



**EVALUACIÓN DE LA SUFICIENCIA ENERGÉTICA DE UN SISTEMA SOLAR PARA
SATISFACER LAS NECESIDADES DE UNA VIVIENDA CAMPESINA A 3.000 METROS
DE ALTURA EN LA REGIÓN DEL PÁRAMO ADYACENTE AL PARQUE NACIONAL
CHINGAZA**

ENTREGA 3

LAURA CAMILA CORTES FORERO

DOCENTE:

LUZ MYRIAM SATIZABAL SOLANO

28 DE ABRIL 2024

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN EJECUTIVO.....	4
1. INTRODUCCIÓN.....	5
2. OBJETIVOS.....	6
2.1 Objetivo general.....	6
2.2 Objetivos específicos.....	6
3. DEFINICION DEL PROBLEMA	8
4. PREGUNTA DE INVESTIGACION	9
5. JUSTIFICACION.....	10
6. ANALISIS DE REQUERIMIENTOS	13
6.1 Demanda energética de las viviendas.....	13
6.2 Condiciones climáticas locales.....	15
6.3 Estimación de características de diseño y especificaciones del producto	24
6.4 Validación de radiación solar y generación eléctrica fotovoltaica in situ.....	28
6.5 Disposición y orientación óptima	31
7. MARCO DE REFERENCIAS	33
8. ANÁLISIS DE RESTRICCIONES	44
9. METODOLOGÍA	49
9.1 Diagrama de flujo	51
9.2 Soluciones alternativas.....	56
10. ANALISIS DE COSTOS Y VIABILIDAD.....	60
11. PROTOTIPO DEL PROYECTO.....	64
11.1 Cartilla instructiva para usuario del sistema de energía solar	64
12. CONCLUSIONES	66
13. LISTA DE REFERENCIAS	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación vereda El Volcán.....	16
Figura 2. Incidencia rayos de sol durante 1 año.....	17
Figura 3. Gráfico polar.....	19
Figura 4. Gráfico cartesiano.	20
Figura 5. Horas diarias de luz solar.....	21
Figura 6. Radiación horizontal global.	22
Figura 7. Valores de radiación y rutas solares	23
Figura 8. Mapa de irradiación global horizontal.....	24
Figura 9. Efectos de la temperatura en la vida de la batería.	26
Figura 10. Tiempo de vida de batería AGM.....	26
Figura 11. Profundidad de descarga de la batería AGM.	30
Figura 12. Funcionamiento célula fotovoltaica.	35
Figura 13. Células más comunes de silicio	36
Figura 14. Partes de la batería de plomo-acido abierto.....	38
Figura 15. Características batería AGM.	38
Figura 16. Características batería de gel.....	39
Figura 17. Características baterías de litio.....	40
Figura 18. Principio modulación PWM.....	41
Figura 19. Diagrama de flujo parte 1	51
Figura 20. Diagrama de flujo parte 2	52
Figura 21. Diagrama de flujo parte 3	53
Figura 22. Diagrama de flujo parte 4	53
Figura 23. Diagrama de flujo parte 5	54
Figura 24. Diagrama de flujo parte 5	55
Figura 25. Cartilla instructiva - Tu sistema de energía solar.....	64

INDICÉ DE TABLAS

Tabla 1. Demanda energética familia campesina.	14
Tabla 2. Consumo pasivo de electrodomésticos	15
Tabla 3. Capacidades del modelo	29
Tabla 4. Resultados de la muestra.	29
Tabla 5. Variación de la radiación en función del ángulo de incidencia.	32
Tabla 6. Tiempo de montaje por tipo de energía.	60
Tabla 7. Costos de montaje del sistema solar.	61
Tabla 8. Costos totales de cada fuente energética.....	62
Tabla 9. Ítems del rubro de mantenimiento.....	63

RESUMEN EJECUTIVO

Este proyecto busca encontrar alternativas eficientes y sostenibles para el suministro energético en viviendas campesinas de la región del Páramo de Chingaza, que carece de acceso regular a la red eléctrica convencional. El objetivo principal es evaluar la suficiencia energética necesaria para satisfacer las demandas específicas de esta comunidad.

La metodología implica un estudio cuantitativo exhaustivo que analiza variables de consumo y generación de energía. En cuanto al consumo, se desarrolló un modelo analítico para determinar las necesidades energéticas precisas, identificando cargas y horas pico de demanda. En la generación, se evalúan sistemas fotovoltaicos eficientes, económicamente viables y adaptados al entorno montañoso.

El análisis prioriza la selección de un sistema fotovoltaico óptimo en términos de generación, costo y capacidad de operar en la región del Páramo de Chingaza. El proyecto busca establecer una solución integral y sostenible que contribuya al desarrollo energético local a largo plazo, implementando un sistema que proporcione un suministro eléctrico confiable y reduzca la dependencia de fuentes no renovables.

Además, se contempla una evaluación de la suficiencia energética del sistema propuesto, considerando factores como la radiación solar, la capacidad de generación fotovoltaica y el almacenamiento de energía mediante baterías. Esto asegurará que el sistema pueda satisfacer la demanda de la vivienda de manera confiable y continua.

En resumen, este proyecto representa un avance significativo hacia la autonomía energética en comunidades rurales como la del Páramo de Chingaza, demostrando el potencial de la energía solar como una alternativa viable, respetuosa con el medio ambiente y capaz de mejorar la calidad de vida y la sostenibilidad en áreas remotas.

Palabras clave: Energía solar; Captación solar; Paramo; Autogeneración energética.

1. INTRODUCCIÓN

La falta de acceso a energía eléctrica confiable es un problema constante para las comunidades campesinas del páramo cercano al Parque Nacional Chingaza, en Colombia, en una altitud de 3.000 metros. Según un estudio realizado por la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) en 2019, cerca del 40% de estas comunidades rurales carecen de una conexión estable a la red eléctrica convencional, viéndose afectadas por frecuentes cortes de energía y fluctuaciones de tensión que comprometen su calidad de vida (Aguilera-Martínez et al., 2018).

Debido a la lejanía de los centros urbanos, las redes eléctricas tienen limitación tanto en su capacidad como en su alcance a todas las zonas rurales. Los cortes energéticos suelen ocurrir varias veces a la semana inutilizando las cercas eléctricas del ganado, desconexión de neveras con el consecuente deterioro de alimentos, corte de la señal de internet afectando estudio y trabajo de los habitantes, baterías de celular agotadas y por ende el corte de la comunicación.

La solicitud e instalación de nuevos puntos eléctricos es costosa y muy demorada. Usualmente el valor de instalación de postes, cable y contador ronda los \$9.000.000 y su trámite puede durar hasta 8 meses en completarse.

El objetivo principal de este proyecto es evaluar la capacidad de un sistema solar fotovoltaico para satisfacer las necesidades básicas de una vivienda campesina en una región de páramo cercana al Parque Nacional Chingaza. Esta investigación analiza la

radiación solar disponible, la demanda de energía de las viviendas y la eficiencia de los componentes del sistema para proporcionar información útil sobre la viabilidad de los sistemas solares fotovoltaicos como una solución al problema de energía eléctrica en esta región.

Se establece una propuesta del tamaño y capacidad de un sistema solar capaz de soportar la demanda energética en un día común de una familia campesina. Así mismo, se plantea una alternativa para mejorar la eficiencia de la captación solar de las células fotovoltaicas en función de su ubicación a lo largo del año y hora del día con relación al ángulo de incidencia de los rayos solares sobre ellas. A través de mediciones con instrumentos digitales se hace el registro de consumo energético y de captación.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Determinar y demostrar la suficiencia energética de un sistema fotovoltaico para una vivienda, acorde con necesidades agrícolas, ganaderas y familiares de la población campesina rural en el páramo adyacente al Parque Nacional Chingaza.

2.2 Objetivos específicos

- Cuantificar el consumo energético promedio de las actividades agrícolas, ganaderas y familiares en una vivienda campesina típica de la zona de estudio, mediante el uso de un medidor de energía

(vatímetro), con el fin de establecer la demanda real de energía que debe ser suplida con la energía fotovoltaica.

- Caracterizar el recurso solar disponible en la zona de estudio, mediante el perfil de radiación solar midiendo los rayos UV en diferentes condiciones ambientales (lluvia, nubes, sol) para evidenciar que en todo momento es posible una captación suficiente de energía respecto a la demanda requerida.
- Determinar las características técnicas (potencia, capacidad de almacenamiento, etc.) y dimensiones de un sistema fotovoltaico capaz de satisfacer las necesidades energéticas identificadas en el objetivo 1, considerando criterios de suficiencia.
- Desarrollar un instructivo didáctico y de fácil comprensión para la población campesina rural, que aborde los conceptos fundamentales, el montaje y el mantenimiento del sistema fotovoltaico diseñado en el objetivo 3, con el propósito de acercar esta tecnología a los campesinos sin conocimiento previo y lograr una mejor aceptación.

3. DEFINICION DEL PROBLEMA

La población campesina que vive en las fincas de páramo cerca del Parque Nacional Chingaza tiene problemas constantes con el suministro de energía debido a cortes (frecuencia de al menos 2 veces por semana y duración de cortes de energía entre 1 a 48 horas) y caídas de tensión (fluctuaciones de tensión en la red eléctrica) (Aguilera-Martínez et al., 2018). Esto tiene consecuencias negativas, como el deterioro de los alimentos debido a la falta de refrigeración, la interrupción del control del ganado mediante cercas eléctricas, la falta de acceso constante a Internet y, por lo tanto, a información económica, social y académica, el daño a los electrodomésticos por fluctuaciones de tensión y la pérdida de comunicación celular debido al agotamiento de las baterías.

A pesar de que los sistemas fotovoltaicos ofrecen una opción viable para asegurar un suministro de energía confiable y sostenible, existen obstáculos que impiden su implementación en esta comunidad. Estos incluyen la creencia de que los sistemas fotovoltaicos son complicados e ineficientes y solo funcionan en climas cálidos y cielos despejados (radiación solar disponible en la zona ($\text{kWh/m}^2/\text{día}$), y la creencia de que la implementación de sistemas fotovoltaicos es muy costosa y, por lo tanto, inaccesible. La expansión de la red eléctrica tradicional a nuevas áreas geográficas también implica altos costos, procedimientos complicados y tiempos prolongados.

La falta de un modelo simple, sencillo y didáctico de sistemas fotovoltaicos adaptados a las condiciones y necesidades específicas (consumo energético de las

viviendas campesinas (kWh/día, kWh/mes)) de la población campesina de la región ha descartado esta opción como alternativa de suficiencia energética. Esto ha limitado los beneficios para la calidad de vida de las familias (encuestas de satisfacción, indicadores socioeconómicos) y la sostenibilidad ambiental. Adicionalmente, la población tiene un bajo conocimiento y una percepción desfavorable de los sistemas fotovoltaicos (Aguilera-Martínez et al., 2018).

4. PREGUNTA DE INVESTIGACION

¿Cuál es la suficiencia de los sistemas solares para satisfacer las necesidades energéticas de una vivienda campesina ubicada en el páramo, específicamente en la región adyacente al Parque Nacional Chingaza a 3.000 metros de altura? Además, ¿cómo se pueden superar los desafíos técnicos y climáticos para garantizar un suministro energético constante y confiable en estas condiciones?

5. JUSTIFICACION

El Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) número 11 de las Naciones Unidas busca hacer que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles. Este es el motivo detrás de este estudio. Este proyecto tiene el potencial de generar un impacto significativo en diversas áreas mediante la determinación de la suficiencia energética de un sistema fotovoltaico que satisfaga las necesidades de las familias campesinas:

1. **Conveniencia:** El dimensionamiento de un sistema fotovoltaico es una herramienta para tomar decisiones sobre el suministro eléctrico de casas rurales, ya sean nuevas o existentes. Según el Banco Mundial, en 2019, alrededor del 26% de la población rural de Colombia no tenía acceso a la electricidad. Esto demuestra la necesidad de soluciones energéticas económicas y sostenibles.
2. **Relevancia social:** Un planteamiento claro, conciso y entendible sobre el suministro de energía solar brindará conceptos prácticos para que más familias campesinas puedan tomar la decisión de optar por un suministro energético permanente, de calidad y suficiente. Esto contribuirá a mejorar su calidad de vida y a reducir la brecha de acceso a la energía en zonas rurales, en línea con los esfuerzos de la FAO para promover la energía renovable como una herramienta clave para la seguridad alimentaria y el desarrollo rural (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO), 2017).

3. **Implicaciones prácticas:** Con un enfoque sencillo y didáctico, se fomentará la aplicación de la filosofía DIY (Do it yourself) para el montaje y mantenimiento del suministro eléctrico. Esto reducirá la dependencia de empresas o técnicos con tarifas onerosas y demoradas, empoderando a las comunidades rurales para ser autosuficientes en la gestión de su energía, como lo respaldan iniciativas exitosas de electrificación rural con energías renovables en países en desarrollo.

4. **Valor teórico:** Este proyecto aborda un vacío significativo en la literatura existente sobre la eficacia y suficiencia de los sistemas alternativos de energía, específicamente en contextos de páramo. Estudios como el Scott-George, et al (2021) han destacado la escasez de investigaciones sobre la viabilidad de estos sistemas en comunidades rurales y de páramo. Este proyecto explorará la capacidad de los sistemas solares para satisfacer las necesidades energéticas de las viviendas campesinas en el páramo, desafiando los paradigmas arraigados que sugieren que las condiciones climáticas del páramo son adversas para este tipo de energía.

El informe de Chatham House ofrece una perspectiva más amplia sobre la importancia de abordar la eficacia de las soluciones energéticas en contextos humanitarios, así como sobre los riesgos climáticos. La mayoría de los proyectos se enfocan en las poblaciones desplazadas, y las energías renovables se presentan como una solución viable para conflictos prolongados,

aliviar el estrés ambiental y promover el desarrollo económico y social. Además, se enfatiza la necesidad de reconsiderar la forma en que se produce y almacena la energía para enfrentar los desafíos del cambio climático.

5. **Utilidad metodológica:** La estructura metodológica propuesta se centra en las etapas clave del proyecto, desde la recopilación de datos y el diseño inicial, pasando por la implementación y medición del prototipo, hasta la evaluación final de su suficiencia energética y la presentación de los resultados. Los resultados obtenidos serán de alta calidad y confiables gracias a esta metodología rigurosa y sistemática, que establecerá las bases para futuras investigaciones y aplicaciones en el campo de la energía sostenible en áreas rurales y de páramo.

En resumen, este estudio tiene el potencial de tener un impacto significativo en las comunidades rurales al proporcionar soluciones energéticas sostenibles y accesibles. Esto podría ayudar a las comunidades rurales a cumplir con el ODS 11 y mejorar la calidad de vida de las familias campesinas. Además, los beneficios teóricos y metodológicos de este proyecto servirán como base para investigaciones futuras en el ámbito de la energía renovable en contextos de páramo.

6. ANALISIS DE REQUERIMIENTOS

El objetivo principal del prototipo es diseñar un sistema solar fotovoltaico autónomo y personalizado que pueda satisfacer de manera confiable y sostenible las necesidades energéticas de las viviendas campesinas en la región de estudio. Este sistema debe adaptarse a las condiciones climáticas y geográficas específicas de la zona de páramo, así como a los patrones de consumo energético de las viviendas. Además, el prototipo debe ser accesible, fácil de instalar y mantener.

Verificación de parámetros de diseño: Para el diseño adecuado del prototipo, es fundamental verificar y evaluar los siguientes parámetros:

6.1 Demanda energética de las viviendas

La determinación de los requerimientos energéticos de una familia campesina es fundamental para proporcionar el tamaño adecuado del sistema de energía solar. Esta tarea implica un análisis minucioso de los diversos dispositivos y electrodomésticos presentes en el hogar, así como de los hábitos de consumo de la familia. Se realizó una medición de la demanda energética de una familia promedio campesina, 2 adultos y 2 niños, (utilizando un vatímetro digital modelo pm01-us) y se encontró lo siguiente:

Tabla 1. Demanda energética familia campesina.

Dispositivo	Consumo Nominal (W)	Consumo instantaneo	Horas de uso /dia (hr)	Consumo real (W/dia)	Consumo real (W/dia) sin lavadora
Bombillo sala	4,5	5,2	1	5,2	5,2
Bombillo comedor	4,5	5,2	1	5,2	5,2
Bombilloo cocina	4,5	5,2	1,5	7,8	7,8
Bombillo habitacion 1	4,5	5,2	0,5	2,6	2,6
Bombillo habitacion 2	4,5	5,2	0,4	2,08	2,08
Bombillo habitacion 3	4,5	5,2	0,7	3,64	3,64
Bombillo baño	4,5	5,2	0,3	1,56	1,56
Bombillo corredor	4,5	5,2	0,1	0,52	0,52
TOTAL ILUMINACION				28,6	28,6
Cerca electrica para ganado	5	3,8	24	91,2	91,2
Nevera	62	49	10	490	490
Celulares		30	1	30	30
Computadores carga inicial	45	43,6	1	43,6	43,6
Computadores mantenimiento carga		12	5	60	60
Lavadora	285	215	1	215	0
Router wifi	5,4	3,9	24	93,6	93,6
TOTAL				1023,4	808,4
Televisor 1	48	38	2	76	76
Televisor 2	39	29	2	58	58
TOTAL TV				134	134
TOTAL (W/DIA)				1.186	971

Nota: Elaboración propia.

Al examinar la tabla 1, se observa que los electrodomésticos y equipos, como la cerca eléctrica para ganado, la nevera, la lavadora y el router WiFi, representan la mayor demanda de energía dado que tienen un consumo constante las 24 horas del día. Se debe considerar que la lavadora se utiliza una vez a la semana y por lo tanto ese pico de consumo se debe tratar de manera puntual para efectos de suplir dicha demanda energética.

Es importante tener en cuenta la eficiencia energética al seleccionar estos equipos para minimizar el consumo innecesario de energía. Adicionalmente, una

práctica eficiente de ahorro es desconectar los dispositivos cuando no están en uso, hacer un mantenimiento adecuado y reemplazar los equipos obsoletos por modelos más nuevos.

Tabla 2.

Consumo pasivo de electrodomésticos

	Consumo pasivo	Consumo mes (w)
Celulares	0,5	360
Lavadora	0,2	144
Televisor 1	0,2	144
Televisor 2	0,2	144
Total		792

Nota: Elaboración propia.

6.2 Condiciones climáticas locales

La Calera, es un municipio colombiano del departamento de Cundinamarca ubicado en el occidente de la provincia del Guavio, a 18 km al nororiente de Bogotá. La vereda El Volcán se encuentra a 7 km del casco urbano del municipio y se encuentre a 2960 msnm.

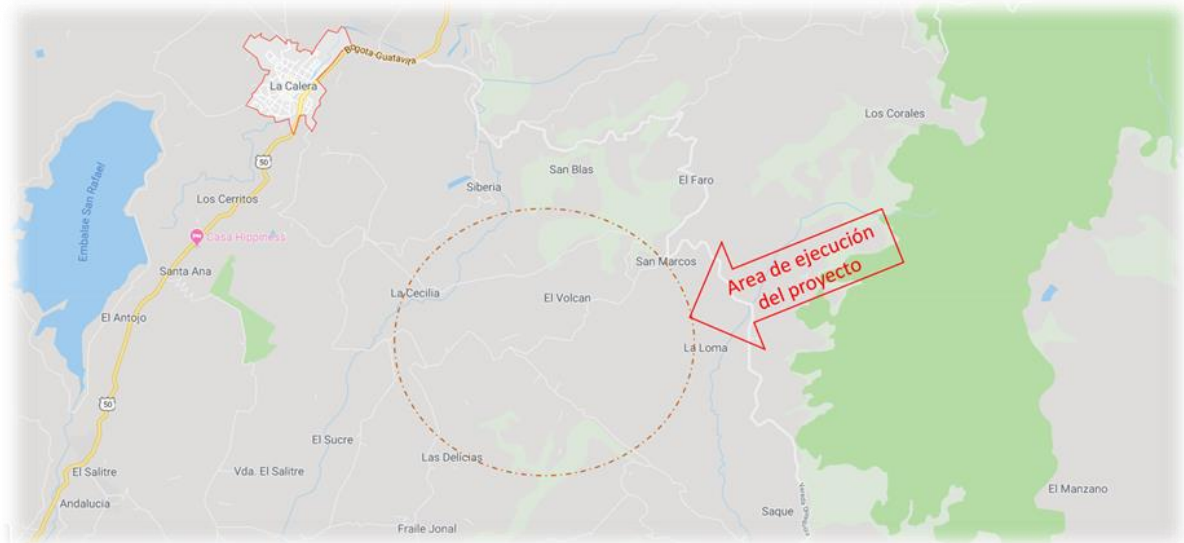
Coordenadas geográficas: 4°43'N 73°58'O

Límites:

- Norte: Guasca, Sopó y Chía. Sur: Choachí y Fómeque. Este: Guasca, Junín y Fómeque.
- Oeste: Bogotá (Localidades de Chapinero y Usaquén).

Superficie: 485 km²

Figura 1.
Ubicación vereda El Volcán.



Desde el punto de vista climático lo más importante para este estudio es lo relacionado al comportamiento de las variables solares. Es necesario tener claridad de los ángulos de incidencia de la luz solar sobre el plano terrestre y el origen geográfico de los mismo a lo largo del año. A continuación se muestra las variaciones mes a mes:

Figura 2.
Incidencia rayos de sol durante 1 año.



Nota: Recuperado de

https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=es#top

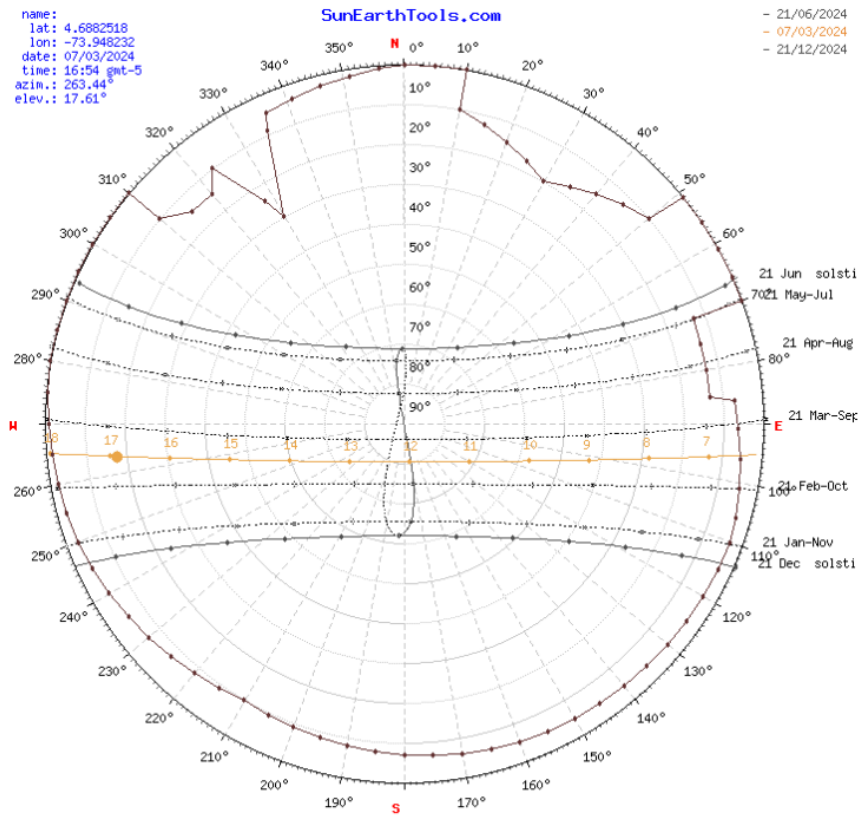
En primer lugar se puede observar que los rayos solares (líneas amarillas) van cambiando notoriamente en tres momentos del año. El primero comprende los meses de enero a marzo donde el amanecer se origina en el este sur este. El segundo grupo que va de mayo a julio con amanecer en el este noreste. En el último grupo el amanecer retorna al este sur este. Este fenómeno debe ser considerado al momento

de elegir el sitio para la instalación de los paneles solares. Para la zona de estudio, se concluye que la posición de los paneles entre octubre y marzo debe ser hacia el norte geográfico, mientras que entre abril y septiembre la orientación debe ser hacia el sur.

Por otra parte, es supremamente importante considerar la variación del ángulo de incidencia de los rayos solares en cada hora del día, respecto al plano terrestre que en este caso equivale al plano de las celdas fotovoltaicas. En las figuras 3 y 4, se observa el gráfico polar y el plano cartesiano para las coordenadas geográficas que corresponden a la finca en donde se está realizando este proyecto. La información corresponde al 7/03/2024 denotada con la línea amarilla, encontrando que la variación angular esta entre los 15° grados a las 7 am y 5 pm. El recorrido del sol durante esta fecha se da al sur del plano este – oeste como ya fue explicado en la figura 2.

Figura 3.

Gráfico polar.

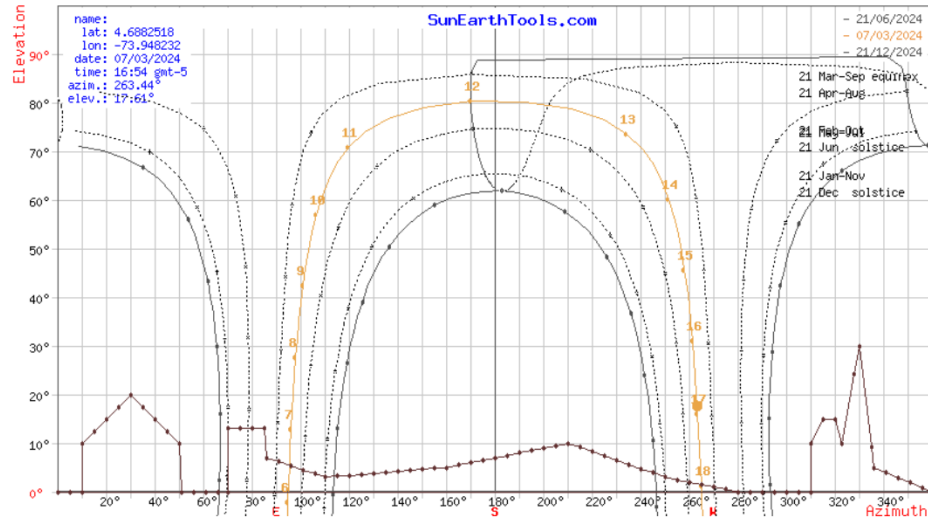


Nota: Sun Earth tools software. Recuperado de

https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=es#chartP

Figura 4.

Gráfico cartesiano.

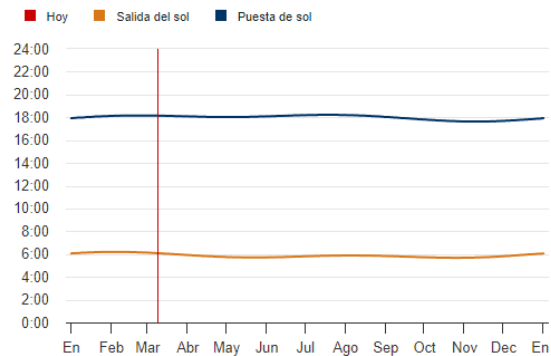


Nota: Software Sun earth tools.

https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=es#chartC

Las horas de sol a lo largo del año para esta zona del planeta se mantienen estables con un promedio de 12 horas. Sin embargo, para efectos de los cálculos de energía solar se toman como aprovechables el rango entre 7 am y 5 pm, es decir 10 horas.

Figura 5.
Horas diarias de luz solar.



Nota: Recuperado de Meteogram. <https://meteogram.es/sol/colombia/bogota/>

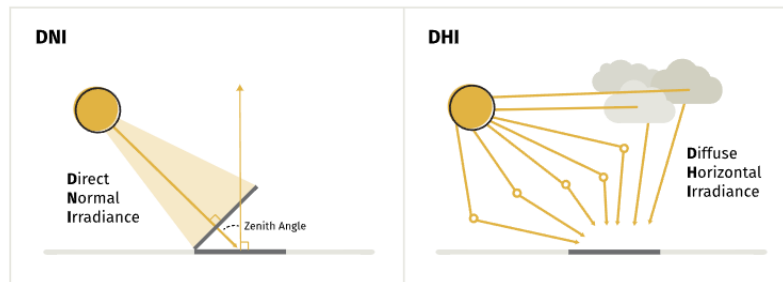
La radiación solar varía en cada una de las horas aprovechables del día debido principalmente a los cambios de la angulación del sol respecto a los paneles, así como también por el efecto de niebla entendido como “un enfriamiento del aire por debajo del punto de rocío, refiriéndose a este punto al instante a partir del cual se condensa el vapor de agua que hay en la atmósfera” (Guerrero Velázquez, J. M, 2018), el cual reduce la cantidad de radiación que llega a los paneles. En la figura 7, se indica la radiación solar tanto global como difusa para cada uno de los meses del año en las coordenadas geográficas de interés. La radiación horizontal global está definida por la formula:

$$GHI = DHI + DNI * \cos(\alpha_{zenith})$$

En donde DHI (radiación directa normal) llega en línea recta a un punto específico en la superficie terrestre, más DNI (radiación difusa horizontal) que llega a la superficie de forma indirecta.

Figura 6.

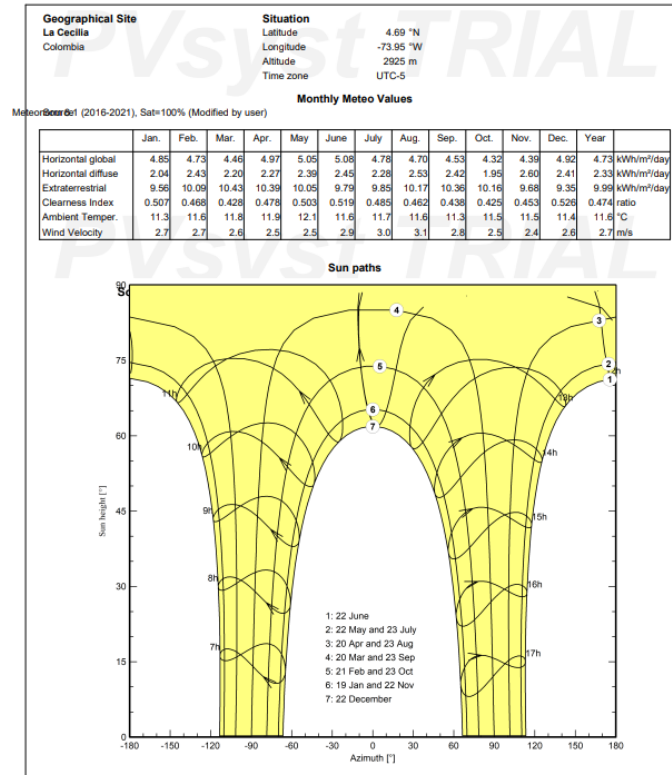
Radiación horizontal global.



Nota: Recuperado de Clean Power Research L.L.C

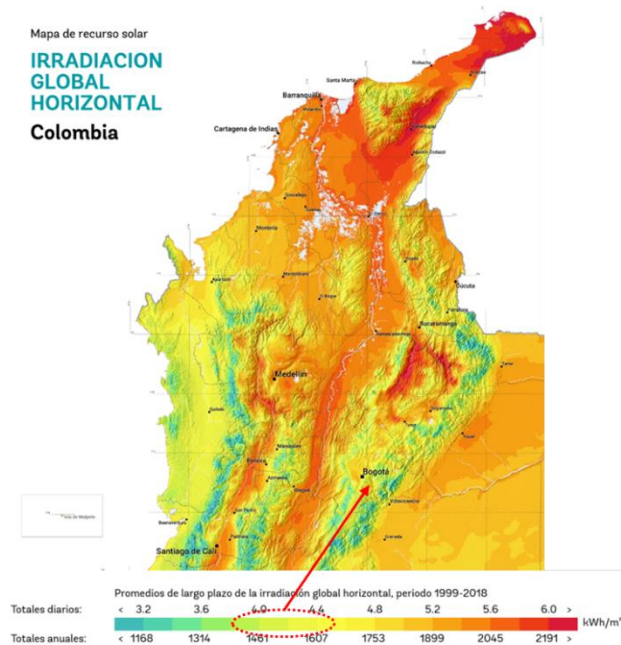
En la figura 7 y 8 se observa que basándose en el índice de radiación horizontal global, la zona de estudio tiene unos niveles medios que si bien pueden verse desfavorables respecto a las zonas de la Guajira, Atlántico, Bolívar y Cesar, en donde se construyen megaproyectos de energía solar, si cuenta con valores adecuados para la instalación de montajes fotovoltaicos de autoconsumo.

Figura 7.
Valores de radiación y rutas solares



Nota: Recuperado de Meteonorm 8.1. Software PVsyst V7.4.5

Figura 8. Mapa de irradiación global horizontal.



Nota: Recuperado de IDEAM

6.3 Estimación de características de diseño y especificaciones del producto

El diseño del sistema autónomo comienza determinando la tensión o voltaje del sistema, lo usual para pequeñas instalaciones es 12 o 24 voltio (V). Desde el punto de vista técnico un sistema de 24V es mas eficiente, dado que permite la transmisión de la potencia con una corriente más baja, dando como resultado una menor perdida de energía por menor generación de calor. Igualmente, al manejar corrientes mas bajas los requerimientos de cableado son inferiores y por lo tanto mas económicos. Su utilización es usual en instalaciones medianas y grandes. Como el objeto de este estudio es determinar la eficiencia de un sistema solar autónomo para una familia campesina, la alternativa más adecuada es la de 12V; además, que conlleva ventajas

en la manipulación del sistema, puesto que es menor el riesgo de descargas eléctricas y por otra parte implica el uso de una sola batería y por ende un menor costo de la inversión inicial.

Una vez determinado que el sistema es de 12V, el siguiente paso es calcular el número de paneles o la potencia de generación fotovoltaica. Teniendo en cuenta la Tabla 1, el consumo diario es de 1.186 Watios (W), en el caso de mayor demanda cuando se utiliza la lavadora. Para este tipo de sistemas, existen en el mercado paneles entre los 50W y 500W. Se tomará como base de cálculo uno de los paneles más comunes que es el de 150W. La hoja de especificaciones del panel se pueden encontrar en el anexo 1.

$$\# \text{ de paneles} = \frac{\text{energía/día}}{\text{potencia del panel} * \text{numero horas pico de sol} * \text{eficiencia sistema}}$$

$$\# \text{ de paneles} = \frac{1186W}{150W * 6hr * 80\%} = 1,64 \text{ paneles} \sim 2 \text{ paneles}$$

Con esta capacidad generadora de energía se supe el 100% de la demanda de las 24 horas.

Posteriormente se realiza el cálculo de los amperios hora (Ah) almacenados en las baterías:

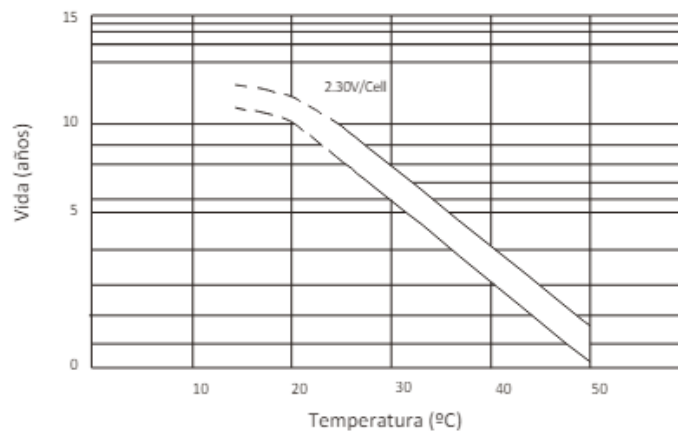
$$\text{Capacidad de baterías (Ah)} = \frac{\left(\frac{\text{energía}}{\text{día}}\right) * (\text{días de autonomía})}{(\text{Profundidad descarga} * \text{Tensión sistema})}$$

$$\text{Capacidad de baterías (Ah)} = \frac{(1186W) * (1)}{(40\% * 12V)} = 247Ah \sim 250Ah$$

Considerando un día completo sin generación de energía y una descarga del 40% de la batería, lo cual es adecuado para este tipo de dispositivos, como se observa en la figura 10, una batería de 250 Ah es lo requerido para el sistema planteado.

Particularmente la zona de este estudio tiene la ventaja de contar con una temperatura promedio de 13° la cual representa una mayor vida útil de la batería colocándola sobre los 10 años mantenido el nivel de voltaje en sus celdas tal como se observa en la figura 9.

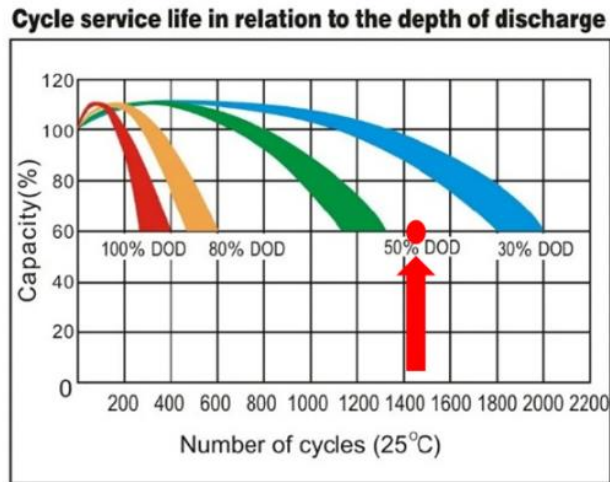
Figura 9.
Efectos de la temperatura en la vida de la batería.



Nota: Recuperado de la tabla de especificaciones del fabricante.

Figura 10.

Tiempo de vida de batería AGM.



Nota: Recuperado de INELDEC.

Teniendo en cuenta los datos encontrados anteriormente se calcula la capacidad del controlador y del inversor de DC a AC:

$$\text{Capacidad del controlador} = \frac{\# \text{ de paneles} * \text{vatiaje de panel}}{\text{Voltaje del sistema}}$$

$$\text{Capacidad del controlador} = \frac{2 * 150 \text{ W}}{12 \text{ V}} = 25 \text{ Amperios}$$

$$\text{Capacidad del inversor} = \text{Pico max de demanda} + \text{margen de seguridad del 50\%}$$

$$= 1.186 \text{ w} + 593 \text{ w} = 1779 \text{ watts} \sim 2000 \text{ watts}$$

6.4 Validación de radiación solar y generación eléctrica fotovoltaica in situ

Debido a las particulares características climatológicas que existen en la zona adyacente al paramo de Chingaza es necesario hacer una comprobación del nivel de radiación que se recibe y por ende la cantidad que puede ser convertida en energía eléctrica utilizable a través de los paneles solares. Hay que tener en cuenta que en las especificaciones de los equipos del sistema fotovoltaico se relaciona información obtenida bajo parámetros teóricos hechos en laboratorio pero que en las aplicaciones prácticas puede variar modificando su eficiencia y por lo tanto la capacidad que puede ser útil.

Para efectos de una validación de los datos teóricos se realiza un montaje de un sistema fotovoltaico completo con la capacidades que se calcularon anteriormente, buscando medir las siguientes variables en un periodo de 7 días, considerando este lapso adecuado para poner a prueba el arreglo solar vs el consumo energético real:

- Potencia eléctrica de los paneles (wattios)
- Voltaje producido por los paneles (voltios) –
- Temperatura de los paneles (°C)
- Temperatura de la batería (°C)
- Nivel de carga de la batería (voltios)
- Adecuado funcionamiento de los electrodomésticos conectados al sistema solar.

Tabla 3.
Capacidades del modelo

Item	Especificaciones	Qty
Paneles solares	150 W - Policristalino- IP65 - Eficiencia del 21%	2
Bateria	AGM - 12V - 250 Ah	1
Controlador	12V - 30Ah - MPPT	1
Inversor	12V - 2000W - Onda pura	1
Cable	6mm ² - 1.5 kV - cobre	10
Braker doble	32Ah - conexión paneles solares	1
Braker doble	32Ah - entre controlador y bateria	1
Braker sencillo paneles	50Ah - entre bateria e inversor	1
Polo a tierra	Cobre - 5/8 - 1.5M	1
Regleta porta braker	1 metro en lamina galvanizada	1

Nota: Elaboración propia

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 4.
Resultados de la muestra.

RESULTADOS DE LA MUESTRA				
VARIABLE	ACUMULADO 7 DIAS	PROMEDIO DIA	MAXIMO PROM/ DIA	MINIMO PROM/ DIA
Potencia eléctrica de los paneles (wattios)	7.310	1.044	253	44
Temperatura de los paneles (°C)		36,3	59,0	11,6
Temperatura de la batería (°C)		15,9	19,5	10,3
Nivel de carga de la batería (voltios)		14,2	14,7	12,3
Consumo de energía	5.968	852,6		

Nota: Elaboración propia

En la tabla 4 se puede observar que en el lapso de 7 días el consumo energético fue el 81,64% del total de energía generada. Este resultado muestra la suficiencia de la instalación a pesar de que se utilizó la lavadora dos veces a la semana y no una como usualmente lo hace la familia campesina.

Todos los electrodomésticos funcionaron adecuadamente tanto en desempeño como en tiempo de operación. De igual forma, este resultado afirma que si se da la

suficiencia energética con un sistema solar calculado teóricamente (tabla 3).

Es importante resaltar el nivel de carga con que amanecía la batería y que determina el nivel de descarga que se da durante la noche afectando la vida útil de la batería. El mínimo promedio fue de 12,3 voltios indicando esto una descarga del 30% tal como se observa en la figura 11. Con este nivel de descarga se tendría una vida útil estimada de 1.900 ciclos – 5,2 años (a una temperatura teórica de 25°C). Por otra parte, el promedio de temperatura que tuvo la batería durante la muestra fue de 15,9°C se calcula una vida útil de 10 años como se observa en la figura 9. Estos dos hallazgos permiten sugerir que la batería tendría una vida útil entre 5,2 a 10 años.

Figura 11.

Profundidad de descarga de la batería AGM.

AGM	
Level	Voltage
100%	13.00
90%	12.75
80%	12.50
70%	12.30
60%	12.15
50%	12.05
40%	11.95
30%	11.81
20%	11.66
10%	11.51
0%	10.50

Nota: Recuperado de ECO-SOCH

6.5 Disposición y orientación óptima

Determinar la orientación e inclinación adecuadas de los paneles solares para maximizar la captación de radiación solar, considerando la trayectoria solar.

Con el fin de determinar unos datos objetivos acerca de la diferencia de la captación de la radiación dependiendo de su ángulo de incidencia sobre el plano de los paneles solares, se realizó un muestreo utilizando un detector digital de radiación ultravioleta modelo Kf-90 que registra el índice UV en micro watios por centímetro cuadrado ($\mu W/cm^2$) tanto en el plano mismo de los paneles solares como en una posición perpendicular entre el panel y la posición del sol. La medición para la radiación perpendicular y variable se registró en el mismo momento bajo las mismas condiciones atmosféricas. Los resultados obtenidos fueron los siguientes resultados:

Tabla 5. Variación de la radiación en función del ángulo de incidencia.

Fecha	Hora	Angulo	UV RADIATION uW/cm2	Factor (veces)
6/03/2024	7:30	90°	380	15,2
		23°	25	
	8:30	90°	1149	7,0
		35°	165	
	9:00	90°	1250	3,9
		43°	317	
	9:30	90°	1500	2,2
		52°	667	
	10:00	90°	1500	1,5
		58°	1016	
	10:30	90°	1495	1,0
		65°	1495	
	11:00	90°	1446	1,0
		72	1446	
	11:30	90°	479	1,0
		77°	479	
	12:30	90°	1495	1,0
		82°	1495	
14:30	90°	311	0,6	
	55°	506		
15:30	90°	1321	2,6	
	39°	499		
16:30	90°	705	7,8	
	25°	90		

Nota: Elaboración propia

Como se observa en a tabla 3, la radiación cambia significativamente en un rango del factor de número de veces en un rango entre 1 y 15,2 veces de diferencia. Por esta razón es sumamente relevante tanto la ubicación como el ángulo en que se posicionen los paneles.

Dentro de la propuesta de este estudio se encuentra el planteamiento de una estructura giratoria sobre sus ejes vertical y horizontal. El primero de ellos tendrá un ajuste en intervalos mensuales, mientras que sobre el eje horizontal deberá ser idealmente movido a lo largo del día.

7. MARCO DE REFERENCIAS

En las últimas décadas, la creciente preocupación por los efectos de los combustibles fósiles en el medio ambiente y la necesidad de fuentes de energía renovables han impulsado el desarrollo de tecnologías solares fotovoltaicas. Sin embargo, según Beringer et al. (2011), "los factores económicos, culturales y las estrategias de los principales actores en el sector energético han influido en la adopción de estas tecnologías". moldeando la dirección de los avances académicos en este campo.

La cultura del consumo energético masivo ha tenido un impacto significativo en la forma en que se aborda la investigación y el desarrollo en el ámbito de la energía solar. Según Moner-Girona et al. (2014), "la investigación y el desarrollo se han centrado principalmente en grandes instalaciones centralizadas, dejando de lado el potencial de las tecnologías renovables descentralizadas para satisfacer las necesidades energéticas de las comunidades rurales y los hogares". En un mercado impulsado por la demanda de energía y la búsqueda de rentabilidad económica, las investigaciones académicas tienden a centrarse en tecnologías de generación de gran escala, como los parques solares, dejando de lado alternativas más descentralizadas y centradas en la autosuficiencia energética de comunidades y hogares.

La mentalidad de consumismo ha llevado a priorizar soluciones que maximicen la producción de energía en detrimento de la exploración de sistemas energéticos más adaptados a los contextos locales y accesibles para todos los sectores de la sociedad. Miller et al. (2015) afirma que la investigación y las políticas energéticas actuales se

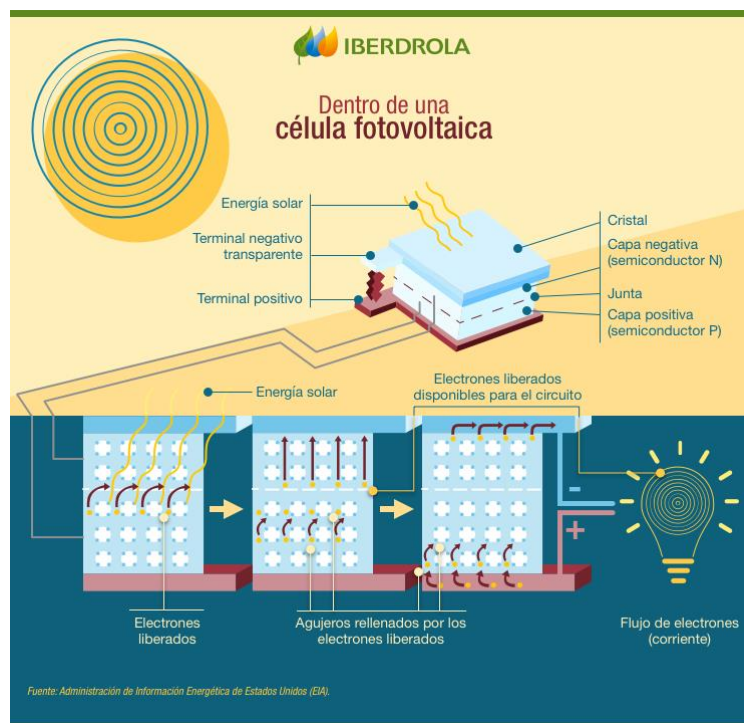
enfocan principalmente en sistemas de energía centralizados y de gran escala, impulsados por objetivos de crecimiento económico. Esto ha obstaculizado la búsqueda de soluciones energéticas descentralizadas y adaptadas a las necesidades locales. Como resultado, los sistemas solares a pequeña escala y su aplicación en ambientes domésticos o comunitarios han recibido menor atención y financiamiento en la investigación. La autarquía energética, definida por Rae y Bradley (2012) como "la capacidad de una comunidad o individuo para satisfacer sus propias necesidades de energía de manera sostenible, utilizando recursos locales y renovables", está limitada por esta falta de atención a soluciones descentralizadas. La exploración de sistemas solares a pequeña escala que se adapten a las necesidades locales podría aumentar la autonomía y la resiliencia energética.

Antes de profundizar en los factores que moldean esta investigación, es importante comprender los principios fundamentales de la energía solar fotovoltaica. Este proceso es el cual mediante la energía solar fotovoltaica se transforma en energía eléctrica.

En su artículo "Energía solar fotovoltaica", Adler, Berardi, García Pedrosa, Monticelli y Morquecho (2013) explican que los fotones, pequeñas partículas energéticas, son los componentes principales de la radiación solar. Las células fotovoltaicas están compuestas de dos capas, la negativa (N) y la positiva (P), son cargas opuestas separadas por una junta neutral. La capa N se genera al modificar una estructura cristalina de silicio para conseguir el exceso de electrones, mientras que la capa positiva le hace falta un electrón para hacer estable comportándose como una carga

positiva en la red cristalina. Por lo tanto, se crea esa junta neutral, la cual cuando se expone a la luz solar la zona negativa libera los electrones aumentando la diferencia de potencia entre las zonas negativas y positivas. Esta diferencia en el circuito cerrado produce la corriente eléctrica, la cual se utiliza en el sistema fotovoltaico (Iberdrola,sf).

Figura 12.
Funcionamiento célula fotovoltaica.


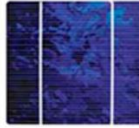



Nota: Recuperado de Iberdrola.

Hoy en día la mayoría de las células son de silicio, puesto que es un el segundo elemento más abundante en el planeta haciéndolo más económico. Este material es depurado y cristalizado para posteriormente cortarlo en capas muy delgadas y formar la célula. Dependiendo del proceso del silicio existen.

- Monocristalino: Este tipo de células tienen una composición química con un cristal único, es decir, que tienen una estructura cristalina continua, permitiendo una perfecta alineación en los átomos, favoreciendo la conductividad. Su tiempo de fabricación es mayor que el resto, por lo tanto el costo es superior.
- Policristalino: La célula tiene bordes cuadrados. Esto quiere decir que las esquinas forman ángulos de 90° y su estructura no es continua. El silicio policristalino está compuesto por pequeños cristales de silicio dándole su coloración de tonalidad diferente, haciéndolo ver como si tuviera escamas.
- Amorfo: Tiene una estructura atómica y regular, ya que el silicio es depositado en películas delgadas flexibles como lo es el vidrio, el metal o plástico, permitiendo que los paneles se adapten más fácilmente a cualquier superficie.

Figura 13.
Células más comunes de silicio

TECNOLOGÍA DE CELDAS	CARACTERÍSTICAS
 Monocrystalina	Estructura : Formada por celda sencilla de silicón Módulo de Eficiencia típico: 13 % - 20% (17 % a 22 % de acuerdo con SHC e IEA)
 Policristalina	Estructura formada por multicristales de silicón Eficiencia Típica de Módulo: 14 % a 16 % (11 % a 17 % de acuerdo con SHC e IEA)
 Lámina Delgada	Estructura: Formado de silice amorfo Módulo de Eficiencia Típico: 6 % a 12 % (4 % a 8 % en celdas amorfas de silicón con otros materiales semiconductores hasta 12 % de acuerdo a a IEA y SHC)

Nota: (Reddi Jarayama 2009).

Los paneles solares se componen de estos diferentes tipos de celdas fotovoltaicas de silicio. Según Arencibia-Carballo (2016), "los paneles solares no son más que un conjunto de celdas solares fotovoltaicas unidas ensambladas" (p. 1). La estructura fundamental de los sistemas de generación de energía solar fotovoltaica consiste en la agrupación y encapsulación de múltiples celdas en un solo panel. La eficiencia energética requerida, el costo y las condiciones ambientales donde se instalarán los paneles determinarán el tipo de celda que se elija.

Un sistema solar fotovoltaico completo no solo incluye los paneles solares, sino también otros componentes esenciales para su funcionamiento y aprovechamiento óptimo de la energía generada. En los sistemas solares fotovoltaicos, las baterías desempeñan un importante rol al almacenar la energía generada por los paneles durante las horas de sol para su posterior uso en la noche principalmente. Existen 4 tipos de baterías:

1. **Baterías monoblock:** Las baterías monoblock de plomo-ácido abierto están compuestas por celdas con dos placas de plomo que hacen de electrodos bañadas en un electrolito líquido a base de ácido sulfúrico diluido. Están compuestas generalmente por 6 celdas de 2 que van interconectadas en serie para proporcionar 12 voltios. Durante su operación, experimentan una evaporación de gases tras su calentamiento.

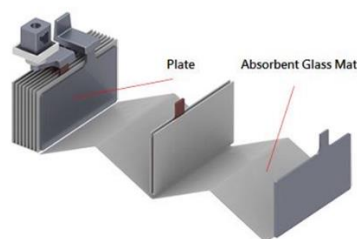
Figura 14.
Partes de la batería de plomo-acido abierto



Nota: Autosolar.

2. Baterías AGM (Absorbed Glass Material): Estas baterías selladas utilizan una malla de fibra de vidrio para absorber el electrolito ácido, lo que les permite una recombinación eficiente de los gases y evita la necesidad de mantenimiento. El oxígeno producido en las placas positivas de la batería es absorbido por las placas negativas. Esto suprime la generación de hidrógeno en las placas negativas. La recombinación de oxígeno e hidrógeno da lugar a agua, reteniendo la cantidad de electrolito dentro de la batería.

Figura 15.
Características batería AGM.



Nota: Autosolar.

3. Baterías de gel: Son muy similares a las AGM en sus características, se diferencian en que tienen un electrolito gelificado y están selladas, lo que evita la emisión de gases nocivos.

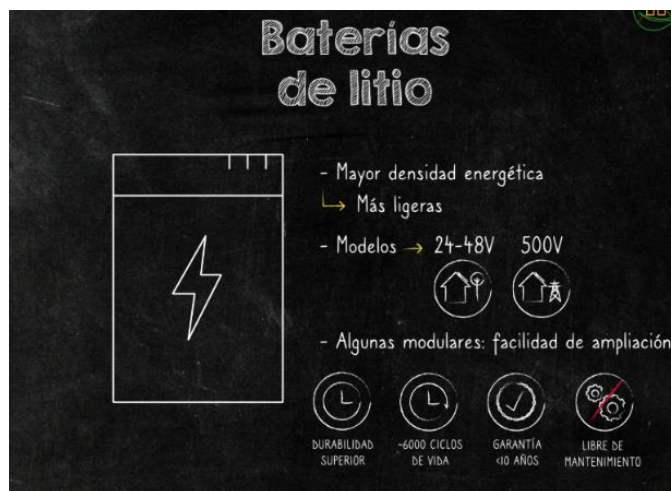
Figura 16.
Características batería de gel.



Nota: Autosolar.

4. Baterías de litio: Ofrecen una mayor densidad de energía, una carga más rápida y una vida útil más larga en comparación con las baterías de plomo-ácido. Son más ligeras, no emiten gases y no tienen efecto memoria, lo que permite descargas al 100% sin daños. Sin embargo, su costo inicial es más elevado.

Figura 17. Características baterías de litio.



Nota: Autosolar.

Además de las baterías se necesita el regulador de carga. Este controla el flujo de energía entre los paneles solares, las baterías y las cargas eléctricas. Como señalan Eltawil y Zhao (2010), estos dispositivos evitan que las baterías se sobrecarguen o descarguen excesivamente, prolongando su vida útil. Funcionan monitoreando el estado de carga de las baterías y ajustando el flujo de corriente de los paneles solares hacia ellas o hacia las cargas eléctricas conectadas. Además, protegen al sistema de condiciones anómalas, como sobrecargas o cortocircuitos, asegurando un funcionamiento seguro y eficiente.

Hay varios tipos de reguladores, pero los más utilizados son 2:

1. Los reguladores de carga Pulse Width Modulation (PWM) emplean la técnica de modulación por ancho de pulsos para controlar la carga de baterías en sistemas fotovoltaicos. Funciona conectando y desconectando intermitentemente los

2. Un regulador MPPT (Maximum Power Point Tracking) es un dispositivo que permite maximizar la energía extraída de los paneles solares, ajustando continuamente su punto de operación al punto de máxima potencia. Funciona monitoreando la curva característica voltaje-corriente de los paneles y utilizando algoritmos de seguimiento para identificar y mantener el voltaje y corriente óptimos, logrando así la máxima transferencia de potencia en cualquier condición ambiental. Esto lo hace más eficiente que los reguladores convencionales, especialmente cuando hay sombras parciales o baja irradiancia solar (Camisa et al., 2019).

Para finalizar el inversor es necesario para completar los componentes esenciales de un sistema solar. Debido a que "el inversor convierte la energía de DC producida por los módulos fotovoltaicos en energía de AC utilizable por los electrodomésticos y otros dispositivos eléctricos" (Tsao, 2019), es un componente crucial de los sistemas de energía solar. El inversor pasa por un proceso en dos etapas. Primero, un circuito rectificador convierte la corriente continua de los paneles solares en una corriente continua estable y regulada. Luego, un circuito inversor transforma esta corriente continua en una corriente alterna sinusoidal, que coincide con el voltaje y la frecuencia de la red eléctrica local. "Los inversores solares modernos utilizan técnicas de conmutación electrónica para generar una onda sinusoidal casi perfecta" (Khaligh & Onar, 2015). Por lo tanto los inversores solares son dispositivos cruciales que permiten aprovechar al máximo la energía generada por los sistemas fotovoltaicos. Su avanzada

tecnología de conversión electrónica garantiza una operación eficiente y confiable, sincronizando la energía producida por los paneles con los requerimientos de la red eléctrica o las cargas de corriente alterna.

Este conjunto de componentes, que incluye desde la selección de células fotovoltaicas hasta la implementación de reguladores y baterías avanzadas, no solo mejora la eficiencia y confiabilidad de los sistemas solares fotovoltaicos, sino que también es esencial para lograr objetivos más amplios de sostenibilidad y autosuficiencia. Estos elementos son aún más cruciales en entornos residenciales o comunitarios donde la independencia energética es un objetivo importante.

Es de destacar que la adopción de la generación alternativa a nivel comunitario y familiar sigue siendo limitada debido a los componentes de un sistema de energía solar y las tecnologías cada vez más inteligentes. Esta limitación se debe principalmente a la falta de investigación académica y desarrollo de modelos de generación solar descentralizados que sean fáciles de usar y adaptados a las necesidades locales. (Rae & Bradley, 2012).

Es fundamental que la investigación académica aborde estas limitaciones y explore modelos de generación de energía solar más descentralizados y adaptados a las necesidades locales. Esto no solo promoverá la autosuficiencia energética a nivel familiar y comunitario, sino que también promoverá una transición energética más justa y sostenible. Para desarrollar soluciones energéticas integrales que satisfagan las

necesidades de todas las partes interesadas, es esencial que los académicos, las comunidades locales y los actores de la industria trabajen juntos.

La evaluación de la suficiencia energética para la vivienda campesina en la región de páramo cercana al Parque Nacional Chingaza se basa en la necesidad de abordar las carencias energéticas en entornos rurales específicos. Según estudios previos que evidencian la falta de atención a modelos descentralizados en estas áreas, se reconoce la importancia de la evaluación para adaptar y fortalecer soluciones energéticas.

8. ANÁLISIS DE RESTRICCIONES

El siguiente análisis de las restricciones tiene como propósito reconocer y valorar los factores principales que podrían restringir o dificultar la ejecución del proyecto. Dada la lejanía del lugar y las condiciones medioambientales específicas de la zona, es esencial tener en cuenta posibles restricciones en aspectos medioambientales, geográficos, económicos, legales, sanitarios y de seguridad, así como consideraciones socioculturales, con el propósito de identificar posibles obstáculos y elaborar estrategias eficaces.

8.1 Ambientales

- Flora y fauna: La instalación de un sistema de energía solar en una zona cerca al páramo podría tener impactos sobre la flora y fauna nativa de la región. Realizar estudios de impacto ambiental es fundamental para identificar las especies presentes y tomar medidas para reducir la afectación durante la

construcción y operación del sistema. El Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Colombia ha desarrollado estrategias para preservar los páramos, reconociendo su valor ecológico y su función en la regulación hídrica y la conservación de la biodiversidad (Vergara, 2020). Estas estrategias incluyen la delimitación de áreas protegidas, la promoción de prácticas sostenibles y la investigación continua para mejorar la comprensión de estos ecosistemas. La implementación de proyectos de energía solar en los páramos debe alinearse con estas estrategias de conservación, asegurando que la infraestructura no comprometa la integridad ecológica del área.

8.2 Económicas:

- Uno de los principales obstáculos económicos para la implementación de sistemas de energía solar fotovoltaica en zonas rurales es el alto costo inicial de adquisición. De acuerdo con el estudio realizado por Gómez & Arango en 2019, el análisis económico y financiero sobre la implementación de estos sistemas en áreas rurales destaca que estos gastos pueden dificultar significativamente la adopción de energía solar en las comunidades con recursos limitados. Además, la actual situación de inestabilidad económica y fluctuaciones cambiarias en Colombia podría agravar aún más este desafío, poniendo en riesgo la compra de componentes y equipos solares importados. El estudio "El impacto de la volatilidad cambiaria en la adquisición de tecnología solar en Colombia" de García et al. (2020) examina cómo los cambios en el tipo de cambio pueden afectar los costos de importación de tecnología solar en el país, revelando que

las variaciones en los precios de los equipos solares importados pueden causar una gran incertidumbre económica, dificultando aún más la adquisición de estos sistemas en un contexto de devaluación de la moneda local. Por lo tanto, es fundamental explorar mecanismos de financiamiento accesibles y evaluar cuidadosamente la relación costo-beneficio a largo plazo para asegurar la viabilidad económica del proyecto en zonas rurales con recursos limitados.

8.3 Legales

En cuanto a las restricciones legales para la implementación de un sistema de energía solar fotovoltaica en una vivienda campesina, es importante considerar las siguientes regulaciones y normativas en Colombia:

- Ley 697 de 2001 (Uso Racional y Eficiente de la Energía): Esta ley tiene como objetivo promover el uso racional y eficiente de la energía, así como la utilización de fuentes energéticas alternativas. Establece lineamientos generales para el desarrollo de proyectos de energía renovable, incluyendo la energía solar fotovoltaica.
- Resolución 1283 de 2016 del Ministerio de Minas y Energía: Esta resolución regula la actividad de autogeneración a pequeña escala y establece los requisitos técnicos y legales para la conexión de sistemas de generación de energía renovable a la red eléctrica nacional. Aunque en este caso se trata de un sistema aislado, es importante conocer los estándares y requerimientos establecidos por esta resolución.

Adicionalmente, es necesario considerar las siguientes regulaciones relacionadas

con la instalación y operación de sistemas fotovoltaicos:

- Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE): Establece los requisitos y medidas que garantizan la seguridad en las instalaciones eléctricas, incluyendo las de sistemas fotovoltaicos.
- Normas técnicas colombianas (NTC) relacionadas con la instalación y certificación de equipos fotovoltaicos, como la NTC 5901 (Especificaciones técnicas de sistemas fotovoltaicos) y la NTC 2050 (Código Eléctrico Colombiano).
- Regulaciones ambientales sobre la gestión y disposición final de baterías y componentes electrónicos, como el Decreto 4741 de 2005 y la Resolución 1675 de 2013 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

8.4 Salud y seguridad:

- La implementación de un sistema de energía solar fotovoltaica en una vivienda campesina conlleva importantes consideraciones de salud y seguridad. Los principales riesgos para los campesinos están relacionados con descargas eléctricas y posibles incendios. Estos riesgos se ven exacerbados por el hecho de que los sistemas solares residenciales suelen operar a voltajes de 12, 24 o 48 voltios en corriente continua, lo que implica riesgos de descargas eléctricas graves si no se toman las precauciones adecuadas en cuanto a instalación, mantenimiento y capacitación de los usuarios. Además, el manejo y disposición final de las baterías utilizadas en estos sistemas debe realizarse de acuerdo con las regulaciones ambientales establecidas por el Ministerio de Ambiente y

Desarrollo Sostenible, como el Decreto 4741 de 2005 y la Resolución 1675 de 2013, para evitar impactos negativos en la salud humana y el medio ambiente. Por lo tanto, es fundamental implementar medidas rigurosas de seguridad, capacitación y gestión de residuos para garantizar la protección de los campesinos y la sostenibilidad del proyecto.

8.5 Socioculturales:

- La implementación exitosa de un sistema de energía solar fotovoltaica en una comunidad campesina enfrenta importantes desafíos socioculturales. Algunas comunidades rurales tienen una percepción generalizada de que los recursos naturales deben ser gratuitos, lo cual puede generar resistencia a la adopción de sistemas de energía con costos asociados. Además, el bajo nivel educativo en estas comunidades puede dificultar comprender y construir sistemas de energía renovable de manera autónoma. Adicionalmente, la falta de conciencia y educación sobre el uso responsable y sostenible de los recursos energéticos puede constituir un obstáculo adicional para la adopción y el aprovechamiento óptimo de estas tecnologías. Por lo tanto, es fundamental implementar programas de concientización, capacitación y empoderamiento comunitario que aborden estas barreras socioculturales, fomenten la comprensión de los beneficios de la energía renovable y aumenten la participación de los campesinos en el mantenimiento y gestión del sistema solar, asegurando así su sostenibilidad a largo plazo.

9. METODOLOGÍA

Para esta investigación se utiliza una metodología cuantitativa basada en la recopilación de datos con un muestreo por conveniencia (Hernández, O. 2021) sobre la captación de radiación solar, generación eléctrica, demanda energética y la variación de captación correlacionada con el ángulo de incidencia sobre las placas fotovoltaicas. Se analizan las siguientes variables para el consumo energético de las familias campesinas y la autogeneración de energía del sistema fotovoltaico:

- Radiación ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$): Medición de la radiación solar en la zona adyacente al Paramo de Chingaza, caracterizada por su nubosidad, con registros en diferentes horas del día. Dado que esta variable afecta directamente la cantidad de energía que los paneles solares son capaces de captar.
- Almacenamiento (Amperios): Cantidad de amperios que es posible almacenar en las baterías AGM y que determina la capacidad y autonomía del sistema solar, en periodos de baja radiación y en las noches.
- Consumo (Watts Hora): Es la cantidad de energía que la vivienda campesina consume utilizando los aparatos eléctricos (de 120 voltios en corriente alterna) en una unidad de tiempo determinada, para efectos del estudio se utiliza la unidad de día (24 horas).

Dada la nula presencia de sistemas fotovoltaicos en la zona de estudio se requiere verificar el nivel de radiación que puede ser captado en las condiciones climáticas específicas para la demanda energética de una familia campesina.

Al determinar el consumo (wattios/día) de la familia campesina se puede establecer el número de paneles solares que logren captar dicha cantidad de vatios día.

Posteriormente se determina el amperaje (Amp) de reserva que se desea tener con el fin de establecer el tamaño de la batería adecuada.

9.1 Diagrama de flujo

Figura 19.
Diagrama de flujo parte 1

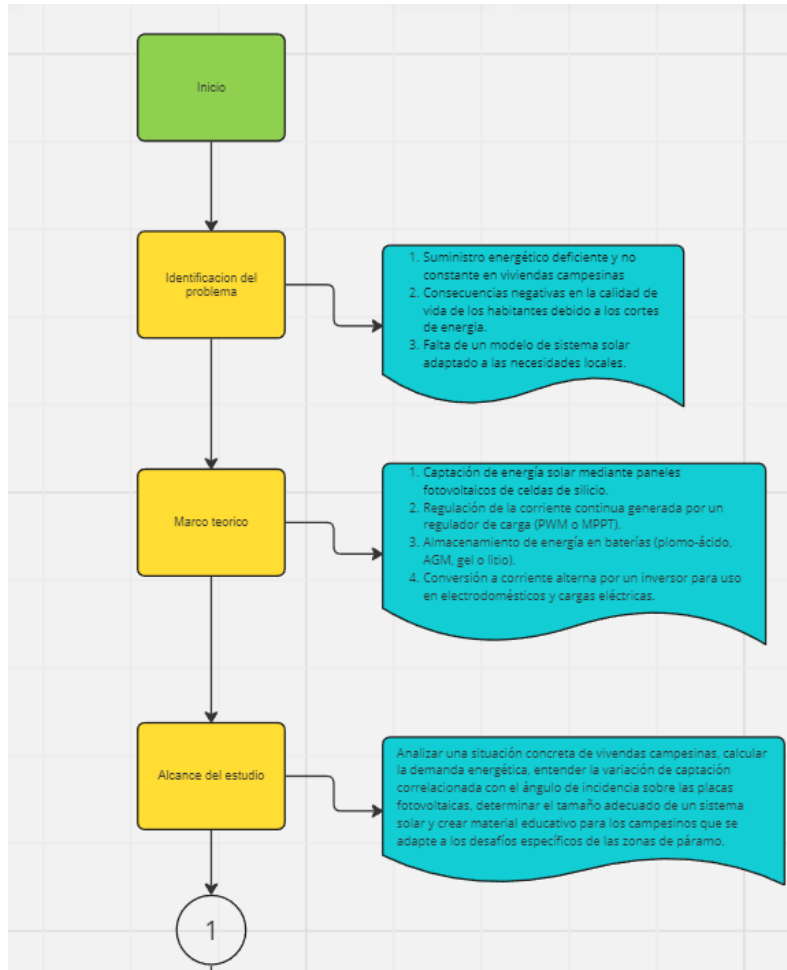


Figura 20.
Diagrama de flujo parte 2

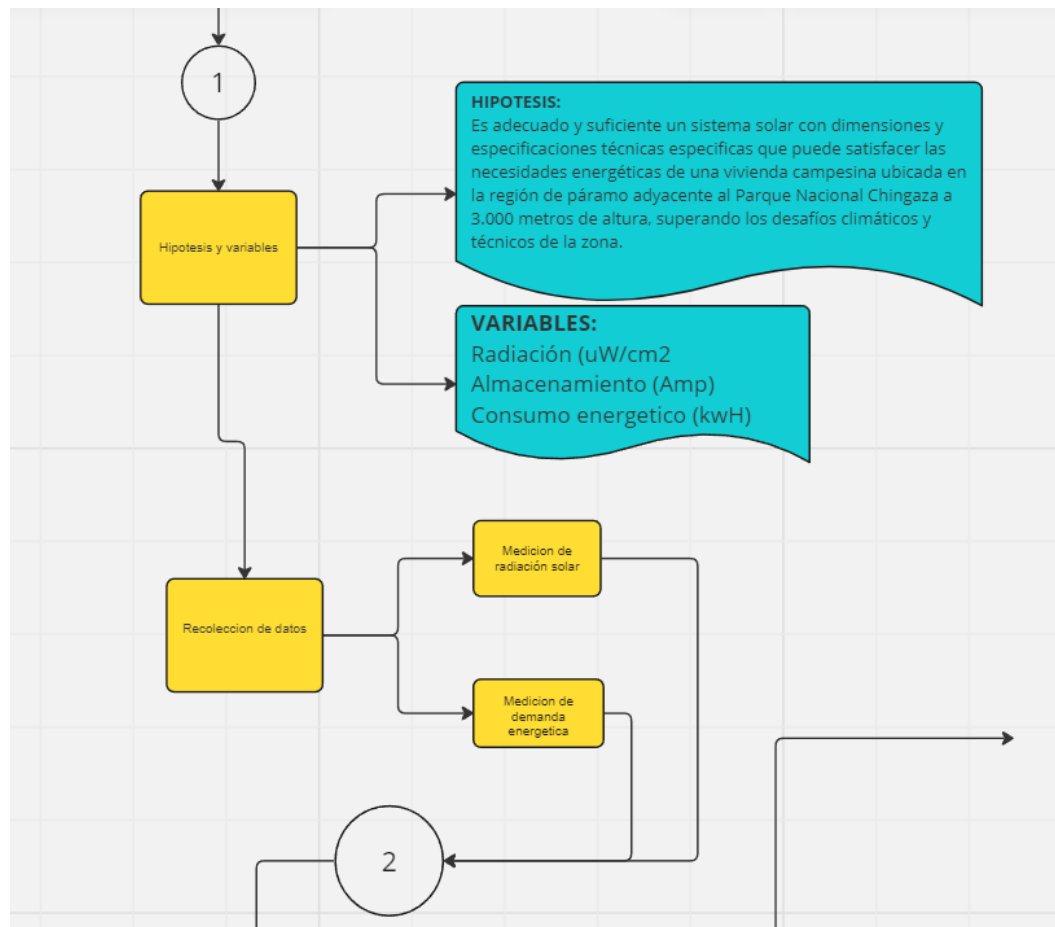


Figura 21. Diagrama de flujo parte 3

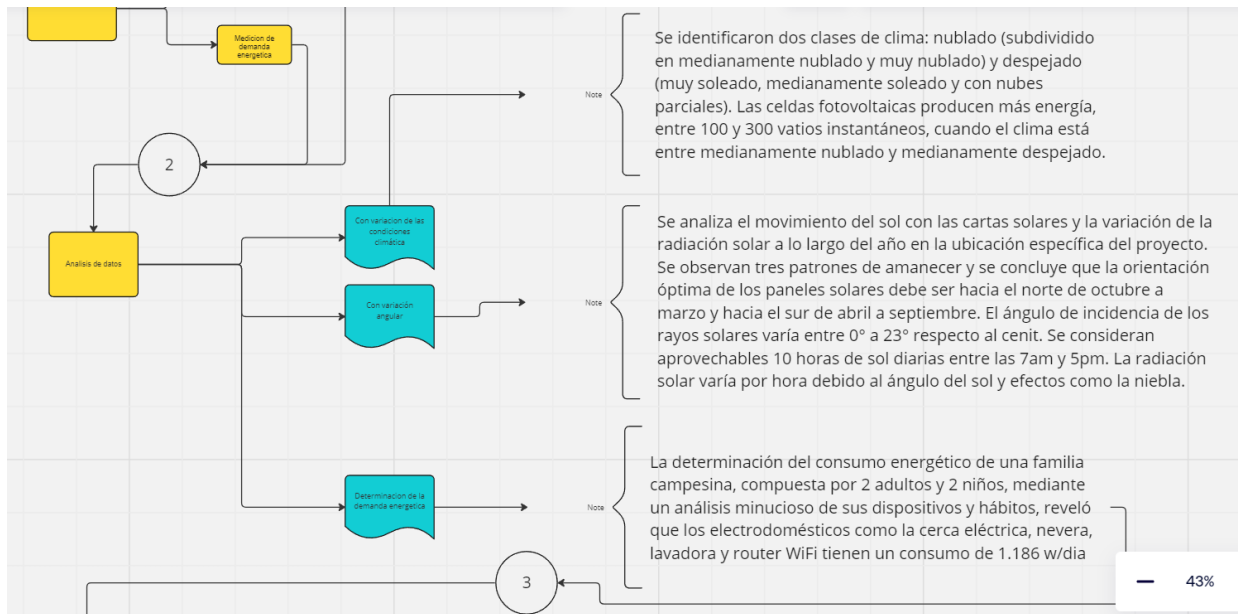


Figura 22. Diagrama de flujo parte 4

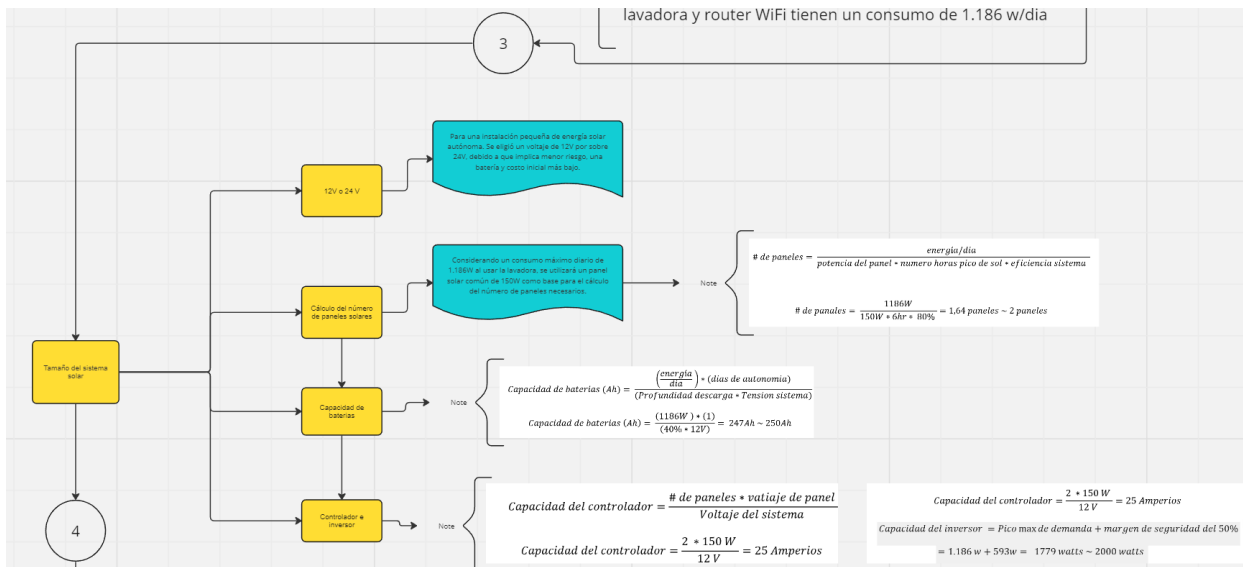


Figura 23. Diagrama de flujo parte 5

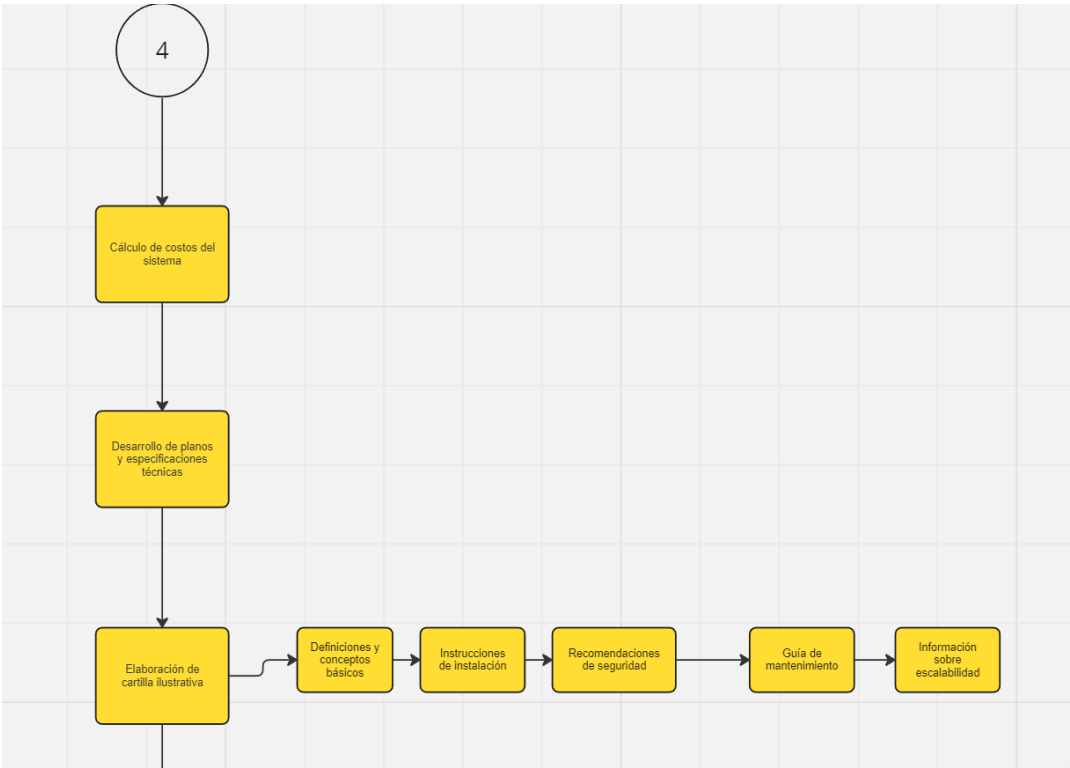
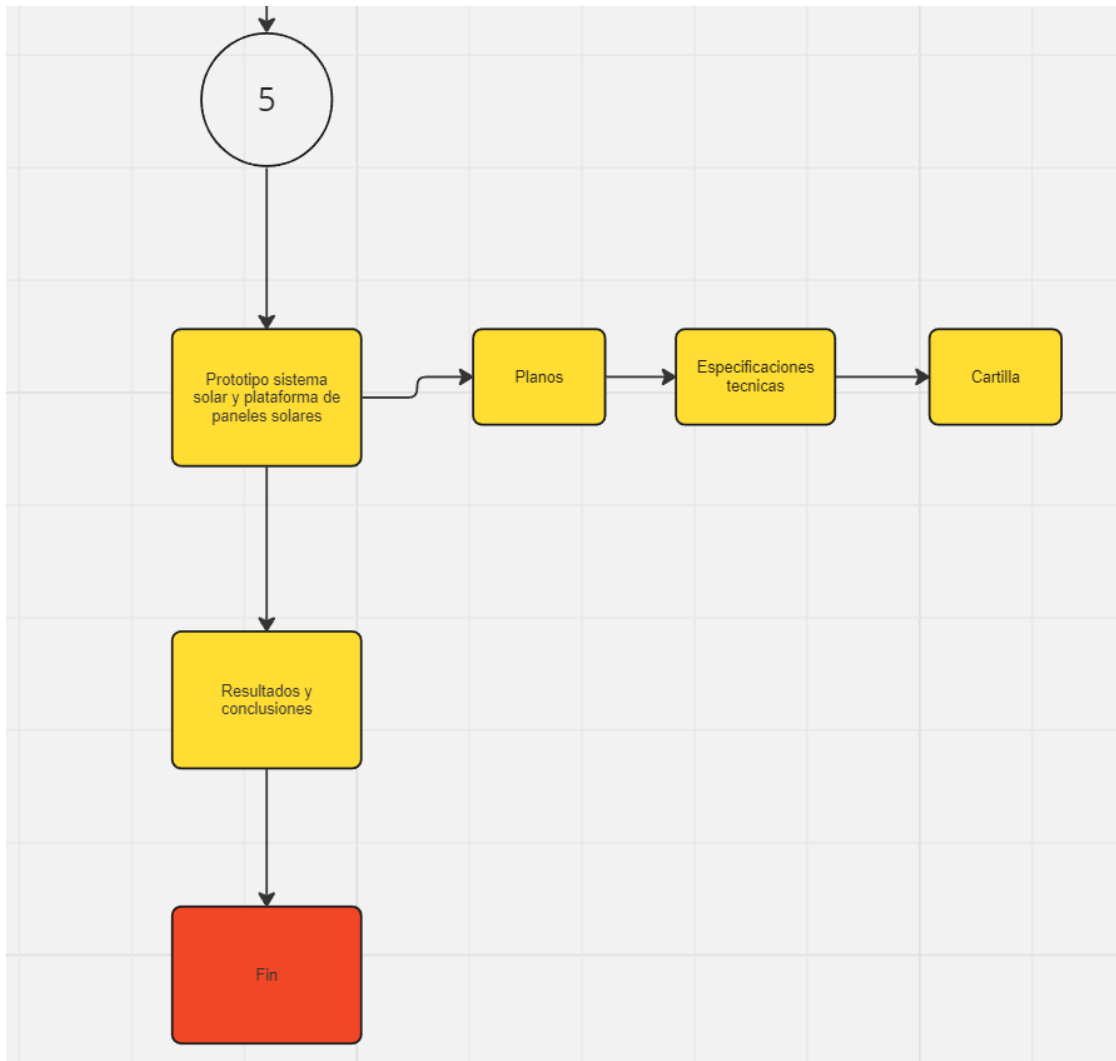


Figura 24.Diagrama de flujo parte 5



Link del diagrama de flujo:

https://miro.com/app/board/uXjVKYHOI18=/?share_link_id=660276671478

9.2 Soluciones alternativas

Al analizar la problemática existente de energía en la región adyacente al paramo de Chingaza se consideraron las siguientes posibilidades para garantizar un mejor y constante suministro energético:

- Suministro de la red convencional

En este caso se solicitaría que ENEL, la compañía suministradora de energía para la zona, hiciera adecuaciones a su infraestructura para garantizar el constante flujo de energía, sin embargo, la problemática de cortes de energía se ha presentado durante al menos los últimos 30 años sin cambio o solución. Así mismo, para los puntos nuevos el proceso de solicitud e instalación ha pasado de 3 a 8 meses de espera y el costo asciende hasta los \$9.000.000. Por otra parte, los requerimientos técnicos de infraestructura del inmueble necesarios para la aprobación cada vez son más exigentes (tipología urbana) dejando sin esta opción a una gran porción de los campesinos.

- Energía eólica

Se validó la velocidad del viento en la zona de estudio a través del uso de un anemómetro digital encontrando un promedio de 1.5 m/s con ráfagas momentáneas de hasta 3 m/s y momentos con velocidades de aproximadamente de 0 m/s. Esta velocidad es baja dado que una turbina de 1.5 kilo watts, la cual sería recomendable para el consumo de la familia campesina necesita 6.26 metros por segundo de velocidad promedio para entregar su capacidad nominal (Departamento de Energía, EE. UU, 2007).

Desde el punto de vista de costo de inversión inicial la turbina vale 4 veces más que el número equivalente en paneles solares (300W). Igualmente el costo de mantenimiento es muy superior debido a que al ser un sistema con mecanismos móviles el deterioro en el corto y mediano plazo es inevitable. Siendo esta una gran desventaja en comparación con los paneles solares.

Por otra parte el ruido y movimiento de la hélice produce un efecto negativo sobre los ecosistemas de flora y fauna del páramo, al espantar las especies de aves de la zona.

- Campo solar para toda la vereda o municipio

Esta alternativa consiste en construir una planta solar generadora de energía de escala media que abastezca toda la vereda aplicando el modelo existente de acueductos veredales. En este caso se requiere concertar con las comunidades con diferentes intereses y capacidades económicas, lo que supone un reto social, económico y cultural de gran nivel. Por otra parte se requieren grandes extensiones de tierra para el montaje del parque solar con los consecuentes costos de tierra, mantenimiento y seguridad.

- Biogás a partir del metano

Consiste en la generación de gas metano a partir de la fermentación de los desechos orgánicos a través de un proceso anaeróbico dentro de biodigestores. Las principales fuentes son los residuos de cocina y el estiércol humano y animal.

Esta alternativa presenta varios desafíos relacionados tales como:

- Requiere movilización masiva de estiércol de ganado (no hay producción porcícola) en grandes extensiones de tierra.
- El manejo del gas metano requiere tener unos parámetros de seguridad bastante estrictos para evitar explosiones o contaminación ambiental.

Los sistemas de energía solar ofrecen ventajas en comparación con otras fuentes de energía renovables como la eólica o el biogás. Hoy en día, los paneles solares tienen una larga vida útil de hasta 30 años, lo que los convierte en una inversión duradera y sostenible. Las baterías utilizadas, dependiendo de su nivel de descarga, pueden tener una vida útil real de entre 10 y 15 años.

Algunas de las principales ventajas también son su bajo mantenimiento, bajo costo, seguridad en su manipulación y alta disponibilidad de equipos. Además, requieren un lugar de instalación pequeño en comparación con otras fuentes renovables. Su capacidad de captación y generación eléctrica es adecuada para pequeñas instalaciones y su escalabilidad a futuro es posible y sencilla con costos accesibles.

Una experiencia de autosuficiencia con un montaje solar de prueba ha demostrado su eficacia. Este sistema proporciona energía de forma constante y sin interrupciones, a diferencia de la energía eólica, que depende de la presencia de vientos constantes, y el biogás, que requiere un suministro continuo de materia orgánica.

Los sistemas solares aprovechan la energía del sol, un recurso abundante y gratuito. Esto los convierte en una opción más confiable y predecible, especialmente en regiones con altos niveles de radiación solar.

Otro aspecto a considerar es el impacto ambiental. Los sistemas de energía solar son silenciosos y no generan emisiones contaminantes durante su funcionamiento, convirtiéndolos en una alternativa respetuosa con el medio ambiente en comparación con las fuentes de energía fósiles.

10. ANALISIS DE COSTOS Y VIABILIDAD

Para determinar la conveniencia y viabilidad de un sistema de energía solar en la zona de estudio se tienen en cuenta los siguientes aspectos:

- Capacidad de generación de energía según las condiciones climáticas específicas del lugar de estudio.

De acuerdo con la información recopilada la radiación que puede ser captada es suficiente para suplir las necesidades de la familia campesina en las fincas adyacentes al paramo de Chingaza. Por su parte, la velocidad del viento que también fue medida no alcanzó el mínimo necesario de 6.6 m/s requeridos para mover la hélice necesaria.

- Tiempo y complejidad de la instalación del sistema.

El trámite de solicitud de la red tradicional es cada vez más demorado y complejo, esto debido a los nuevos requerimientos técnicos que se están solicitando particularmente en las zonas rurales.

Tabla 6.
Tiempo de montaje por tipo de energía.

Fuentes energéticas	Tiempo de montaje
Red tradicional	3 a 8 meses
Solar familiar	2 días
Eólica	7 días

Nota: Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla 4, las alternativas solar y eólica son muy prácticas en cuanto a su montaje y pueden ser realizadas en no más de una

semana. Se debe tener en cuenta que para el montaje eólico se requiere la instalación de un poste o soporte para la hélice que debe tener una altura de al menos 5 metros, implicando la construcción de los cimientos adecuados que requieren unos cálculos de ingeniería adicionales.

- Costo total de cada alternativa.

Para realizar el análisis de costos se toma como base el valor comercial que al año 2024 tienen los proveedores de los insumos necesarios en el país. Dado que está vigente la Ley 697 de 2001 (Uso Racional y Eficiente de la Energía) para fomentar el uso de energías sostenibles, algunos ítems están exentos del impuesto del IVA.

Tabla 7.
Costos de montaje del sistema solar.

Item	Especificaciones	Qty	Costo unitario	IVA	Costo total
Paneles solares	150 W - Policristalino- IP65 - Eficiencia del 21%	2	340.750	0%	681.500
Batería	AGM - 12V - 250 Ah	1	1.200.000	19%	1.428.000
Controlador	12V - 30Ah - MPPT	1	389.167	0%	389.167
Inversor	12V - 2000W - Onda pura	1	1.280.000	0%	1.280.000
Cable	6mm ² - 1.5 kV - cobre	10	6.629	19%	78.885
Braker doble	32Ah - conexión paneles solares	1	93.949	19%	111.799
Braker doble	32Ah - entre controlador y batería	1	93.949	19%	111.799
Braker sencillo paneles	50Ah - entre batería e inversor	1	16.281	19%	19.374
Polo a tierra	Cobre - 5/8 - 1.5M	1	181.593	19%	216.096
Regleta porta braker	1 metro en lamina galvanizada	1	20.000	19%	23.800
Plataforma	Riel y abrazaderas en Aluminio - Rango de ajuste entre 15° a 30°	1	400.000	19%	476.000

Total	4.816.421
--------------	------------------

Nota: Elaboración propia

Con el fin de establecer un escenario financiero comparable entre las diferentes alternativas de suministro de energía para la zona adyacente al paramo de Chingaza, se determinó un tiempo de 25 años dado que es el periodo según especificaciones técnicas de los paneles solares (Anexo 1), en los cuales ellos reducen su capacidad hasta el 80%, entendiendo esto como la necesidad del reemplazo total del sistema. Para eliminar el efecto del cambio de valor del dinero en el tiempo y para efectos de análisis, los costos se proyectan utilizando pesos del año 2024.

Tabla 8.
Costos totales de cada fuente energética.

Fuentes energéticas	Costos				Mantenimiento vida útil (pesos 2024)	Costo total durante vida útil	Vida útil
	Instalacion	Uso/Mes	Uso/Año	Uso/Vida útil			
Red tradicional	7.000.000 - 9.000.000	29.354	352.242	8.806.050	894.360	17.700.410	25 años
Solar familiar	4.816.421	0	0	-	2.700.997	7.517.418	25 años
Eólica	5.822.061	0	0	-	6.808.997	12.631.058	25 años

Nota: Elaboración propia.

Como se observa en la tabla 6, la alternativa solar tiene el menor costo total a lo largo de los 25 años.

Se utiliza un costo por Kwh de \$825 que corresponde a la tarifa rural vigente al momento de realizar este estudio. El consumo base para el análisis son los 1.181 Kwh/día encontrado en la medición de consumo de la familia campesina.

En el rubro de mantenimiento se tuvieron en cuenta los siguientes ítems de

acuerdo con lo indicado en las fichas técnicas de los fabricantes:

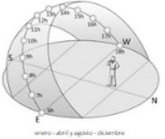
Tabla 9.

Ítems del rubro de mantenimiento.

Fuentes energéticas	Elementos	Costo
Red tradicional	Cambio de contador	\$ 410.000
	Fusibles	\$ 19.374
Solar familiar	Cambio batería	\$ 1.428.000
	Braker	\$ 111.799
	cambio inversor	\$ 1.280.000
	Cambio controlador	\$ 389.167
Eólica	Mantenimiento mecanico	\$ 250.000
	Braker	\$ 111.799

Nota: Elaboración propia.

Alternativa para mejorar la captación de energía solar



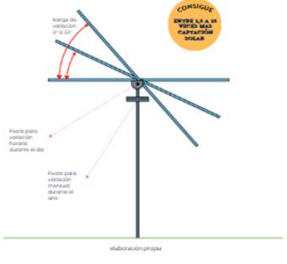
enero - abril y agosto - diciembre

La posición de sol cambia durante el año

Entre enero - abril y agosto - diciembre, ubica los paneles hacia el oriente sur oriente (Mundo Nuevo) y de mayo a julio hacia el este noreste (Simaya).

COMO PUEDO APROVECHAR LA VARIACIÓN DE POSICIÓN DEL SOL

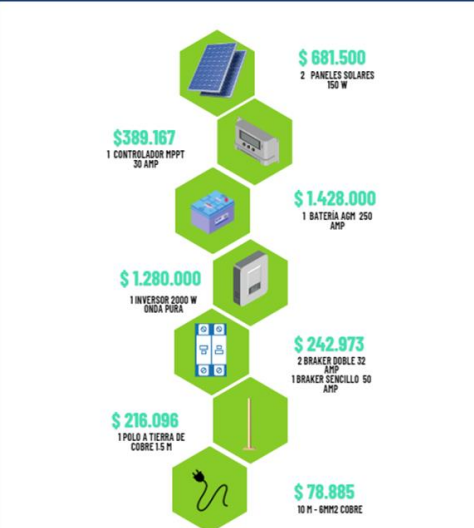
Tienes la posibilidad de colocar los paneles solares sobre una plataforma que puede variar su ángulo sobre los ejes horizontal y vertical, para de esta manera lograr recibir los rayos del sol de forma perpendicular y aumentar su eficiencia.



elaboración propia

Costos de tu sistema fotovoltaico

\$ 4.816.421



- \$ 681.500: 2 PANELES SOLARES 150 W
- \$ 389.167: 1 CONTROLADOR MPPT 30 AMP
- \$ 1.428.000: 1 BATERIA AGM 250 AMP
- \$ 1.280.000: 1 INVERSOR 2000 W ONDA PURA
- \$ 242.973: 2 BREAKER DOBLE T2 AMP, 1 BREAKER SENCILLO 50 AMP
- \$ 216.096: 1 POLO A TIERRA DE COBRE 1.5 M
- \$ 78.885: 10 M - 6MM2 COBRE

Nota: Elaboración propia

12. CONCLUSIONES

El objetivo principal era evaluar la suficiencia de los sistemas solares fotovoltaicos para satisfacer las necesidades energéticas de las viviendas campesinas en la región del páramo de Chingaza, a 3.000 metros de altura, y superar los desafíos técnicos y climáticos para garantizar un suministro energético constante y confiable en estas condiciones.

Se esperaba diseñar un sistema solar fotovoltaico autónomo y personalizado que pudiera adaptarse a las condiciones climáticas y geográficas específicas de la zona de páramo, así como a los patrones de consumo energético de las viviendas campesinas, siendo accesible, fácil de instalar y mantener.

La motivación principal era abordar la falta de acceso a un suministro energético confiable y sostenible en las comunidades rurales de la región, así como superar las percepciones negativas y los obstáculos existentes para la implementación de sistemas fotovoltaicos en estas áreas.

La hipótesis inicial era que, a pesar de las creencias generalizadas, los sistemas fotovoltaicos podrían ser una solución viable y suficiente para satisfacer las necesidades energéticas de las viviendas campesinas en la región del páramo de Chingaza.

La metodología incluyó el análisis de los requerimientos energéticos de las viviendas campesinas, la evaluación de las condiciones climáticas locales, el diseño y dimensionamiento del sistema fotovoltaico, y la validación in situ del sistema mediante la medición de variables clave (radiación, almacenamiento, consumo) durante un período de 7 días.

Las conclusiones se basaron en los resultados obtenidos durante la validación in situ, donde se demostró que el sistema fotovoltaico diseñado teóricamente fue capaz de satisfacer el 100% de la demanda energética de la vivienda campesina durante el período de prueba, e incluso se tuvo un excedente en la generación de energía del 18,33%.

Las conclusiones principales son que el sistema fotovoltaico diseñado puede satisfacer de manera suficiente las necesidades energéticas de las viviendas campesinas en la región del páramo de Chingaza, y que es necesario considerar cuidadosamente la orientación e inclinación de los paneles solares para maximizar la captación de radiación solar. Además, el análisis de costos y viabilidad determinó que la alternativa solar es la más rentable a largo plazo en comparación con otras opciones energéticas. La evaluación de la suficiencia energética de un sistema fotovoltaico en una casa campesina requiere considerar múltiples factores clave. Al analizar el consumo energético, la disponibilidad continua, la autonomía, la eficiencia y el costo, podemos concluir que el sistema es capaz de satisfacer las necesidades energéticas de manera confiable y rentable. Esto se traduce en una solución energética viable y

sostenible para las comunidades rurales. En resumen, la suficiencia energética se logra cuando el sistema puede generar, suministrar y gestionar la energía de manera efectiva y eficiente, lo que garantiza un suministro constante y confiable para el hogar. La implementación del proyecto in situ en la familia campesina no solo demostró la viabilidad técnica y económica del sistema fotovoltaico, sino que también generó un impacto significativo en la conciencia de consumo energético de los campesinos. Al reconocer la finitud de los recursos energéticos y la importancia de gestionarlos de manera eficiente, los residentes adoptaron prácticas más conscientes, contribuyendo al éxito del proyecto. El proyecto representa una innovadora solución para las comunidades rurales de páramo de Colombia, especialmente en regiones donde el suministro eléctrico convencional es intermitente. En un contexto de racionamientos energéticos, esta iniciativa adquiere aún más relevancia, ofreciendo una alternativa viable y sostenible para garantizar un suministro energético constante en las zonas rurales.

Este trabajo se diferencia al abordar un vacío significativo en la literatura existente sobre la eficacia y suficiencia de los sistemas alternativos de energía en contextos de páramo, desafiando los paradigmas arraigados que sugieren que las condiciones climáticas del páramo son adversas para este tipo de energía.

Los resultados de este estudio podrían ser utilizados como base para futuras investigaciones y aplicaciones en el campo de la energía sostenible en áreas rurales y de páramo, así como para fomentar la implementación de sistemas fotovoltaicos en

estas comunidades, contribuyendo a mejorar su calidad de vida y promover el desarrollo rural sostenible aportando al Objetivo de Desarrollo Sostenible número 11 – Ciudades y Comunidades Sostenibles.

13. LISTA DE REFERENCIAS

Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2019). Plan Energético Nacional 2020-2050. <https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Paginas/PEN.aspx>

Aguilera-Martínez, F., Lozano-León, C., Rodríguez-Ferreira, O. y Aguilera-Hintelholher, R. (2018). Impacto de la baja cobertura de energía eléctrica en zonas rurales de Colombia. Revista Proyu, (1), 66-83.

<https://revistas.uexternado.edu.co/index.php/proyu/article/view/4708>

Naciones Unidas. (2015). Objetivos de Desarrollo Sostenible. Objetivo 11: Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>

Banco Mundial. (2022). Acceso a la electricidad (% de población rural) - Colombia.

<https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.ELC.ACCS.RU.ZS?locations=CO>

Scott-George, A., Li, C., Tang, Y., Saha, S., Ali, M., Marma, A., & Pal, S. (2021). A review on the sustainability of solar home system for rural electrification. E3S Web of Conferences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202129402003>.

Bellanca, R. (2014). Sustainable Energy Provision Among Displaced Populations: Policy and Practice. Chatham House.

https://www.chathamhouse.org/sites/default/files/field/field_document/20141201Energy

[DisplacedPopulationsPolicyPracticeBellanca.pdf](#)

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2017).

Energía renovable para la seguridad alimentaria y el desarrollo rural.

<https://www.fao.org/3/i7016s/i7016s.pdf>

Insidencia rayos de sol durante 1 año. Recuperado de

https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=es#top

Grafico polar. Recuperado de

https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=es#chartP

Figura 4. Grafico carteciano. Software Sun earth tools.

https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=es#chartC

Valores de radiacion solar y rutas solares. Meteonorm 8.1. Software PVsyst V7.4.5.

Recueperado de <https://meteonorm.com/>

Guerrero Velázquez, J. M. (2018). La niebla y su determinación en navegación.

<https://core.ac.uk/download/pdf/235851717.pdf>

Horas diarias de luz solar. Meteogram. <https://meteogram.es/sol/colombia/bogota/>

Mapa de irradiación global horizontal. Atlas de radiación solar de Colombia. IDEAM.

<file:///C:/Users/lccf2/Documents/LAURA/EAN%20->

[%20ING/SEMESTRE%209/PROYECTO%20DE%20GRADO/referencias/CLIMA/atlas%20solar%20colombia.pdf](#)

Tiempo de vida de batería AGM. INELDEC. <https://ineldec.com/producto/bateria-solare-para-paneles-de-gel-200ah-agm/>

Beringer, T., Lucht, W., & Schaphoff, S. (2011). Bioenergy production potential of global biomass plantations under environmental and agricultural constraints. *GCB Bioenergy*, 3(4), 299-312. <https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2010.01088.x>

Moner-Girona, M., Bódis, K., Huld, T., Kougias, I., & Szabó, S. (2014). Universal access to electricity in Burkina Faso: Scaling-up renewable energy technologies. *Environmental Research Letters*, 9(8), 084007.

Rae, C., & Bradley, F. (2012). Energy autonomy in sustainable communities - A review of key issues. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(9), 6497-6506. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.08.002>

Adler, F., Berardi, M., García Pedrosa, M., Monticelli, F., & Morquecho, M. (2013). Energía solar fotovoltaica. *Instalaciones Industriales*, 12-19.

Arencibia-Carballo, G. (2016). La importancia del uso de paneles solares en la generación de energía eléctrica. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 17(9), 1-4.

Iberdrola. (s.f.). Celdas fotovoltaicas: el efecto fotoeléctrico.

<https://www.iberdrola.com/innovacion/celulas-fotovoltaicas-fotoelectrica>

Autosolar (s.f.). Qué tipos de baterías se utilizan para las placas solares. Recuperado de

<https://autosolar.co/aspectos-tecnicos/bateria-perfectas-para-paneles-solares>

Koirala, B. P., Koliou, E., Friege, J., Hakvoort, R. A., & Herder, P. M. (2016). Energetic communities for community energy: A review of key issues and trends shaping integrated community energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 722-744. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.080>

Aklin, M., Bayer, P., Harish, S. P., & Urpelainen, J. (2017). Does basic energy access generate socioeconomic benefits? A field experiment with off-grid solar power in India. *Science Advances*, 3(5), e1602153. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1602153>

Wirth, H. (2021). Recent facts about photovoltaics in Germany. Fraunhofer ISE.

<https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/publications/studies/recent-facts-about-photovoltaics-in-germany.pdf>

Pepermans, G., Driesen, J., Haeseldonckx, D., Belmans, R., & D'haeseleer, W. (2005). Distributed generation: definition, benefits and issues. *Energy Policy*, 33(6), 787-798.

<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2003.10.004>

Koirala, B. P., Koliou, E., Friege, J., Hakvoort, R. A., & Herder, P. M. (2016). Energetic communities for community energy: A review of key issues and trends shaping integrated community energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 722-744. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.080>

Wenham, S. R., Green, M. A., Watt, M. E., Corkish, R., & Sproul, A. (2014). *Applied photovoltaics*. Routledge.

Tsao, C. T. (2019). Photovoltaic Solar Power. En *Electric Renewable Energy Systems* (págs. 163-193). Academic Press.

Camisa, A., Capogrudt, G., & Curi, M. (2019). Optimization of PV Systems by Maximum Power Point Tracking Controllers. In *Renewable Energy Systems from Biomass to Photovoltaics* (pp. 137-170). Springer, Cham.

Khaligh, A., & Onar, O. C. (2015). *Energy Harvesting: Solar, Wind, and Ocean Energy Conversion Systems*. CRC Press.

Vergara-Buitrago, Paulina Alejandra. (2020). Estrategias implementadas por el Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Colombia para conservar los páramos. *Revista de Ciencias Ambientales*, 54(1), 167-176. <https://dx.doi.org/10.15359/rca.54-1.9>

Gómez, J. D., & Arango, S. (2019). "Análisis económico y financiero de la implementación de sistemas fotovoltaicos en zonas rurales de Colombia." *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 10(2), 135-146.

Hernández, O. (2021). Aproximación a los distintos tipos de muestreo no probabilístico que existen. *Revista Cubana de Medicina General Integral*, 37(3), e1442. Epub 01 de septiembre de 2021. Recuperado en 26 de abril de 2024, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-21252021000300002&lng=es&tlng=es.

García, A., López, M., & Rodríguez, J. (2020). "El impacto de la volatilidad cambiaria en la adquisición de tecnología solar en Colombia". *Revista de Economía y Comercio Internacional*, 18(1), 123-136.

Departamento de Energía, EE.UU. (2007). "Sistemas Eólicos Pequeños para Generación de Electricidad". Recuperado de <https://www.nrel.gov/docs/fy07osti/42071.pdf>