacionado con la definición de los lineamientos para la aplicación de los incentivos establecidos en el Capítulo III de la Ley 1715 de 2014.
Decreto 1073 de 16 de mayo de 2015	Se compilaron los desarrollos reglamentarios de la Ley 1715 de 2014 que estableció el marco legal y los instrumentos para la promoción, desarrollo y utilización de las Fuentes No Convencionales de Energía (FNCE), en especial las de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, y fomentar la inversión, investigación y desarrollo de tecnologías limpias para la producción de energía y la eficiencia energética, estableciendo diversos incentivos para ello.
Resolución Min Ambiente 1283 de 3 agosto de 2016	Se dictan consideraciones dictadas en el marco de la Ley 1715 de 2014 para la promoción, desarrollo y utilización de las fuentes no convencionales de energía (FNCE), adopta las consideraciones de la Ley 697 de 2001 para el uso racional y eficiente de la energía y tiene especial énfasis en el procedimiento y para la expedición del certificado de Beneficio Ambiental, deducción especial de renta y complementarios para los contribuyentes declarantes del impuesto

sobre la renta, beneficios de exclusión del IVA por la compra de equipos, elementos que se destinen para la producción y utilización de energías a partir de fuentes no convencionales de energía

Resolución UPME 703 de 14 de diciembre de 2018	Se establece el procedimiento y los requisitos para obtener la certificación que avala los proyectos de Fuentes No Convencionales de Energía (FNCE), con miras a obtener el beneficio de la exclusión del IVA tratados en la Ley 1715 de 2014.
Resolución UPME 0281 de 2015	La Unidad de Planeación Minero-Energética tras realizar análisis técnicos y económicos ratifica lo establecido en la Ley 1715 de 2014 en la cual se define el límite máximo de potencia de la autogeneración a pequeña escala.

---

*Nota.* Muestra el resumen de la normatividad legal.

### **2.5.2 Normatividad técnica**

Desde el punto de vista técnico, para la construcción de proyectos pertenecientes al sector energético, se debe tener en cuenta el planteamiento del Ministerio de Minas y Energía, y los lineamientos establecidos por la Norma Técnica Colombiana que establece los parámetros a tener en cuenta para la correcta instalación de los sistemas fotovoltaicos.

La norma NTC 2775 (ICONTEC, 2005), Energía Solar Fotovoltaica. Terminología y definiciones del 24 de agosto 2005. Esta norma contiene definiciones referentes a sistemas fotovoltaicos, acordes con la simbología establecida en la norma NTC 1736.

La norma NTC 2883, Módulos fotovoltaicos de silicio cristalino para aplicación terrestre. Calificación del diseño y aprobación de tipo (26/07/2006). La presente norma hace referencia a los requisitos establecidos para la calificación del diseño y la aprobación del tipo de módulos

fotovoltaicos para aplicación terrestre y para la operación en largos periodos de tiempo en climas moderados (al aire libre), según lo define la norma IEC 60721-2-1.

La norma NTC 2959, Guía para caracterizar las baterías de almacenamiento para sistemas fotovoltaicos (18/09/1991). Esta norma tiene como objeto mostrar una metodología para la presentación de la información técnica relacionada con la selección de baterías para el almacenamiento de energía en sistemas fotovoltaicos.

La norma NTC 5287, Celdas y baterías secundarias para sistemas de energía solar fotovoltaica. Requisitos generales y métodos de ensayo (15/07/2009): Esta norma suministra la información necesaria referente a los requisitos de las baterías que se utilizan en los sistemas solares fotovoltaicos y de los métodos de ensayo típicos utilizados para verificar la eficiencia de las baterías.

La norma NTC 5433, Informaciones de las hojas de datos y de las placas de características para los módulos fotovoltaicos (30/08/2006): La norma contiene información acerca de la configuración de sistemas con módulos fotovoltaicos para garantizar que estén constituidos de una manera óptima y segura.

La norma NTC 5464, Módulos fotovoltaicos de lámina delgada para uso terrestre. Calificación del diseño y homologación (22/12/2006): Esta norma indica los requisitos, según la norma IEC 721-2-1, para la clasificación del diseño de los sistemas de módulos fotovoltaicos de lámina de delga, que son diseñados principalmente para operar en largos periodos de tiempo y en climas moderados (al aire libre). La tecnología en la cual se basa es la de silicio amorío, pero también puede ser aplicable a otros módulos fotovoltaicos de lámina delgada.

La norma NTC 5549, Sistemas fotovoltaicos terrestres. Generadores de potencia. generalidades y guía (16/11/2007): Esta norma brinda una visión general de los sistemas

fotovoltaicos terrestres generadores de potencia y de los 13 elementos funcionales que los constituye. Alerta Tecnológica Normatividad sobre energía solar térmica y fotovoltaica.

La norma NTC 5627, Componentes de acumulación, conversión y gestión de energía de sistemas fotovoltaicos. Calificación del diseño y ensayos ambientales (29/10/2008): Esta norma se centra en componentes solares específicos tales como baterías, inversores, controladores de carga, conjuntos de diodos, limitadores de tensión, pero puede aplicarse a otros componentes complementarios del sistema.

## Tabla 9

### *Resumen de la normatividad técnica*

<b>Norma técnica</b>	<b>Descripción</b>
Norma Técnica Colombiana 2775	Energía solar fotovoltaica terminología y definiciones con primera actualización ratificada por el consejo directivo de 2005-08-24 y sujeta a ser actualizada con el objeto de que corresponda en todo momento a las necesidades y exigencias actuales.
Norma Técnica Colombiana 2883	Módulos fotovoltaicos de silicio cristalino para aplicación terrestre. Calificación del diseño y aprobación de tipo 2006-07-26. Esta norma es una adopción idéntica por traducción de la norma IEC61215:2005.
Norma Técnica Colombiana 2959	Guía para caracterizar las baterías de almacenamiento para sistemas fotovoltaicos 1991-09-18. Esta norma es una adopción idéntica por traducción de la norma CAN/CSA F382-M89.
Norma Técnica Colombiana 5287	Baterías para sistemas solares fotovoltaicos. Requisitos generales y métodos de ensayo 2009-07-15. Esta norma es una adopción idéntica por traducción de la norma IEC61427:2005.
Norma Técnica Colombiana 5433	Informaciones de las hojas de datos y de las placas de características para los módulos fotovoltaicos 2006-08-30. Esta norma es una

	adopción idéntica por reimpresión de la norma UNE-EN 50380.2003.
Norma Técnica Colombiana 5464	Módulos fotovoltaicos de lámina delgada para aplicación terrestre. Calificación del diseño y aprobación de tipo 2006-12-22. Esta norma es una adopción idéntica por traducción de la norma IEC61646:2009
Norma Técnica Colombiana 5549	Sistemas fotovoltaicos terrestres. Generadores de potencia. generalidades y guía 2007-11-16. Esta norma es una adopción idéntica por reimpresión de la norma UNE-EN 61277:2000.
Norma Técnica Colombiana 5627	Componentes de acumulación, conversión y gestión de energía de sistemas fotovoltaicos. Calificación del diseño y ensayos ambientales 2008-10-29. Esta norma es una adopción idéntica por traducción de la norma IEC62093:2005.

---

Nota. Muestra el resumen de la normatividad técnica.

## 2.6 Impactos esperados

Con el estudio de prefactibilidad en la implementación de un sistema fotovoltaico que busca el mejoramiento en un 90% de las falencias energéticas para los habitantes de una vivienda con problemas de suministro eléctrico, recordando la línea base inicial, el precario suministro eléctrico tradicional conlleva a una baja calidad de vida en los habitantes de la vivienda, en promedio son 4 horas sin suministro eléctrico que podrían ser usadas como horas para labores nocturnas, horas de estudio en el hogar, horas de para esparcimiento familiar. Y además se ha verificado que, por estas oscilaciones e intermitencias en la red los electrodomésticos tienen un mal funcionamiento además de generar sobrecostos económicos en reparaciones e inversión de estabilizadores que constantemente se dañan.

Desde el punto de vista cuantitativo se desea impactar positivamente con un ahorro mensual en la facturación eléctrica del 70%, actualmente el predio dentro de su tarificación cuenta con un concepto de consumo de energía de \$538.8 por cada kiloWatt/hora (kWh), ésta tarifa es establecida por la Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG.

Se desea que cada kWh consumido actualmente sea cubierto por la generación eléctrica derivada del sistema solar fotovoltaico, para el caso puntual se quiere haya un cubrimiento de 85kW/h dada la estimación promedio de consumo eléctrico del hogar. Esta potencia equivale a unos \$45.000 en la facturación mensual. Con la autogeneración también se busca amortizar la inversión hecha por la adquisición de equipos de captación eléctrica fotovoltaica tecnológicamente más modernos, ambientalmente amigables con el planeta y a futuro se desea que los beneficiarios de esta implementación sean autónomos en la generación eléctrica para su propio predio.

Ambientalmente el proyecto busca impactar positivamente en la reducción de la huella de carbono causada por técnicas tradicionales como el consumo de recursos no renovables como la leña, técnicas más recientes de generación eléctrica como lo son las termoeléctricas y otras que impactan al ecosistema como lo son los megaproyectos por represamiento de agua o hidroeléctricas.

Socialmente se desea cambiar la mentalidad de obtención energética tradicionalmente adquirida, enseñando en el sector alternativas confiables y competitivas que son efectivas y van a la vanguardia de los avances tecnológicos. Finalmente, y desde el punto cualitativo se busca aminorar las pérdidas en la calidad de vida y las limitaciones causadas en la baja productividad por la interrupción de actividades familiares diarias que afectan a todo el conjunto familiar habitante del hogar en cuestión.

### **3. PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN**

En el proceso de implementación se presenta de manera detallada el proceso de ejecución de la idea planeada y busca prever situaciones, factores o procesos que deben ser tomados en cuenta durante la ejecución. A continuación

#### **3.2 Flujograma de proceso**

El proyecto cumple tres fases en su desarrollo, en la fase de inversión se tiene en cuenta los análisis del sistema fotovoltaico, se analizan las necesidades y requerimientos, se explora el mercado y los posibles distribuidores de insumos, se verifican las necesidades técnicas, se miran las conveniencias de los elementos cotizados y se adquieren todos los elementos necesarios, además, se alquilan las herramientas requeridas para el proceso constructivo.

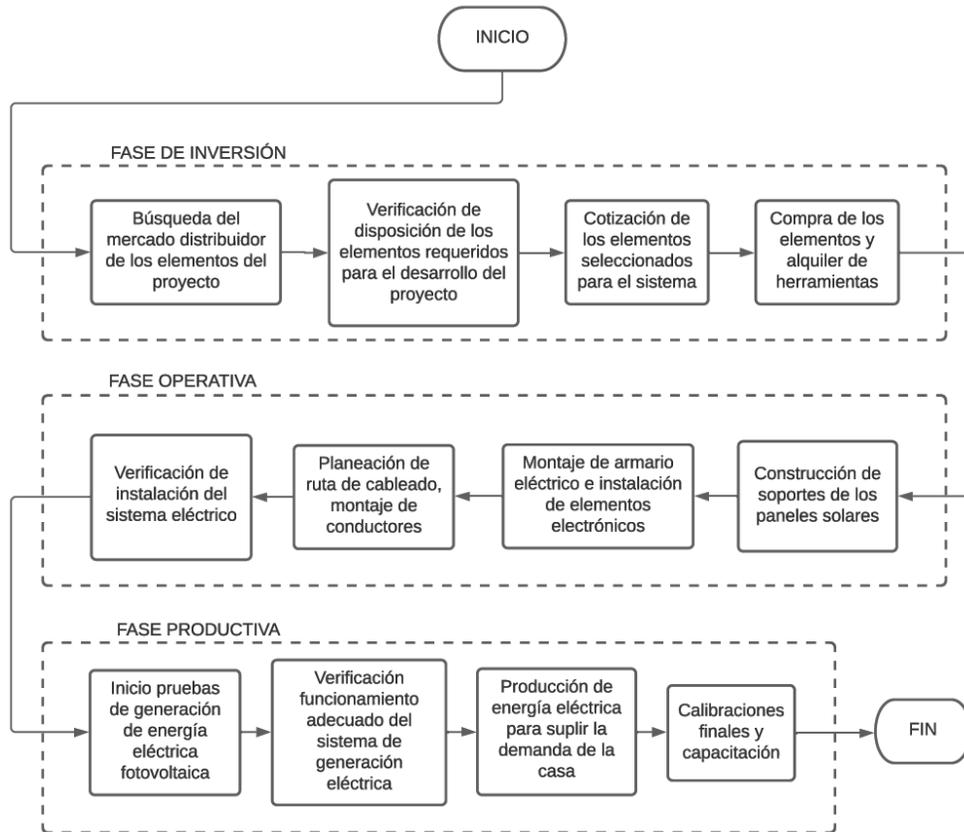
En la fase operativa, se tendrá en cuenta los estudios previos y partiendo de este planteamiento se iniciará la ejecución de montaje, se tiene en cuenta la ubicación de los elementos, el posicionamiento de los paneles y se hará el desarrollo de conexión requerida para la puesta en marcha.

En la fase productiva se determina la capacidad de captación comparando los resultados de teóricos con los prácticos, se realizan las calibraciones necesarias, verificación de magnitudes que se encuentren dentro de los estándares nominales y finalmente se accionan los cortacircuitos para dar viabilidad de consumo a las cargas.

En el grafico a continuación se describe en detalle los pasos de cada una de las fases del proyecto de acuerdo con la sucesión de acciones.

**Figura 10**

*Flujograma de procesos*



*Nota.* Flujograma de procesos para la implementación del sistema fotovoltaico dividido en fases.

### 3.2 Descripción de obras de infraestructura y adecuación

Para la implementación del sistema se requiere seleccionar un lugar de 16m<sup>2</sup> que en sus alrededores sea despejado, debido a que los paneles tienen unas dimensiones individuales de

1.75m x 1.03m. Se debe evitar sombras provenientes de obstáculos altos que puedan llegar a crear reducción en la captación solar de los paneles, el lugar debe contar con poco tránsito de personas o se recomienda elevar los soportes de altura con el objeto de mitigar posibles accidentes en sus celdas, los soportes deben ser firmes con anclaje al suelo, lo suficientemente resistentes para soportar un peso individual de 21Kg por panel.

Los soportes deben tener protección contra la corrosión, los ángulos donde van los paneles deberán ser en perfil de al menos 1" o 2,54cm ya que el espesor de cada panel es de 30mm, esto garantizará la correcta firmeza sin riesgo a que el panel pueda salirse de su marco.

Las tuberías de transmisión eléctrica por donde van a ir los elementos conductores deben cumplir características aislantes del tipo PVC Conduit y la tubería no debe estar expuesta al ambiente, en caso de tener partes de la tubería visible se recomienda alternar el tramo expuesto al tipo metálico para conductores eléctricos de la clase EMT. Las uniones de los tubos deben estar aisladas contra la humedad con el uso de fundentes para policloruro de vinilo. Los conductores deben cumplir requerimientos de aislamiento del tipo THW y el calibre en estándar AWG, diseñados para trabajar a mínimo 600V.

Los cables no deben tener empalmes, deben ser sin interrupciones de principio a fin, en caso de no tener tramos enteros, se debe colocar una caja de inspección en el lugar de los empalmes para que sean visibles. Las terminales deberán estar debidamente sujetas y recubiertas con material aislante, preferiblemente termoencogible.

El armario de elementos sensibles deberá contar con conexión a tierra, allí se ubicarán los elementos electrónicos de control como lo son el regulador de control de carga de las baterías, el inversor DC-AC, cortacircuitos y barrajes de conexiones. Adicionalmente allí vendrán almacenadas las baterías, el armario será instalado en la parte externa del predio previniendo la

inhalación de gases producto del funcionamiento del banco de las baterías. El armario también deberá garantizar el aislamiento contra la humedad externa.

### **3.3 Presentación de planimetría**

El diseño fotovoltaico requiere factores de precisión en su montaje, para ello es necesario tener en cuenta la orientación de los elementos foto sensibles que recibirán la radiación solar. El azimut es un concepto muy utilizado en topografía este se refiere a la orientación cardinal en sentido de las manecillas del reloj Norte-Este-Sur-Oeste, es medido en referencia al norte celeste, aunque también existe el azimut basado en la orientación de las brújulas al cual se le denomina azimut magnético. El eje de la tierra tiene una inclinación de  $23.5^{\circ}$  con respecto al norte celeste. Por concepto de precisión y conveniencia en la captación lumínica, se utilizará la orientación celeste o norte solar y se posicionarán los paneles con una orientación de  $0^{\circ}$  viendo al norte solar

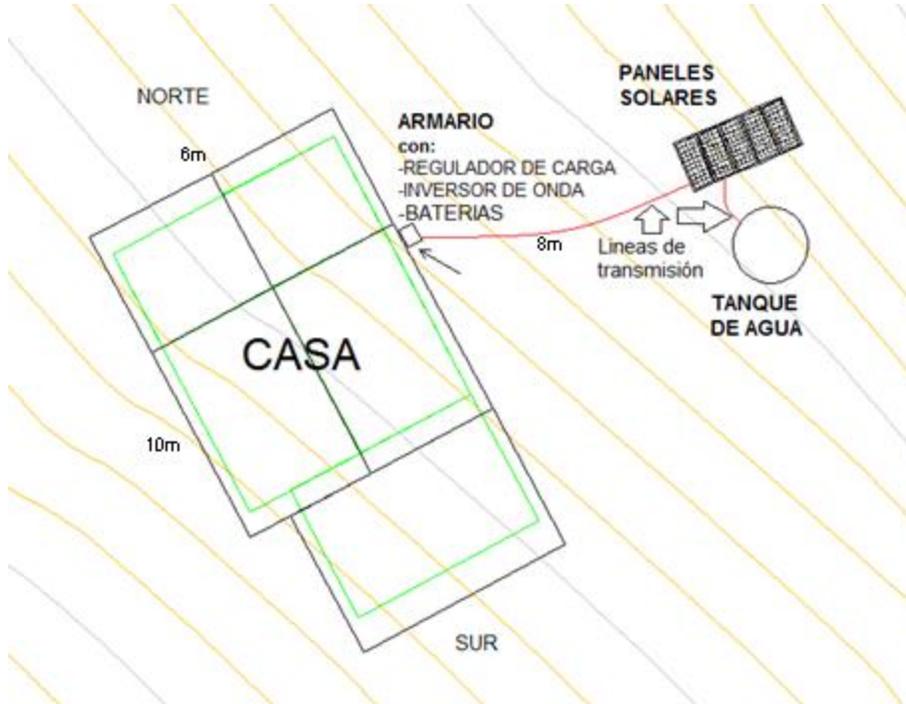
#### **3.3.1 Ubicación espacial**

De acuerdo con la orientación obtenida por mediciones, se determinó el norte celeste y la posible ubicación de los elementos fotosensibles En la imagen a continuación se detalla el esquema de montaje, se visibiliza la orientación cardinal y la relación de la ubicación del predio con respecto a los paneles solares para la casa con dimensiones de 6 metros de ancho para el lado orientado al norte y sur, y de 10 metros de largo para las caras oriente y occidente.

Los paneles se ubicarán en el costado oriental de la casa ya que es el lugar de tierra más alto y será beneficioso tener un sitio elevado para la captación solar por la ausencia de sombra circundante que ofrece.

### Figura 11

*Distribución del predio y ubicación de elementos fotovoltaicos*



*Nota.* Muestra por medio de una imagen tipo arquitectónico de vista superior la ubicación designada para la implementación del sistema.

La distancia de instalación de los paneles fotovoltaicos es de 8 metros al obstáculo más cercano, esto garantizará que no habrá obstrucciones por sombra que pueda obstaculizar la captación solar, Además, en la imagen también se detalla la ubicación del armario que contendrá los elementos electrónicos principales. Las líneas de transmisión eléctrica que transportarán la energía de los paneles hacia el armario de elementos ubicado en el costado oriental de la casa tendrán un largo de 8 metros.

### 3.3.2 Ubicación de elementos de captación

La efectividad de la captación solar se encuentra ligada a factores como el direccionamiento del panel solar, una correcta alineación al azimut  $0^{\circ}$  norte asegurará la captación de gran porcentaje de los fotones que inciden sobre la superficie del panel. Pero, se puede mejorar aún más la captación solar si se tiene en cuenta la inclinación vertical del panel.

En nuestro caso, la zona de trabajo en donde se situará el montaje tiene coordenadas geográficas  $4^{\circ}44'21.88''$  N,  $-73^{\circ}53'58.94''$ . La latitud indicará el número de grados a los que se debe posicionar el panel solar respecto a la horizontal, esto debido a que la posición del sol y por ende la incidencia de luz solar es diferente dependiendo el lugar en la Tierra. Entre más cercano se encuentre un panel solar de la línea del Ecuador, más perpendicular será la incidencia de los rayos solares sobre la superficie de este. En caso contrario si el panel solar se encuentra muy alejado de la zona ecuatorial se deberá inclinar más el panel, en el caso de Australia, donde los paneles solares deben ser posicionados a una inclinación de  $25^{\circ}$  dirección norte.

**Tabla 10**

*Inclinación de los paneles solares de acuerdo con su ubicación*

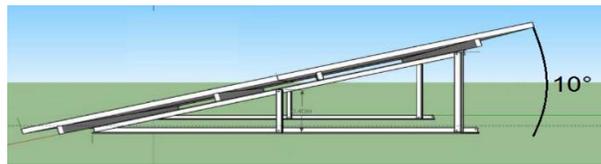
Ubicación	Latitud	Inclinación panel
Armenia	$4^{\circ}35'N$	$10^{\circ}$
Barrancabermeja	$7^{\circ}00'N$	$10^{\circ}$
La Guajira	$12^{\circ}36'N$	$12^{\circ}$
Puerto Leguizamo	$0^{\circ}12'N$	$10^{\circ}$
La Calera	$4^{\circ}44'N$	$10^{\circ}$

*Nota.* Muestra algunos ejemplos de inclinación de los paneles solares de acuerdo con la zona de implementación. Fuente: (Departamento Nacional de Planeación , 2016)

Por la cercanía de Colombia a la línea ecuatorial la latitud en la mayoría de los casos se aproxima a  $0^\circ$  y en el caso particular de este proyecto la posición de la latitud es de  $4^\circ 44' 21.88''$  N, equivalente a  $4.73^\circ$  en grados decimales. Las recomendaciones dictan que con una latitud mayor a  $10^\circ$  se debe adaptar la inclinación del panel equivalente a dicha latitud, pero en el caso que exista una latitud menor a  $10^\circ$  se debe instalar los paneles a mínimo  $10^\circ$  y debe ser orientado al sur.

### Figura 12

*Posicionamiento de paneles solares*



*Nota.* Modo descriptivo del posicionamiento del panel para mejor captación de acuerdo con la latitud del predio. Fuente: (Departamento Nacional de Planeación , 2016)

### 3.4 Cronograma de implementación

Se contemplan 3 fases para la realización del proyecto, fase de inversión, fase operativa y fase productiva. En la fase de inversión se buscan los elementos necesarios para la construcción del sistema solar fotovoltaico, se hacen cotizaciones seleccionando los que tengan una mejor relación beneficio costo para el proyecto y se adquieren los más adecuados. En la fase operativa se realizan obras de construcción, se busca el personal idóneo, se hacen los montajes propuestos tanto estructurales como de conexión de equipos. En la fase productiva se inician pruebas de

revisión y monitorización, se buscan desviaciones en el funcionamiento, se realizan ajustes, se realiza la capacitación y se hace entrega del proyecto en funcionamiento. Cada una de las fases se divide en actividades de la siguiente manera.

#### Fase de inversión

Actividad 1: Búsqueda del mercado distribuidor de los elementos del proyecto

Actividad 2: Verificación de disposición de los elementos requeridos para el proyecto

Actividad 3: Cotización de elementos seleccionados para el desarrollo

Actividad 4: Compra de los elemento y alquiler de herramientas

#### Fase operativa.

Actividad 5: Construcción de los soportes de los paneles solares

Actividad 6: Montaje de armario eléctrico e instalación de elementos electrónicos

Actividad 7: Planeación de ruta de cableado, montaje de conductores

Actividad 8: Verificación de instalación del sistema eléctrico

#### Fase productiva.

Actividad 8: Inicio pruebas de captación de energía fotovoltaica

Actividad 9: Verificación funcionamiento adecuado del sistema de generación eléctrica

Actividad 10: Producción de energía eléctrica para suplir la demanda

Actividad 11: Calibraciones finales y Capacitación

Actividad 12: Entrega final

En la tabla a continuación se muestra gráficamente la distribución del tiempo, así como la duración de cada una de las actividades indicando inicio y fin determinando así un orden lógico de las tareas previstas.

**Tabla 11**

*Cronograma de actividades*

	Actividad	Duración del plan de análisis y entrega del proyecto										
		Día 1 a 2	Día 3 a 4	Día 5 a 7	Día 9 a 12	Día 13 a 14	Día 15 a 16	Día 17	Día 18	Día 19	Día 20	Día 21
<b>FASE DE INVERSIÓN</b>	Actividad 1											
	Actividad 2											
	Actividad 3											
	Actividad 4											
<b>FASE OPERATIVA</b>	Actividad 5											
	Actividad 6											
	Actividad 7											
	Actividad 8											
<b>FASE PRODUCTIVA</b>	Actividad 9											
	Actividad 10											
	Actividad 11											
	Actividad 12											

*Nota.* Actividades previstas de acuerdo con las fases de desarrollo.

#### 4. PRESUPUESTO DE INVERSIÓN

El presupuesto de inversión acoge los elementos que son requeridos para el funcionamiento del sistema fotovoltaico y quedarán inmersos en el montaje, además contiene los costos de instalación, infraestructura y adecuación.

#### 4.1 Presupuesto de infraestructura y adecuaciones

Para la instalación del sistema fotovoltaico se contempla la utilización de un espacio a cielo abierto con el fin de lograr la mayor captación de la luz solar, el terreno debe ser acondicionado para realizar actividades en donde se instalarán los componentes

El análisis de requerimientos del proyecto orientado a saber las necesidades de instalación en infraestructura y en adecuaciones tuvo en cuenta el factor técnico, de seguridad en las instalaciones y garantía del producto final. En la tabla a continuación se consideraron los elementos necesarios para las adecuaciones.

**Tabla 12**

*Elementos constructivos*

<b>Elemento</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Vr. Unitario</b>	<b>Vr. Total</b>
Cemento	2	\$ 20.900	\$ 41.800
Tornillería	1	\$ 6.000	\$ 6.000
Varilla corrugada de 3/8"	1	\$ 10.900	\$ 10.900
Tubo EMT 3/4"	4	\$ 17.800	\$ 71.200
Curva EMT 3/4"	5	\$ 1.500	\$ 7.500
Unión EMT 3/4"	5	\$ 1.200	\$ 6.000
Terminal EMT 3/4"	2	\$ 1.200	\$ 2.400
Caja rectangular	2	\$ 1.400	\$ 2.800
Caja 5800	1	\$ 2.200	\$ 2.200
Curvas Conduit 3/4 corta	6	\$ 400	\$ 2.400
Terminal Conduit ¾	4	\$ 300	\$ 1.200
Alambre desnudo #12	25	\$ 1.100	\$ 27.500
Cable y7 hilos #12	50	\$ 1.600	\$ 80.000
Tubo Conduit 3/4"	5	\$ 3.200	\$ 16.000
Unión Conduit 3/4"	4	\$ 200	\$ 800

Tubo soporte estructura 50 x 50	1	\$ 75.000	\$ 75.000
Tubo marco estructura 30 x 30	3	\$ 24.000	\$ 72.000
Angulo 1" x 1/8 crudo	3	\$ 46.300	\$ 138.900
Soldadura 6013 3/32	1	\$ 16.100	\$ 16.100
Breakers cortacircuitos	2	\$ 10.900	\$ 21.800
Armario de elementos	1	\$ 150.000	\$ 150.000
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 752.500</b>

*Nota.* Elementos considerados para ser instalados en la adecuación del sistema solar fotovoltaico.

#### 4.2 Presupuesto de tecnología

El presupuesto de tecnología hace referencia a los elementos del tipo electrónico que integrarán el sistema de captación fotovoltaica, Los elementos de tecnología contemplados en la Tabla 13, tienen características activas y pasivas, son fundamentales para la captación, procesamiento y transformación de la energía captada a fluido eléctrico.

**Tabla 13**

*Elementos de tecnología*

<b>Elemento</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Vr. Unitario</b>	<b>Vr. Total</b>
Panel solar monocristalino 370W	4	\$ 505.700	\$ 2.022.800
Controlador de carga 60A	1	\$ 306.700	\$ 306.700
Inversor de 3000W	1	\$ 1.580.000	\$ 1.580.000
Accesorios	1	\$ 60.000	\$ 60.000
Baterías	2	\$ 1.030.000	\$ 2.060.000
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 6.029.500</b>

*Nota.* Elementos primordiales para la captación fotovoltaica, estos son equipos encargados de la captación, procesamiento y almacenamiento de la luz solar.

#### 4.3 Presupuesto de mano de obra asociada a la construcción de infraestructura y adecuación

Para las actividades de adecuación tanto físicas como eléctricas se requiere de destrezas en actividades técnicas que involucran mano de obra específica, se realizó en la Tabla 6 la cuantificación de horas dispuestas para cada actividad.

**Tabla 14**

*Actividades asociadas a la mano de obra*

<b>Actividad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Vr. Unitario</b>	<b>Total</b>
Diseño CAD	3,0	Hr	\$ 7.000	\$ 21.000
Ensamble metal	8,0	Hr	\$ 8.000	\$ 64.000
Soldadura	8,0	Hr	\$ 8.000	\$ 64.000
Pintura metal	3,0	Hr	\$ 7.000	\$ 21.000
Montaje en sitio	32,0	Hr	\$ 9.000	\$ 288.000
Logística de compras	3,0	Hr	\$ 8.000	\$ 24.000
Estudio prefactibilidad			\$ 48.000	\$ 48.000
	57	Hr	<b>TOTAL</b>	\$ 530.000

*Nota.* Actividades concernientes al montaje del sistema solar fotovoltaico.

#### 4.4 Resumen de las inversiones

Se cuantifican las actividades asociadas a infraestructura y adecuación, por lo tanto, estos rubros abarcan el valor total de los activos fijos para la puesta en marcha del proyecto, los cuales

son: Infraestructura y adecuaciones, elementos de tecnología y mano de obra orientada a la construcción de infraestructura y adecuación. En la Tabla 15 se muestra el total de las inversiones fijas.

**Tabla 15**

*Resumen de actividades asociadas al presupuesto de inversión*

<b>Inversiones</b>	
Infraestructura y adecuaciones	\$ 752.500
Tecnología	\$ 6.029.500
Mano de obra	\$ 530.000
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 7.312.000</b>

*Nota.* Comprende los valores totales asociados al presupuesto de inversión.

## **5. PRESUPUESTO DE GASTOS**

El presupuesto de gastos incluye aquellas inversiones necesarias para cumplir el objetivo inicial, no son tangibles, pero se involucran dentro del proceso constructivo.

### **5.1 Presupuesto de herramientas**

El presupuesto de herramientas hace referencia a los elementos necesarios para realizar el proceso constructivo y cada elemento cumple una función primordial en el montaje del sistema

fotovoltaico. Se cuantificó su valor para ser adquiridas, pero al considerar la cuantía de la inversión se optó por la alternativa de alquiler puesto que su uso será exclusivamente en un periodo corto de tiempo, luego de la etapa operativa no se requerirá más el uso. En la Tabla 16 se exponen los elementos que entran en esta clasificación.

**Tabla 16**

*Equipos de medición y herramientas*

<b>Herramientas</b>	<b>Cant</b>	<b>Vr. comercial</b>	<b>Vr. Alquiler diario</b>
Multímetro	1	\$ 70.000	\$ 3.500
Pinza amperimétrica	1	\$ 130.000	\$ 6.500
Destornilladores varios	1	\$ 12.000	\$ 600
Pinzas	1	\$ 10.000	\$ 500
Alicate	1	\$ 14.000	\$ 700
Sonda	1	\$ 55.000	\$ 2.750
Cortafríos	1	\$ 12.000	\$ 600
Taladro	1	\$ 100.000	\$ 5.000
Sonda eléctrica	1	\$ 65.000	\$ 3.250
Broca 1/4"	1	\$ 3.200	\$ 160
Broca 3/16"	1	\$ 2.900	\$ 145
Pala	1	\$ 25.000	\$ 1.250
<b>TOTAL</b>			\$ 24.955

*Nota.* Comprende los valores asociados a equipos de medición y herramientas.

El tiempo estimado de utilización es de 8 días, el costo de alquiler de herramientas por día es de 5% del precio comercial de la herramienta, por ello para los 8 días hábiles que se proyecta el montaje del sistema fotovoltaico el alquiler asciende a \$199.640, demostrando un ahorro del 60%.

El alquiler es la manera más sencilla de reducir costos sin perder dinero en la inversión y está justificado en el hecho que las herramientas solo se usarán durante el proceso constructivo, además con el alquiler se evita incurrir en depreciaciones y a futuro por desuso tener que adjudicarles valores de salvamento.

**Tabla 17**

*Costos alquiler de herramientas*

<b>Alquiler</b>	<b>Días de uso</b>	<b>Vr. diario</b>	<b>Total</b>
Herramientas	8	\$ 24.955	\$ 199.640

*Nota.* Muestra los costos por alquiler de herramientas y el tiempo uso.

**5.2 Presupuesto de gastos financieros**

Con el presupuesto de gastos financieros se cuantifica el valor del proyecto y se determina el costo total de su ejecución. Se estimó el monto para el cumplimiento de todas las actividades, concluyendo que dicho rubro asciende a \$ 8.941.208,72. El inversor del proyecto no cuenta con la totalidad del capital necesario para cubrir los costos generales del proyecto, por ello recurre a una fuente externa de financiamiento para cubrir el monto faltante.

La financiación del 20% del capital del proyecto es equivalente a \$ 1.788.241,74. Se establece préstamo a 12 cuotas con una tasa de interés efectivo anual de 12,68%EA, para cada cuota del crédito el interés mes vencido tiene un valor porcentual de 1,0%EMV. Los totales del crédito son cuantificados en la tabla a continuación.

**Tabla 18**

*Resumen de gastos financieros*

<b>Cuotas</b>	<b>Deuda</b>	<b>Interés</b>	<b>Cuota mensual</b>	<b>Tasa</b>
12	\$ 1.906.597,35	\$ 118.355,61	\$ 155.833	12,68%EA

*Nota.* Muestra los componentes más relevantes en la financiación.

### 5.3 Presupuesto de gastos asociados al acompañamiento en la ejecución

Los gastos indirectos son aquellos que no se atribuyen directamente al producto, pero son requeridos para el proceso de producción del bien o servicio (Méndez, 2020, pág. 309). Durante la exploración de viabilidad y ejecución constructiva del proyecto se tuvieron gastos que no se reflejan en el producto final.

**Tabla 19**

*Gastos indirectos*

<b>Costos variables indirectos</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Vr. Unitario</b>	<b>Vr. Total</b>
Transporte combustible	5	Galón	\$ 9.050	\$ 45.250
Peajes	4	Un	\$ 10.200	\$ 40.800
			<b>TOTAL</b>	\$ 86.050

*Nota.* Cuantificación de valores asociados a la inversión que ayudan a la realización del proyecto no son visibles en el producto final, pero son indispensables en el proceso constructivo.

#### 5.4 Presupuesto de gastos periódicos de mantenimiento

El sistema fotovoltaico es autosuficiente desde la puesta en servicio y durante toda la vida útil de sus elementos con estimación dada por el fabricante de 20 años. Aunque por seguridad eléctrica se debe inspeccionar su funcionamiento una vez al año. Para ello se contempló la visita técnica en donde se examinará la eficiencia de captación de los paneles, sujeción y conductividad de terminales, aislamiento de los conductores, efectividad de almacenamiento energético y limpieza de equipos.

Esta visita se valoró en \$50.000 para el primer año y una estimación de aumento anual equivalente al 3% sobre su costo. De este modo se proyectan los mantenimientos a lo largo de la vida útil del equipo.

**Tabla 20**

*Mantenimientos periódicos*

<b>Servicio de terceros</b>	<b>Costo anual</b>
Mantenimiento Año 1	\$ 50.000
Mantenimiento Año 2	\$ 51.500
Mantenimiento Año 3	\$ 53.045
Mantenimiento Año 4	\$ 54.636
Mantenimiento Año 5	\$ 56.275
Mantenimiento Año 6	\$ 57.964
Mantenimiento Año 7	\$ 59.703
Mantenimiento Año 8	\$ 61.494
Mantenimiento Año 9	\$ 63.339
Mantenimiento Año 10	\$ 65.239
Mantenimiento Año 11	\$ 67.196
Mantenimiento Año 12	\$ 69.212

Mantenimiento Año 13	\$	71.288
Mantenimiento Año 14	\$	73.427
Mantenimiento Año 15	\$	75.629
Mantenimiento Año 16	\$	77.898
Mantenimiento Año 17	\$	80.235
Mantenimiento Año 18	\$	82.642
Mantenimiento Año 19	\$	85.122
Mantenimiento Año 20	\$	87.675
	\$	1.343.519

---

Nota. Resumen de costos de mantenimientos periódicos de los componentes del sistema solar fotovoltaico.

## **6. PRESUPUESTO DE FINANCIACIÓN**

Para la puesta en marcha el proyecto y de acuerdo con la estimación de costos se desarrollará una estructura de capital proveniente de dos fuentes de financiación. Recursos propios por aporte de los interesados y por apoyo de una fuente de financiación externa. Los porcentajes de dichos aportes son 80% proveniente de recursos propios y el 20% es aportado por préstamo bancario.

## 6.1 Recursos propios

Los recursos propios son aquellos aportes económicos provenientes de fuentes directas ya puede ser de los dueños, los socios, los inversionistas, sociedades o interesados en el proyecto. En el caso particular del proyecto fotovoltaico a implementar, el aporte realizado por el interesado es equivalente al 80% de la estructura de capital, equivalente a \$7.152.966,98.

## 6.2 Recursos con terceros

Al no contar con recursos que cubran la totalidad de las necesidades requeridas para formar el 100% de la estructura de capital requerido, los interesados hacen conveniente el uso de recursos externos provenientes de una entidad financiera para cubrir el 30% restante equivalente a \$1.788.241,74. Los detalles de la estructura de capital vienen distribuidos de la siguiente manera.

**Tabla 21**

*Distribución de estructura de capital*

Inversión inicial	\$	8.941.208,72
Recursos propios	\$	7.152.966,98
Capital financiado	\$	1.788.241,74
Porcentaje capital financiado		20%
Tasa de interés anual		12,68%
Numero de Cuotas		12
Tasa (EMV)		1%

*Nota.* Detalles de la estructura de capital.

### 6.2.1 Proyección de financiación

Mediante el uso de la proyección de balances se puede visualizar lo que sucede con los recursos financieros durante 1 año de solicitud del crédito. Se tomó una tasa de interés anual de 12,68%. De acuerdo con los montos financiados se determinan los intereses y la cuota a cancelar.

Se hace el cálculo mediante el uso del sistema francés, su principal característica es que el valor de la cuota mensual es fijo, es decir el valor de la cuota no varía periodo a periodo (Barrera, 2019, pág. 153).

**Tabla 22**

*Tabla de amortización*

<b>Cuotas</b>	<b>Saldo a capital</b>	<b>Interés</b>	<b>Cuota</b>	<b>Amortización</b>	<b>Tasa</b>
0	\$ <b>1.788.242</b>	-	-	-	0
1	\$ 1.647.241	\$ 17.882	\$ 158.883	\$ 141.001	1,0%
2	\$ 1.504.830	\$ 16.472	\$ 158.883	\$ 142.411	1,0%
3	\$ 1.360.996	\$ 15.048	\$ 158.883	\$ 143.835	1,0%
4	\$ 1.215.722	\$ 13.610	\$ 158.883	\$ 145.273	1,0%
5	\$ 1.068.996	\$ 12.157	\$ 158.883	\$ 146.726	1,0%
6	\$ 920.803	\$ 10.690	\$ 158.883	\$ 148.193	1,0%
7	\$ 771.128	\$ 9.208	\$ 158.883	\$ 149.675	1,0%
8	\$ 619.956	\$ 7.711	\$ 158.883	\$ 151.172	1,0%
9	\$ 467.273	\$ 6.200	\$ 158.883	\$ 152.684	1,0%
10	\$ 313.063	\$ 4.673	\$ 158.883	\$ 154.210	1,0%
11	\$ 157.310	\$ 3.131	\$ 158.883	\$ 155.752	1,0%
<b>12</b>	\$ <b>0</b>	\$ 1.573	\$ 158.883	\$ 157.310	1,0%

*Nota.* Detalles de recursos financieros mes a mes durante la operación del crédito.

### 6.2.2 Resultados de proyección de costos totales de financiación

El capital financiado se observa en forma de deuda y los intereses mes a mes representan el monto que debe pagar el solicitante del crédito como favorecimiento a la entidad por haber otorgado el préstamo. La cuota representa el monto que debe cancelar el solicitante mes a mes para liquidar la deuda y la tasa es el porcentaje que se paga por el crédito otorgado. Como lo menciona Barrera J. (2019, pág. 150) el verbo amortizar se utiliza para expresar un proceso financiero en el cual se paga o se extingue una deuda por medio de pagos periódicos.

Para un crédito financiado a 12 cuotas, se observa que la liquidación arroja los resultados consignados en la siguiente tabla.

**Tabla 23**

*Valores totales amortización de crédito*

<b>Total pagado</b>	<b>Total amortización</b>	<b>Intereses causados</b>
\$ 1.906.597,35	\$ 1.788.241,74	\$ 118.355,61

*Nota.* Detalles de los costos asociados al crédito.

### 6.2.3 Flujo de caja

Por medio del flujo de caja se puede evaluar la capacidad económica del proyecto, también se le conoce como flujo de efectivo, puede entenderse como la determinación de ingresos y egresos en un proyecto o inversión y la estimación del valor final del periodo (...) (Barrera, 2019, pág. 160). Las proyecciones tempranas dan una estimación de los rendimientos y

permite determinar si es requerido hacer ajustes para tener una mejor rentabilidad de la inversión.

**Tabla 24**

*Proyección de flujo de caja*

<b>Periodo</b>	<b>Ahorro</b>	<b>Egreso</b>	<b>Flujo de efectivo neto</b>	<b>Valor presente</b>
0			-\$ 8.941.208,72	-\$ 8.941.208,72
1	\$ 545.438,02	\$1.956.597	-\$ 1.411.159,34	-\$ 1.377.128,36
2	\$ 567.255,54	\$ 51.500	\$ 515.755,54	\$ 491.179,95
3	\$ 589.945,76	\$ 53.045	\$ 536.900,76	\$ 498.986,87
4	\$ 613.543,59	\$ 54.636	\$ 558.907,24	\$ 506.912,74
5	\$ 638.085,33	\$ 56.275	\$ 581.809,89	\$ 514.959,34
6	\$ 663.608,75	\$ 57.964	\$ 605.645,04	\$ 523.128,49
7	\$ 690.153,10	\$ 59.703	\$ 630.450,48	\$ 531.422,02
8	\$ 717.759,22	\$ 61.494	\$ 656.265,53	\$ 539.841,82
9	\$ 746.469,59	\$ 63.339	\$ 683.131,08	\$ 548.389,78
10	\$ 776.328,37	\$ 65.239	\$ 711.089,71	\$ 557.067,81
11	\$ 807.381,51	\$ 67.196	\$ 740.185,69	\$ 565.877,88
12	\$ 839.676,77	\$ 69.212	\$ 770.465,07	\$ 574.821,97
13	\$ 873.263,84	\$ 71.288	\$ 801.975,79	\$ 583.902,09
14	\$ 908.194,39	\$ 73.427	\$ 834.767,70	\$ 593.120,29
15	\$ 944.522,17	\$ 75.629	\$ 868.892,68	\$ 602.478,63
16	\$ 982.303,05	\$ 77.898	\$ 904.404,68	\$ 611.979,22
17	\$ 1.021.595,17	\$ 80.235	\$ 941.359,85	\$ 621.624,20
18	\$ 1.062.458,98	\$ 82.642	\$ 979.816,60	\$ 631.415,74
19	\$ 1.104.957,34	\$ 85.122	\$ 1.019.835,69	\$ 641.356,03
20	\$ 1.149.155,63	\$ 87.675	\$ 1.061.480,33	\$ 651.447,31

*Nota.* Cuantificación del flujo de caja del proyecto por periodos.

El ahorro del proyecto fue cuantificado por medio de la proyección de dinero que el sistema de captación fotovoltaica reflejó en la reducción de la facturación del sistema eléctrico tradicional. Para determinar el incremento del servicio eléctrico se estableció de base facturación

el monto de \$538.8 cada kWh, así como se evidencia en el Anexo 1. de la facturación de Enel y un incremento tarifario del +4,0% anual, los detalles de la distribución eléctrica se encuentran en el numeral 2.2 Diseño Técnico.

## **7. EVALUACION DEL PROYECTO**

La evaluación del proyecto es de gran utilidad ya que le da herramientas al inversionista para decidir en la conveniencia de invertir o no invertir en la idea de negocio, permite generar escenarios y comparar proyectos de inversión.

### **7.1 Evaluación financiera**

Para realizar la respectiva evaluación financiera al proyecto se requiere conocer previamente el flujo neto de efectivo, con los indicadores financieros se determina la viabilidad, rentabilidad y la conveniencia de invertir en el proyecto, son de gran importancia para medir el avance del proyecto. Hacen parte de los indicadores financieros el Valor Presente Neto VPN, Tasa Interna de Retorno TIR, y la relación beneficio costo RBC.

### 7.1.1 Tasa de descuento

La tasa de descuento es la expresión indicada en porcentaje que toma un inversionista como referencia para determinar el retorno sobre la inversión (Méndez, 2020). También se le conoce como costo o tasa de oportunidad, en este proyecto se estimó una tasa de oportunidad de 2,4711%. Para el establecimiento de la tasa de oportunidad se debe encontrar el costo de capital promedio ponderado CCPP, para ello se debe conocer la participación porcentual del pasivo frente al activo y conocer el interés de financiamiento efectivo anual con el que se va a financiar el proyecto, del producto de estos dos valores porcentuales se obtiene el CCPP. Es decir,

$$CCPP = \frac{Pasivo}{Total\ activos} [\%] * financiamiento\ crédito [\%]$$

El costo de capital promedio ponderado finalmente será el valor que se usará para demostrar si un proyecto es rentable, es decir, si el proyecto dará retornos que compensan las inversiones realizadas (Meneses, 2016)

### 7.1.2 Valor Presente Neto

El valor presente neto es un método para evaluar la inversión de un proyecto a largo plazo, busca conocer el valor de los flujos de efectivo pronosticados a dinero de hoy (Váquino, 2009). El VPN se calcula partiendo de los flujos netos traídos al presente por medio de la tasa de oportunidad (Méndez, 2020).

El Valor Presente Neto VPN para el proyecto es de \$471.575,10. Este valor es superior a cero por lo cual el resultado indica que es factible para la recuperación de la inversión.

### 7.1.3 Tasa Interna de Retorno

La TIR es requerida para la toma de decisiones al momento de invertir en un proyecto, expresa a manera de porcentaje cual es la oportunidad del inversor en la que el proyecto apenas cubrirá los costos de inversión, de operación y rentabilidades (Méndez, 2020). La valoración de acuerdo con resultados se indica en la tabla a continuación.

#### Tabla 25

##### *Indicadores de evaluación financiera TIR*

---

Si la TIR es menor que la tasa de descuento aplicada para el cálculo VPN. El proyecto no es rentable.
Si la TIR es igual a la tasa de descuento aplicada para el cálculo VPN, entonces el proyecto genera la rentabilidad mínima esperada.
Si la TIR es mayor que la tasa de descuento aplicada para el cálculo VPN, entonces el proyecto es rentable.

---

*Nota.* Factores de evaluación de la tasa interna de retorno.

Para el caso en la implementación de un sistema solar fotovoltaico en una vivienda con problemas de suministro eléctrico, se puede apreciar que la tasa interna de retorno TIR arrojó un valor de 2,8780%. Tomando como referencia la tasa de oportunidad anteriormente expuesta la cual es de 2,4711%, y de acuerdo con los indicadores de la tabla TIR se cumple la tercera proposición de la tabla 25, indicando que el proyecto es viable en términos financieros.

#### Tabla 26

##### *Exposición de indicadores financieros*

---

Valor presente de la suma de flujos actualizados	\$9.412.783,82
Valor Presente Neto (VPN) o Valor Actual Neto (VAN)	\$471.575,10

Tasa Interna de Retorno	2,878023%
-------------------------	-----------

---

*Nota.* Resumen de indicadores de evaluación financiera.

## **7.2 Evaluación social**

A partir de la implementación del sistema de captación fotovoltaica desde el punto de vista cuantitativo se impactará directamente la calidad de vida de las personas en un 85% - 90% aproximadamente. Es decir, de las 4 horas de intermitencia se reduciría a 40 minutos siendo este tiempo el estimado como margen de error y/o mantenimientos del sistema fotovoltaico.

El diseño calculado para suplir la necesidad energética de 85kWh al mes, hace que se cumplan los estimados de consumo de energía para la vivienda, al crear esa autosuficiencia energética se suplen los pagos que se tienen que realizar a la empresa de servicios públicos, por ende, la tarifa de costo de \$538.8 por cada kWh consumido se puede destinar para la amortización de la inversión de equipos e infraestructura y costos del sistema solar fotovoltaico.

Con la autosuficiencia energética analizada desde la evaluación social, se impacta las afectaciones de menor cuantía pues se mejora la calidad de vida de los habitantes del predio, además de cuantificar las horas que pueden tener acceso a energía eléctrica sin interrupciones y sin tener que preocuparse de instalar estabilizadores para sus electrodomésticos.

Se tiene acceso a más horas de esparcimiento por la iluminación continua de tipo led, sin tener que limitar sus actividades por falta de electricidad y además de abandonar las lámparas a base de petróleo que eran usadas en la noche, disminuyendo el impacto biológico que implica usar estas lámparas a base de combustible no renovable.

El sistema fotovoltaico a pesar de ser un modelo de obtención eléctrica ampliamente conocido no es de uso habitual en la zona geográfica de implementación, por ello es novedoso y da un valor agregado a la propiedad y esto se traduce en un avalúo al predio trayendo beneficios económicos a largo plazo para sus propietarios.

## 8. CONCLUSIONES

Una vez finalizado el estudio de prefactibilidad para el diseño de implementación de un sistema fotovoltaico en vivienda con problemas de suministro eléctrico. Se concluye lo siguiente:

- Se realizó el estudio técnico de viabilidad en donde basados en su localización se pudo determinar los detalles de captación de radiación solar como lo son los factores intensidad lumínica y tiempo de luminosidad efectiva en la zona de implementación que nos arroja un 23%, valor calculado en **2.2.1 Requerimientos del panel solar**.
- Se realizó el diseño técnico y demás estimaciones desde el apartado 2.2 **Diseño técnico** en donde se identificó los requerimientos de los elementos necesarios realizar la solución, se dimensionó la carga de potencia diaria del sistema en **2,86KW/día** y se identificó la tecnología necesaria suficiente para cubrir la necesidad de captación solar, además de determinó también los insumos necesarios para el proceso constructivo.
- Partiendo de los resultados técnicos obtenidos se proyectó el proceso de implementación y con la planimetría del lugar se definieron las ubicaciones del montaje solar fotovoltaico y también se precisó el cronograma de implementación en la página 64 que nos arrojó un periodo de 21 días.

- Partiendo de los resultados del estudio técnico, se realizó el estudio financiero con la finalidad de determinar el monto de la inversión inicial siendo este \$ 8.941.208,72, definidos en la tabla 21 de la página 76 además de definir el presupuesto de costos y gastos que podrían afectar el flujo de caja, el porcentaje y modo de financiamiento.
- Se realizó la evaluación financiera haciendo uso de los indicadores integrales de rentabilidad, valor presente neto (VPN), tasa interna de retorno (TIR) arrojando valores positivos que indican que el proyecto desde el punto de vista financiero alcanzaría a recuperar el capital invertido durante los 20 periodos de evaluación. Del análisis del flujo de efectivo se puede concluir que no representa una gran ganancia económica, así como se indican en la siguiente tabla.

**Tabla 27**

*Resumen de indicadores*

Análisis financiero		Resultado
Tasa Interna de retorno	(TIR)	2,87802%
Tasa de oportunidad	(TIO)	2,47116%
Valor presente neto	(VPN)	\$471.575,10

*Nota.* Exposición de indicadores de evaluación financiera.

- Analizando el proyecto desde el contexto de satisfacción, se logra concluir que solventará las necesidades habitacionales para las cuales fue planeado el diseño, mejorando la calidad de vida en un 85% - 90% aproximadamente. Así mismo, se eliminarán las interrupciones constantes del fluido eléctrico y se incrementará el aprovechamiento de actividades nocturnas para estudiar, trabajar o como

esparcimiento familiar. Finalmente, impactará positivamente en un mejoramiento de la calidad de vida para los habitantes del predio.

## Referencias

Barrera, J. A. (2019). *Matemática financiera paso a paso*. Bogotá: Alfaomega.

CISE. (2017). *Centro de Investigaciones y Servicios Educativos*. Obtenido de Escuela Superior

Politecnica del Litoral ESPOL:

<http://www.cise.espol.edu.ec/sites/cise.espol.edu.ec/files/pagina->

[basica/Nota%20te%CC%81cnica%20n.%C2%BA%206%20-](http://www.cise.espol.edu.ec/sites/cise.espol.edu.ec/files/pagina-basica/Nota%20te%CC%81cnica%20n.%C2%BA%206%20-)

[%20%20%C2%BFCo%CC%81mo%20se%20construye%20un%20a%CC%81rbol%20de%20pro](http://www.cise.espol.edu.ec/sites/cise.espol.edu.ec/files/pagina-basica/Nota%20te%CC%81cnica%20n.%C2%BA%206%20-%20%20%C2%BFCo%CC%81mo%20se%20construye%20un%20a%CC%81rbol%20de%20pro)

[blemas%3F.pdf](http://www.cise.espol.edu.ec/sites/cise.espol.edu.ec/files/pagina-basica/Nota%20te%CC%81cnica%20n.%C2%BA%206%20-%20%20%C2%BFCo%CC%81mo%20se%20construye%20un%20a%CC%81rbol%20de%20problemas%3F.pdf)

Congreso de la Republica de Colombia. . (13 de Mayo de 2014). *secretariassenado*. Obtenido de

Ley 1715 2014 Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables

no convencionales al Sistema Energético Nacional.:

[http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley\\_1715\\_2014.html](http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1715_2014.html)

Congreso de la Republica de Colombia. (03 de 10 de 2001). *secretariassenado*. Obtenido de Ley

697 2001 Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía:

[http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley\\_0697\\_2001.html](http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0697_2001.html)

Consejo Nacional de Política Económica y Social. (2019). *Conpes 3969*. Bogotá.

Csun. (2019). *CSUN 370-72M*.

Departamento Nacional de Planeación . (2016). *Instalación de sistemas solares fotovoltaicos individuales en zonas no interconectadas*. Bogotá.

Google Earth.com. (s.f). Obtenido de <https://earth.google.com/web/@4.69003479,-74.00019054,2884.4914529a,26129.59038294d,35y,357.34931965h,0t,0r>

ICONTEC. (2005). *Energía solar fotovoltaica terminología y definiciones*. Bogotá.

ICONTEC. (2020). *Código eléctrico colombiano NTC 2050 Segunda Actualización*. Bogotá: Carvajal.

IDEAM. (s.f). *Atlas de radiación solar ultravioleta y ozono de Colombia*. Obtenido de <http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/RadiacionPDF/Bogota.pdf>

IDEAM. (s.f). *Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia*. Obtenido de Irradiación global horizontal media diaria: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>

IDEAM. (s.f). *Distribución del brillo solar medio diario (Horas de sol al día)*. Obtenido de <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>

IDEAM. (s.f). *Distribución espacial y temporal del brillo solar en Colombia*. Bogotá.

IDEAM. (s.f). *Evaluación del brillo solar en Colombia* . Bogotá.

IDEAM. (sf.). *Evaluación de la irradiación global horizontal en Colombia*. Bogotá.

Inti photovoltaics. (s.f). *inti photovoltaics*. Obtenido de [http://intipv.com/es/wp-content/uploads/2018/07/Ficha-Tecnica-Palma\\_01.pdf](http://intipv.com/es/wp-content/uploads/2018/07/Ficha-Tecnica-Palma_01.pdf)

IPCC. (2020). *El cambio climático y la tierra - IPCC*. Obtenido de Pág. 22:  
[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2020/06/SRCCL\\_SPM\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2020/06/SRCCL_SPM_es.pdf)

Madrigal, R. A. (2020). *Comunicado sobre exhibibilidad de la segunda actualización de la Norma Técnica NTC 2050*. Bogotá. Obtenido de  
<https://www.minenergia.gov.co/documents/10192/24202796/COMUNICACION+NORMA+NTC+2050+2-2020-008751.pdf>

Méndez, R. (2020). *Formulación y evaluación de proyectos: enfoque para emprendedores*. Bogotá: Ecoe Ediciones.

Meneses, L. (17 de febrero de 2016). *incp*. Obtenido de Instituto nacional de contadores publicos: <https://incp.org.co/costo-de-capital-promedio-ponderado-ccpp-o-wacc/>

Ministerio del medio ambiente. (03 de Agosto de 2016). *Ministerio del medio ambiente*. Obtenido de Resolución 1283 Por la cual se establece el procedimiento y requisitos para la expedición de la certificación de beneficio ambiental.:  
<https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/8b-res%201283%20agost%202016.pdf>

Morningstar Corporation. (s.f). *Tristar MPPT Controlador de sistema solar*. Newtown, Pensilvania, Estados Unidos.

Nandwani, S. S. (2005). *Energía solar conceptos básicos y su utilización*. Heredia.

Presidencia de la Republica. (04 de Noviembre de 2015). *Funcion publica*. Obtenido de Decreto

2143 2015 Por el cual se adiciona el Decreto Único Reglamentario del Sector

Administrativo de Minas y Energía, Decreto 1073 de 2015, en lo relacionado con la

definición de los lineamientos para la aplicación de los incentivos establecidos en el:

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=64682>

Presidencia de la Republica de Colombia. (26 de Mayo de 2015). *Ministerio de Minas y Energía*.

Obtenido de <https://www.minenergia.gov.co/decreto-unico-reglamentario>

Schneider Electric. (s.f.). *Los siete tipos de problemas en el suministro eléctrico*. Obtenido de

[https://download.schneider-electric.com/files?p\\_Doc\\_Ref=SPD\\_VAVR-5WKLPK\\_LS](https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=SPD_VAVR-5WKLPK_LS)

Siliconsolar. (s.f.). *Silicon Solar*. Obtenido de <https://www.siliconsolar.com/on-grid-vs-off-grid/>

Tecnológico de estudios superiores de Ecatepec. (2009). *Libro de ciencia y tecnología N° 2*.

Ecatepec de Morelos.

Tensite. (s.f.). *Tensite Batteries*. Obtenido de [http://www.tensitebatteries.com/wp-](http://www.tensitebatteries.com/wp-content/uploads/2020/08/datasheet-tensite-batteries-AGM-12-250.pdf)

[content/uploads/2020/08/datasheet-tensite-batteries-AGM-12-250.pdf](http://www.tensitebatteries.com/wp-content/uploads/2020/08/datasheet-tensite-batteries-AGM-12-250.pdf)

Unidad de planeación Minero-Energética. (05 de Junio de 2015). *minenergia*. Obtenido de

Resolución 0281 Por la cual se define el límite máximo de potencia de la autogeneración a pequeña escala. :

[https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/18995913/res\\_281.pdf](https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/18995913/res_281.pdf)

Unidad de planeación Minero-Energética. (05 de Junio de 2015). *Unidad de planeación Minero-*

*Energética*. Obtenido de Resolución 0703 Por la cual se establecen el procedimiento y

los requisitos para obtener la certificación que avala los proyectos de Fuentes No Convencionales de Energía:

[https://www.minenergia.gov.co/documents/10192/24144926/Resolucion\\_703\\_2018.pdf](https://www.minenergia.gov.co/documents/10192/24144926/Resolucion_703_2018.pdf)

Váquino, J. D. (2009). *El valor presente neto*. Obtenido de Pymes futuro:

<https://www.pymesfuturo.com/vpneto.htm>

[www.municipio.com](http://www.municipio.com). (2019). *Municipios de Colombia*.

## Anexos

### Anexo 1

#### Factura de empresa eléctrica Enel

PARA PAGO Y CONSULTAS  
TU NÚMERO DE CLIENTE ES:

Factura de servicios públicos

No. XXXXXXXXXX

---

**CLIENTE**

VD XXXXXXXXXX

VIA CALERA - SOPO - LA CALERA - LA CALERA

Página 1 de 1

---

**TOTAL A PAGAR**

\$30

**CONTRIBUCIÓN PAGO OPORTUNO**

\$0

**FECHA SUSPENSIÓN**

SUSPENSIÓN

---

**EVOLUCIÓN CONSUMO**

kWh

**PERIODO FACTURADO:**  
15 DIC/2020 A 16 ENE/2021

**TIPO LIQUIDACIÓN:** Mensual

**TIPO DE LECTURA:** Real

**ANOMALIA:** Normal

**CONSUMO PROMEDIO ULTIMOS 6 MESES:** 0

**PROXIMA LECTURA:** 12 FEB/2021

---

TIPO MEDIDA	LEC. ACTUAL	LEC. ANTERIOR	DIFERENCIA	FACTOR	ENERGIA CONS.	ENERGIA FAC.
EAFP	7526	7526	0	1	0	0

**INFORMACIÓN DEL CONSUMO**

FECHA DE EXPEDICIÓN: 16 Ene/2021    TOTAL CONSUMO: (kWh) 0

---

**CALIDAD DEL SERVICIO**

**Información De Interés**

**ESTIMADO CLIENTE:**  
La tarifa final es de \$538.8003 KWh.

**CUOTA 6 DE 36 DE SU ULTIMO CONVENIO**

G: 215.24	T: 31.33	D: 193.46
CV: 55.10	PR: 46.39	R: 21.33
CU: 562.86	CF: 0.00	

**TARIFA MES DIC/2020**    Valor kWh prom. \$ 538.80

---

**INFORMACIÓN TÉCNICA**

RUTA LECTURA: 5000 8 33 804 0047

RUTA REPARTO: 5000 8 33 804 0195

ESTRATO: 2

CIRCUITO-TRAFO: CL 14 - 46886TR1

CARGA (KW): 3

SERVICIO: Residencial

**NIVEL DE TENSION:** 1

**COD. FACTURACIÓN:**

**GRUPO:** 804

**MEDIDOR No:** 19647220

**MEDIDOR No:**

---

CONCEPTO	SUBTOTAL
<b>CONSUMO DE ENERGÍA</b>	
Valor kWh \$538.8003 X 0 (Consumo en kWh)	\$0
SALDO CONSUMO DIFERIDO EMERGENCIA COVID	\$232
CONSUMO DIFERIDO EMERGENCIA COVID	\$8
AJUSTE A LA DECENA (DEBITO)	\$2
SALDO ANTERIOR	\$4
SALDO ANTERIOR SERV CONVENIO	\$16
<b>SUB TOTAL VALOR OTROS</b>	<b>\$30</b>

*Nota.* En donde se evidencia el costo de kWh y se establece la base para el ahorro periódico que va a tener el sistema fotovoltaico en la facturación de energía tradicional.