

ODS un marco para la transición energética con un sistema de riego fotovoltaico

Luis Ramírez Córdova

ORCID: 0000-0002-0763-0684

Alexis Barroso Molina

ORCID: 0000-0002-5109-9077

Resumen

El proyecto “La Cumaca” aborda la integración de múltiples variables ingenieriles, ambientales y transversales presentes en el siglo XXI, con especial énfasis en las propuestas de organismos multilaterales, como la Organización de Naciones Unidas (ONU) y su agenda de los Objetivos para el desarrollo Sostenible (ODS) 2015 que busca fundamentalmente el fin de pobreza, acciones por el clima y proyectos sostenibles para gestionar el cierre de las brechas actuales de la ingeniería, siendo esta última opción el pivote de la propuesta que se presenta donde se benefició a 33 agricultores con un sistema de bombeo con paneles solares, baterías, inversor, bomba electromecánica y tanques de almacenamientos para la siembra y cuidado de sus cultivos, principalmente para su consumo, así como la comercialización, se utilizaron datos de NASA y de Global Solar Atlas para contemplar las variables técnicas, como la irradiación solar, pendientes del terreno, caudal del río y las hectáreas de siembra que permitieron el diseño del proyecto ingenierilmente, de igual forma se comparten algunos éxitos de los productos zafrados luego de la instalación de equipos.

Palabras clave: Renovable, Brechas, ODS, Ingeniería

GDS framework for energy transition with a photovoltaic irrigation system

Abstract

The “La Cumaca” project is about integration of multiple variables, like, engineering, environmental and transversal present in the 21st century, with special emphasis on the proposals of multilateral organizations such as the United Nations (UN) and its 2015 Sustainable Development Goals (SDG) schedule which fundamentally seeks the end of poverty, climate actions and sustainable projects to manage the closing of current engineering gaps, this last option being the pivot of the proposal that is presented where 33 farmers benefited with a pumping system with solar panels, batteries, inverter, electromechanical pump and storage tanks for planting and caring for their crops, mainly for consumption, as well as marketing, data from NASA and Global Solar Atlas were used to contemplate the technical variables, such as solar irradiation, slopes of the land, river flow and hectares planted that allowed the engineering design of the project, in the same way some successes of the products released after the installation of equipment are shared.

Keywords: Renewable, Gaps, GDS, Engineering

1. Introducción.

La Organización de las Naciones Unidas y sus países miembros están trabajando para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible a 2030 (ODS30). Para tal fin se desarrollaron 17 Objetivos, acordados por la Conferencia de Naciones Unidas en la reunión de Río de 2012 y marcan los compromisos internacionales para erradicar la pobreza y mejorar la calidad de vida en el planeta (UNDP, 2018). En este sentido, la energía es una parte importante del objetivo global, con el enfoque principal en la energía asequible y no contaminante, el cual es el objetivo 7 de ODS. Esto incluye garantizar el acceso universal a servicios energéticos seguros, fiables y modernos; así como mejorar la proporción mundial de fuentes renovables mediante inversiones internacionalmente coordinadas. Además, se busca duplicar la tasa mundial de eficiencia energética mediante mejoras tecnológicas que permitan prestar servicios confiables y sostenibles.

Cada meta establecida por la ONU desde los 17 objetivos para el desarrollo sostenible, maneja un conjunto de indicadores propuestos, específicamente 232, lo que sería la forma cuantitativa de reflejar los resultados de un proyecto desde el marco del organismo multilateral, incluso desde cada proyecto se pueden generar indicadores propios vinculados con su(s) objetivo(s) relacionados.

Desde este contexto de sustentabilidad, la productividad agrícola es la clave del crecimiento económico y nutricional de cualquier país y su población. Este aspecto se vincula con el Objetivo para el Desarrollo Sostenible (ODS) N°. 12: Producción y Consumo Responsable.

Para lograr estos objetivos globales hay varias acciones transversales que deben ser tomadas por las nacionales participantes. Estas incluyen políticas públicas destinadas al despliegue masivo e integración exitosa entre sectores privados y públicos para impulsar soluciones innovadoras basadas en tecnologías limpias; además del fortalecimiento regulatorio necesario para promover prácticamente cualquier tipo infraestructura relacionada con recursos renovables. También, son fundamentales programas educativos dirigidos a incentivar comportamientos responsables hacia el uso eficiente y respeto al medio ambiente. Además. las comunidades deben empoderarse de las tecnologías limpias, lo cual es clave para lograr la sostenibilidad y todos los beneficios sociales y económicos potenciales [R. N. Dar-Mousa and Z. Makhamreh]. Por otra parte, permite entender las relaciones complejas que se generan en cuanto al uso y operación de una microred eléctrica [R. N. Dar-Mousa and Z. Makhamreh].

Por otra parte, algunos países en vía de desarrollo poseen un alto porcentaje de territorio sin acceso al sistema eléctrico, donde las necesidades de riego de los cultivos se realizan a partir de moto-bombas

que se alimentan de combustibles fósiles como el Diesel o gasolina [1]. Lo que trae como consecuencia la emisión de gases contaminantes y otros residuos que afectan el medio ambiente.

El desabastecimiento de energía y la mala calidad debido a la falta de inversiones en infraestructura energética son grandes desafíos que enfrentan los países en desarrollo. Esta realidad hace que la cooperación internacional tenga un papel fundamental en el progreso de las comunidades que integran estas zonas [Castilla]. Por ello la importancia de la financiación externa y el apoyo a la investigación e innovación en sistemas de energía para el sector rural con un énfasis en fuentes renovables como energía hidroeléctrica, eólica, solar y geotérmica [Castilla][Rodriguez].

Una de las experiencias positivas de contribución al desarrollo en países en vías de desarrollo se encuentra en [Best, Van Campen, & Guidi, 2000], en el marco de la contribución de las energías renovables al progreso de las comunidades rurales ubicado en el departamento de Dagana y Podor, al norte de Senegal, proyecto financiado por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) para la Alimentación y la Agricultura que buscaba ayudar a los cultivadores de productos hortícolas a través del uso de energía fotovoltaica para la extracción de agua del río a través de una bomba y se brindó capacitación técnica a los aldeanos sobre estudios agrarios [Best, Van Campen, & Guidi, 2000]. Estos autores también expresan que si bien necesita perfeccionarse, la combinación de bombas alimentadas mediante sistemas fotovoltaicos con técnicas de goteo y otras formas eficientes de irrigación prometen una solución económica para el riego de cultivos hortícolas y otros de gran valor comercial, con menos agua y menos fertilizantes, aun en las tierras antes consideradas inadecuadas para el riego [Best, Van Campen, & Guidi, 2000].

La notoriedad mundial de la tecnología fotovoltaica se debe, entre otras cosas, por su fácil uso, debido a que son sistemas modulares que pueden ser dimensionados para distintos tipos de necesidades energéticas y con posibilidad de expandirse (Barroso M., 2022). Han sido ampliamente usadas en áreas remotas como electrificación rural, bombeo de agua, telecomunicaciones y señalización.

Los sistemas fotovoltaicos representan una alternativa ecológica para la generación de electricidad con aplicaciones en zonas urbanas y rurales, no tienen problemas de depender de un suministro de combustibles y su logística de distribución. Uno de los mayores beneficios del éxito de la energía solar no es sólo la electricidad limpia y barata que puede producir, sino las lecciones que aporta a la innovación y desarrollo en otras tecnologías, necesarias para hacer frente al cambio climático y los otros aspectos vinculantes con las 169 metas propuestas desde la Organización de Naciones Unidas (ONU) como agenda común y transversal de la humanidad [Nemet].

Por otra parte, las comunidades remotas se enfrentan regularmente a una serie de problemas debido a su aislamiento geográfico; uno de ellos es el acceso a la energía eléctrica (Goldemberg & Lucon, Energy, Environment and Development, 2010). Estas zonas, aisladas de sistemas eléctricos interconectados, por lo general dependen de plantas diesel para la generación, que presentan problemas tales como limitada capacidad eléctrica instalada, equipos envejecidos, poco mantenimiento, altos costos del combustible, elevadas emisiones de gases de efecto invernadero y la logística del combustible. Sin embargo, en los últimos años, las fuentes de energía renovable se han utilizado para resolver algunos de estos problemas a nivel de micro-redes. . En este aspecto, las micro redes juegan un papel importante como forma alternativa a la integración de fuentes renovables de energía a los sistemas de potencia (Barroso M., 2022).

En el caso venezolano, pese a tener un enorme potencial de energía solar no se han aplicado de manera masiva, solo algunas aplicaciones rurales. Por otra parte, las aplicaciones de la energía mediante sistemas fotovoltaicos (SPV) pueden ser variadas debido a sus enormes ventajas, pudiendo instalar equipos de bajas capacidades como microrredes hasta sistema de alta capacidad. Representando así, soluciones de bajo costo, seguras y sencillas para el suministro descentralizado de energía eléctrica [3]. Además, que disminuyen el impacto al ambiente.

En este sentido, la comunidad de “La Cumaca”, en Venezuela, es una población rural que se encuentra aislada del sistema eléctrico de distribución de la zona, por lo que las labores de riego utilizan intensivamente sistemas que operan con combustibles fósiles como grupos electrógenos. Tomando en cuenta los ODS 7 el acceso universal a la electricidad como elemento indiscutible para la lucha contra la pobreza se propone un sistema de energía alternativo basado en las potencialidades de la zona. En consecuencia, se hace urgente masificar soluciones energéticas cónsonas con el ambiente, escalables y a bajos costos (Barroso, 2022) (A Barroso y Luis Ramirez).

Esta comunidad está constituida por una población aproximada de 33 habitantes, el 55% son mujeres dedicadas a las labores del hogar y dependientes económicamente de sus parejas o un tercer familiar cercano, su nivel educativo promedio es primaria básica completa. Dicha población es altamente vulnerable económicamente, porque se encuentra aislada de grandes centros urbanos de trabajo formales y dependen específicamente de su producción agrícola endógena. El riego en la zona es de periodicidad diaria, intensiva y extensiva, adicional la comunidad no cuenta con un sistema de almacenamiento de agua propio.

En [4] se describe que el riego con energía solar de ciertos cultivos como papa, algodón, soja, girasol, fresa, lenteja, mostaza son muy lucrativos en comparación con el riego alimentado por sistemas en base a combustibles fósiles.

En cuanto a los requerimientos de agua para riego dependen del tipo de cultivo y su demanda oscila entre 100 m³/día por hectárea en los meses secos, hasta volúmenes de cero en los meses de invierno o temporada de lluvias [2]. En [3] refiere que para pequeñas granjas, en países en desarrollo, las necesidades de agua por hectárea están en el rango de 1 a 5 l/s, en alturas manométricas superiores a 7 metros.

Las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) equivalente de las renovables resultan porcentualmente inferior a las fósiles, y se vinculan principalmente con la fase de producción de equipos como los paneles, inversores y baterías. Si se comparan las alternativas con las fósiles que representan 34.000 millones de GT al año donde el 45% son las emisiones de las fuentes son las tradicionales carbón, 35% del petróleo y el 20% el gas [5].

El objetivo de esta investigación es proponer una solución ingenieril alternativa para el sector agrícola “La Cumaca” de Paracotos Edo Miranda-Venezuela considerando los recursos propios de la zona, considerando fundamentalmente la irradiación solar y su fuente hídrica permanente.

2. Materiales y Métodos.

2.1 Sistema de bombeo

La ecuación de Bernoulli, ecuación fundamental en la mecánica de fluidos, se presenta como la mostrada en (1) y permite resolver problemas como el diseño de bombas, según una configuración y tipo de tuberías. Es crucial considerar las pérdidas de energía debido a la fricción en las tuberías, accesorios como codos, válvulas y otros componentes del sistema. Por lo tanto, se utiliza una forma modificada de la ecuación de Bernoulli que incluye un término para estas pérdidas:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + H_B = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + hf_{1-2} \quad (1)$$

Donde:

P₁ y P₂: Presiones en los puntos inicial y final del sistema (Pa)

Z₁ y Z₂: Coordenadas verticales de los puntos iniciales y final del sistema (m)

V₁ y V₂: Velocidades del fluido en los puntos inicial y final del sistema (m/s)

H_b: Energía por unidad de peso de fluido proporcionada por la bomba al sistema (J/N)

h_f: Pérdidas de energía por unidad de peso de fluido entre los puntos iniciales y final del sistema (J/N)

g: Aceleración de la gravedad (m/s²)

Para definir si el flujo es laminar o turbulento se calcula el Número de Reynolds, el cual es un parámetro adimensional, definido mediante la ecuación (2):

$$Re = \rho V D / \mu \quad (2)$$

Donde:

ρ =densidad del fluido

μ = viscosidad del liquido

D= diámetro de la tubería

El valor del Número de Reynolds indica si el flujo sigue un modelo laminar o turbulento, en hidráulica se puede considerar:

- $Re \leq 2000$, El flujo es laminar
- $2000 \leq Re \leq 3000$ etapa de transición laminar-turbulento
- $Re \geq 4000$, El flujo es turbulento

Luego se necesitará determinar el factor de fricción f , a usar para la ecuación de Darcy Weisback (3), primeramente se encuentra la rugosidad relativa de la tubería (D/ϵ), obteniendo la rugosidad (ϵ) de tablas, dependiendo del material y tipo de fabricación de la tubería. Una vez encontrada la rugosidad relativa y el número de Reynolds, se obtiene el factor de fricción f utilizando el diagrama de Moody.

$$hf = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g} \quad (3)$$

Donde:

f : factor de fricción en la tubería,

L: longitud de la tubería (m)

D: diámetro interior de la tubería (m)

V: velocidad del fluido en la tubería (m/s)

LUIS ÁNGEL RAMÍREZ CÓRDOVA, ALEXIS ALEXANDER BARROSO MOLINA¹

Por otra parte, luego se consideran las pérdidas menores debido a accesorios como: válvulas, codos, reducciones, entradas y salidas, entre otras. Se obtienen mediante un coeficiente de pérdidas (K_i), el

cual se lo encuentra tabulado y depende del diseño, material y método de fabricación del mismo, en este caso la ecuación de cálculo se modifica de la siguiente forma:

$$(hl)_m = \sum_i K_i \frac{V_i^2}{2} \quad (4)$$

Para determinar la potencia eléctrica de la bomba en función del caudal Q , la altura H_B , la eficiencia e :

$$Pe = \frac{\rho g * Q * H_B}{e} \quad (5)$$

2.2 Sistema Fotovoltaico

Una de las aplicaciones más críticas de los sistemas fotovoltaicos en la agricultura es el sistema de bombeo de agua. Este sistema permite extraer agua en zonas rurales, donde el costo de instalar una línea de distribución de energía eléctrica convencional es elevado.

Los sistemas fotovoltaicos se distinguen en tres tipos principales, según la configuración y el sistema de funcionamiento: autónomos, conectados a la red e híbridos. El sistema fotovoltaico básico y sus elementos siguen siendo los mismos [Barroso, A., Ramírez].

Uno de los objetivos importantes en las fases de diseño de los sistemas fotovoltaicos es la selección correcta y el tamaño exacto de los componentes, además que cumplan con ciertos niveles de calidad [Barroso, A., Ramírez]. Esto depende de las especificaciones de carga o demanda a suministrar, irradiación, temperatura de la zona, entre otros.

En este estudio, las microrredes se refieren a sistemas más pequeños que las minirredes con pequeños sistemas de distribución no regulados. Los principales componentes de los sistemas fotovoltaicos son [Barroso, A., Ramírez]:

- Paneles fotovoltaicos: generan electricidad a partir de la energía del Sol en corriente continua (CC).
- Baterías: almacenan la electricidad generada por los paneles para poder utilizarla en horas en que la energía consumida es superior a la generada por los módulos fotovoltaicos y en las horas nocturnas.
- Reguladores de carga: controla el proceso de carga y descarga de las baterías, evitando sobrecargas y descargas profundas y alargando así la vida útil de las mismas. En los inversores híbridos no es necesario este equipo.

LUIS ÁNGEL RAMÍREZ CÓRDOVA, ALEXIS ALEXANDER BARROSO MOLINA¹

- Inversores: El inversor solar es el enlace entre el arreglo fotovoltaico y la red y las cargas que se alimentan en corriente alterna (CA). Su tarea básica es convertir la electricidad fotovoltaica generada por los módulos en corriente continua en electricidad CA y ajustar a la frecuencia y nivel de tensión

del sistema eléctrico. El tamaño del inversor debe ser un 20-25% mayor que la potencia total del sistema.

La insolación solar es otro parámetro que varía a lo largo del día, debido a las nubes, niebla y lluvia. Estas situaciones son las principales razones que explican la variación de la potencia de salida generada por los paneles fotovoltaicos.

Una Hora Solar Pico, Figura 1, es una hora equivalente a 1000 W/m^2 de luz solar [Barroso, A., Ramírez]. Con esta aproximación se puede predecir cuánta potencia puede generar determinado conjunto de paneles fotovoltaicos.

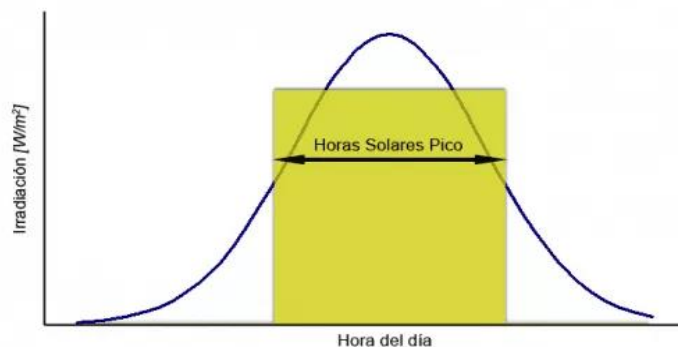


Figura 1: Horas solar pico [2]

La potencia de salida de un sistema fotovoltaico depende de las condiciones climáticas, la radiación solar y la temperatura. La intermitencia en la radiación solar provoca fluctuaciones durante el día, suele ser máxima durante las horas del mediodía (Barroso y Ramírez)

Una vez definido el sistema de bombeo, se procede a diseñar las instalaciones eléctricas asociadas, así como el suministro a través de los paneles solares, para lo cual se debe estimar la carga, en este caso la moto bomba y las pérdidas asociadas y consumo de los diferentes elementos. En la Figura 2 se observa la configuración del sistema.

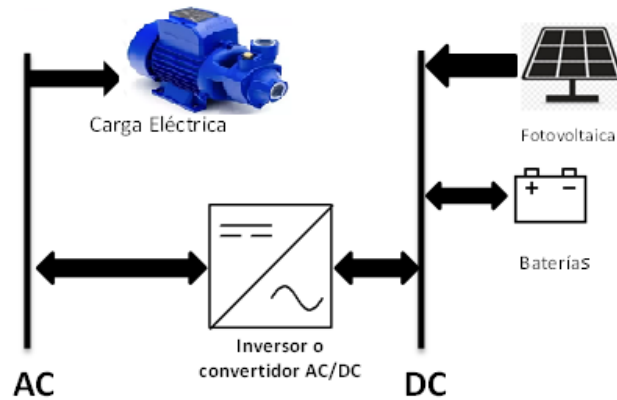


Figura 2: Configuración del sistema eléctrico

La salida de potencia del arreglo fotovoltaico se obtiene a través de la ecuación (6):

$$P_{PV} = f_{PV} Y_{PV} \frac{I_T}{I_S} [1 + \alpha (T_c + T_s)] \quad (6)$$

Donde f_{PV} es el factor de reducción de potencia del panel solar, toma en cuenta la reducción de salida en condiciones reales para tener en cuenta factores como la suciedad de los paneles, las pérdidas de cableado, el sombreado, el envejecimiento, temperatura. Y_{PV} es la capacidad pico instalada de los paneles en kW, I_T la radiación solar que incide en el arreglo fotovoltaico (kW/m^2), I_S radiación incidente en condiciones de prueba estándar (1 kW/m^2), α coeficiente de dilatación, T_c temperatura del panel fotovoltaico, T_s es la temperatura bajo condiciones estándar 25°C .

Para calcular el tamaño del conjunto necesario para satisfacer el consumo de energía previsto del sistema de riego, hay que dividir el consumo anual de energía eléctrica entre la Hora Solar Pico anual del lugar, tomando en cuenta la eficiencia del sistema, para obtener el tamaño aproximado del conjunto, como se muestra en la ecuación (1):

$$\text{Energía sistema fotovoltaico} = \frac{\text{kWh anual}}{\text{HSP anual} \times \text{eficiencia}} \quad (2)$$

La generación del sistema fotovoltaico se ve afectada por la temperatura. La eficiencia de las células solares disminuye por encima de la condición de prueba estándar (STC) como un porcentaje dependiente del coeficiente de temperatura de la célula. Para ajustar el voltaje de operación, en función de la temperatura se utiliza la ecuación (3):

$$V_{MP}(T) = V_{MP(STC)} + C_{temp}(T - 25^{\circ}C) \quad (3)$$

Donde:

$V_{MP}(T)$: Tensión MPP a la temperatura especificada

$V_{MP}(STC)$: Tensión MPP a condiciones STC

C_{temp} : Coeficiente de temperatura de la tensión en V/°C

T : Temperatura del panel

Además, se considera un sistema de almacenamiento de energía eléctrica, producida por las células fotovoltaicas, en un conjunto de baterías, de manera que esté disponible en días nublados o de menor irradiación solar.

La capacidad de las baterías de almacenamiento se puede calcular según la fórmula (7):

$$CB(Ah) = \frac{E_{carga}}{ef_{inv} \cdot V_b \cdot PD} \cdot D_a \quad (7)$$

Donde:

$CB(Ah)$: Capacidad total de la batería (Ah)

E_{carga} : Consumo diario de energía (Wh/día)

ef_{inv} : Eficiencia del inversor

V_b : Tensión de la batería (V)

PD : Profundidad de descarga (%)

D_a : Día de autonomía

3. Resultados y Discusión.

La comunidad de “La Cumaca” se encuentra en la población de Paracotos, Edo Miranda, Venezuela, sus coordenadas geográficas son 10.267461°, -066.909398°. En la Figura 3 se presenta una vista satelital de la parcela [Globalsolar atlas].



Figura 3: Ubicación de “La Cumaca”

El nivel de insolación solar es alto, de 4,78-5,98 kWh/m²/día durante todo el año [6], lo que garantiza el potencial de la energía solar para el riego en “La Cumaca”, Edo Miranda. En Figura 4 se muestra el promedio de 23 años de insolación solar diaria e índice de claridad. La eficacia de las bombas de riego alimentadas con energía solar depende radiación recibida.

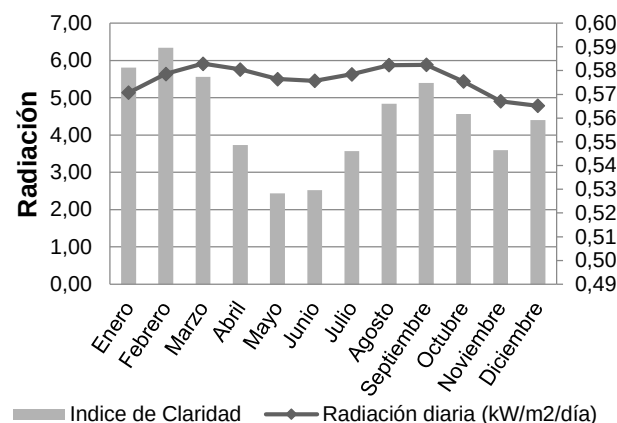


Figura 4: Radiación diario e índice de claridad de “La Cumaca” [NASA]

Es de vital importancia la captación del agua para el aprovechamiento en los cultivos. Es la parte inicial del sistema hidráulico y consiste en las obras donde se capta el agua para poder abastecer al sistema de riego. Para definir cuál será la fuente de captación a emplear, es indispensable conocer el tipo de disponibilidad del agua, basándose en el ciclo hidrológico, de esta forma se consideran los siguientes tipos de agua según su forma de encontrarse a saber de aguas superficiales, subterráneas y meteóricas (atmosféricas)[Teran]. Por consiguiente, el análisis de las opciones disponibles para el abastecimiento de agua potable, en términos de volumen, calidad y costo, converge en la identificación de dos recursos hídricos fundamentales: las aguas superficiales y las subterráneas.

Las necesidades de riego de los cultivos dependen principalmente de dos factores: la cantidad de precipitaciones y la insolación solar de la zona. “La Cumaca” recibe la mayor parte de sus precipitaciones entre mayo a noviembre [6], como se muestra en la Figura 5.

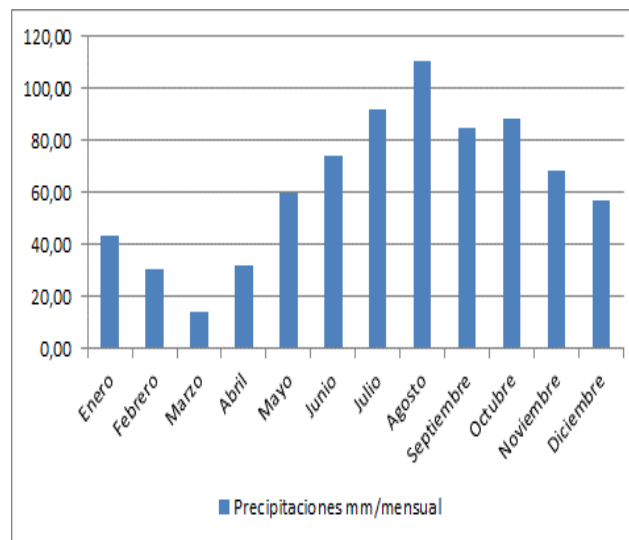


Figura 5: Precipitaciones anuales medias mensuales: 22 años de media (1983-2005)[6]

En este sentido, la disponibilidad de agua es favorecida por la cercanía del río “La Cumaca” donde se conectó la bomba para el suministro de agua, que será almacenada en un conjunto de tanques cuya capacidad es de 11.000 l. En meses de sequía usará intensivamente el sistema de bombeo, de manera de no afectar la producción de cultivos.

En la Figura 6 se muestra el emplazamiento de la zona de estudio:



Figura 6: Emplazamiento donde se instaló el sistema de riego

Para el diseño se empleó tubería flexible tipo pead (polietileno de alta densidad), ya que ofrece una solución versátil y resistente para una variedad de aplicaciones, las características del mismo se especifican: 90 psi, de 1 ½ plg de diametro, se necesita llenar los tanques de almacenamiento (11.000 l), en un tiempo de dos horas. Para este caso se necesita un caudal de 1,6 l/s. La distancia desde el río al tanque es de 35 m, una diferencia de altura de 10 m. En la tabla 1 se presentan los resultados del sistema de bombeo, a partir de las ecuaciones descritas anteriormente.

Tabla 1: Resultados del sistema de bombeo

IMPULSIÓN DEL FLUIDO		
Peso específico del fluido	9771	[N/m ³]
Caudal a impulsar	0,0016	[m ³ /s]
Carga dinámica total	25,33	[m]
Eficiencia	0,65	
Potencia	609	[W]
Potencia	0,82	[HP]

Con los resultados de la Tabla 1, se eligió una bomba comercial de 1 HP de potencia que se alimentará del sistema eléctrico off-grid (sin conexión a red comercial externa). El requerimiento de agua de riego dependerá de la clase de cultivos y del área disponible para la producción[4]. Para el adecuado suministro de agua es necesario ascender el líquido disponible desde el punto de captación ubicado a 35 m, a 23 m de altura, el riego será por gravedad. Con los requerimientos del sistema de bombeo, se procedió al diseño del sistema eléctrico, determinándose un sistema fotovoltaico compuesto por tres paneles de 460 Wp, un inversor de 3 kVA, dos baterías de plomo ácido de ciclo profundo, de 100 Ah.

Tabla 2: Características del sistema eléctrico

Parametro	Valor	
Caracacterística de la carga		
Consumo eléctrico	958,7	kWh/año
Demanda máxima	0,9	kW
Pérdidas del sistema	46,6	kWh/año
Características del Sistema		
Capacidad instalada Fotovoltaica	1,38	kWp
Capacidad instalada baterias	2,4	kWh
Generación potencial	2.224,10	kWh/year

Se realizó una simulación del sistema fotovoltaico, en las condiciones de menor irradiación solar, que se presenta en el mes de diciembre, como se muestra en la Figura 3, con una irradiación de 4,78 kWh/m²/día.

La curva de demanda, potencia generada, carga y descarga de las baterías se presenta en la Figura 5, durante un periodo de una semana, la electro-bomba opera solo para el llenado del tanque, se estima un tiempo de 2 horas, y se utiliza el sistema con preferencia en las horas de máxima irradiación entre las 10 AM y las 12 M.

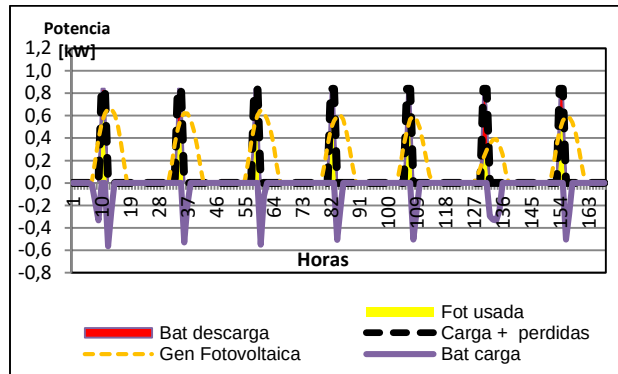


Figura 6: Curva del comportamiento del sistema en una semana

Las ventajas de contar con un sistema de bombeo para este proyecto vinculado con una agencia de las Naciones Unidas representó lejos de las especificaciones técnicas de la ingeniería y su transversalidad un avance para la comunidad de “La Cumaca”, algunas imágenes que reflejan la experiencia se presentan en la Figura 7 y 8, así como la calidad de sus cultivos actualmente Figura 9.



Figura 7: Instalación de los paneles solares



Figura 8: Instalación y funcionamiento de equipos



Figura 9: Cultivo Ají producido en “La Cumaca”

4. Conclusiones

La energía solar en Venezuela está en una etapa inicial pero prometedora de desarrollo. Con inversión y políticas adecuadas, puede convertirse en un componente crucial de la matriz energética del país, impulsando tanto el desarrollo económico como la sostenibilidad ambiental.

El acceso a la energía es de vital importancia para el desarrollo de las comunidades y el sector eléctrico está presente en cada aspecto de la vida cotidiana moderna. En consecuencia, con el fin de alcanzar el acceso universal a la energía eléctrica, limpia y confiable, como se indica en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), específicamente el objetivo 7, se implementó dicho proyecto.

En diferentes estudios se ha demostrado la relación que existe entre la electrificación y el desarrollo rural. La literatura indica que la electrificación rural incentiva el desarrollo socioeconómico de las comunidades y los beneficios se ven reflejados en el incremento de calidad de vida. Pero, no es solo electrificar, sino, se debe involucrar a la comunidad de manera de incrementar las posibilidades de éxito y lograr la sostenibilidad del proyecto, además de desarrollo humano.

Colocar energías renovables puede tener múltiples propósitos, primero reducción de emisiones de CO₂, pero sobre todo; empoderar a las personas de nuevas soluciones tecnológicas e ingenieriles, para poder crecer económica y socialmente, además del cumplimiento de los objetivos del desarrollo sostenible entre los estados miembros de las Naciones Unidas. Las energías renovables, en este caso la fotovoltaica, como alternativa al suministro energético representan no sólo una evolución hacia un modelo más sostenible, sino una alternativa ventajosa en sustitución de fuentes primarias de origen fósil.

Para este proyecto, la eficiencia de la bomba de agua seleccionada es 65% su potencia, de 1 HP, logrando bombear hasta unos 23 m de altura, para acumular agua para el riego por gravedad. La configuración de los equipos, como, el inversor, baterías, controlador, cableados y otros permite llenar los tanques de almacenamiento de 11.000 l.

Este tipo de proyectos ayudan a impulsar el crecimiento económico a través de la mejora en la productividad y de la generación de ingresos. El sector de “La Cumaca” en Venezuela progresivamente va recuperando la calidad de sus cultivos que ostentaban baja calidad para su comercialización o consumo, principalmente por la falta de agua y el exceso de irradiación solar, el balance de ambos

recursos, adicional a las técnicas propias de siembra, cuidado y zafra le ofrecieron factibilidad al proyecto, su replicabilidad será parte de los retos de ejecución de las partes interesadas.

La productividad agrícola es la clave del crecimiento económico y nutrición de cualquier país y su población. El sector “La Cumaca” que se presentó previamente posee en sus 9,5 hectáreas tierras agrícolas fértiles, abundante agua verde y azul en la estación húmeda lluviosa, pero limitada en la época de sequía (de enero a abril) cuando se demanda de un riego intensivo y extensivo que bajo un escenario de ausencia de combustibles fósiles que motorizan el sistema de riego tradicional logra comprometer la calidad y cantidad de cultivos adecuados de los productores del sector.

5. Referencias

- [1] Doll, C., & Pachauri, S. (2010). Estimating Rural Populations without Access to Electricity in Developing Countries through Night-time Light Satellite Imagery. *Energy Policy*, 38(10), 5661-5670. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.05.014> [Links]
- Goldemberg, J., & Lucon, O. (2010). *Energy, Environment and Development*. Sterling, USA: Earthscan.
- Barroso M., A. (2022). Potencial solar y eólico de Venezuela, escenarios de sistemas híbridos de suministro de energía eléctrica para la Islas de Toas Estado Zulia. *Publicaciones en Ciencias y Tecnología*, vol.16, No1, 16-26.
- Barroso, A., Ramírez, L. . (2023). Dimensionamiento de un sistema de energía solar fotovoltaica para una vivienda familiar en Maracay, Edo Aragua.: Sizing of a Photovoltaic Solar Energy System for a Family Home in Maracay, Aragua State. *Tekhné*, 26(2), 01–12. <https://doi.org/10.62876/tekhn.v26i2.6189>
- [2] Gualteros, S., & Rouse, D. R. (2021). Solar Water Pumping Systems: A Tool to Assist in Sizing and Optimization. *Solar Energy*, (225), 382-398. <https://doi.org.ezproxy.unibague.edu.co/10.1016/j.solener.2021.06.053> [Links]
- [3] Okakwu, I., Alayande, A., Akinyele, D., Olabode, O., & Akinyemi, J. (2022). Effects of Total System Head and Solar Radiation on the Techno-economics of PV Groundwater Pumping irrigation System for Sustainable Agricultural Production. *Scientific African*, (16), 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2022.e01118> [Links]

- [4] Khan, S. Sarkar, S. Hossain, A. U. Ahmed and B. B. Pathik, "The feasibility study of solar irrigation: Economical comparison between diesel and photovoltaic water pumping systems for different crops," 2013 International Conference on Electrical Information and Communication Technology (EICT), Khulna, Bangladesh, 2014, pp. 1-5, doi: 10.1109/EICT.2014.6777844.
- [5] WNA (2024) Disponible: <https://world-nuclear.org/information-library/energy-and-the-environment/carbon-dioxide-emissions-from-electricity> Consultado 15-12-2024
- [6] NASA (National Aeronautics and Space Administration) (2024) Prediction of Energy Resources (POWER) Data Access Viewer v2.0.0, <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- Terán, J. M. (2010). Manual para el diseño de sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario. Univ. VERACRUZANA.
- Nemet, G. F. (2019). How solar energy became cheap: A model for low-carbon innovation. Routledge.
- Rodríguez, C. D. (2017). Consumo, desarrollo humano y sentido de la vida: un aporte bioético a la política de consumo de energía en los hogares. *Revista Colombiana de Bioética*, 12(1), 86-104.
- Castilla, T. J. (2014). Energías renovables y turismo comunitario: una apuesta conjunta para el desarrollo humano sostenible de las comunidades rurales. *Energética*, (44), 93-105.
- Best, G., Van Campen, B., & Guidi, D. (2000). *Energía solar fotovoltaica para la agricultura y desarrollo rural sostenibles*. Roma.
- R. N. Dar-Mousa and Z. Makhamreh, "Analysis of the pattern of energy consumptions and its impact on urban environmental sustainability in Jordan: Amman City as a case study," *Energy, Sustainability and Society*, vol. 9, no. 1, p. 15, Dec. 2019, doi: 10.1186/s13705-019-0197-