

DOI: 10.26820/recimundo/9.(esp).mayo.2025.436-453

URL: <https://recimundo.com/index.php/es/article/view/2638>

EDITORIAL: Saberes del Conocimiento

REVISTA: RECIMUNDO

ISSN: 2588-073X

TIPO DE INVESTIGACIÓN: Artículo de revisión

CÓDIGO UNESCO: 3306 Ingeniería y Tecnología Eléctricas

PAGINAS: 436-453



Implementación de una cerca eléctrica mediante el uso de un sistema fotovoltaico en el sector de Mogotes Parroquia de Alaquez

Implementation of an electric fence using a photovoltaic use of a photovoltaic system in the sector of Mogotes Parish of Alaquez

Execução de uma vedação eléctrica mediante a utilização de um sistema fotovoltaico no sector de Mogotes, freguesia de Alaquez

Carlos Efrain Chicaiza Bolaños¹; Heidy Nicole Cuñas Ashqui²; Carlos Francisco Pacheco Mena³; Jefferson Alberto Porras Reyes⁴

RECIBIDO: 10/01/2025 **ACEPTADO:** 19/03/2025 **PUBLICADO:** 08/05/2025

1. Universidad Técnica de Cotopaxi; Latacunga, Ecuador; carlos.chicaiza7852@utc.edu.ec;  <https://orcid.org/0009-0006-3577-3611>
2. Universidad Técnica de Cotopaxi; Latacunga, Ecuador; heidy.cunas1123@utc.edu.ec;  <https://orcid.org/0009-0000-7784-4170>
3. Universidad Técnica de Cotopaxi; Latacunga, Ecuador; carlos.pacheco2902@utc.edu.ec;  <https://orcid.org/0000-0003-1874-7391>
4. Universidad Técnica de Cotopaxi; Latacunga, Ecuador; jefferson.porras0449@utc.edu.ec;  <https://orcid.org/0009-0005-9333-0934>

CORRESPONDENCIA

Carlos Efrain Chicaiza Bolaños
carlos.chicaiza7852@utc.edu.ec

Latacunga, Ecuador

RESUMEN

El proyecto describe la implementación de un sistema de generación solar fotovoltaico para alimentar una cerca eléctrica, diseñada para restringir el acceso de personas y animales a una zona que alberga una fuente natural de agua esencial para la parroquia de Alaquez. Ante la falta de energía en el área, se realizaron estudios para aprovechar la energía solar como recurso renovable. El sistema incluye tres paneles fotovoltaicos monocristalinos de 160 W, una batería de plomo-ácido tipo gel de 150 Ah, un regulador de carga Powest y un energizador Hagroy HR-10 000, capaces de cubrir 2,000 m lineales. Estos equipos operan a 12 V en corriente continua. Los datos climáticos de la zona, obtenidos de la NASA POWER, indican una radiación solar promedio de 3.54 kWh/m². Pese a las condiciones adversas a 4,000 m.s.n.m., se dimensionó el sistema para una potencia instalada de 64.5 W y una demanda diaria de 748 Wh/día. En condiciones climáticas favorables, se alcanzó una potencia de hasta 151 W, garantizando el funcionamiento continuo del sistema. Este proyecto contribuye a la protección del suministro de agua potable y satisface las necesidades energéticas del sector, reforzando el compromiso con la sostenibilidad y la vinculación comunitaria.

Palabras clave: Energía Renovable, Eficiencia energética, Radiación solar, Generación solar fotovoltaica, Cerca eléctrica.

ABSTRACT

The project describes the implementation of a solar photovoltaic generation system to power an electric fence, designed to restrict the access of people and animals to an area that houses a natural water source essential to the Alaquez parish. Given the lack of energy in the area, studies were conducted to harness solar energy as a renewable resource. The system includes three 160 W monocrystalline photovoltaic panels, a 150 Ah gel-type lead-acid battery, a Powest charge regulator and a Hagroy HR-10 000 energizer, capable of covering 2,000 linear meters. This equipment operates at 12 V direct current. Climate data for the area, obtained from NASA POWER, indicate an average solar radiation of 3.54 kWh/m². Despite the adverse conditions at 4,000 m.a.s.l., the system was sized for an installed power of 64.5 W and a daily demand of 748 Wh/day. Under favorable climatic conditions, a power output of up to 151 W was achieved, guaranteeing the continuous operation of the system. This project contributes to the protection of the drinking water supply and meets the energy needs of the sector, reinforcing the commitment to sustainability and community involvement.

Keywords: Renewable Energy, Energy Efficiency, Solar Radiation, Solar Photovoltaic Generation solar photovoltaic, Electric fence.

RESUMO

O projeto descreve a implementação de um sistema de geração solar fotovoltaica para alimentar uma vedação eléctrica, concebida para restringir o acesso de pessoas e animais a uma área que alberga uma fonte de água natural essencial para a freguesia de Alaquez. Dada a falta de energia na zona, foram efectuados estudos para o aproveitamento da energia solar como recurso renovável. O sistema é composto por três painéis fotovoltaicos monocristalinos de 160 W, uma bateria de chumbo-ácido tipo gel de 150 Ah, um regulador de carga Powest e um energizador Hagroy HR-10 000, com capacidade para cobrir 2.000 metros lineares. Este equipamento funciona a 12 V de corrente contínua. Os dados climáticos da zona, obtidos através da NASA POWER, indicam uma radiação solar média de 3,54 kWh/m². Apesar das condições adversas a 4.000 m.a.s.l., o sistema foi dimensionado para uma potência instalada de 64,5 W e uma demanda diária de 748 Wh/dia. Em condições climatéricas favoráveis, foi atingida uma potência de até 151 W, garantindo o funcionamento contínuo do sistema. Este projeto contribui para a proteção do abastecimento de água potável e satisfaz as necessidades energéticas do sector, reforçando o compromisso com a sustentabilidade e o envolvimento da comunidade.

Palavras-chave: Energias Renováveis, Eficiência Energética, Radiação Solar, Geração Solar Fotovoltaica, Cerca Eléctrica.

Introducción

En Ecuador, el uso de energías renovables representa una estrategia clave para reducir la dependencia de combustibles fósiles y fomentar el desarrollo sostenible. Recursos como la energía solar, eólica e hidráulica ofrecen importantes beneficios al ser inagotables y respetuosos con el medio ambiente. Este proyecto aborda un problema crítico en la parroquia de Alaquez, sector Mogotes: la falta de seguridad en una fuente de agua natural esencial para la comunidad. Esta fuente, ubicada a una altitud aproximada de 4,000 metros sobre el nivel del mar, está expuesta a riesgos de contaminación y manipulación debido al acceso no controlado de personas y animales, además de encontrarse en una ubicación aislada sin acceso a redes eléctricas convencionales.

Para enfrentar esta problemática, se propone implementar un sistema fotovoltaico autónomo para alimentar una cerca eléctrica, garantizando así la protección de la fuente de agua y su calidad para los 5,481 habitantes de la parroquia. El proyecto se fundamenta en principios de energías renovables, sistemas fotovoltaicos y cercas eléctricas, destacando la energía solar por su capacidad para generar electricidad en áreas remotas. Los sistemas fotovoltaicos ofrecen una solución versátil y sostenible, con aplicaciones que van desde la generación eléctrica hasta la desalinización.

El diseño del sistema se adapta a las condiciones locales, considerando factores como la radiación solar, la inclinación de los paneles y la demanda energética. Según datos de NASA POWER, la radiación solar promedio en la zona es de 3.54 kWh/m². El sistema incluye baterías de plomo-ácido tipo gel para almacenar la energía generada, un regulador de carga para optimizar el flujo eléctrico y un energizador para operar la cerca. Los cálculos realizados determinan una potencia instalada de 64.5 W y una demanda diaria de 748 Wh/día, asegurando un diseño eficiente que responde a las ne-

cesidades específicas del sector Mogotes (Nasa Power, 2024).

Problemática y relevancia

La principal problemática identificada es la falta de protección de una fuente de agua crucial para la comunidad, lo que la hace vulnerable a riesgos de contaminación y manipulación. Este desafío se ve agravado por la ausencia de una red eléctrica pública en la zona, lo que limita la implementación de soluciones convencionales. Para abordar esta situación, se propuso la instalación de una cerca eléctrica alimentada por un sistema fotovoltaico autónomo. Esta solución no solo responde a la necesidad específica de protección, sino que también fomenta el uso de tecnologías limpias y sostenibles, adecuadas para comunidades rurales. Adicionalmente, el proyecto busca generar soluciones tecnológicas que puedan ser replicadas en otras áreas con condiciones similares. La implementación de sistemas fotovoltaicos no solo asegura un suministro energético confiable, sino que también impulsa el desarrollo de capacidades técnicas dentro de la comunidad. Esto, a su vez, promueve la autosuficiencia y la sostenibilidad a largo plazo, consolidando el impacto positivo del proyecto en términos sociales, económicos y ambientales (WeatherSpark, 2024).

Radiación solar y condiciones climáticas

La ubicación del proyecto, a 4,000 metros sobre el nivel del mar, plantea retos importantes debido a las bajas temperaturas y a la variabilidad de la radiación solar. Los datos recopilados confirman que la radiación solar en la zona es suficiente para alimentar el sistema, aunque con fluctuaciones significativas entre días soleados y nublados. Para garantizar la eficiencia del sistema, se realizaron mediciones de irradiación e irradiancia que permitieron dimensionar adecuadamente sus componentes (Zambrano, 2022). El impacto del proyecto es notable en diversos aspectos. Desde una perspectiva técnica, asegura un suministro eléctrico

confiable para la cerca eléctrica, protegiendo una fuente de agua esencial y preservando su calidad. Socialmente, mejora la calidad de vida de la comunidad al garantizar el acceso a un recurso crítico bajo condiciones óptimas. Ambientalmente, fomenta el uso de energías limpias, contribuyendo a la reducción de emisiones de carbono y promoviendo la sostenibilidad. Esta solución innovadora aborda una problemática específica en la parroquia de Alaquez al combinar tecnologías fotovoltaicas con cercas eléctricas. El proyecto demuestra el

potencial de las energías renovables para transformar la calidad de vida en comunidades rurales, promoviendo la autosuficiencia y estableciendo un modelo replicable en otras regiones del país (Velasco, 2018).

Metodología

La fuente natural de Agua, se encuentra ubicado en la provincia de Cotopaxi, cantón Latacunga parroquia de Alaquez, sector Mogotes. Ubicación geográfica: Latitud: -0,87254556, Longitud: -78,42103258, aproximadamente a 3 992 m.s.n.m.



Figura 1. Ubicación Geográfica del sector Mogotes

Cálculo de inclinación óptima

Para la posición de inclinación que tuvieron los paneles fotovoltaicos se utiliza la Ecuación 1.1., donde la latitud donde se encuentra el sector es de $-0,87254556^\circ$ considerando este valor de manera positiva para el cálculo de inclinación (Pólit, 2005).

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69 * |\Phi| \quad \text{Ec. 1.1}$$

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69 * |-0,87254556|$$

$$\beta_{opt} = 4,30^\circ$$

Con este valor obtenido se tiene un ángulo de inclinación en los paneles fotovoltaicos de $4,30^\circ$, donde no tiene mucha variación con respecto a los 0° , mientras tanto se toma en cuenta 15° de inclinación con el fin de procurar que no se acumule mucho polvo o algún otro elemento que pueda obstruir la captación de la radiación solar.

Cálculo de cargas en corriente alterna

Para el desarrollo del cálculo de las cargas en corriente alterna, se considera la cantidad de artefactos o equipos a utilizar, la potencia y el tiempo de uso de cada uno de los equipos a instalarse, ya que con los datos obtenidos se determina la energía en corriente continua. Para el cálculo de esta energía se utiliza la Ecuación 1.2 (Predes, 2022).

$$EAC = n * P * t \quad \text{Ec. 1.2}$$

Donde:

n = Cantidad de artefactos o equipos.

P = Potencia (W).

t = tiempo de consumo al día (h/día).

Tabla 1. Determinación de las cargas en corriente alterna

Artefacto	Cantidad	Potencia (W)	Tiempo (h/día)	Energía (Wh/día)
Energizador Hagroy HR-0000.	1	4,5	24	108
Cámaras de vigilancia HIK-VISION	3	10	8	240
Perifoneo	1	50	8	400
Total		64,5		748 (Wh/día)

Con base en los cálculos realizados, se determinó que la carga total diaria en corriente alterna es de 748 Wh/día, considerando las horas de consumo. Para el cerco eléctrico, se estimó un tiempo de funcionamiento continuo de 24 horas al día, asegurando así la confiabilidad del sistema en todo momento. En el caso de las cámaras de vigilancia, se consideró un consumo diario limitado, ya que el sistema fotovoltaico está diseñado para abastecerlas durante un período de 8 horas al día. Esto se planteó con vistas a futuros proyectos de generación eléctrica que permitan cubrir las 16 horas restantes, asegurando así un funcionamiento completo y continuo del sistema en fases posteriores.

Cálculo de cargas en corriente continua

Con los datos obtenidos de la Tabla 1 se realiza el producto entre las cargas en AC y un factor de conversión que se establece por el uso de un inversor DC - AC para proyectos futuros. El aumento de este factor de seguridad del 20 % a la estimación de la energía eléctrica requerida para el sistema y se dimensiona la instalación para satisfacer la demanda aumentada (Castellano Arbito & Vargas Vizcaíno, 2021).

$$EDC = EAC * 1,2 \quad \text{Ec. 1.3}$$

$$EDC = (748 * 1,2) \text{ Wh/día}$$

$$EDC = 897,6 \text{ Wh/día}$$

Dentro del diseño de iluminación se consideran luminarias led de consumo de corriente continua, el cual se le sumara a la carga total DC (Aparicio, 2006).

Tabla 2. Cálculo de cargas en corriente continua

Artefacto	Cantidad	Potencia (W)	Tiempo (h/día)	Energía (Wh/día)
Lámparas led DC	2	9	1	18
TOTAL				18 (Wh/día)

$$EDC_{total} = EDC + EDClumunaria \quad \text{Ec. 1.4}$$

$$EDC_{total} = 915,6 \text{ Wh/día}$$

$$EDC_{total} = (897,6 + 18) \text{ Wh/día}$$

Selección de voltaje del sistema

Una vez establecido la potencia que se va a instalar al sistema fotovoltaico, se selecciona el voltaje con el que van a operar los equipos. Conocemos la potencia que se va a instalar que es $P = 64,5 W$, como se observa en la tabla 1., podremos seleccionar el voltaje, donde el voltaje del sistema es $V_{sist} = 12 V$ (Clamper, 2020).

Una vez establecido el consumo energético por día, utilizamos la Ecuación 1.4., donde se determinará la profundidad de descarga. Para establecer el DOD (Profundidad de Descarga) se analizará la Tabla 3., teniendo en cuenta el tipo de batería, profundidad de descarga máxima (Flores Larico J. A, 2018).

Cálculo de la capacidad Amperios - Hora (Ah)

Tabla 3. Profundidad de descarga con el tipo de batería.

Tipo de batería	DOD	Tipo de proyecto	Capacidad (Ah)
Gel	70 %	Rural	Menor 1 500 Ah
Tubulares (OPZv)	85 %	Industrial	Mayor 1 500 Ah
Litio	98 %	Telecomunicaciones	

El sistema de profundidad de descarga para el sistema es igual 70 % por ser un proyecto ubicado en un sector rural. Los días de autonomía establecido para el sistema es de

1 día con la finalidad de garantizar el funcionamiento, cuando no exista generación fotovoltaica (Constante Acosta & Chipugsi Albán, 2023).

$$Capacidad (Ah) = \frac{Consumo \left(\frac{Wh}{día}\right) * Autonomía(día)}{V(Batería) * DOD} \quad Ec 1.5$$

$$Capacidad (Ah) = \frac{915,6 \frac{Wh}{día} * 1}{12 V * 0,7}$$

$$Capacidad (Ah) = 109 Ah$$

Cálculo dimensionamiento paneles solares

Las horas solares pico se obtuvo de la página web NASA POWER, donde se obtiene el valor histórico anual de los últimos 4 años considerando el año, 2 022 los últimos datos

como se observa la figura 2., para la obtener la radiación expresada en $kW - h/m^2 al día$, se considera la longitud y latitud en donde se va implementar el sistema de generación fotovoltaico (Guaranga Allauca, 2018).

```

-BEGIN HEADER-
NASA/POWER CERES/MERRA2 Native Resolution Monthly and Annual
Dates (month/day/year): 01/01/2019 through 12/31/2022
Location: Latitude -0.8725 Longitude -78.42
Elevation from MERRA-2: Average for 0.5 x 0.625 degree lat/lon region = 2495.01 meters
The value for missing source data that cannot be computed or is outside of the sources availability range: -999
Parameter(s):
ALLSKY_SFC_SW_DWN CERES SYN1deg All Sky Surface Shortwave Downward Irradiance (kW-hr/m^2/day)
-END HEADER-D
PARAMETER YEAR JAN FEB MAR APR MAY JUN JUL AUG SEP OCT NOV DEC ANN
ALLSKY_SFC_SW_DWN 2019 4.07 3.66 3.73 3.80 3.67 3.80 4.04 4.43 4.82 4.01 3.89 3.85 3.98
ALLSKY_SFC_SW_DWN 2020 4.43 4.20 3.98 3.79 3.74 3.81 3.70 4.63 4.28 4.51 4.72 3.58 4.11
ALLSKY_SFC_SW_DWN 2021 3.79 3.82 3.64 3.72 3.80 3.75 4.10 3.89 4.18 4.18 4.11 3.78 3.90
ALLSKY_SFC_SW_DWN 2022 4.17 3.54 3.67 3.83 3.64 3.61 3.74 4.12 4.59 4.34 4.46 4.25 4.00
    
```

Figura 2. Resolución Nativa Mensual y Anual de las HSD [20]

El parámetro seleccionado para determinar la radiación fue la Irradiación Descendente de Onda Corta en la Superficie del Cielo Despejado (ALLSKY SURFACE SHORTWAVE), que corresponde a una onda corta de radiación no ionizante. Este tipo de radiación contribuye al aumento de la temperatura y a la intensificación del campo magnético generado. Tras verificar los datos de radiación correspondientes a los años 2019 a 2022, se identificó que en febrero de 2022 se registró una radiación de 3.54 kWh/m², siendo este el valor más bajo en el periodo analizado. Este valor fue seleccionado para el dimensionamiento del sistema, asegurando que pueda operar de manera eficiente incluso en condiciones menos favorables. En el dimensionamiento, utilizando la Ecuación 1.6, se calculó la eficiencia del sistema para evaluar la potencia generada por los paneles fotovoltaicos. Se consideraron dos escenarios: para sistemas fotovoltaicos conectados a la red (SFCR), se utilizó una eficiencia del 81 %, mientras que para sistemas fotovoltaicos autónomos (SFA), se aplicó una eficiencia del 72% (Sebastian, 2022). Estas métricas permiten garantizar el rendimiento del sistema en condiciones reales, optimizando su capacidad de generación.

$$P_{GFV} = \frac{E_{DC}}{HSP * \eta_{sistema}} \quad \text{Ec. 1.6}$$

$$P_{GFV} = \frac{915,6 \text{ Wh/dia}}{3,54 \text{ KW} / \text{m}^2 * 0,72}$$

$$Cantidad = \frac{Ten}{HSP * \eta * W_{panel}} \quad \text{Ec. 1.5}$$

Para el cálculo de la Ecuación 1.7., se considera el factor de seguridad de del 15 % tomando en cuenta el rendimiento de un panel fotovoltaico monocristalino que comprende entre el 15 y 17 %, se obtuvo la información de la radiación del NASA POWER y los valores pueden variar al realizar medición en el lugar de implementación del sistema.

$$PGFV = 359,22 \text{ W} * 1,15 \quad \text{Ec. 1.7}$$

$$PGFV = 413,10 \text{ W}$$

Cálculo cantidad de paneles a utilizar

$$Cantidad = \frac{Ten}{HSP * \eta * W_{panel}} \quad \text{Ec. 1.8}$$

Donde:

Ten =Potencia de trabajo del diseño del sistema.

HSP =Hora solar de la radiación solar.

η =eficiencia del panel solar determinado por el fabricante.

Wpanel = Potencia del panel solar.

Cálculo de protecciones en corriente continua

En los sistemas de generación fotovoltaica, es fundamental incluir protecciones adecuadas

para prevenir descargas eléctricas peligrosas y disipar rápidamente el exceso de voltaje antes de que este alcance los equipos. El cálculo del tamaño de las protecciones, tal como se describe en la Ecuación 1.9, se basa en la información técnica proporcionada en las fichas de los paneles solares. La International Electrotechnical Commission (IEC) reconoce que los requerimientos de protección en sistemas fotovoltaicos difieren de las instalaciones eléctricas tradicionales. Esto se detalla en la norma IEC 60269-6, que especifica las características técnicas que deben cumplir estas protecciones (Mersen, 2018). En cuanto a los factores de seguridad, se establece un margen del 20 % para la tensión. Para la intensidad, la norma NEC 690.8(A)(2) define que la corriente máxima del circuito debe calcularse como 1.25 (o el 25 %) multiplicado por la corriente nominal de cortocircuito del módulo fotovoltaico (EATON, 2014). Estas consideraciones garantizan un diseño seguro y eficiente, minimizando riesgos para el sistema y sus componentes.

$$Tensión = V_{DC} * No. \text{ paneles (serie)} * 1,20$$

Ec. 1.9

Donde:

V_{DC} : Voltaje de cortocircuito de los paneles solares.

1,20: Factor de corrección

$$Corriente = I_{SC} * 1,25$$

Ec. 2.0

Donde:

I_{SC} : Corriente de cortocircuito de los paneles solares

1,25: Factor de corrección

Conductores eléctricos

Las propiedades que cuenta cada cable de todo un sistema fotovoltaico deben estar diseñados con el objetivo de generar sistemas más fiables y duraderos. La sección del cable dependerá de la intensidad máxima que se puede someter al conductor como indica la Figura 3 (MERSÉN, 2018).

Amperaje que soportan los cables de cobre					
Nivel de temperatura:	60°C	75°C		90°C	
Tipo de aislante:	TW	RHW, THW, THWN	THHN, XHHW-2, THWN-2	60°C SPT	
Medida / calibre del cable	Amperaje soportado			Medida / calibre del cable	Amperaje soportado
14 AWG	15 A	15 A	15 A	20 AWG	2 A
12 AWG	20 A	20 A	20 A	18 AWG	10 A
10 AWG	30 A	30 A	30 A	16 AWG	13 A
8 AWG	40 A	40 A	40 A	14 AWG	18 A
6 AWG	55 A	65 A	75 A	12 AWG	25 A
4 AWG	70 A	85 A	95 A		
3 AWG	85 A	100 A	115 A		
2 AWG	95 A	115 A	130 A		
1 AWG	110 A	130 A	145 A		
1/0 AWG	125 A	150 A	170 A		
2/0 AWG	145 A	175 A	195 A		
3/0 AWG	165 A	200 A	225 A		
4/0 AWG	195 A	230 A	260 A		

Figura 3. Calibre del conductor en función de la corriente [22]

Batería

Para este proyecto, se seleccionó una batería de tipo gel de la marca POWEST, diseñada específicamente para aplicaciones de ciclo profundo, como se ilustra en la Figura 4. Este tipo de batería es ideal para instalaciones fotovoltaicas de escala media, con capacidades menores a 1,500 Ah. La batería escogida opera a 12 V y proporciona un día de autonomía, garantizando el funcionamiento del sistema en ausencia de generación fotovoltaica. En el mercado nacional, la marca POWEST ofrece baterías de ciclo profundo con capacidades que varían entre 100 y 250 Ah. En este caso, se optó por una batería de 150 Ah/12 V, asegurando un equilibrio entre capacidad y funcionalidad para las necesidades del sistema (Morales, 2022).

Características y beneficios de la batería

Las baterías tipo gel poseen mayor durabilidad y excelente rendimiento recomendables para instalaciones de proyectos de generación fotovoltaica.



Figura 4. Batería gel ciclo profundo 150 Ah – 12

Estructuralmente cuenta con una composición interna de electrolíticos de gel distribuido homogéneamente en un ácido sulfúrico. Cuenta con válvulas de ventilación de diseño especial utilizadas para controlar la tasa de gasificación y pérdida de agua donde no requieren de un mantenimiento.

Paneles solares

Para la selección de los paneles solares consideramos la potencia total del sistema calculado de la Ecuación 1.7, que es de 413,1 W y su tipo de conexión se analizara de la Tabla 4 (Guaranga Allauca, 2018).

Tabla 4. Características conexión serie y paralelo

Características	Conexión Serie	Conexión Paralelo
FUNCIONAMIENTO	Un solo conjunto	Cada panel es independiente
CABLEADO	Un solo camino y sentido de circulación de corriente a través de todos los paneles	Múltiples caminos para la circulación de corriente
FLUJO DE CORRIENTE	La corriente es la misma para todos los paneles.	Diferente cantidad de corrientes
VOLTAJE	Se suman	Se mantiene

Antes del análisis, se realizaron las conexiones de los paneles solares en serie para garantizar el correcto funcionamiento del sistema. Se seleccionaron paneles solares de tecnología monocristalina de la marca POWEST, debido a su alta eficiencia. El cálculo del número de paneles necesarios se realizó utilizando la Ecuación 1.8, basada

en los datos principales proporcionados por el fabricante. Según los resultados obtenidos, se determinaron tres paneles solares como requerimiento para abastecer el sistema. Para este proyecto, se eligieron paneles monocristalinos POWEST de 160 W, identificados con el código NERM-160-8160, como se muestra en la Figura 5.



Figura 5. Panel monocristalino 160 W

Controlador de carga

Una vez identificados los datos técnicos del panel solar $V_{oc} = 21,8 VDC$ $V_{mp} = 18,24 VDC$ como se indica en el Anexo C y la car-

ga necesaria a implementarse al sistema $P = 480 W$, se analizó, las características de los controladores MPPT y PWM detallados en la Tabla 5., para su respectiva selección.

Tabla 5. Características Controlador PWM y MPPT

PWM (Modulación por anchos de pulsos)	MPPT (Seguidor del punto de máxima potencia)
Son más económicos utilizados para pequeños sistemas de bajo costo.	Mucho más eficientes.
La tensión nominal de los paneles solares y de las baterías deben ser las mismas.	Se ajustan a la tensión de los paneles a la que precisa la batería según su etapa de carga, alrededor de un 30 % más de energía de un PWM.
Debido a la simplicidad de componentes, son muy longevos y sufren poco estrés térmico.	Mejor eficiencia de carga especialmente en climas fríos.

$$V_{Dc} = 21,8 * 3 = 65,4 \text{ VDC} \quad \text{Ec. 2.1}$$

$$V_{mp} = 18,24 * 3 = 54,72 \text{ VDC}$$

$$P = 480 \text{ W}$$

Considerando la conexión de 3 paneles solares de 160 W en serie, donde los voltajes se suman tenemos una potencia a generar de 480 W. Se seleccionó un controlador de carga SCC-MPPT 3KW como se muestra en la Figura 6, compatible para el sistema de 12 V.



Figura 6. Controlador de Carga SCC-MPPT 3KM

Energizador cerco eléctrico

Para la implementación del cerco eléctrico, se seleccionó el electrificador de marca HAGROY, específicamente el modelo HR-10 000, diseñado para cubrir las necesidades de protección perimetral. Este equipo destaca por su tecnología que facilita tanto la instalación como la configuración. Tal como se ilustra en la Figura 7, el energizador tiene un consumo de potencia de 4.5 W

durante las 24 horas del día, lo que supone un consumo diario continuo. Este dispositivo electrifica un cerco con una longitud total de 2,000 metros lineales, distribuidos en 5 líneas a lo largo del área perimetral. Además, el energizador cuenta con un alcance de hasta 3,000 metros lineales de alimentación, asegurando una cobertura adecuada para el sistema implementado (Aparicio, 2006).



Figura 7. Energizador HAGROY HR 1 0000

Protecciones paneles solares

El dimensionamiento de las protecciones de los paneles solares se realizó utilizando la Ecuación 2.2 y 2.3 los valores de voltaje y corriente de cortocircuito proporcionados por el fabricante, como se muestra en la Tabla 5.

$$Tensión = VDC * No. paneles (serie) * 1,20$$

Ec. 2.2

$$Tensión = 21,8 VDC * 3 * 1,20$$

$$Tensión = 78,48 V$$

$$Corriente = ISC * 1,25 \quad Ec. 2.3$$

$$Corriente = 9,4 A * 1,25$$

$$Corriente = 11,75 A$$

Tabla 6. Características Protecciones en DC

PROTECCIONES DC	
FUSIBLES	INTERRUPTORES MAGNETOTERMICOS
Protección contra sobre intensidades.	Protección contra cortocircuitos y sobreintensidades.
Al pasar corriente por el conductor se calienta se destruye y se abre el circuito.	Protege corrientes con un valor superior al nominal, cuando el dispositivo actúa se separan los polos y se abre el circuito.
Es necesaria su reposición.	No es necesaria su reposición después de actuar.
Bajo costo.	Alto costo.

En el análisis de la Tabla 5 se incluyó la utilización de interruptores magnetotérmicos, diseñados para actuar de manera inmediata en caso de interrupción del circuito por corrientes superiores a su valor nominal. Estas protecciones están específicamente configuradas para corriente continua, ya que las protecciones para corriente alternan no son adecuadas debido a sus aplicaciones distintas. Los interruptores seleccionados corresponden a la marca SIEMENS, con configuración de 2 polos, garantizando un desempeño confiable y

seguro en el sistema (Guaranga Allauca, 2018).

Protecciones batería

La protección magnetotérmica de la batería esta dimensionada al 125 % de la corriente máxima. La clasificación del interruptor se detalla en la Ecuación 2.4.

$$Corriente = Max. corriente de carga * 1,25$$

Ec. 2.4

$$Corriente = 60 A * 1,25$$

Corriente = 75 A

Conexión cerca eléctrica

La conexión eléctrica cumple con la necesidad que requiere la conexión del cerco

eléctrico, ya que por recomendaciones del fabricante ver Figura 8., se recomienda las puestas a tierra para el funcionamiento correcto de la cerca eléctrica (Castellano Arbito & Vargas Vizcaíno, 2021).

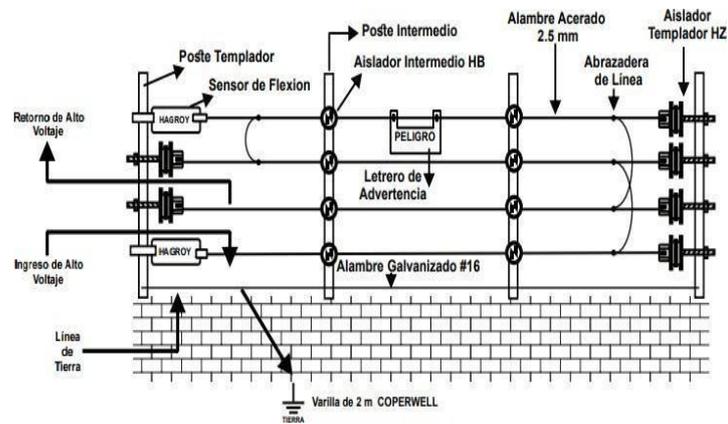


Figura 8. Instrucción de conexión cerca eléctrica

Diagrama unifilar

La representación del diagrama unifilar ordena gráficamente los componentes de la instalación eléctrica, en nuestro proyecto de generación de energía mediante un sistema fotovoltaico para alimentar la cerca eléctrica se tiene un diagrama unifilar, como se evidencia en la Figura 9, el diseño del sistema fotovoltaico es para una instalación aislada o autónoma y de un consumo diario.

Se destaca los elementos y equipos principales de instalación, protecciones magnetotérmicas que se localizan aguas arriba de cada tramo de instalación paneles solares – controlador, controlador- baterías, baterías – carga. Y los mandos de control, paro de emergencia y selector de posiciones que nos permiten tener el control de manera manual para el inicio del funcionamiento del sistema fotovoltaico.

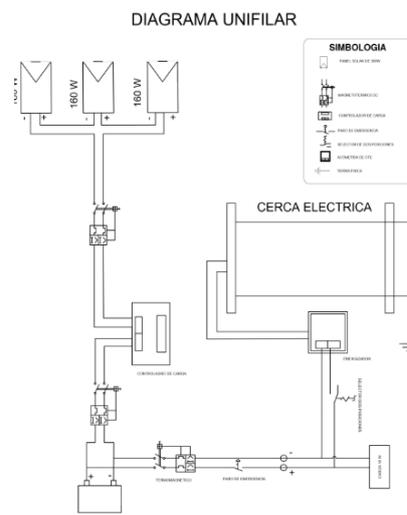


Figura 9. Diagrama Unifilar

Expone los principales logros alcanzados con la aplicación de la metodología seleccionada. Es primordial una redacción clara y adecuada, con una gran capacidad de síntesis, sin descuidar la mención de los hitos más importantes de la investigación.

Análisis de tensión estática estructura paneles solares

Mediante el software CAD Fusion 360, se realizó un análisis detallado de la deformación y la tensión en la estructura de soporte

de los paneles solares, considerando las cargas estructurales y restricciones. El peso individual de cada panel solar, de 7.8 kg, fue tomado como base para el análisis. Como se muestra en la Figura 10, los resultados indican que la estructura no presenta pliegues ni rupturas, incluso bajo condiciones adversas. Además, el coeficiente de seguridad calculado es de 4.43, lo que garantiza que la estructura tiene la resistencia necesaria para soportar las cargas y garantizar su estabilidad y funcionalidad a largo plazo.

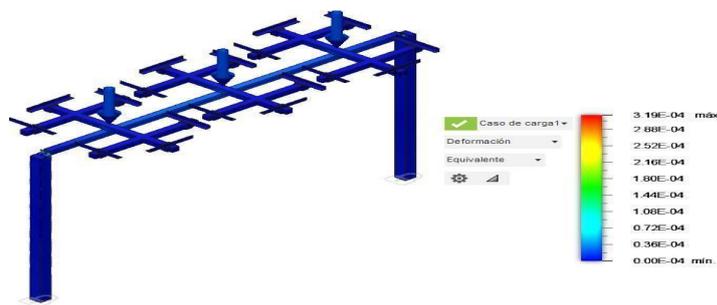


Figura 10. Análisis de tensión estática

Discusión

Con el empleo de un piranómetro y un multímetro, se obtuvieron datos clave como radiación, potencia, voltaje y corriente, esenciales para evaluar la capacidad de generación del sistema conforme a los cálculos previos

realizados. Tal como se observa en la Figura 11, estos datos fueron complementados con información extraída de sitios web especializados, lo que permitió realizar un dimensionamiento preciso del sistema y garantizar su funcionamiento óptimo.



Figura 11. Recolección de datos con el piranómetro y multímetro

El análisis de los datos recolectados en la zona de implementación del sistema, ubicada a una altitud de 4,000 metros sobre el nivel del mar, muestra variaciones significativas en las temperaturas y condiciones climáticas. Esta zona se caracteriza por un clima predominantemente frío, nuboso y con pocos días soleados. En la Tabla 4.4, se evaluó la irradiancia durante un día intermedio con nubosidad, que constituye una de las condiciones climáticas clave para el análisis de la generación de energía. En este contexto, se obtuvo una potencia míni-

ma de 17 W y una potencia máxima de 125 W en diferentes momentos del día, resultado de las mediciones realizadas. Es importante destacar que, a medida que avanzaba el día, se observó un crecimiento progresivo en la generación de energía, lo que se evidencia claramente en la Figura 12. Esto muestra cómo, a pesar de las condiciones de nubosidad, el sistema sigue funcionando de manera eficiente, con un incremento en la potencia generada conforme la radiación solar mejora a lo largo del día.

Tabla 7. Irradiancia en un día intermedio de nubosidad

Hora	Wm ²	Potencia W	Voltaje (V)	Corriente (A)	Voltaje Batería
9:30	154,5	17	13,07	1,3	13,4
10:00	155,3	23	11,5	2	13,4
10:30	147,8	19	9,04	2,1	13,4
11:00	196	32	14,0	2,3	13,4
11:30	176	26	13,9	1,87	14
12:00	294,6	42	16,8	2,5	13,4
12:30	203,8	38	19	2	13,3
13:00	396,4	56	15,5	3,6	13
13:30	425,7	60	14,0	4,3	13,4
14:00	577,9	94	14,02	6,7	13,9
14:30	630,6	125	14,2	8,8	14,2

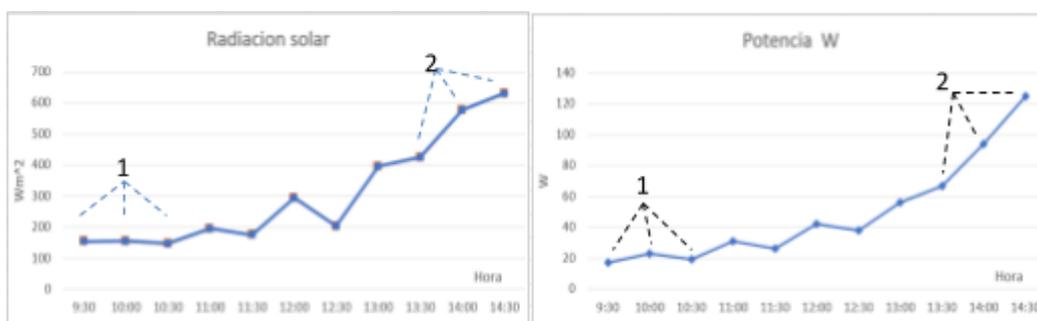


Figura 12. Radiación solar y potencia día intermedio de nubosidad

Según los datos recolectados y presentados en la Figura 12, las mediciones realizadas entre las 9:30 a. m. y las 2:30 p. m. muestran una radiación solar variable a lo

largo del tiempo. En un rango mínimo de radiación, que oscila entre 147.8 y 155.3 W/m², el sistema generó potencias de 17 a 19 W. Por otro lado, en un rango máximo de

radiación, comprendido entre 425.7 y 630.6 W/m², las potencias generadas alcanzaron valores entre 60 y 125 W. Estos resultados confirman que, incluso en condiciones mínimas y máximas de radiación durante este período, las potencias generadas son suficientes para el funcionamiento adecuado del sistema.

Asimismo, en la Tabla 6 se analiza la irradiancia bajo las condiciones más críticas, caracterizadas por nubosidad y bajas temperaturas. En este escenario, identificado

como "el peor día", se registraron potencias mínimas de 13 W y máximas de 67 W, como se ilustra en la Figura 13. Estas potencias, aunque menores, son aún suficientes para satisfacer las necesidades del sistema, incluyendo el funcionamiento de la cerca eléctrica y las cámaras de vigilancia. Además, se observa un incremento gradual en la generación conforme avanza el día, lo que evidencia la capacidad del sistema para adaptarse y operar eficientemente incluso en condiciones climáticas adversas.

Tabla 8. Irradiancia en el peor día

Hora	Wm ²	Potencia W	Voltaje (V)	Corriente (A)	Voltaje Batería
7:00	95,3	13	13	1	12,9
7:30	72	10	13,2	0,8	13,20
8:00	98,4	14	13,08	1,07	13
8:30	114,6	14	13,08	1,07	13,1
9:00	123	21	13,04	1,6	13,3
9:30	132,4	15	12,93	1,16	13,4
10:00	129,8	16	13,11	1,22	13,3
10:30	178,6	27	12,37	1,94	13
11:00	203,1	32	14	2,3	13,4
11:30	311,4	43	19,02	2,36	13,6
12:00	426,8	67	15,58	4,3	13,9

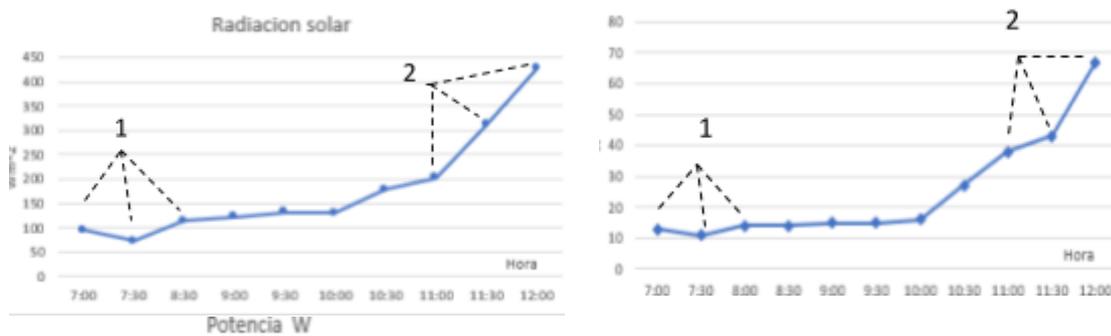


Figura 13. Irradiación solar y potencia en el peor día

Con base en los datos recolectados y presentados en la Figura 13, las mediciones realizadas entre las 7:00 a. m. y las 12:00 p. m. muestran una variación de radiación solar a lo largo del tiempo. En un rango mínimo de radiación, que oscila entre 72 y 98.4

W/m², el sistema generó potencias de entre 10 y 14 W. En contraste, en un rango máximo de radiación de 203.1 a 426.8 W/m², las potencias generadas alcanzaron valores de 32 a 67 W. Estos resultados confirman que, tanto en condiciones mínimas como máxi-

mas de radiación durante este período, las potencias generadas son suficientes para mantener el funcionamiento adecuado del sistema. Adicionalmente, en la Tabla 7 se evaluó la irradiancia durante un día soleado bajo condiciones ideales, obteniendo resultados muy favorables para el sistema. En estas condiciones, se generaron poten-

cias mínimas de 94 W y máximas de 151 W, como se ilustra en la Figura 14. Estas potencias, obtenidas en intervalos de tiempo y con un crecimiento gradual, evidencian un desempeño óptimo del sistema implementado, demostrando que este es capaz de operar eficientemente bajo distintas condiciones climáticas.

Tabla 9. Irradiancia en un día soleado

Hora	Wm ²	Potencia W	Voltaje (V)	Corriente (A)	Voltaje Batería
10:15	975,9	94	14,02	6,7	13,9
10:45	983,4	96	13,6	7,8	12,8
11:00	996,1	98	14	7	13
11:30	1004,8	101	14,04	7,19	13,1
12:00	1010,2	115	14,05	8,18	13,3
12:30	1028,7	120	14,21	8,44	13,4
13:00	1034,1	125	14,2	8,8	13,3
13:30	1029	129	12,37	9,08	13
14:00	1037,5	137	14,2	9,64	13,4
14:45	1042,6	142	14,21	9,99	13,6
15:30	1050	151	14,24	10,6	13,9

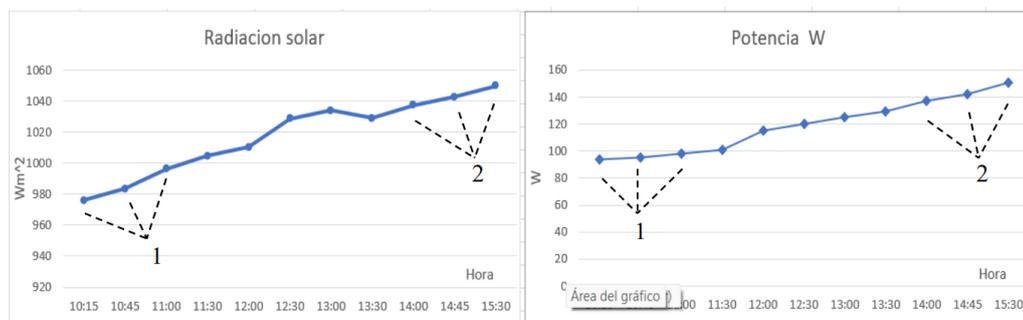


Figura 4. Radiación solar y potencia día soleado

En base a los datos recolectados, como se muestra en la Figura 14, las mediciones realizadas entre las 10:15 a. m. y las 3:30 p. m. evidencian una radiación solar variable a lo largo del tiempo. En un rango mínimo de radiación entre 975.9 y 996.1 W/m², el sistema generó potencias de entre 94 y 98 W. Por otro lado, en un rango máximo de radiación, comprendido entre 1037.5 y 1050 W/m², la

potencia generada alcanzó valores de 137 a 151 W. Estos resultados indican que, tanto en los niveles mínimos como en los máximos de radiación, las potencias generadas son favorables para el correcto funcionamiento del sistema. El análisis de las tres condiciones climáticas típicas del páramo muestra que las potencias generadas son aceptables dentro del rango de consumo

requerido por el sistema. Esto asegura una carga estable y constante a la batería, con voltajes entre 12.9 V y 14 V, incluso en condiciones de baja radiación. Este comportamiento garantiza la autonomía del sistema, permitiendo su operación confiable incluso en escenarios donde la radiación solar se encuentra en valores mínimos.

Conclusiones

Este proyecto se centró en investigar las condiciones climáticas, el funcionamiento de sistemas fotovoltaicos aislados y la implementación de cercas eléctricas en el páramo de Mogotes. A través de diversas fuentes bibliográficas, se recopiló información clave sobre las tecnologías disponibles en el ámbito de los paneles solares fotovoltaicos. Un aspecto relevante identificado fue la influencia de las variaciones climáticas en la eficiencia energética de estos sistemas, ya que las pérdidas de energía y la incapacidad de captar toda la radiación solar afectan su rendimiento.

Para calcular los equipos adecuados para esta zona aislada, se emplearon datos de radiación solar obtenidos de la plataforma NASA POWER. La potencia requerida para el sistema se estableció en 64.5 W, con un voltaje de 12 V. El sistema instalado incluye paneles fotovoltaicos con una capacidad total de 480 W, diseñados para futuras ampliaciones. La batería del sistema proporciona un día de autonomía, y su adquisición contó con el apoyo de la junta de agua de Alaquez.

En la fase de análisis, se consideraron las particularidades de la zona, ubicada a 4,000 metros sobre el nivel del mar, donde los cambios de temperatura afectan el desempeño. Durante los días más desfavorables, el sistema generó una potencia máxima de 64 W, mientras que en días óptimos alcanzó hasta 151 W, garantizando así un suministro confiable para la operación de la cerca eléctrica.

Se eligieron paneles solares monocristalinos por su alto rendimiento y capacidad para captar la radiación solar de manera

eficiente. Estos paneles fueron instalados sobre estructuras metálicas a una altura de 2.60 metros para evitar manipulaciones, con un ángulo fijo de 15° para facilitar el mantenimiento. Los equipos fueron protegidos en un gabinete con certificación IP65, mientras que el cableado fue enterrado en tuberías corrugadas galvanizadas para aumentar la seguridad y durabilidad del sistema.

Bibliografía

- Aparicio, M. P. (2006). Energía solar fotovoltaica. Energía solar fotovoltaica: guía del usuario.
- Clamper. (2020). Guía de aplicación para la protección de sistemas fotovoltaicos. <https://evecsa.com/wp-content/uploads/2020/05/Guia-Fotovoltaica-Clamper-EVEC-copia.pdf>
- Constante Acosta, Á. A., & Chipugsi Albán, J. T. (2023). Estudio de la eficiencia energética en la generación fotovoltaica, a partir de diferentes tecnologías y sus componentes.
- Castellano Arbito, K. B., & Vargas Vizcaíno, C. J. (2021). Diseño e implementación de un cerco eléctrico, para protección de ganado, utilizando energía fotovoltaica. <https://repositorio.utc.edu.ec/server/api/core/bitstreams/8b399cf1-a8de-4ab2-b042-ea1575e7fe49/content>
- EATON. (2014). Protección de circuitos solares completa y fiable. <https://www.eaton.com/es-es/products/electrical-circuit-protection.html>.
- Flores Larico, J. A. (2018). Método para la mejora del suministro sostenible de energía eléctrica renovable con celdas fotovoltaicas en las zonas rurales de la Región Arequipa, 2018. <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/b9bf6ec3-b907-4625-8093-3ca909e85455/content>
- Guaranga Allauca, J. E. (2018). Diseño de un sistema para seguridad de una vivienda mediante pasarela activada por voz y video a desarrollarse en la empresa "Rio Solar Smart Energy" de la ciudad de Riobamba. <http://dspace.esepoch.edu.ec/bitstream/123456789/9220/1/108T0262.pdf>
- Mersen. (2018). Sizing fuses for systems per the national electrical. mersen. https://us.mersen.com/sites/default/files/files_imported_ep/TT-PVPN5-Sizing-Fuses-of-Photovoltaic-Systems-per-NEC-Tech-Topic.pdf

- Morales, A., & Gomez, D. (2022). Dimensionamiento e implementación de paneles fotovoltaicos aplicados al área residencial en un sector costero de la provincia del Guayas. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22499/1/UPSGT003707.pdf>
- Nasa Power (2024). Prediction of Worldwide Energy Resources. <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- Pólit, R. O. (2005). Diseño e implementación de un controlador de carga para un sistema fotovoltaico autónomo. Escuela Politécnica del ejército, Quito-Ecuador.
- Sebastian, E. (2022). Calcular los cables para fotovoltaicos - 3. Eliseosebastian. <https://eliseosebastian.com/calcular-cables-conductores-para-panes-fotovoltaicos-3/>
- Velasco, W. (2018). Implementación de un prototipo de un cerco eléctrico para protección de ganado utilizando energía solar y envío de mensajes cuando exista una violación del sistema. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/9250/1/108T0270.pdf>
- WeatherSpark. (2024). Clima promedio en Latacunga, Ecuador durante todo el año. <https://es.weatherspark.com/y/20034/Clima-promedio-en-Latacunga-Ecuador-durante-todo-el-a%C3%B1o#Sections-SolarEnergy>
- Zamora, B., & Zambrano, A. (2022). Implementación del cercado eléctrico con paneles solares en la cabaña de la Universidad Técnica de Cotopaxi extensión La Maná. <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/9541/1/UTC-PIM000600.pdf>

CITAR ESTE ARTICULO:

Chicaiza Bolaños, C. E., Cuñas Ashqui, H. N., Pacheco Mena, C. F., & Porras Reyes, J. A. (2025). Implementación de una cerca eléctrica mediante el uso de un sistema fotovoltaico en el sector de Mogotes Parroquia de Alaquez. *RECIMUNDO*, 9(Especial), 436–453. [https://doi.org/10.26820/recimundo/9.\(esp\).mayo.2025.436-453](https://doi.org/10.26820/recimundo/9.(esp).mayo.2025.436-453)

