

Pobreza Energética en Chorrera Mirador: Implementación y Monitoreo de un Sistema Híbrido Solar-Eólico

Energy Poverty in Chorrera Mirador: Implementation and Monitoring of a Solar-Wind Hybrid System

Hamilton Renato Quispillo Castañeda¹ <https://orcid.org/0009-0003-1684-2683>, Rafael Alexander Córdova Uvidia¹ <https://orcid.org/0000-0002-5326-3782>, Ángel Hetzhay Ordoñez Echeverría¹ <https://orcid.org/0009-0005-5861-5854>

¹Escuela Superior Politécnica de Chimborazo GIDAC, Riobamba, Ecuador
hamilton.quispillo@epoch.edu.ec, rafael.cordova@epoch.edu.ec,
angel.ordoniez@epoch.edu.ec



Esta obra está bajo una licencia internacional
Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0

Enviado: 2024/06/23

Aceptado: 2024/10/03

Publicado: 2024/10/15

Resumen

Este trabajo estudia la pobreza energética en la comunidad Chorrera Mirador, de Chimborazo, Ecuador. La pobreza energética, definida como la incapacidad de cubrir necesidades básicas de energía como calefacción, cocción y refrigeración, afecta mayoritariamente a zonas rurales de América Latina. En Ecuador, esta problemática es más pronunciada en áreas rurales, donde más de la mitad de la población la padece. El artículo propone una metodología para medir la pobreza energética utilizando el índice de pobreza energética multidimensional (MEPI), que evalúa múltiples condiciones asociadas a esta problemática en los hogares. Los resultados revelan una pobreza energética moderada en la comunidad, lo que justifica la implementación de un sistema híbrido de energías renovables (SHER) solar y eólica para mitigarla. El SHER se dimensionó con base en la demanda diaria de energía y los recursos solares y eólicos disponibles en la zona. Se incluye un sistema de recolección de datos para monitorear la estabilidad del voltaje y la producción energética del sistema. Los resultados demuestran la funcionalidad del sistema y su capacidad para satisfacer la demanda energética de la comunidad. El estudio concluye que la implementación del SHER, junto con el uso de elementos de iluminación de bajo consumo, contribuye a mitigar la pobreza energética en la comunidad Chorrera Mirador, mejorando la calidad de vida de sus habitantes. Además, el sistema de recolección de datos permite un análisis a largo plazo, lo que facilita la identificación de posibles mejoras y estrategias para optimizar su funcionamiento.

Sumario: Introducción, Materiales y Métodos, Resultados, Discusión de Resultados, Conclusiones.

Como citar: Quispillo, H., Córdova, R. & Ordoñez, A. (2024). Pobreza Energética en Chorrera Mirador: Implementación y Monitoreo de un Sistema Híbrido Solar-Eólico. *Revista Tecnológica - Espol*, 36(2), 113-130. Recuperado a partir de <https://rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/articulo/view/1187>

Palabras clave: Pobreza energética, Monitoreo, Arduino, Energía solar, Energía eólica, SHER.

Abstract

This work studies energy poverty in the community of Chorrera Mirador, located in Chimborazo, Ecuador. Energy poverty, defined as the inability to cover basic energy needs such as heating, cooking, and refrigeration, affects rural areas of Latin America. In Ecuador, this problem is exacerbated in rural areas, where more than half of the population suffers from it. The article proposes a methodology to measure energy poverty using the multidimensional energy poverty index (MEPI), which evaluates multiple conditions associated with this problem in households. The results reveal moderate energy poverty in the community, which justifies the implementation of a hybrid solar and wind renewable energy system (SHER) to mitigate it. The SHER was sized based on the daily energy demand and the solar and wind resources available in the area. A data collection system is included to monitor the voltage stability and power production of the system. The results demonstrate the functionality of the system and its ability to satisfy the energy demand of the community. The study concludes that the implementation of the SHER, together with the use of low-consumption lighting elements, contributes to mitigating energy poverty in the Chorrera Mirador community, improving the quality of life of its inhabitants. In addition, the data collection system allows for long-term analysis, which makes it easier to identify possible improvements and strategies to optimize its operation.

Keywords: Energy poverty, Monitoring, Arduino, Solar energy, Wind energy, SHER.

Introducción

En América Latina, la pobreza energética es un fenómeno ampliamente documentado, afectando a 221 millones de personas, especialmente en áreas rurales, donde los ingresos insuficientes no permiten cubrir necesidades básicas de energía como calefacción, cocción y refrigeración. En Ecuador, la pobreza energética es mayor en áreas rurales que en áreas urbanas, en donde encontramos que el 50,2 % de la población que vive en zonas rurales padecen de pobreza energética y el 25,6 % viven en condiciones de precariedad energética, aunque los porcentajes varían entre las regiones de Ecuador en función de las necesidades de energía (Chiriboga & Wallis, 2010, p. 5).

La pobreza energética se agrava más debido a factores económicos en las zonas rurales, donde existe inestabilidad de los ingresos. Esto provoca la pérdida del acceso a la energía por falta de pagos en algunos casos y en otros por costos asociados a la adquisición de equipo para la generación de energía. El desconocimiento sobre energías renovables limita las opciones para superar este problema. Esto justifica la necesidad de explorar alternativas energéticas sostenibles como los sistemas híbridos de energías renovables (SHER) (Quishpe et al., 2019, p. 16).

El acceso a la energía incide positivamente en la reducción de la pobreza energética; sin embargo, las energías renovables tienen ciertas características que benefician tanto al ambiente como a las personas debido a que no se produce contaminación a la hora de generar energía y resuelve la problemática de la pobreza energética al mismo tiempo. En comunidades que no cuentan con acceso fiable a la red eléctrica, un SHER solar-eólico ofrece una solución efectiva y sostenible para mitigar la pobreza energética, como se propone en este artículo. (Ibáñez Martín et al., 2022, p. 4).

Aunque la producción de energía renovable mediante SHER es una solución madura de energías renovables, existen factores meteorológicos y energéticos que deben ser analizados para

el funcionamiento del sistema. Una variable fundamental es el voltaje en las baterías, puesto que este parámetro está directamente relacionado con la cantidad de energía disponible y con la salud del sistema de almacenamiento.

La comunidad Chorrera Mirador se encuentra en la zona aledaña de las faldas del Chimborazo (Ecuador) y subsiste principalmente de la actividad turística para la generación de ingresos a los hogares. En esta zona rural se han implementado proyectos orientados al sector turístico de la zona mediante artesanías con los recursos disponibles y paquetes turísticos, pero hay pocos proyectos enfocados en mejorar la calidad de vida mediante soluciones de energía (Moposita Achachi, 2022, p. 56).

Por consiguiente, es pertinente realizar un estudio de la pobreza energética de la zona para evaluar si el impacto que tiene es agudo o moderado y también evaluar la necesidad de la implementación de un SHER, para aprovechar los recursos renovables de la zona de estudio. Al mismo tiempo, es necesario implementar un dispositivo que permita el monitoreo y almacenamiento constante de datos para el sistema.

En vista de lo expuesto, en este documento se estudia la pobreza energética en la comunidad rural Chorrera Mirador mediante la metodología del índice de pobreza energética multidimensional (MEPI). Luego, se incluye la implementación de un sistema híbrido de energías renovables (SHER) solar y eólica, para mitigar la pobreza energética en la zona de estudio. Finalmente, se estudia la instalación de un sistema para recolectar datos sobre la estabilidad de voltaje y observación empírica de la producción energética.

Este trabajo se divide en dos partes; la primera describe la evaluación de la pobreza energética en la zona de estudio, justificando la implementación de un sistema híbrido de energías renovables eólico y solar, y la segunda parte describe la evaluación de los recursos energéticos y la implementación del SHER junto con un sistema de monitoreo de datos.

Materiales y Métodos

Pobreza energética y cómo medirla

En las próximas décadas, el sector energético de Ecuador se enfrentará a grandes transformaciones que tienen que ver con la escasez de energías y la pobreza energética. Esta última ha pasado más desapercibida en la investigación académica tanto en comités internacionales como a nivel nacional, a pesar de que afecta la calidad de vida de millones de personas en los países en vías de desarrollo (González Eguino, 2014).

La relación entre energía y pobreza se agrava más en comunidades rurales de los países en vías de desarrollo debido a la dificultad de la obtención de energía. El reconocimiento del papel que desempeñan las energías renovables limpias para mejorar la calidad de vida ha tomado importancia a lo largo de los últimos años, ya que ayudan a reducir el consumo de energías no renovables que contaminan el ambiente y mitigan en cierta medida la pobreza energética de los hogares (García Ochoa, 2014).

Los indicadores disponibles para el estudio de la pobreza energética se describen a continuación; estas descripciones según Siksnylyte-Butkiene et al. (2022, p. 3) y Santillán et al. (2020, p. 3) se refieren a cómo aplicar el indicador para calcular la pobreza energética.

- La regla del diez por ciento (TPR): El indicador tiene como finalidad comparar el gasto de energía en un mes con el porcentaje del ingreso mensual de cada hogar. Si el gasto en energía es mayor al 10% del ingreso del hogar, entonces existe pobreza energética en ese hogar durante ese mes.
- Pobreza energética oculta (HEP): Se compara el consumo energético anual de un hogar con el consumo anual promedio en el país de estudio. Si el consumo anual es menor que el consumo medio energético a nivel nacional, entonces existe pobreza energética.
- Indicador del doble de la mediana nacional (2M): Este indicador mide los ingresos del hogar y los compara con los gastos relacionados con todas las formas de energía. Si el gasto del hogar es mayor al doble de la mediana nacional, entonces existe pobreza energética.
- Mínimo ingreso estándar (MIS): Se basa en una comparación entre los ingresos de un hogar con los gastos que se realizan. Si dichos gastos del hogar sobrepasan los ingresos del hogar, se dice que un hogar sufre de pobreza energética (Calvo et al., 2021, p. 78).
- Bajos ingresos - alto costo (LIHC): Analiza un hogar pobre energéticamente en una situación cuando el gasto es más que la mediana del gasto de combustible de los hogares del país (Hills, 2012, p. 10).
- Indicador de pobreza después del costo de combustible (AFCP): Está relacionado con el indicador MIS y describe que un hogar es pobre energéticamente cuando es incapaz de pagar los servicios básicos esenciales referentes a fuentes de energía para cocción de alimentos, calefacción u otra actividad en el hogar (Hills, 2012, p. 16).
- Estadísticas de la Unión Europea sobre ingresos y condiciones de vida (EU-SILC): Es un indicador que utiliza los siguientes parámetros para analizar la pobreza energética de una manera subjetiva, los cuales se describen como la incapacidad para mantener el hogar adecuadamente cálido (o fresco) y las condiciones del hogar; como, por ejemplo, si la casa tiene goteras en el techo, paredes, pisos, cimientos húmedos, marcos de ventanas podridos. Atrasos en facturas de servicios públicos.

Para medir la pobreza energética en la comunidad rural Chorrera Mirador perteneciente a la provincia de Chimborazo se utilizaron herramientas llamadas indicadores de pobreza energética multidimensionales, los cuales evalúan varios aspectos del hogar. Los indicadores se seleccionaron en base a varios parámetros, que permitieron evaluar qué indicadores usar de acuerdo con ventajas y desventajas en la aplicación de cada indicador. En la tabla 1, a continuación, se muestra la validación para la selección de los indicadores que se usaron en este trabajo.

Tabla 1

Parámetros de selección para los indicadores de pobreza energética

INDICADORES		10%	HEP	LIHC	MIS	2M	AFCP	EU-SILC
Ventajas	Se puede adaptar a normas nacionales.	X	X	X	X	X	X	
	Se consideran otras necesidades humanas.			X	X		X	
	Se evalúa (parcialmente) la eficiencia energética de los hogares o las tecnologías utilizadas.			X				X

INDICADORES		10%	HEP	LIHC	MIS	2M	AFCP	EU-SILC
Ventajas	Se evalúa el confort térmico en la vivienda.					X		X
	Se evalúan las características de la vivienda.					X		X
	Fácil de calcular.	X	X			X		
	Fácil de comunicar.	X	X					
	Objetivo	X	X	X	X	X	X	
Desventajas	Particularmente sensible a los precios de la energía.	X	X					
	Umbral injustificado.	X						
	Dificultades para fijar objetivamente la renta mínima.				X		X	
	No es suficiente para una medición completa de EP.	X	X	X	X	X	X	X
	El indicador rara vez se actualiza.							X
	Subjetivo							X

Con las características analizadas, los cuatro mejores indicadores puntuados se aplicarán para el estudio de la pobreza energética. La condición de vivienda está incluida en el indicador de las Estadísticas de la Unión Europea, ya que es fácil calificar la vivienda mediante el uso de visualización y calificando subjetivamente si existe pobreza energética por este parámetro.

De todas estas herramientas para medir la pobreza energética, se evaluaron las mejores puntuadas y se seleccionaron los indicadores TPR, HEP y 2M. Debido a su naturaleza heterogénea, se utilizó la metodología MEPI (índice de pobreza energética multidimensional), además de también considerar la *Condición de la vivienda* que pertenece al indicador de las Estadísticas de la Unión Europea, para tener unos valores de evaluación más ajustados y considerar que la pobreza energética también está influenciada por la condición de la vivienda para mantener el confort.

Metodología MEPI

La metodología MEPI evalúa la pobreza energética analizando múltiples condiciones asociadas a la pobreza energética que experimenta un hogar. Los indicadores que usaremos para el análisis del MEPI se basaron en la disponibilidad de los datos, así como la relevancia que tendrán los indicadores en la cuantificación de la pobreza energética. El MEPI se calcula tal como se muestra en la ecuación a continuación:

$$M_{EPI} = E_{PIR} (I_{EP})$$

Donde:

M_{EPI} , índice de pobreza energética multidimensional.

E_{PIR} , tasa de incidencia de la pobreza energética.

I_{EP} , intensidad de la pobreza energética entre pobres energéticamente.

Los componentes de la ecuación para calcular el MEPI:

$$E_{PIR} = q / n$$

Donde:

q, número de hogares identificados como pobres energéticamente.

n, número total de hogares.

$$I_{EP} = \frac{\sum_q q_i (c_i)}{\sum_q q_i (k)}$$

Donde:

q_i , hogar identificado como pobre energéticamente, según el número de condiciones asociadas a la pobreza energética.

c_i , es la suma de puntajes asociados a la pobreza energética calculados para el hogar identificado en pobreza energética.

k, representa el número de indicadores.

De acuerdo con los autores Nussbaumer, Bazilian y Modi (2012, p. 11) considera valores que definirán cuán pobre energéticamente es un hogar. Si un hogar presenta un MEPI que sobrepase un ci de 0,3 se considerará energéticamente pobre. La pobreza energética también se la puede dividir en dos intervalos, cuando el $M_{EPI} > 0,9$ de describe como pobreza energética aguda y cuando el $M_{EPI} < 0,6$ de describe como pobreza energética moderada (Nussbaumer et al., 2012, p. 11).

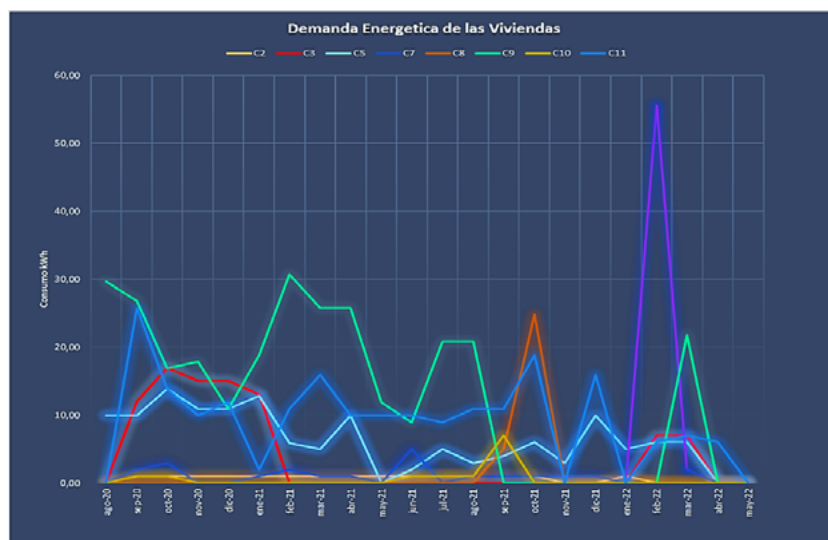
El cómo obtener los resultados de los indicadores se describen a continuación:

Consumo energético de los hogares

En la comunidad rural Chorrea Mirador existen un total de 11 hogares que registran consumo eléctrico mediante datos proporcionados por la Empresa Eléctrica Riobamba S.A. De todos los datos proporcionados, se realizó un filtro que mantiene los datos de consumo estables como se muestra en la Figura 1.

Figura 1

Consumos más estables de los hogares de la comunidad Chorrea, Mirador



Se observan registros desde agosto del año 2020 hasta mayo del 2022. Para calcular la potencia pico necesaria se usarán los datos de consumo más estables durante el año 2021, como se muestra en la tabla a continuación:

Tabla 2
Consumo de energía y promedio de las casas más estables de la comunidad Chorrera, Mirador en el año del 2021

Consumo Eléctrico en kWh												
	ene-21	feb-21	mar-21	abr-21	may-21	jun-21	jul-21	ago-21	sep-21	oct-21	nov-21	dic-21
Casa 5	12,83	5,87	5,00	9,89	0,00	1,96	5,00	2,93	3,91	5,98	2,93	9,89
Casa 9	18,80	30,65	25,76	25,76	11,85	8,91	20,76	20,76	0,00	0,00	0,00	0,00
Casa 11	1,96	10,87	15,87	9,89	9,89	9,89	8,91	10,87	10,87	18,80	0,00	15,87
Promedio	11,20	15,80	15,54	15,18	7,25	6,92	11,56	11,52	4,93	8,26	0,98	8,59

De acuerdo con la Tabla 2, el consumo promedio mayor es de 16 kWh y el consumo promedio menor es de 1 kWh, correspondientes a los meses de septiembre del febrero y noviembre del 2021, respectivamente.

Evaluación del recurso solar disponible en la zona

Dentro de las condiciones geográficas necesarias para la implementación de sistemas de producción de energía, a través de recursos renovables, la latitud, la altitud y los accidentes geográficos de la zona son importantes. La Figura 2 muestra una imagen de la zona vista desde el espacio que indica la comunidad rural Chorrera Mirador.

Figura 2
Ubicación geográfica de la comunidad rural Chorrera, Mirador

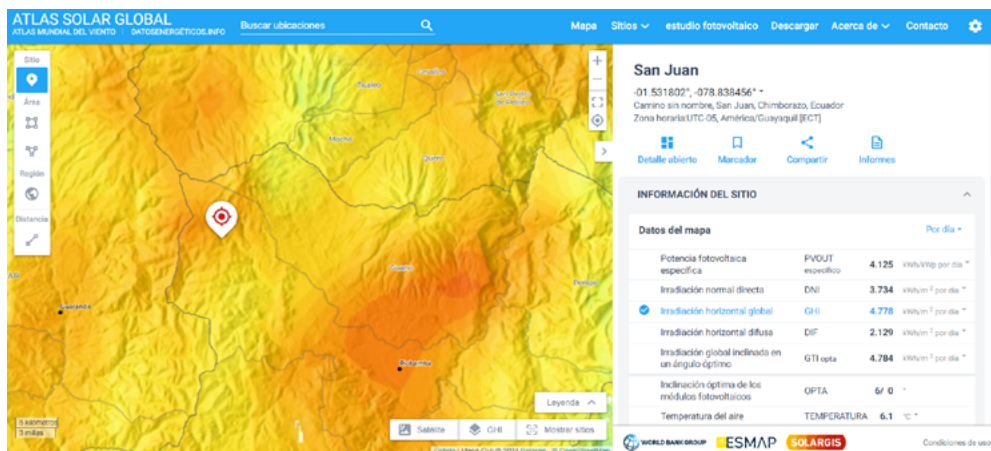


Cuando se evalúa el recurso solar de una zona de estudio, por lo general es el promedio diario de irradiación que viene en unidades de kilowatts hora sobre metro cuadrado (kWh/m²), aunque también es conocido como las horas solares picos y se refieren a la cantidad de radiación solar que recibe determinada localidad si el sol estuviese en su punto más alto por un número determinado de tiempo. En este caso, la evaluación para la implementación se realizará en horas (Aguiar Muñoz, 2022).

Para la terminación del potencial solar de la comunidad rural Chorrera Mirador, se utilizó la herramienta de software disponible en línea desarrollada por SOLARGIS. A continuación, en

la Figura 3, se presentan las condiciones solares de la zona de estudio junto con la irradiación global horizontal:

Figura 3
Irradiación global horizontal de la zona de implementación



La Tabla 3 muestra datos de la radiación solar horizontal (GHI) correspondiente a los meses del año 2019 en la comunidad rural Chorrera Mirador. Estos datos pueden contener una desviación de los valores originales debido a la precisión a partir de la localización realizada con las coordenadas GPS de la comunidad (Vaca Revelo & Ordoñez, 2019, pp. 18-29).

Tabla 3
GHI de la comunidad rural Chorrera, Mirador

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
GHI (kWh/m ² día)	5,1	5,15	4,85	5,1	5	4,9	4,5	5	5,4	4,9	5	5,2

Evaluación del recurso eólico

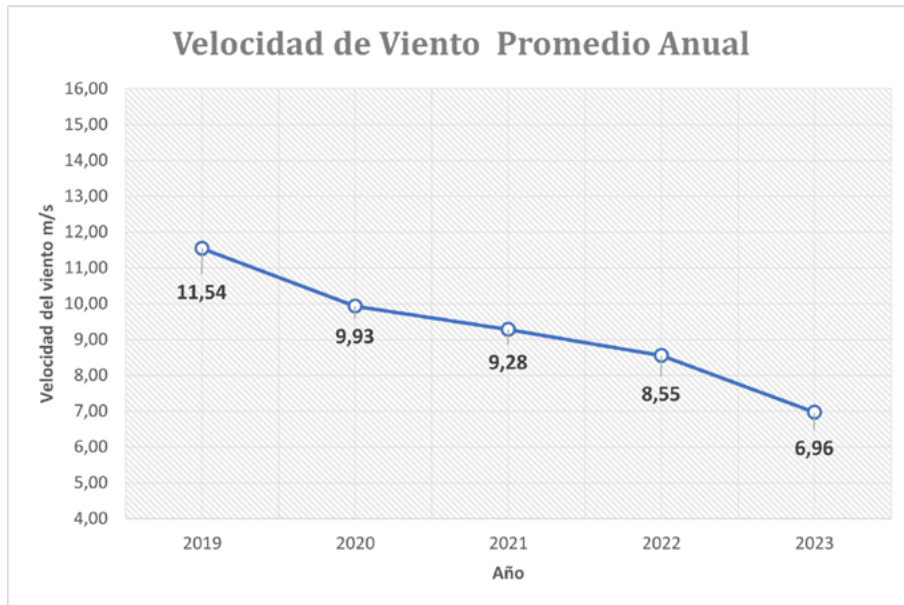
Los parámetros básicos para determinar el potencial eólico de una zona son: La velocidad del viento, la dirección del viento, la temperatura y presión del aire. Como un estándar internacional, la altura en la que se mide la velocidad del viento es a una altura de 10 m sobre el suelo y, aunque en la actualidad existan generadores de electricidad que utilizan viento que sobrepasan esa altura, para la implementación de este proyecto se tomará en cuenta el estándar internacional para la medición del viento (Aguar Muñoz, 2022, p. 54).

Por lo general, las turbinas eólicas a alturas menores a 10 m utilizan los datos de velocidad del viento a una altura de 10 m para poder ser dimensionadas correctamente. En la Figura 4 se muestra la velocidad del viento en la zona de estudio, cuyos datos fueron proporcionados por un centro meteorológico cercano a la zona de estudio.

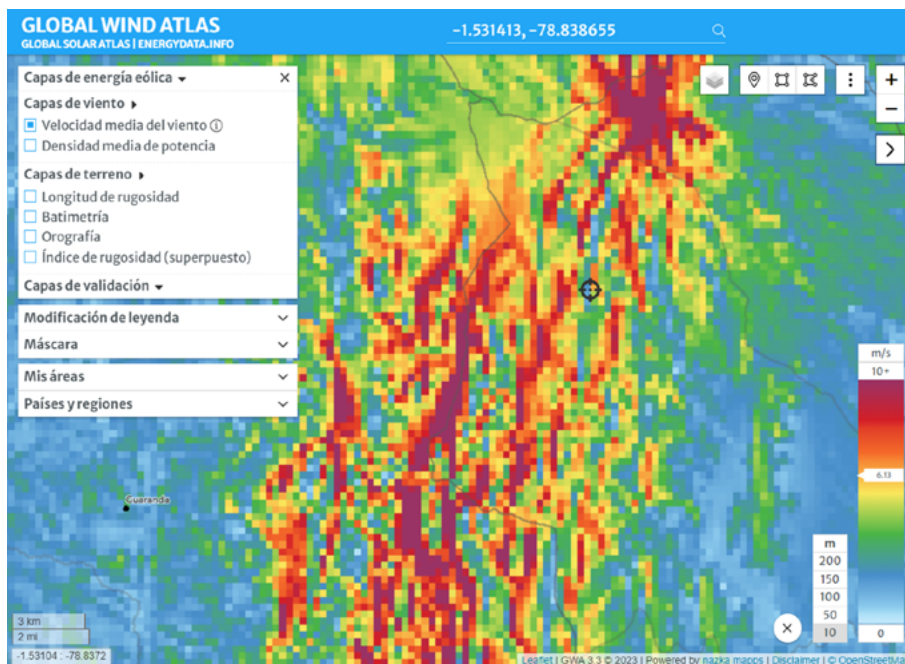
Según podemos observar en la Figura 4, la velocidad del viento en la zona a una altura de 10 m ha ido decayendo con el paso de los años. La velocidad del viento en 2023 es de 6,96 m/s. Adicionalmente, se realizó una validación utilizando el Wind Global Atlas (Global Wind Atlas, 2021). En la Figura 5 se observa la velocidad del viento en la zona de la comunidad rural Chorrera, Mirador.

Figura 4

Velocidad Promedio en el periodo 2019-2023 del Viento en la Zona Chorrera Mirador

**Figura 5**

Velocidad del viento en la zona de implementación, a una altura de 10m



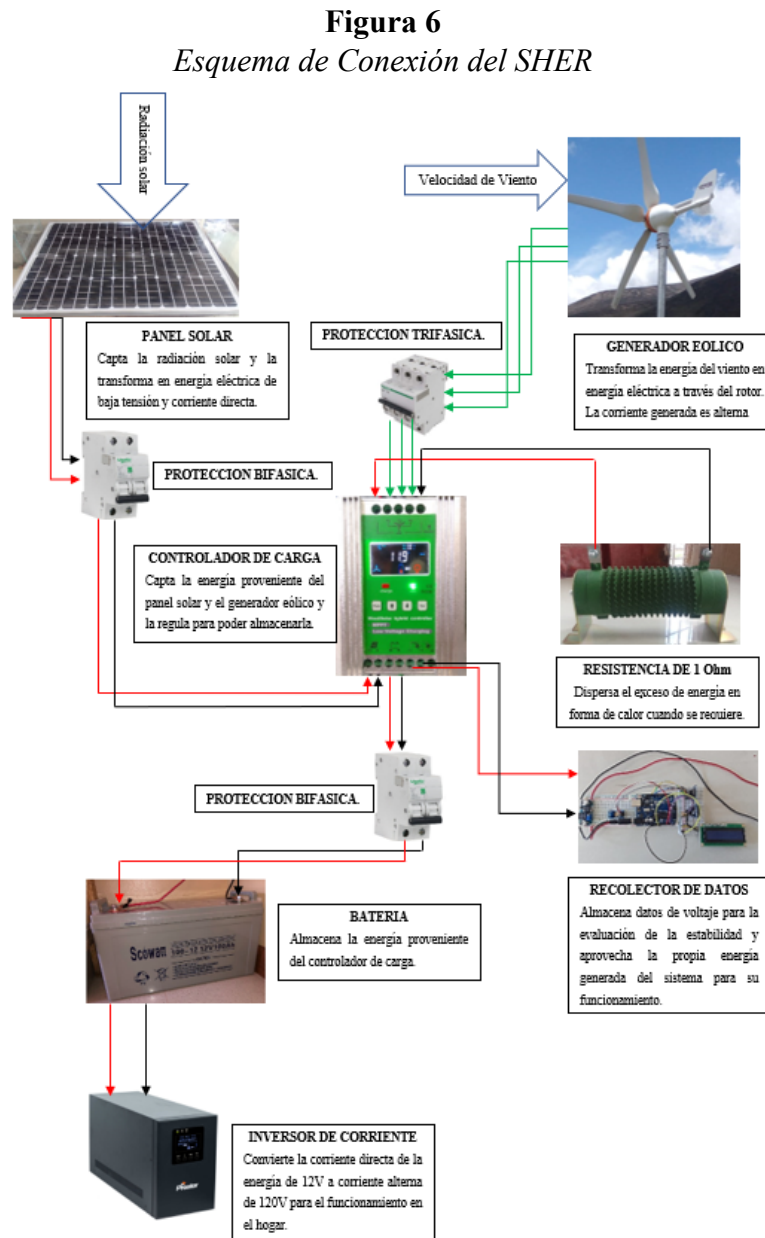
Basados en los datos presentados por el Centro Meteorológico y por el Atlas eólico en línea, podemos decir que la velocidad del viento oscila entre los 6 y los 7 m/s en la comunidad rural Chorrera, Mirador.

Dimensionamiento del SHER

Los sistemas de energías híbridas se dimensionan con base en la demanda diaria de energía que requiere el sistema, comparada con la energía que se puede extraer de los recursos solares y eólicos de la zona. Para ello se requieren los datos meteorológicos de la zona, ya que con base en estos se puede terminar cuánta energía se puede extraer de la zona en la que se va a implementar el sistema.

Se asume que la demanda de energía diaria será proporcionada de su totalidad por cada parte del sistema, y con esta base se realizan los cálculos necesarios para dimensionar las partes del sistema eólico-solar de energía. Aunque realizar los cálculos de esta manera produce un sobredimensionamiento, en parte es entendible debido a que los datos meteorológicos no son estables cuando se recolectan y se trabaja con un promedio.

De acuerdo con manuales de instalación, se propone un esquema para la conexión del SHER, la cual se describe en la Figura 6, a continuación:



Basándonos en los trabajos realizados por Villao Miranda (2021), Swart, Ghofrani y Jafari (2017), partimos de la premisa de que el cálculo y la selección de paneles solares parten de la demanda que se quiere cubrir para un intervalo de tiempo.

La selección de la turbina eólica depende del área de barrido; dicha área es necesaria para encontrar el diámetro requerido de la turbina. La energía total anual requerida se calcula en base a la energía que requiere el sistema en un día de consumo.

El controlador de carga es el puente que conecta el panel solar y la turbina eólica, transformando la energía que proviene de los componentes antes mencionados en corriente directa, la cual es almacenada en una batería para posteriormente transformarse en corriente alterna mediante un inversor. Para la selección de este elemento del sistema SHER se toma en consideración la corriente nominal de carga, la cual depende de la potencia nominal del panel y de la turbina eólica y se calcula mediante la siguiente ecuación (Córdova-Uvidia, 2021, p. 52).

Recolección de Datos

Para el SHER se propone un sistema para analizar el voltaje que los elementos de la turbina eólica y el panel solar proporcionan a la carga de la batería. Es importante analizar este factor debido a que hay que conocer si los sistemas independientes de generación de energía pueden proveer el suficiente voltaje para mantener el funcionamiento por un largo periodo de tiempo.

Para esta implementación se incorporó un solo circuito electrónico a la salida del controlador de carga, el cual revisará el voltaje de carga que administra este a la batería. Para ello se utilizan elementos electrónicos conectados a un controlador Arduino, encargado de ejecutar el código para recolectar los datos de manera óptima. La interfaz de Arduino cuenta con librerías que permiten la programación de múltiples elementos necesarios para registrar los datos de voltaje con su correspondiente dato de hora de registro.

Con ello se analiza cada elemento que compone este sistema de recolección de datos y el tratamiento para visualizar los datos en el computador o PC y generar la gráfica del comportamiento de voltaje.

Las librerías Arduino constan de comandos de entrada para reconocer todos los componentes que estén conectados a la placa Arduino. Los elementos que componen al sistema electrónico se describen a continuación en la Tabla 4:

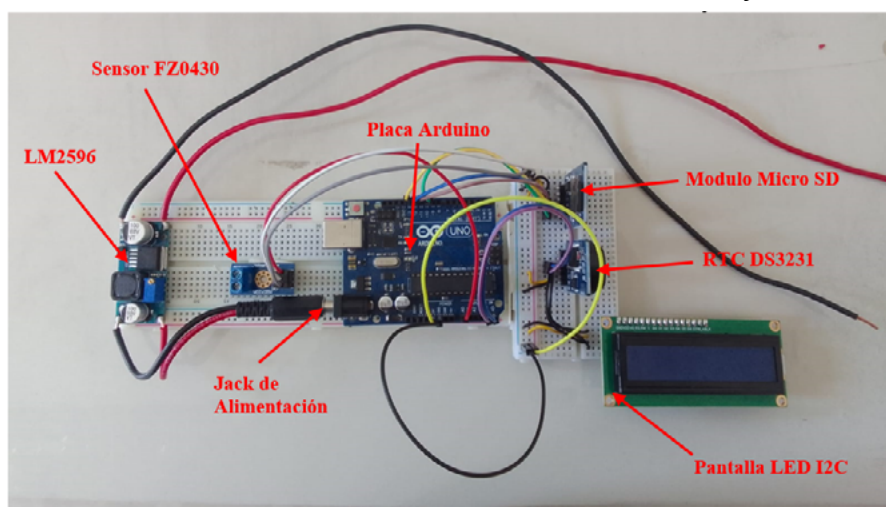
Tabla 4
Componentes del circuito electrónico con su funcionalidad

Circuito electrónico recolector de datos			
Cantidad	Código/Nombre	Librería Arduino Necesaria	Descripción
1	Placa Arduino UNO R3	Software Arduino IDE	Este es el componente central del circuito y es el encargado de ejecutar el código de programación y administrar la energía necesaria para el funcionamiento de los demás componentes del sistema de recolección de datos: Se necesita tener instalado el software Arduino IDE en el PC para poder validar y cargar el código en la placa.
1	Sensor de voltaje FZ0430	N/A	Este es el componente encargado de recolectar los datos de voltaje que proporciona el controlador de carga para cargar la batería. Tiene un rango de operación de entre 0 a 25V.
1	Reloj analógico RTC DS3231	DS3231	Este componente se encarga de mantener actualizada la fecha y la hora del circuito, y se usa para registrar el voltaje en determinado día y hora. Además, incluso si el circuito se quedase sin suministro de energía, la fecha y hora se mantienen actualizadas.

Circuito electrónico recolector de datos			
Cantidad	Código/Nombre	Librería Arduino Necesaria	Descripción
1	Modulo Micro SD	SD	Permite leer y escribir en tarjetas SD. Una vez que una tarjeta de memoria SD está conectada a la interfaz SPI de la placa Arduino o Genuino, puede crear archivos y leer/escribir en ellos. También puede moverse por los directorios de la tarjeta SD.
1	Pantalla Led I2C	LiquidCrystal_I2C	Este es un aditamento que permitirá vigilar que la tarjeta SD esté insertada de manera correcta para la escritura de datos; además, permite ver la hora y el dato de voltaje que se escribe en la tarjeta SD.
1	Regulador de Voltaje 3 A LM2596 con Jack de Alimentación	N/A	Este componente es el encargado de regular el voltaje del controlador de carga al circuito recolector de datos, bajando el voltaje para evitar quemar. Tiene un rango de voltaje de entrada de 4.5 V a 40 V DC y a la salida de 1.23 V a 37 V DC. La regulación se realiza mediante un potenciómetro.

Finalmente, con todas las conexiones del circuito Arduino, para la recolección de datos, tenemos el esquema de la Figura 7, que describe el montaje experimental de registro de voltaje. El sistema registra datos de manera constante, mientras se genera energía y así se analiza la estabilidad de voltaje durante la producción.

Figura 7
Circuito electrónico recolector de datos de voltaje



Los datos se almacenarán en un archivo de formato .txt, que se puede exportar a Excel para generar gráficas y realizar cualquier cálculo necesario. Estos datos se transformarán a gráficas para determinar los puntos pico donde el voltaje es muy alto o será muy bajo. De acuerdo con el análisis empírico se estimará que cuando existan picos altos de energía la irradiación solar será elevada o en casos contrarios se estimará que la velocidad del viento es muy elevada.

Experimento de Funcionamiento

Para demostrar la funcionalidad del sistema bajo condiciones de carga, se realizó un banco de pruebas que conectarán elementos que consumen potencia conectados de manera continua en paralelo hasta 3 cargas de 30W. Esto debido a que la potencia pico requerida al día es

de 84W, pero como se dimensionó el sistema con una sobredimensión de elementos que exceden los parámetros mínimos necesarios, permite redondear la carga hasta 90 W sin problema. Los elementos del banco de pruebas se muestran en la Tabla 5, a continuación.

Tabla 5
Elementos del Banco de Pruebas

Elemento	Característica	Cantidad
Focos LED	30 W	3 u
Conector	2 entradas	2 u
Boquilla para Foco	Atornillable	3 u
Cable	AC 120 V	6 m
Tabla Tríplex	50x65x1cm	1 u
Enchufe	Bifásico	1 u

Con estos elementos se construyó el banco de pruebas, que finalmente adquirió la configuración mostrada en la Figura 8:

Figura 8
Banco de Pruebas



La conexión de la Figura 8 muestra que las cargas están conectadas en paralelo debido a que cuando se conectan se suman las potencias, pudiendo así estresar el sistema lo necesario para simular el funcionamiento en un hogar. El tomacorriente sirvió para demostrar que se pueden cargar móviles con seguridad sin que exista fallos.

Resultados y Discusión

Metodología MEPI

Los resultados para la metodología MEPI se basaron en los indicadores TPR, 2M, HEP y condición de vivienda. Estos se obtuvieron mediante encuestas y diálogos con los moradores de la comunidad rural Chorrera. En la Tabla 6, a continuación, se indica la valoración de cada casa con el indicador aplicado. Se considera que, para la valoración de los indicadores, 1 representa pobreza energética y 0 representa que no existe dicha falencia.

Tabla 6
Valoración MEPI de la Comunidad Rural Chorrera Mirador

	Número de hogares	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	Equivalencia
K=4	Indicadores												
1	10% (TRP)	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0,25
2	HEP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25
3	2M	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,25
4	Condición de la vivienda	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0,25
	Condición de Pobreza Energética	0,50	0,50	0,25	0,75	0,75	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	
	Casa Pobre Energéticamente	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	

Una vez establecida la condición de pobreza energética de cada hogar, se observó que todas sufren pobreza energética y se demuestra que un solo indicador no es suficiente para demostrar la pobreza energética en un hogar.

A continuación, se calculó el valor total de pobreza energética de la comunidad mediante los valores especificados en la tabla 7. Dicho valor indica el valor de pobreza energética final MEPI de la comunidad en general.

Tabla 7
Valor final del MEPI en la comunidad rural Chorrera Mirador

Número Total de Hogares.	11		
Hogares con Pobreza Energética.	11		
Número Total de Indicadores.	4		
Tasa de Incidencia EPIR (q/n).	1		
Numerador.	C	q	C*q
	0,25	1	0,25
	0,5	8	4
	0,75	2	1,5
	1	0	0
Total, Numerador.	5,75		
Total, Denominador.	44		
Intensidad IEP	0,130681818		
MEPI.	0,130681818		

Para determinar el nivel de la pobreza energética mediante el MEPI, se tomó en cuenta las siguientes consideraciones:

$MEPI > 0,9$ es pobreza Energética Aguda

$MEPI < 0,6$ es pobreza Energética Moderada

Si el valor de pobreza energética MEPI es menor a 0,6, se tiene una pobreza energética moderada, por lo que la implementación de un sistema híbrido de energías ayudaría a mitigar esta pobreza energética, en una medida que no afecte a la economía del lugar y se aproveche los recursos solares y eólicos de la zona.

Además, la implementación del SHER en hogares de la comunidad reduciría los costos que pagan los lugareños por luz eléctrica. Entonces se justifica la implementación de SHER mediante el análisis de la pobreza energética en la zona estudiada.

Figura 9
Implementación del SHER



La implementación en la zona de estudio, como se muestra en la Figura 9, se realizó con éxito. Se confirmó que los recursos para la generación energética son suficientes en la ubicación de la instalación. Todo el proceso se realizó con la supervisión de docentes expertos, que brindaron indicaciones sobre las conexiones y cómo adaptar los soportes adecuadamente.

Estabilidad de voltaje

Los datos recolectados, mediante la ayuda del circuito recolector de datos, permitieron revisar la estabilidad de voltaje del sistema, que por lo general es un tema poco abordado en la implementación de sistemas de alta potencia y en sistemas de energías renovables. Un análisis de estabilidad ayuda a detectar las horas críticas en las que el sistema puede llegar a ser inestable, pudiendo ayudar a mitigar estas inestabilidades mediante el uso de otras estrategias de ingeniería, o con el uso de conexiones a otros sistemas de energía alternativos (Cubillos Goyeneche, 2021).

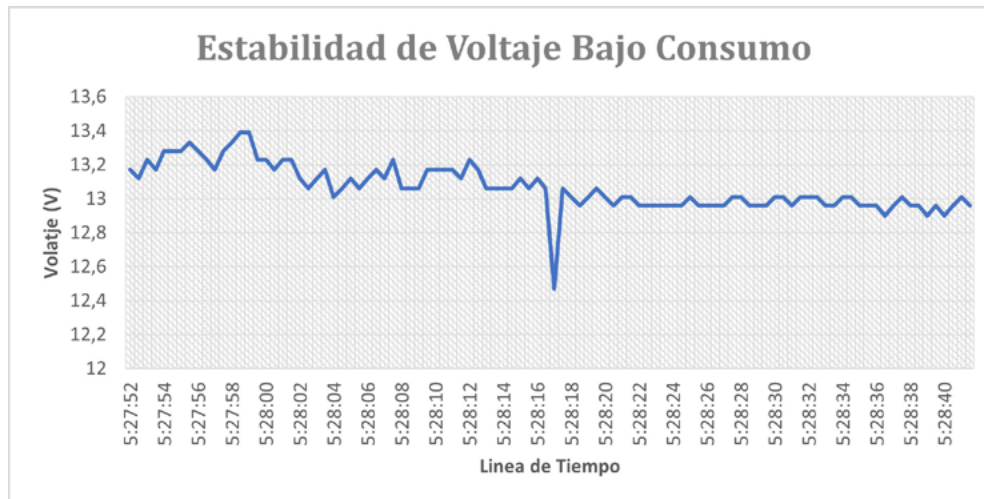
Se plantearon varios escenarios en los que la obtención de datos de voltaje ayuda a plantear estrategias a futuro para ayudar a reducir el impacto negativo de la inestabilidad del voltaje, que se traduce en tiempos en los cuales el sistema de generación de energía ya no mantiene un voltaje de carga constante y por lo tanto puede perder la potencia pico necesaria para seguir alimentando a los hogares que esté conectado. Además, también el análisis de estabilidad de voltaje ayuda a conocer los límites de operación del sistema tanto máximos como mínimos (Morales Cuásquer & Morillo Carrera, 2023).

Se observó que existe mejor estabilidad en el voltaje debido a que ambos sistemas de generación de energía se encuentran conectados y produciendo energía de manera más estable y aunque existen caídas en el voltaje, debido al consumo, el sistema rápidamente se repone de las caídas de voltaje; indica que la ubicación geográfica es adecuada para la generación de energía y además que el sistema produce suficiente energía para para abastecer la potencia pico requerida sin consumir demasiada energía de la batería. Al seguir esta premisa, se puede dar el caso en que el banco de pruebas podría haber consumido más energía que la que el sistema

podría producir, lo que conllevaría a volver a analizar la ubicación geográfica y recalculando las condiciones requeridas para la implementación del SHER. En la Figura 10 se muestra la estabilidad de voltaje del sistema cuando ambos sistemas están conectados.

Figura 10

Estabilidad de voltaje cuando existe consumo y se genera energía mediante panel solar y turbina eólica



Análisis empírico de los datos de voltaje

Este análisis empírico sólo puede ser llevado a cabo cuando se tienen los datos de generación de únicamente un elemento conectado a la vez, ya que cuando se conectan elementos externos como cargas de consumo, o si ambos sistemas están conectados a la vez, sería imposible determinar si existe o no una irradiación solar alta o velocidad de viento alta debido a que las gráficas en las que ambos sistemas están conectados se estabilizan entre sí debido a la generación alterna entre los dos elementos.

Los sistemas de energía híbridos destacan por su capacidad de compensar mutuamente los periodos de baja generación. Esto significa que, independientemente de cuál recurso esté produciendo energía en un momento dado, el sistema se adapta para satisfacer la demanda. El análisis de los datos del generador de voltaje es clave para este proceso. Si el voltaje disminuye, otro recurso energético se activa para compensar y mantener el suministro.

Una buena estabilidad de voltaje abarca la rápida recuperación del sistema al voltaje de carga o mantener una buena estabilidad sin tantas oscilaciones repentinas. En este proyecto se observó que los voltajes cambian radicalmente cuando solo trabaja un solo elemento conectado al sistema. Por otra parte, la estabilidad se mantiene de manera más uniforme cuando ambos sistemas trabajan conectados, indicando que las caídas de voltajes se compensan entre los sistemas y suministran un adecuado voltaje de carga.

El análisis empírico de los picos de voltaje, en las gráficas de los distintos escenarios en los que se tomaron los datos, permitió observar que un alto pico de energía es generado debido a una alta irradiación solar o una velocidad alta de viento y un bajo pico es generado por una baja radiación solar y velocidades bajas de viento. Este análisis es meramente observatorio, debido a que no se encuentran sensores que evalúen los datos meteorológicos con gran precisión.

Conclusiones

El estudio de la pobreza energética mediante indicadores y la metodología MEPI, permitió evaluar la pobreza energética en la comunidad Chorrera Mirador, perteneciente a la provincia de Chimborazo, donde como resultado se halló una pobreza energética moderada, que puede ser mitigada mediante el uso de sistemas de energías renovables.

La instalación de un sistema híbrido de energía renovable SHER de naturaleza solar-eólica se realizó con éxito, mostrando resultados adecuados a la situación de mitigación de la pobreza energética. El sistema cumplió con la potencia pico requerida, además de que el uso de elementos de iluminación de bajo consumo de potencia permitirá que la energía se distribuya a más hogares.

La implementación del circuito recolector de datos para monitorear la estabilidad del voltaje demostró ser una herramienta efectiva para el análisis a largo plazo. Este sistema permite el registro de datos, incluso en ausencia de supervisión constante, gracias a su reloj interno RTC. Sin embargo, una limitación es que mientras el circuito está desenergizado no se registran datos, lo que podría llevar a la pérdida de información durante periodos prolongados de inactividad del sistema.

El análisis de la estabilidad del voltaje es fundamental, no solo en el contexto de los SHER, sino también en plantas generadoras más grandes, como las hidroeléctricas. Las fluctuaciones en el voltaje pueden indicar períodos de inestabilidad que causan cortes de energía o dañan los sistemas conectados a la red. Aunque este estudio proporciona una base para entender la dinámica de voltaje en sistemas pequeños, futuras investigaciones podrían ampliar este análisis a otros contextos energéticos y evaluar cómo las variaciones en el voltaje afectan la durabilidad y eficiencia de los sistemas de generación.

Para trabajos futuros, se recomienda explorar mejoras en el diseño de los SHER, como la incorporación de mecanismos de orientación automática para optimizar la captación de energía solar y eólica. También sería beneficioso implementar sensores ambientales adicionales que permitan una mejor evaluación de los recursos disponibles y la identificación de soluciones para maximizar el potencial de generación eléctrica. Además, se podrían considerar estudios comparativos con otras comunidades rurales, para validar y adaptar la metodología aplicada en Chorrera Mirador a diferentes contextos.

Reconocimientos

Los autores reconocen y agradecen el apoyo de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo para la realización del presente trabajo técnico. Particularmente, extienden un agradecimiento al Decanato de Investigaciones por la gestión del Proyecto IDIPI-274.

Referencias

- Aguiar Muñoz, P. A. (2022). *Aprovechamiento de la energía residual en un sistema combinado de energías renovables para la producción de hidrógeno verde*. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/17208>
- Calvo, R., Álamos, N., Billi, M., Urquiza, A., & Contreras Lisperguer, R. (2021). *Desarrollo de indicadores de pobreza energética en América Latina y el Caribe*. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/47216>
- Chiriboga, M., & Wallis, B. (2010). *DIAGNOSTICO DE LA POBREZA RURAL EN ECUADOR Y RESPUESTAS DE POLÍTICA PÚBLICA*. https://rimisp.org/wp-content/files_mf/files_mf/1366317392Diagnosti...pdf

- Córdova-Uvidia, R. A. (2021). *Diseño de un sistema de fabricación aditiva con fuentes de alimentación de energía renovable* [masterThesis]. <https://reunir.unir.net/handle/123456789/12270>
- Cubillos Goyeneche, I. (2021). *Estimación del margen de estabilidad de voltaje en sistemas de potencia de baja inercia mediante PMUS*. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/180273>
- García Ochoa, R. (2014). *Pobreza energética en América Latina*. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/36661>
- González Eguino, M. (2014). *La pobreza energética y sus implicaciones*. <https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/14275/BC3WP201408.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hills, J. (2012). *Getting the measure of fuel poverty: Final report of the Fuel Poverty Review* (Monograph 72). Centre for Analysis of Social Exclusion. <http://sticerd.lse.ac.uk/case/>
- Ibañez Martín, M. M., Zabaloy, M. F., Reyes Pontet, M. D., Chaz Sardi, M. C., & González, F. A. I. (2022). ¿Cómo aliviar la pobreza energética a partir de energías renovables? Diseño de un ensayo aleatorio en barrios vulnerables. *Revista Latinoamericana de Metodología de las Ciencias Sociales*, 12(1). <https://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/library?a=d&c=arti&d=Jpr14794>
- Moposita Achachi, V. G. (2022). *Diseño de un producto turístico para las comunidades La Chorrera, Mirador y Pulinguí San Pablo de la parroquia San Juan, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo*. <http://dspace.espech.edu.ec/handle/123456789/19155>
- Morales Cuásquer, C. D., & Morillo Carrera, K. A. (2023, agosto 16). *Impacto en la estabilidad de voltaje en el Sistema Eléctrico de Potencia ante contingencia N-2 con el ingreso de centrales fotovoltaicas*. ESPE. <https://repositorio.espe.edu.ec/jspui/bitstream/21000/36962/1/T-ESPEL-EMI-0462.pdf>
- Nussbaumer, P., Bazilian, M., & Modi, V. (2012). Measuring energy poverty: Focusing on what matters. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 231-243. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.150>
- Quishpe, P., Taltavull de La Paz, P., & Juárez Tárraga, F. (2019). Energy Poverty in Ecuador. *Sustainability*, 11, 6320. <https://doi.org/10.3390/su11226320>
- Santillán, O. S., Cedano, K. G., & Martínez, M. (2020). Analysis of Energy Poverty in 7 Latin American Countries Using Multidimensional Energy Poverty Index. *Energies*, 13(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/en13071608>
- Siksnyte-Butkiene, I., Streimikiene, D., & Balezentis, T. (2022). Addressing sustainability issues in transition to carbon-neutral sustainable society with multi-criteria analysis. *Energy*, 254, 124218. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124218>
- Vaca Revelo, D., & Ordóñez, F. (2019). *Mapa Solar del Ecuador 2019*.