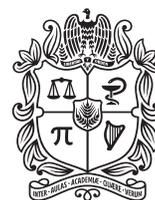
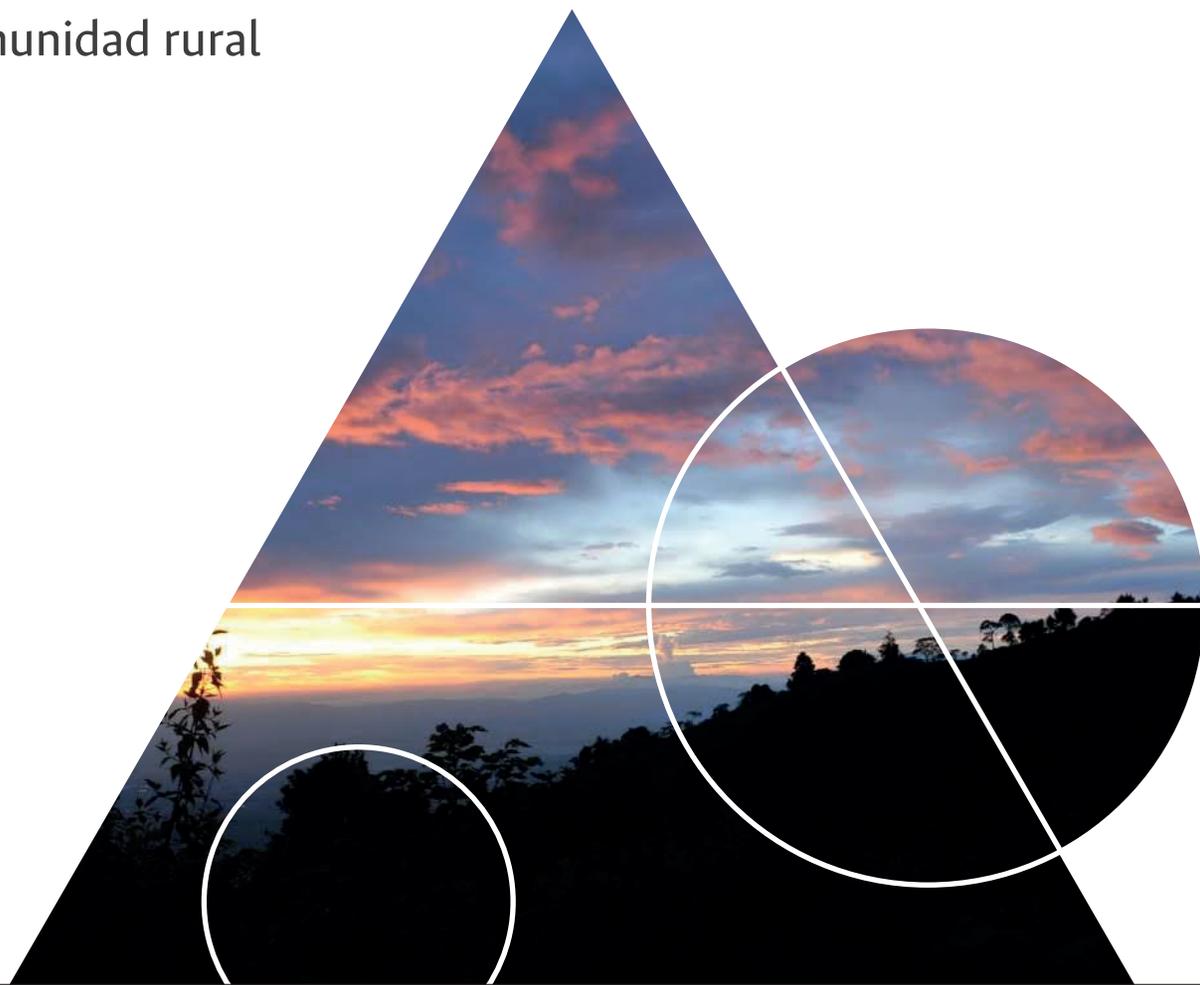


EL SOL ILUMINA

LA NOCHE EN LA VEREDA “EL ARENILLO”

Uso de energías renovables
para el abastecimiento eléctrico
en una comunidad rural





EL SOL ILUMINA
LA NOCHE
EN LA VEREDA
EL ARENILLO

EL SOL ILUMINA
LA NOCHE
EN LA VEREDA
EL ARENILLO

Luz Stella Cadavid Rodríguez – Ph.D.

Coordinación general del proyecto

Angela Liliana León Cifuentes – M.Sc.

Profesional especialista

Angie Milady Vargas Sánchez

Ingeniera Ambiental



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

El sol ilumina la noche en la vereda “El Arenillo”

© Universidad Nacional de Colombia – Sede Palmira.

© Facultad de Ingeniería y Administración

© Luz Stella Cadavid, Angela Liliana León, Angie Milady Vargas, autoras, 2020.

Primera Edición, 2020

ISBN: 978-958-794-328-3

eISBN: 978-958-794-329-0

Dirección de Investigación y Extensión Sede Palmira - DIEPAL

Carrera 32 No. 12 - 00

+57 (2) 2868842 ext. 35142 - 35242

comite_editorial_pal@unal.edu.co

Palmira, Colombia

Impreso y hecho en Palmira, Valle. Colombia.

Esta obra se encuentra bajo una licencia creative commons Atribución/Reconocimiento-NoComercial-SinDerivados 4.0 Licencia Pública Internacional - CC BY-NC-ND 4.0



Catalogación en la publicación Universidad Nacional de Colombia

Cadavid Rodríguez, Luz Stella

El sol ilumina la noche en la vereda El Arenillo / Luz Stella Cadavid Rodríguez, Ángela Liliana León Cifuentes, Angie Milady Vargas Sánchez.– 1ª. edición : Palmira, Valle del Cauca : Universidad Nacional de Colombia, 2020.

48 páginas : ilustraciones, fotos, 21 cm ; - (Serie: Ingeniería y tecnología)

Incluye bibliografía

ISBN: 978-958-794-328-3 (papel)

ISBN: 978-958-794-329-0 (digital)

1. Energía solar 2. Servicios públicos domiciliarios 3. Energía hidráulica 4. Vereda El Arenillo (Palmira, Valle del Cauca)

I. Cadavid Rodríguez, Luz Stella II. León Cifuentes, Angela Liliana III. Vargas Sánchez, Angie Milady

621.47 - CDD-22

“Fomento de comunidades sostenibles en el manejo integral del agua en zonas rurales del Valle del Cauca” proyecto ejecutado en 2019-2020. Convocatoria Nacional de Extensión Solidaria 2018: “Regiones y Comunidades Sostenibles” de la Universidad Nacional de Colombia. “Construcción colaborativa para la gestión sostenible del agua y su integración con herramientas TIC en la vereda El Arenillo” proyecto ejecutado en 2018-2019 en respuesta al reto: Agua y vida para todos, propuesto por la comunidad de El Arenillo en el banco de proyectos Ideas para el Cambio, versión IV, convocatoria 790 de 2017 de COLCIENCIAS.

Universidad Nacional De Colombia - Sede Palmira

Grupo de Investigación Prospectiva Ambiental

AGRADECIMIENTOS

Las autoras de esta cartilla agradecen:

Al Departamento Administrativo de Ciencia Tecnología e Innovación COLCIENCIAS y al Ministerio de las Tecnologías de la Información y la Comunicación, quienes financiaron el desarrollo del Proyecto “Construcción colaborativa para la gestión sostenible del agua y su integración con herramientas TIC en la vereda El Arenillo” y fueron el puente que permitió el trabajo colaborativo con la comunidad de El Arenillo, Palmira.

Al Fondo Nacional de Extensión Solidaria de la Universidad Nacional de Colombia, porque financió el desarrollo del Proyecto “Fomento de comunidades sostenibles en el manejo integral del agua en zonas rurales del Valle del Cauca” y permitió la consolidación de este material impreso.

Y especialmente, a toda la comunidad de la vereda El Arenillo Palmira, por su participación, dedicación y acompañamiento, en el desarrollo de los anteriores proyectos.

CONTENIDO

Introducción	17
Módulo “El Águila Solar”	19
Partes del módulo solar.....	19
Funcionamiento.....	23
Ventajas y desventajas.....	25
Mantenimiento.....	26
Sugerencias.....	27
Microturbina hidráulica “La Elvira”	29
Partes del sistema.....	29
Alimentación del sistema.....	30
Microturbina y generador.....	32
Salida del sistema.....	34
Sistema de distribución eléctrica.....	35
Funcionamiento.....	38
Mantenimiento.....	39
Recomendaciones y precauciones.....	41
Anexo	44
Bibliografía	45

GLOSARIO

Algunos conceptos para comprender el tema de Energías Renovables:

•**Caudal:** “Es el volumen de agua por unidad de tiempo que atraviesa una superficie” (Sanz Osorio, 2016).

•**Ciclo del agua:** es el movimiento del agua en la tierra (Figura 1). Consta de las siguientes fases:

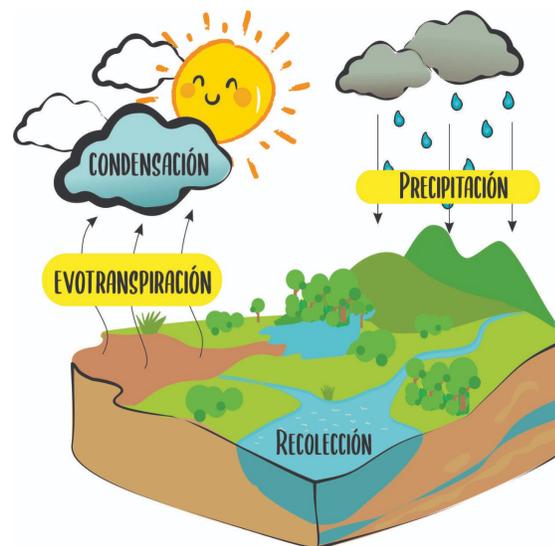


Figura 1. Ciclo del Agua. Adaptada de Hutmacher (2014).

- **Condensación:** en el aire, el vapor de agua se enfría, transformándose de nuevo en líquido, que forma las nubes (Hutmacher, 2014, p. 11).

- **Evaporación:** el sol calienta el agua de océanos, mares y demás cuerpos de agua, causando su evaporación, que sube caliente hacia el aire (Hutmacher, 2014, p. 11).

- **Precipitación:** cuando la condensación del agua es tal que el aire no puede sostenerla, ésta comienza a caer a la tierra en forma de lluvia, nieve o granizo (Hutmacher, 2014, p. 11).

- **Recolección:** el agua que cae a la tierra se filtra y escurre, formando ríos, mares, océanos y lagos (Hutmacher, 2014, p.11).

• **Efecto fotovoltaico:** consiste en la conversión de la energía luminosa en energía eléctrica. Esto sucede en una celda solar o célula fotovoltaica, es decir, en una placa semiconductor con contactos que canalizan un flujo de electrones (Interconsulting Bureau S.L, 2015).

• **Energía cinética:** es la energía que tiene un cuerpo al moverse. Es una forma de energía mecánica. A mayor movimiento más alta será su energía cinética (Tambutti & Muñoz, 2005).

• **Energía hidráulica:** es la energía que se obtiene a partir del movimiento del agua (su energía cinética). Para poder aprovechar esta energía, es necesario el uso de máquinas como turbinas hidráulicas (Bridgewater, 2009).

• **Energía potencial:** es la energía presente en un cuerpo y depende de su posición con respecto al centro de la tierra (Figura 2). Es una forma de energía mecánica y aumenta a medida de una posición más elevada/lejana del centro de la tierra (Tambutti & Muñoz, 2005).

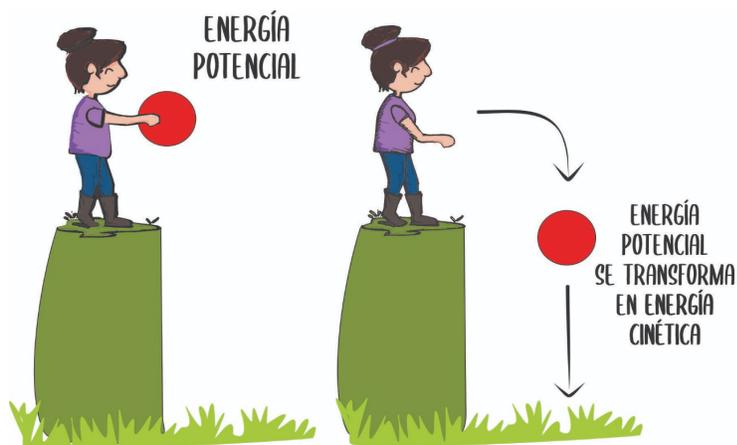


Figura 2. Energía potencial.
Adaptada de Tambutti & Muñoz (2005).

- **Energía renovable:** energía que se consigue a través de fuentes naturales que son inagotables, es decir, fuentes que contienen gran energía o que son capaces de regenerarse por medios naturales (el sol, el viento, los ríos, mares, océanos, el calor de la tierra o la materia orgánica). El uso de energías renovables puede suponer el uso de electricidad sostenible a largo plazo, reduciendo las emisiones de CO₂ (Interconsulting Bureau S.L, 2015).
- **Energía solar fotovoltaica:** la energía solar se transforma mediante el efecto fotovoltaico que se produce en placas semiconductoras que se “activan” con la radiación solar, posteriormente la electricidad sale como corriente continua a 12 voltios (Interconsulting Bureau S.L, 2015).
- **Energía solar:** energía que se obtiene directamente del sol. Esta energía es renovable y limpia, La energía solar se puede aprovechar a partir de la producción de calor o la producción de electricidad (Interconsulting Bureau S.L, 2015).
- **Fuentes de energías renovables:** el sol-energía solar, el viento-energía eólica, los ríos y corrientes de agua dulce-energía hidráulica, los mares y océanos-energía mareomotriz, el calor de la tierra-energía geotérmica, la materia orgánica o biomasa – biogás (Interconsulting Bureau S.L, 2015).
- **Salto útil:** es la diferencia de altura necesaria para el funcionamiento de la microturbina, se contempla desde el nivel de la cámara de carga y el nivel inferior más cercano a la microturbina (Sanz Osorio, 2016).
- **Turbina:** es el elemento encargado de transformar en energía mecánica la energía contenida en el agua. Existen diferentes tipos de turbinas según la relación de caída y agua. Entre ellas se encuentran turbinas tipo Francis, Pelton y Kaplan (PNUD, 2002)

INTRODUCCIÓN

En Colombia la calidad de vida de muchas comunidades, especialmente las rurales, se ha visto afectada por la deficiencia en la cobertura de los servicios públicos básicos debido a las difíciles condiciones climáticas, topográficas, y a la falta de acciones institucionales y gubernamentales. A pesar de esta situación, las comunidades rurales colombianas han sido resilientes y han permanecido en sus territorios, logrando, a través de métodos artesanales, el abastecimiento de algunos servicios como es el caso de los acueductos comunitarios, para proveerse de agua potable, y las letrinas y pozos sépticos para sus aguas residuales. Si embargo, con la energía eléctrica es diferente pues es un servicio que difícilmente se puede suplir sin el apoyo técnico adecuado.

Afortunadamente, los avances tecnológicos y una mayor conciencia ambiental, han permitido desarrollar alternativas para suplir las necesidades energéticas de las comunidades utilizando fuentes renovables de energía que no contaminan, son funcionales, replicables e independientes de la red energética de las ciudades. Las energías renovables de mayor acceso en los territorios rurales colombianos son la energía solar y la energía hidráulica (del agua). Gracias al aprovechamiento de estas energías renovables, diferentes comunidades han encontrado una alternativa para suplir sus requerimientos básicos de energía. Un ejemplo de este aprovechamiento en el uso de energías renovables es el de la comunidad de la vereda El Arenillo, zona rural de Palmira, municipio del Valle del Cauca.

En la zona alta de esta vereda se abastecen de energía eléctrica a través de un módulo aprovechando la energía solar y de una microturbina hidráulica (“mini” central hidroeléctrica) aprovechando la energía del agua que fluye por el acueducto comunitario.

Esta cartilla se constituye en un manual que contiene la información técnica referente a los componentes, la operación y el mantenimiento necesarios, tanto del módulo “El Águila solar”, módulo que es de uso comunitario y libre; como de la

microturbina hidráulica “La Elvira”, que provee energía eléctrica a 5 casas de la zona alta de la vereda. Se espera que esta cartilla sea una herramienta que contribuya a que el uso de la energía renovable en la comunidad El Arenillo perdure por muchos años.

1. MÓDULO “EL ÁGUILA SOLAR”

El módulo “El Águila Solar” es una caseta de reunión comunitaria, equipada con paneles solares que proveen energía eléctrica a través de un sistema fotovoltaico. El módulo fue diseñado y construido en un proceso colaborativo (Figura 3) entre el grupo de investigación Prospectiva Ambiental, de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira y la comunidad de la vereda El Arenillo, principalmente con la comunidad de la zona alta.



Figura 3.
Construcción colaborativa
del módulo solar.
Fuente: Propia.

1.1. PARTES DEL MÓDULO SOLAR

Estructura del módulo solar: El material principal utilizado para la construcción del módulo fue una madera denominada Chanul. La estructura del módulo está cimentada en 6 pilotes de 30 cm de diámetro, fundidos en concreto, que soportan igual número de columnas de 15 cm x 15 cm. En su alrededor de 1 m de altura del nivel del suelo se encuentra el entrepiso que cubre un área de 12 m², está confor-

mado por vigas y listones tipo deck. La cubierta consta de un entramado de vigas y techo en teja techoline, cubriendo un área de 20 m². Adicionalmente se construyó lo siguiente: una escalera de 3 escalones, sillas laterales con espaldares y dos mesas ubicadas en la parte posterior del módulo (Figura 4).

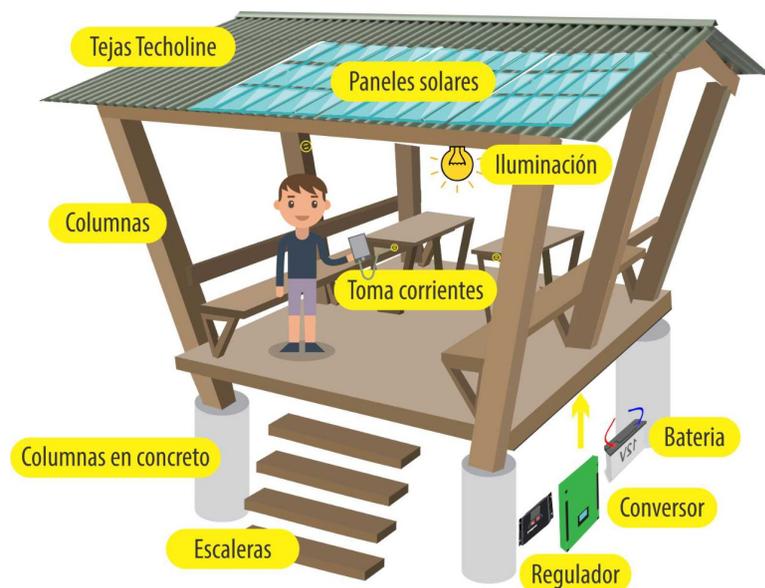


Figura 4.
Componentes del
módulo “El Águila Solar”.
Fuente: Propia.

La parte eléctrica del módulo solar funciona con un sistema fotovoltaico que aprovecha la energía solar, y está compuesto por los siguientes elementos:

Paneles solares o módulos fotovoltaicos: los paneles solares captan la energía del sol y la convierten en electricidad (corriente continua). Estos paneles solares están formados por varias células o placas fotovoltaicas que están conectadas entre sí, de tal manera que producen una corriente eléctrica de una intensidad y un voltaje determinados.

Usualmente las células están hechas de silicio mono o policristalino (Interconsulting Bureau S.L, 2015). Los paneles instalados en el módulo solar tienen una capacidad de 340W, su material es mono-cristalino marca JYNCO (Figura 5). Para fijar los paneles solares al techo del módulo se usaron dos rieles de acero, de 2 m de longitud. Cada uno de los rieles se ubica en los costados de los paneles solares.



Figura 5. Paneles solares instalados en el módulo “El Águila Solar”.
Fuente: Propia.

Regulador: el regulador tiene como función regular (o controlar) la carga de la batería desde los paneles solares, hasta las baterías y las salidas de energía por lo que de esta función depende el asegurar y proteger el sistema. El regulador impide que las baterías se sigan cargando una vez han alcanzado su máximo nivel, porque si las baterías se sobrecargan, se calentarán y su vida útil se reducirá (Interconsulting Bureau S.L, 2015). El regulador del módulo tiene una capacidad de 60 amperios (A), cuenta con una pantalla que permite ver la energía que los paneles están captando en el momento, además de poder verificar el estado de carga de las baterías (Figura 6).



Figura 6. Regulador del Módulo “El Águila solar”. Fuente: Propia.

Acumulador o batería: la función de la batería es acumular la energía. Una vez la energía está acumulada, ésta queda disponible para ser usada en los momentos en los que no hay radiación solar (en la noche) y por lo tanto no hay generación de energía (Interconsulting Bureau S.L, 2015).

El sistema del módulo solar cuenta con 2 baterías en gel, cada una con capacidad de almacenamiento de 150 amperios por hora, a 12 voltios, marca VISION (Figura 7). Las baterías se deben ubicar en espacios cerrados, y con suficiente ventilación.



Figura 7.
Baterías del
Águila solar.
Fuente: Propia

Inversor: el inversor tiene como función transformar la corriente continua que sale de los paneles solares, en corriente alterna, dado que ésta última es la forma de energía que usan los elementos electrónicos de uso cotidiano. El inversor inyecta corriente a todo el sistema y funciona mientras las baterías tengan más del 10 % de carga, valor mínimo de alimentación del sistema. El inversor del módulo tiene una capacidad de 1500 W (watts) sobre 110 V (voltios) de corriente alterna (Figura 8).

Salida de energía: una vez la energía es generada y transformada, esta se conduce mediante cables hacia las salidas de energía. En el módulo solar las salidas de energía son las siguientes: la iluminación (2 pantallas led de 6 vatios), los tomacorrientes (3 dobles ubicados en las mesas y uno sobre la columna central izquierda), un interruptor sencillo con tomacorriente sencillo (1) ubicado en la columna central derecha y un polo a tierra que permite liberar la energía, en caso de cortos o en situaciones de descargas por tormentas eléctricas (Figura 9).

Cada elemento cuenta con sus debidas cajas de aluminio. La electricidad del módulo se conduce mediante cable de calibre No.14, que se encuentra organizado a través de una tubería metálica EMT de ½ pulgada, ubicada en la viga central y columnas centrales del módulo, dirigida directamente a la caja del controlador. El polo a tierra es de cobre, se encuentra enterrado en el suelo y conectado directamente a los paneles y al inversor.



Figura 8. Detalles del inversor del Águila Solar. Fuente: Propia.



Figura 9. Ubicación de las salidas de energía en el Águila Solar. Fuente: Propia.

1.2. FUNCIONAMIENTO

La energía solar puede ser usada para suplir requerimientos energéticos básicos en los hogares de muchas familias, especialmente en cuanto a la electrificación de viviendas rurales.

Adicionalmente, esta energía también puede ser usada en huertas solares, centrales térmicas, sistemas de potabilización del agua, cocinas solares, desecadores, cubiertas solares, acondicionamiento y ahorro de energía convencional en hogares, y uso de servicios que requieran de energía como bombeo de agua para riego, cercas eléctricas, telecomunicaciones, desalinizadores, señalización, conexiones a red y alumbrado público, entre otras actividades y situaciones cotidianas de lo urbano y lo rural (Interconsulting Bureau S.L , 2015).

El módulo “El Águila Solar” funciona gracias a la radiación solar (Figuras 10 y 11) que es absorbida por dos paneles solares generadores de corriente eléctrica. Esta corriente es direccionada a un regulador que mide y controla la energía, posteriormente la corriente regulada pasa a los acumuladores y de estos al inversor, donde se “traduce”, de corriente continua a corriente alterna, siendo éste el tipo de corriente que se utiliza con los electrodomésticos y demás herramientas pequeñas para su funcionamiento. De esta manera, la corriente “traducida” queda disponible para las salidas de energía como bombillos y tomacorrientes.

El sistema reserva el 10% de la energía generada para su auto-alimentación, la energía restante queda disponible para ser usada y acumulada. La energía almacenada dependerá de la capacidad de las baterías, la cantidad de consumo y la cantidad de horas de sol, pues es del sol de donde el sistema toma la energía.

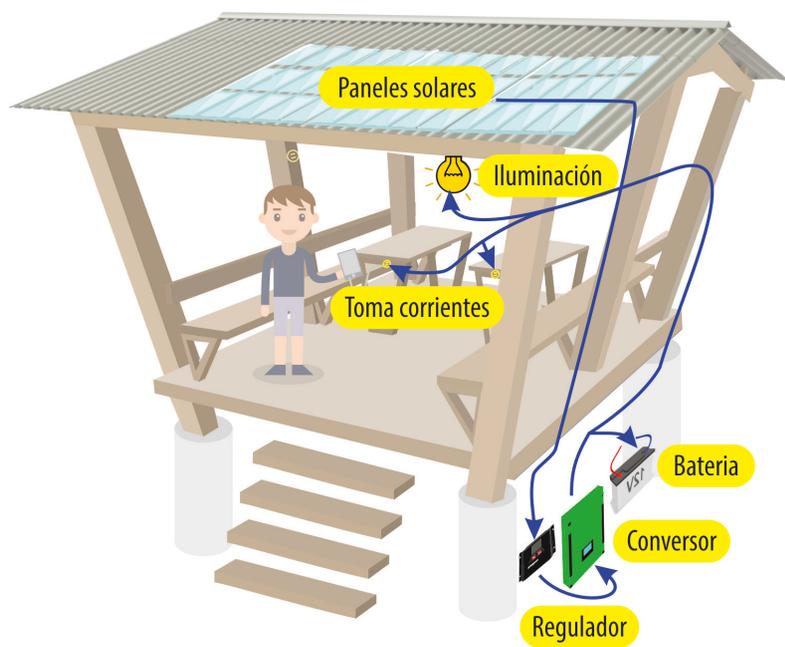


Figura 10.
Funcionamiento del sistema fotovoltaico en “El Águila solar”.
Fuente: Propia.

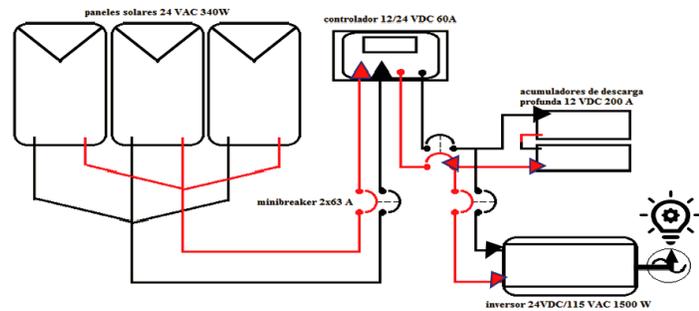


Figura 11. Ruta de la energía por los componentes eléctricos del Águila solar. Fuente: Propia.

Los sistemas fotovoltaicos son alternativas para la obtención de energía eléctrica con un mínimo impacto ambiental, dado que una vez instalado el sistema y durante su vida útil no se emite ningún tipo de residuo, limitando así el riesgo ambiental a los desechos en la fabricación de los componentes eléctricos y su respectiva disposición final (Carless, 1995).

1.3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Las energías renovables presentan aspectos positivos para las comunidades que las utilizan y para el medio natural. A continuación, se mencionan algunas ventajas y desventajas mencionadas por Interconsulting Bureau S.L (2015), referentes a la energía solar por paneles fotovoltaicos:

Ventajas

- Ahorro energético – los sistemas solares representan disminución en costos energéticos.
- Es una tecnología silenciosa.
- Es limpia y respetuosa con el medio ambiente, no genera humos, ni residuos sólidos o líquidos, no requiere de agua para su operación, no contribuye a los Gases de Efecto Invernadero (GEI), a la lluvia ácida ni a la contaminación del aire.
- Requiere de un mínimo de mantenimiento y la vida útil de la instalación es de un gran periodo de tiempo.
- No depende de combustibles fósiles (siempre sometidos a cambios en los precios, problemas de abastecimiento y contaminación ambiental).
- El beneficio económico radica en la inversión inicial que se recupera en menos de la mitad del tiempo de funcionamiento del sistema.
- Las expectativas de vida de los módulos superan los 15 años.
- El sistema es fácil de instalar.

- Es versátil, el diseño modular se adapta a las necesidades energéticas mínimas o máximas de cualquier lugar.
- El sistema tiene alta compatibilidad, la tecnología puede trabajar sola o en sistemas híbridos con otras fuentes de energía como apoyo.

Este sistema es positivo para las sociedades y ecosistemas.

Deventajas

- El consumo por el uso de aparatos de alto rendimiento (como neveras) debe ser moderado.
- Si se desea aumentar la capacidad se debe considerar el requerimiento en área para la instalación de más paneles.

1.4. MANTENIMIENTO

Para que el sistema esté en funcionamiento de manera continua es necesario realizar actividades para su cuidado y control. El mantenimiento preventivo es el mejor mantenimiento, por eso, es necesario inspeccionar periódicamente el sistema (1 o 2 veces en el año); esto permite detectar y corregir pequeños problemas, antes de que lleven a una falla más grande. De acuerdo con Interconsulting Bureau S.L (2015) las actividades de mantenimiento que se deben tener en cuenta para el sistema fotovoltaico, son las siguientes:

- Revisar las conexiones entre los paneles y el regulador, que estén bien ajustadas y libres de corrosión.
- Revisar todas las conexiones del sistema. Las conexiones de las baterías pueden limpiarse y tratarse periódicamente con anticorrosivo (Figura 12).
- Hacer un reconocimiento del cableado del sistema, verificando que no se formen grietas por la corrosión, dado que esto implica que se pierda la energía.
- Revisar que todas las cajas de conexiones estén selladas debidamente para evitar así, entradas de polvo, insectos y agua.

- Inspeccionar las piezas de la estructura de soporte de los módulos, observar si existe alguna pieza floja o suelta que pueda causar problemas.
- Los paneles solares no se pueden doblar o flexionar.
- Los paneles se deben limpiar con agua, utilizando un paño suave y jabón suave, también se puede usar una escoba de cerdas suaves. Nunca se debe limpiar con objetos cortantes o punzantes, dado que pueden dañar el cristal que los compone y así perder la eficiencia.
- Se debe limpiar la cubierta superior de la batería y proteger los contacto (uniones de salida de energía) de conexión, con grasa

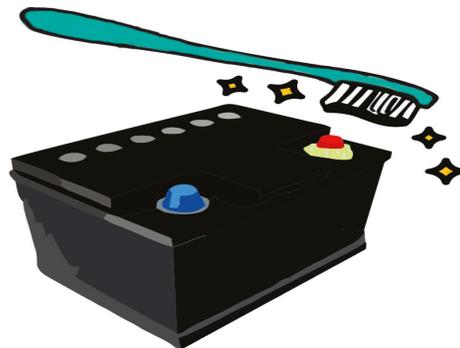


Figura 12.
Limpieza de conexiones en las baterías.
Fuente: Propia

¡Recuerda! La presencia de hojas, objetos y polvo sobre los paneles interfiere en su eficiencia, por eso es necesario inspeccionar su estado, además de realizar las actividades de mantenimiento.

1.5. SUGERENCIAS

Adicional al mantenimiento del sistema, se debe tener en cuenta el uso adecuado del mismo, por esto es necesario revisar y contemplar las siguientes situaciones y acciones:

- Se deben elegir electrodomésticos que sean de bajo consumo de energía, o que su consumo se encuentre en el rango de la energía generada por los paneles y acumulada en las baterías.
- Estimar el consumo diario medio de energía en los hogares, conocer la potencia consumida y el tiempo de funcionamiento de cada aparato. Esta medida permitirá conocer si la energía generada en el módulo es suficiente para el uso de los diferentes aparatos. El consumo de energía obtenido se debe incrementar en 20% para considerar las pérdidas en la instalación (ver ejemplo de tabla Anexa).
- El sistema de cableado debe ser apto para el ambiente en el que se instalan los paneles y debe tener la capacidad para soportar el sistema.
- La caída de voltaje en la línea debe ser inferior al 5%, como condiciones mínimas de funcionamiento.
- Es necesario desconectar los electrodomésticos en los días de tormentas eléctricas fuertes y de ciclones para evitar daños en el sistema.
- No se pueden conectar electrodomésticos que superen la capacidad del sistema porque éste se puede sobrecargar causando daños en los elementos eléctricos, generando cortos e incluso quema de los mismos.
- La tornillería del sistema debe ser en acero inoxidable para prevenir riesgos de corrosión.

2. MICROTURBINA HIDRÁULICA “LA ELVIRA”

La energía usada en el funcionamiento de la micro turbina es la energía hidráulica. Sin embargo, es necesario tener claro, que si bien, el agua es la fuente que se usará directamente, indirectamente también se usa la energía solar, dado que es ésta la que impulsa la continuidad del ciclo del agua en su fase de evaporación y es la que precede a la fase de precipitación donde el agua cae y conforma cuerpos de agua, como ríos.

Desde allí se propicia el uso de la energía hidráulica. En el caso de la vereda El Arenillo, Palmira, la energía para el funcionamiento de la microturbina “La Elvira” (Figura 13) se obtiene del agua del río “Aguaclara”. Este río abastece los acueductos rurales de las veredas: El Arenillo, Palmira, El mesón y Gualanday.



Figura 13. Microturbina
hidráulica “La Elvira”.
Fuente: Propia.

2.1. PARTES DEL SISTEMA

La microturbina “La Elvira” fue instalada en el año 2019, dentro de las acciones del proyecto “Construcción colaborativa para la gestión sostenible del agua y su integración con herramientas TIC, en la vereda El Arenillo”.

Microturbina hidráulica "La Elvira"

Su instalación permitió dar solución a la carencia de energía eléctrica en la que vivieron los habitantes de la zona, desde el momento de su asentamiento, hace más de 100 años, hasta el año 2019. La microturbina se encuentra ubicada en la zona alta de la vereda el Arenillo, donde la pendiente del terreno permite aprovechar la fuerza del agua. Para la generación de energía eléctrica, la microturbina cuenta con los componentes que se muestran en la Figura 14.

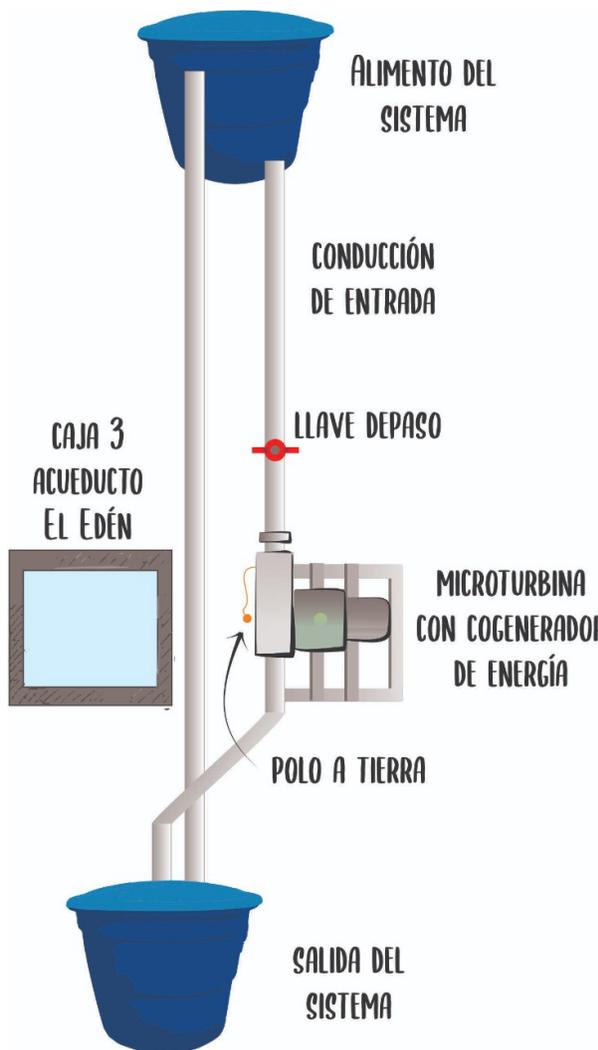


Figura 14. Componentes de la microturbina "La Elvira".
Fuente: Propia.

ALIMENTACIÓN DEL SISTEMA

Es el punto de inicio para el funcionamiento de la microturbina. En este punto se conduce el caudal necesario para que la microturbina funcione.

Su ubicación es muy importante, dado que permite asegurar la caída de agua suficiente para generar la energía esperada. La alimentación del sistema está compuesta por las siguientes partes:

Cámara de carga: la cámara de carga hace las veces de reservorio. Juega el rol de amortiguador entre la bocatoma y la tubería de presión, garantizando que ésta última esté siempre alimentada de agua (Forget, 2011). La cámara de carga de la microturbina "La Elvira", se conforma por un tanque de polietileno con capacidad de 500 L (Figura 15). En su interior cuenta con una malla de acero galvanizado, la cual cumple la función de filtro para ramas, hojas y demás elementos que el agua pueda arrastrar desde la bocatoma.

En este tanque se hace el *bypass* (división) del agua, que sale por dos orificios, uno correspondiente a la tubería de carga de la microturbina; y otro a la continuación de la tubería del acueducto. Esta continuación de la tubería del acueducto también hace las veces de rebose del tanque.

Con estas dos tuberías de salida se asegura que el recurso del agua no se desperdicie. Esta cámara se encuentra ubicada 50 metros más alto, con respecto al nivel de la microturbina, diferencia que asegura una columna de agua con la presión suficiente para el buen funcionamiento de la misma.

Figura 15. Cámara de carga de la microturbina "La Elvira".
Fuente: Propia.



Tubería forzada o tubería de presión: lleva el agua en un flujo forzado desde la cámara de carga hasta la microturbina. El material escogido depende del tipo de caída: el material sintético (PVC o PEHD) es apropiado para las bajas caídas y el metal se utiliza para las altas caídas.

Su dimensionamiento debe ser minucioso para evitar caídas de presión, es decir, pérdidas de energía por fricción en la tubería (Forget, 2011). La tubería forzada de la microturbina “La Elvira” tiene una longitud de 100m en PVC (RD21) de 2 pulgadas (Figura 16).



Figura 16. Tubería de presión. Microturbina “La Elvira”. Fuente: Propia

Válvula de guarda: la válvula de guarda regula el flujo de entrada a la turbina (Forget, 2011). En la microturbina “La Elvira” la válvula de apertura y cierre (guarda) es de 2 pulgadas. Para la alimentación de la microturbina se abre solo $\frac{1}{4}$ de su capacidad, con el fin de balancear la energía producida por la microturbina y la energía de consumo de la comunidad (Figura 17).

Microturbina y generador: la microturbina es un motor rotativo girado por la presión del agua. El motor permite aprovechar la mayor parte de la energía hidráulica y la transforma en energía mecánica (Forget, 2011). En el caso de la vereda el Arenillo, se instaló una turbina de flujo cruzado tipo *Michel Bankie* con capacidad para generar de 1 a 1.5 kW (Figura 18). Conectado a esta microturbina se encuentra un polo a tierra que está enterrado a un costado de la misma. Este polo a tierra amortigua las sobrecargas de energía, evitando que el sistema colapse o se queme.



Figura 17. Válvula de guarda. Microturbina "La Elvira". Fuente: Propia.



Figura 18. Microturbina "La Elvira".
Fuente: Propia

El generador: va acoplado a la microturbina y es el que permite convertir la energía mecánica en energía eléctrica (Forget, 2011). La microturbina "La Elvira" cuenta con un generador incorporado que permite esa transformación de la energía. El generador se encuentra adherido al costado derecho del cuerpo de la microturbina y cuenta con un voltímetro digital que permite leer el voltaje generado, correspondiente al caudal de entrada en la microturbina (Figura 19).



Figura 19. Microturbina y generador "La Elvira".
Fuente: Propia.

SALIDA DEL SISTEMA

Para que la microturbina funcione es necesario que el agua fluya constantemente, pues sólo se aprovecha la energía del agua en movimiento, por lo tanto, el agua debe entrar y salir. La salida del sistema cuenta con los siguientes componentes:

Canal de desagüe o descarga: es la tubería de salida que transporta el agua después de pasar por la microturbina y llegar hasta la cámara de descarga. Tiene una longitud aproximada de 6 metros y un diámetro de 4 pulgadas.

Cámara de descarga: está compuesta por un segundo tanque de polietileno con capacidad de 500 L (Figura 20). El tanque cuenta con tres orificios, dos de entrada y uno de salida. Las entradas corresponden a la tubería de salida de la microturbina y a la tubería del acueducto.

El orificio de salida corresponde a la continuación de la tubería del acueducto. En la tubería se junta el agua que se había desviado en la cámara de carga para la microturbina, es decir, la tubería continúa con la cantidad total de agua, traída desde el nacimiento. Esta cámara también cumple el papel de “cámara de descanso” porque acá, el agua sale con menos presión desde este punto.



Figura 20. Cámara de descarga. Microturbina "La Elvira". Fuente: Propia.

SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA

Para aprovechar la energía generada por la microturbina se instaló un sistema eléctrico que consta de las siguientes partes:

Cables de conducción eléctrica: estos cables están conectados a la microturbina, y salen con polaridad positiva. Son 2 cables de aluminio No. 6 con cubierta plástica y longitud de 750 m cada uno. Para su transporte hasta el módulo solar, los cables son protegidos por manguera de polietileno de ½ pulgada, la cual se encuentra enterrada en una zanja de aproximadamente 20 cm de profundidad. Estos cables llevan corriente alterna de 220 V.

Caja de control eléctrico: a esta caja de control eléctrico llegan las dos líneas (positivas) de cable, desde la microturbina. La caja se ubica en el módulo solar y desde ahí se distribuye la energía para los 5 usuarios, a través de 6 cables, un cable neutro y uno positivo para cada casa. Estos cables se unen en un poste de madera ubicado frente al módulo solar, desde dicho poste, cada uno de los cables continúa con su respectivo cable neutro hasta la casa de cada usuario (Figura 21).

En esta caja también se encuentran los siguientes elementos: un transformador que permite pasar de energía de 220 V a 110 V, es decir, energía apta para los electrodomésticos comunes; 6 *breakers*, 1 *breaker* bipolar que alimenta a las casas "breaker principal o totalizador" y 5 *breakers* individuales, correspondientes a la alimentación individual de las 5 casas (Figura 22).

La caja también permite visualizar el voltaje de salida para las casas, gracias a una pequeña pantalla ubicada en su puerta (Figura 23).



Figura 21. Ubicación caja de control eléctrico. Microturbina "La Elvira". Fuente: Propia.



Figura 22. Breakers caja de control.
Microturbina "La Elvira".
Fuente: Propia.



Figura 23. Caja de control eléctrico.
Microturbina "La Elvira".
Fuente: Propia.

Resistencia: para proteger el sistema de sobrecargas es necesario liberar la energía generada por la microturbina, cuando esta no se consume. La microturbina denominada "La Elvira" cuenta con cuatro resistencias organizadas en una placa. Cada resistencia de disipación tiene una capacidad de 250 W, es decir, la resistencia total del sistema disipa 1kW. La resistencia se encuentra protegida por una caja elaborada en reja de acero galvanizado y se encuentra ubicada debajo del módulo solar, para permitir su aireación (Figura 24).



Figura 24.
Resistencia. Microturbina "La Elvira".
Fuente: Propia.

2.2. FUNCIONAMIENTO

"La potencia instalada y la energía generada por una central hidroeléctrica, depende directamente de la altura del salto del agua y del caudal a usar" (Sanz Osorio, 2016). En el caso de Arenillo Palmira, la microturbina "La Elvira" hace las veces de central hidroeléctrica. Su funcionamiento se da gracias a la cantidad de agua que nace en la vereda, la cual es transportada por mangueras que hacen parte del acueducto comunitario de la comunidad. El agua encausada adquiere una alta velocidad debido a la diferencia de altura que presenta la topografía de la vereda.

El funcionamiento de la microturbina tiene una eficiencia de 70 - 90 %, dado que se generan pérdidas del 10 % aproximadamente debido a la fricción del agua con la tubería y con los accesorios. Los componentes necesarios para el funcionamiento de la microturbina son los siguientes:

- Fuente constante de abastecimiento de agua, con un caudal de alrededor de 3.5 l/s.
- Partes mecánicas; microturbina y generador de energía
- Partes estructurales; cámaras de carga y descarga, tuberías y demás accesorios como válvulas, cables, malla, etc.
- Caída de agua: mínima de 50 mca (metros columna de agua), es decir, 50 metros de diferencia altitudinal entre la toma de agua para la microturbina (cámara de carga) y la microturbina instalada.

El aprovechamiento de la energía hidráulica a través de una microturbina es posible si se conduce el agua desde un punto situado aguas arriba. El agua canalizada se desvía para ser conducida a través de la turbina, que transforma la energía potencial del agua, en energía mecánica. Posteriormente, el generador transforma la energía mecánica de la microturbina en energía eléctrica (Sanz Osorio, 2016). Para el aprovechamiento de esta electricidad es necesario contar con un sistema eléctrico que permita tener la energía en el rango de uso cotidiano: corriente alterna de 110 voltios. La microturbina funciona 24 horas 7 días a la semana, siempre y cuando la fuente de agua esté constante. Si la fuente de agua desaparece, o disminuye, la microturbina se detendrá o generará menos energía.

2.3. MANTENIMIENTO

Para asegurar el funcionamiento de la microturbina “La Elvira”, es necesario realizar acciones de cuidado y seguimiento del sistema y sus partes. Contemplando, tanto la **bocatoma** como el sistema instalado de la microturbina, así:

Bocatoma: es necesario realizar visitas periódicas que permitan verificar el estado de la bocatoma, teniendo en cuenta que puede ser necesario hacer adecuaciones a la caja de captación, los filtros artesanales, la estabilidad del suelo y la vegetación presente en el lugar.

Sistema de la microturbina: en el sistema de la microturbina la parte que puede presentar más daños es la eléctrica. Los daños se pueden presentar a mediano plazo y los riesgos son principalmente dados por la exposición de humedad, agua y animales que puedan romper los cables (Figura 25), por eso es necesario tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

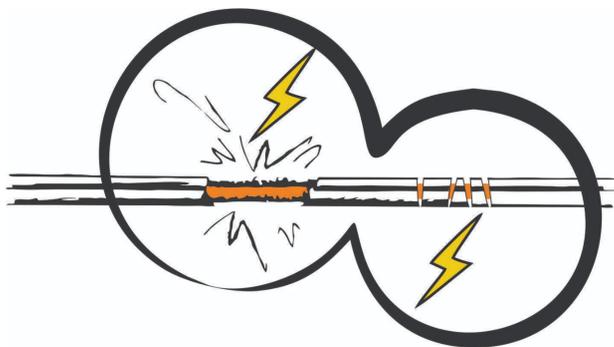


Figura 25.
Riesgo eléctrico
por la ruptura de cables.
Fuente: Propia.

- Hacer recorridos de verificación periódicamente sobre la manguera que conduce los cables desde la microturbina hasta el módulo solar. Fijarse especialmente en las uniones de la manguera, con la finalidad de prevenir entradas de agua a los cables. Si es necesario se debe desenterrar toda la manguera para hacer la revisión completa.
- Es necesario hacer seguimiento al caudal de aprovechamiento, “dado que puede sufrir variaciones estacionales o anuales” (Sanz Osorio,2016), relacionados a las temporadas climáticas de sequía y de lluvia.
- Si el sistema se obstruye, baja la energía generada. Por eso es necesario verificar y limpiar periódicamente el filtro de malla ubicado en la cámara de carga del sistema. Recordar que además deben revisarse los exteriores de la cámara de carga que pueden contener más material de obstrucción.
- Las balineras del motor se deben cambiar en periodos cada 1 o 2 dos años, esto asegura el buen estado de la microturbina y su funcionamiento.
- Periódicamente se deben limpiar los tanques, teniendo en cuenta que el agua que circula por el sistema es agua de nacimiento destinada para consumo doméstico y agrícola.
- La caja de control eléctrico debe estar aislada de obstrucciones, polvo, agua y contacto con animales.
- La resistencia debe estar siempre aireada y a salvo del contacto con agua, objetos, animales y/o niños.

Para que la microturbina funcione bien, es necesario que ¡la cuides!

2.4. RECOMENDACIONES Y PRECAUCIONES

Adicional al mantenimiento y seguimiento del sistema, es necesario recordar algunas otras recomendaciones y precauciones mencionadas por el proveedor, para el buen funcionamiento de la microturbina:

- Para los consumos de la comunidad Arenillo y de acuerdo con el sistema eléctrico instalado, el voltaje generado NO debe superar los 220 - 230 v.
- Al motor (microturbina) no le debe caer lluvia directa.
- Siempre que se abra o se cierre el sistema, se deben bajar todos los tacos.
- Si el sistema se apaga súbitamente lo más probable es que haya un corto, por lo tanto, se deben bajar todos los breakers. Al prender de nuevo el sistema se deben subir uno a uno los breakers o directamente el taco principal.
- Si hay un corto, es necesario una jornada para verificar el sistema eléctrico, acompañado de un experto en el tema.
- Cuando no haya nadie en casa, se deben bajar los breakers para evitar incendios o cortos.
- El consumo para cada casa, no debe superar los 120-150 watts. La energía generada es de 1 kW (1000 watts) es decir, a cada casa le corresponde un tope de 200 watts para consumo. Este tope no se debe alcanzar, dado que el sistema tiene pérdidas, consumos de energía para su funcionamiento y transporte de la misma para cada casa. Un consumo de 120-150 watts permite que en las casas conecten electrodomésticos como TV, bombillos, celulares y equipo de sonido.
- Se sugiere que cada casa tenga breaker a futuro, para poder controlar el flujo de energía desde la casa, brindando mayores oportunidades de reacción ante un corto.
- **Es necesario que cada casa instale su polo a tierra**, pues el polo es el que previene los accidentes por el flujo de energía, los cuales pueden suceder por fallas en el sistema o por razones naturales climáticas, como lluvias con rayos (Figura 26).
- Las instalaciones eléctricas siempre deben dejarse en óptimas condiciones, sin cables sueltos y con todo aislado.

- Si se va el agua hay que cerrar la llave de guarda de la microturbina lentamente, hasta donde marca. Se abre solo cuando se conozca el motivo de la ausencia de agua y en caso dado, este ya se haya solucionado. Al abrir la llave de paso (válvula de guarda) se debe hacer lentamente, solo abrir $\frac{1}{4}$ de la misma, verificando el voltímetro, hasta que quede máximo a 220V (Figura 27). Si la llave de paso se abre más de $\frac{1}{4}$ el voltaje superará los 220V, este aumento de energía podría dañar los electrodomésticos.



Figura 26.
Casa con polo a tierra.
Fuente: Propia.



Figura 27.
Abrir la llave de paso sólo $\frac{1}{4}$ y
verificar el voltaje.
Fuente: Propia.

- Si el caudal de agua disminuye, la energía y el voltaje bajarán. Si el caudal aumenta no hay inconvenientes, debido al control que presenta la llave de paso de la microturbina.
- Es importante proteger la resistencia del sistema, cuidando que no tenga obstrucciones.
- Si al subir los tacos despacio se deja de generar energía significa que hay un corto, entonces se deben bajar todos los tacos, para subirlos uno a uno, identificando el punto en el que genera el corto.
- No se deben conectar aparatos que consuman 220V, ni consumir más de la energía estipulada. No sobrecargar el sistema (Figura 28).
- No hacer experimentos eléctricos en el sistema.
- No usar elevador de voltaje.



Figura 28.
No sobre cargar el sistema, conectando demasiados aparatos electrónicos.
Fuente: Propia.

- Se sugiere hacer un censo sobre los elementos conectados en cada casa, con la finalidad de conocer el consumo real, esto ayuda a prevenir sobrecargas en el sistema (ver tabla anexa).
- Revisar el sistema, si aparecen ruidos raros contactar con el proveedor.
- Usar de manera eficiente la energía suministrada, con aparatos de bajo consumo (ahorradores), como por ejemplo los bombillos led.

ANEXO

Tabla para registro del consumo de energía en cada casa

Electrodoméstico	Energía requerida por hora (w o kw)/h	Tiempo usado	Consumo total por día
Tv 32”	50 w/h	3 horas	150 w

La tabla tiene un ejemplo del consumo de un TV de 32”. En la tabla también pueden escribir si el electrodoméstico es de bajo consumo o si posee tecnología led. Con esta tabla de registro podrán comparar:

- Electrodomésticos que consumen más energía.
- Cuales electrodomésticos son más usados.
- Si agregan una columna donde se inscriban los horarios de uso decada electrodoméstico podrán saber cuáles son los horarios en que se registra mayor consumo.
- Pueden hacer listas por casas, así podrán comparar los consumos y horarios de alto consumo, entre las diferentes casas, y por lo tanto, saber cuánta energía de la micro turbina están utilizando.

BIBLIOGRAFÍA

ALCIONE a Sonepar company, 2019. ALCIONE a Sonepar company Servicios. [En línea] Available at: <https://soluciones.alcione.mx/energias-alternas/-servicios/>

Carless, J., 1995. ENERGÍA RENOVABLE: Guía de alternativas ecológicas. México D.F.: EDAMEX.

Depositphotos, s.f. Depositphotos. [En línea] Disponible en: <https://mx.depositphotos.com/195215822/stock-photo-labor-working-on-cleaning-solar.html>

SLU, A. S. E. S., 2017. YouTube. [En línea] Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=5RE2Lgv9TUg>

Sun Supply, 2017. Sun Supply. [En línea] Disponible en: <https://www.sunsupplyco.com/componentes-de-un-sistema-de-energia-solar/>

Bridgewater, A. & G., 2009. *Energías alternativas*. Primera ed. Madrid: Paraninfo S.A.

Curiosoando, 2016. *¿Cuál es la diferencia entre energía cinética y energía potencial?* [En línea] disponible en: <https://curiosoando.com/cual-es-la-diferencia-entre-energia-cinetica-yenergia-potencial>

Forget, A., 2011. *Manual para ayudar a la comprensión del diseño de microcentrales hidroeléctricas aisladas*. [En línea] Disponible en: <http://www.astridforget.com/wp-content/uploads/2014/10/Mnual-t%C3%A9cnico-AF-microhidro-VF-110617.pdf>

Hidric, 2015. *Instalación turbinas powerkspout*. [En línea] Disponible en: https://www.hidric.com/wp-content/uploads/2019/07/LH_ES_Manual-LH-LH-MINI_V1.pdf

Hutmacher, K. M., 2014. *El maravilloso ciclo del agua*. Kelli Hicks ed. Minnesota: Cambridge BrickHouse.Inc.<https://books.google.com.co/books?id=VWFxDwAAQBAJ&pg=PA2&dq=El+maravilloso+ciclo+del+agua.+Kelli+Hicks&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwj1sb76y5PrAhWIwVkkKHcOLD90Q6AEwAHoECAQQAg#v=onepage&q=El%20maravilloso%20ciclo%20del%20agua.%20Kelli%20Hicks&f=false>

PNUD, 2002. *Manual sobre energía renovable: Hidráulica a pequeña escala*. [En línea] Disponible en: <http://bun-ca.org/publicaciones/HIDRA.pdf>

Sanz Osorio, J. F., 2016. *Energía Hidroeléctrica*. 2.a ed. Zaragoza: Prensas de la Universidad de Zaragoza

Tambutti, R. & Muñoz, H., 2005. *Física 1*. México D.F.: LIMUSA, S.A. DE C.V. GRUPO NORIEGA EDITORES.

El sol ilumina la noche en la vereda “El Arenillo”

*Uso de energías renovables para el abastecimiento eléctrico
en una comunidad rural*

Se terminó de imprimir en diciembre de 2020. Compuesto en caracteres Ancizar Sans e impreso en papel bond de 90 gr. para las páginas internas y propalmate de 240 gr. para la portada y contraportada.

Impreso en Palmira, Colombia.

