

**DIMENSIONAMIENTO E INSTALACIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO SOLAR
FOTOVOLTAICO Y EÓLICO PARA EL SUMINISTRO DE ENERGÍA EN UNA
INSTITUCIÓN EDUCATIVA UBICADA EN LA LOCALIDAD DE USME**

**TRWIGGY VALENTINA SALGADO BARRIOS
GISSELLE NATALIA SERRATO OSPINA**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C, COLOMBIA
2021**

**DIMENSIONAMIENTO E INSTALACIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO SOLAR
FOTOVOLTAICO Y EÓLICO PARA EL SUMINISTRO DE ENERGÍA EN UNA
INSTITUCIÓN EDUCATIVA UBICADA EN LA LOCALIDAD DE USME**

**TRWIGGY VALENTINA SALGADO BARRIOS
GISSELLE NATALIA SERRATO OSPINA**

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERA AMBIENTAL

**DIRECTORA
NIDIA ELENA ORTIZ PENAGOS**

**CODIRECTOR
FRANCOIS HERRERA JACQUELIN**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: TECNOLOGÍAS LIMPIAS
BOGOTÁ D.C, COLOMBIA
2021**

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	9
INTRODUCCIÓN	11
OBJETIVOS	12
OBJETIVO GENERAL	12
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
ANTECEDENTES	13
MARCO TEÓRICO	15
4.1 Contexto ambiental, social y económico de la localidad de Usme	15
4.2 Marco normativo de la implementación de energía renovable en Colombia	17
4.3 Energía eléctrica en zonas rurales de Colombia.....	18
4.4 Energía solar fotovoltaica.....	20
4.5 Energía eólica	21
METODOLOGÍA	23
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	27
IMPACTO SOCIAL Y HUMANÍSTICO	48
CONCLUSIONES	49
RECOMENDACIONES	50
REFERENCIAS.....	51

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Manual de funcionamiento del sistema hibrido.....	53
--	----

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Datos de velocidad de viento día 1.....	32
Tabla 2. Datos de velocidad de viento día 2.....	33
Tabla 3. Datos de velocidad de viento día 3.....	35
Tabla 4. Datos de velocidad de viento día 4.....	36
Tabla 5. Datos de velocidad de viento día 5.....	38
Tabla 6. Datos de velocidad de viento día 6.....	39
Tabla 7. Datos de velocidad de viento día 7.....	41
Tabla 8. Requerimiento energético.....	46

LISTA DE FIGURAS

Figura1. Mapa usos del suelo en área rural localidad Usme.....	16
Figura 2. Zonas interconectadas de Colombia.....	19
Figura 3. Esquema de sistema aislado.....	21
Figura 4. Datos promedio máximos de radiación solar mensual.....	29
Figura 5. Gráfica coeficiente de potencia.....	43

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Tipos de rotores.....	22
Fotografía 2. Radiación solar.....	28
Fotografía 3. Consola de la estación meteorológica.....	30
Fotografía 4. Instalación de la estación meteorológica.....	30
Fotografía 5. Instalación de la estación meteorológica.....	31
Fotografía 6. Medición velocidad del viento con velocímetro.....	31

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1 potencia del aerogenerador.....	24
Ecuación 2 energía requerida	24
Ecuación 3 Número de paneles	25
Ecuación 4 capacidad de batería	25
Ecuación 5 Número de baterías	25

RESUMEN

La localidad de Usme se encuentra ubicada en el suroriente de la ciudad de Bogotá, es considerada una de las localidades con mayor superficie ya que, se compone por siete UPZ (Unidades de Planeamiento Zonal) dentro de las cuales se identifican cinco de tipo residencial, una de tipo predominante dotacional y una última de desarrollo. Del mismo modo, es importante resaltar que Usme posee una amplia zona rural la cual es muy significativa debido a los diversos usos del suelo y su gran variedad étnica, sin embargo, ha sido denominada una zona vulnerable en el ámbito educativo y socioeconómico debido a que carece de un desabastecimiento energético continuo lo cual desencadena un alto índice de desescolarización infantil.

A partir de la problemática que se presentó en el sector con relación al funcionamiento intermitente del tendido eléctrico, La Universidad Santo Tomás tomó la iniciativa de ayudar y apoyar proyectos que prioricen a las comunidades poco favorecidas; este trabajo se desarrolló en colaboración de los centros de proyección social y la facultad de Ingeniería Ambiental. En este caso se eligió la institución educativa rural La Unión Usme, en donde se benefició a la población ya que, mejoró significativamente la deficiencia energética que se presentaba mediante el desarrollo de la instalación de un sistema híbrido junto con un manual instructivo para el manejo adecuado del mismo; seguido a esto fue llevada a cabo una capacitación al personal educativo con un video.

La Institución La Unión cuenta con condiciones meteorológicas aptas para llevar a cabo el proyecto; la medición de la velocidad del viento se mantuvo entre los 2.5 m/s y 7 m/s y una radiación promedio de 4 Wh/(m²*día). Para la instalación del sistema híbrido fueron asignados los recursos correspondientes a la compra de 2 paneles solares de 365 W, cada uno monocristalinos con eficiencia del 95%, un aerogenerador de 400 W con radio de 60 cm y eficiencia 23%, dos baterías de 150 Ah de 12 V y un controlador de 60 Ah 12/24 V. Sin embargo, el inversor que se adquirió es de 600 W lo cual implica que no pueden funcionar todos los equipos simultáneamente. Mediante la instalación del sistema híbrido fue posible establecer que este tiene la capacidad de generar 3.069 WH/día.

Palabras claves: aerogenerador, energía eléctrica intermitente, energías renovables, sistema solar fotovoltaico.

ABSTRACT

The district of Usme is located in the southeast of the city of Bogota and is considered one of the districts with the largest surface area since it is composed of seven UPZs, five of which are residential, one of which is predominantly residential and the last one is for development. Likewise, it is important to highlight that Usme has a large rural area which is very significant due to the diverse land uses and its great ethnic variety, however, it has been called a vulnerable area in the educational and socioeconomic sphere because it lacks a continuous energy supply which triggers a high rate of child dropout.

On the basis of the problems presented in the sector with regard to the intermittent operation of electricity lines, the University of Santo Tomas took the initiative to help and support projects that prioritize the disadvantaged communities; This work was developed in collaboration with the social projection centers and the Environmental Engineering faculty. In this case, the Usme Union was chosen as a rural educational institution, where it benefited the population since it significantly improved the energy deficiency that was presented by the development of the installation of a hybrid system together with an instructive manual for the proper management of it; following this was carried out a training of the educational staff with a video.

The Union has meteorological conditions suitable for carrying out the project; the wind speed measurement was maintained between 2.5 m/s and 7 m/s and an average radiation of 4 Wh/(m²*day). For the installation of the hybrid system, resources were allocated for the purchase of 2 solar panels of 365 W, each monocrystalline with efficiency of 95%, a 400 W turbine with 60 cm radius and 23% efficiency, two 150 Ah 12 V batteries and a 60 Ah 12/24 V controller. However, The inverter that was purchased is 600 W which means that not all the equipment can operate simultaneously. By installing the hybrid system it was possible to establish that it has the capacity to generate 3.069 WH/day.

Keywords: wind turbine, Hybrid system, intermittent electrical energy, renewable energy, photovoltaic solar system.

INTRODUCCIÓN

En Colombia se tiene un sector eléctrico que presenta fuertes dificultades teniendo en cuenta que la mayor parte de la demanda energética se satisface mediante la generación hidroeléctrica, la cual depende del agua por lo que se ve fuertemente afectada debido al cambio climático (López et al., 2020). Implementar estrategias que respondan a las necesidades de acceso a la energía eléctrica resulta importante para el desarrollo rural, y para el mejoramiento de las condiciones básicas que requiere un ser humano para tener una buena calidad de vida. Estas estrategias traen consigo beneficios como la reducción en los costos de la factura del servicio de electricidad, la venta de los excedentes de energía que no sea consumida y la disminución en la generación de gases de efecto invernadero (Humberto Rodríguez Murcia, 2008).

Usme es una localidad ubicada al suroriente de Bogotá, presenta una condición extrema de pobreza en la zona rural de un 14,9% (Delgado, Jiménez, Moreno, Rojas, & Zambrano, J. et al., 2010); se ve reflejada en sus niveles socioeconómicos que impiden un desarrollo en esta población, como también, se mantienen desplazamientos constantes provocados por los grupos armados y asesinatos que afectan a su vez la seguridad y cierra las oportunidades de poder gozar de un estilo de vida con los recursos básicos y fundamentales que necesita un ser humano; la falta de red eléctrica es una de las principales problemáticas que se tiene porque no abastece sino una pequeña parte de esta zona, por lo que se propone la implementación de un sistema híbrido en uno de los institutos educativos, con el fin de reducir estos impactos negativos beneficiando a la comunidad.

El colegio La Unión se encuentra ubicado en la ciudad de Bogotá en la localidad de Usme, hace parte de la vereda la Unión; esta comunidad educativa se encuentra conformada por veinte estudiantes y un cuerpo de docentes, cuenta con una jornada diurna de 7 am a 3 pm la cual se enfoca exclusivamente en estudios básicos de primaria (primero a quinto grado). Cabe resaltar que esta zona cuenta con el servicio de energía de la empresa Enel-Codensa, pero existen ciertas falencias en el sistema generadas por fallas en el tendido eléctrico, ocasionando un funcionamiento intermitente. El diseño y la instalación del sistema solar fotovoltaico y eólico presenta una respuesta a las necesidades de la institución que, consiste en el aprovechamiento de la energía solar y la velocidad del viento, con el fin de transformar estas condiciones en energía renovable, la cual es capaz de abastecer parte de las necesidades de la institución, respecto a temas de suministro energético de tal modo que sea posible brindar una mejora en el ambiente educativo, garantizando que existan condiciones más favorables para el trabajo escolar y a su vez se pueda obtener un mejor rendimiento académico por parte de los estudiantes.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Dimensionar e instalar un sistema solar fotovoltaico y eólico para el suministro de energía en una institución educativa ubicada en la localidad de Usme.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar las condiciones meteorológicas del colegio para conocer la disponibilidad de radiación solar y velocidad del viento.
- Dimensionar el sistema híbrido solar y eólico para suministrar un porcentaje de energía eléctrica con base en el requerimiento en la institución y la capacidad de generación en función de las condiciones meteorológicas del lugar y el presupuesto disponible.
- Operacionalizar el sistema de energías renovables solar fotovoltaica y eólico en la institución educativa.
- Elaborar un manual de apoyo del funcionamiento y mantenimiento del sistema híbrido eólico y solar para el personal de la institución educativa
- Indicar las instrucciones de uso del sistema por medio de una capacitación a la comunidad mediante un video.

ANTECEDENTES

Inicialmente es importante tener en cuenta que, el sistema eléctrico nacional se encuentra repartido en dos zonas, sin embargo en este caso es necesario dirigir el enfoque a aquellas zonas no interconectadas las cuales son aquellas que no están directamente enlazadas al Sistema Interconectado Nacional (SIN) (Mehrjerdia & Hemmati, 2020) por lo que acceder al servicio de energía eléctrica resulta complicado en dichas áreas que generalmente son zonas rurales las cuales se caracterizan por su difícil acceso y en las cuales existe una amplia dispersión con relación a la ubicación de sus habitantes; esto implica que, las comunidades en las que no hay electrificación se enfrenten a problemáticas sociales y económicas. Por lo anterior, es necesario realizar la implementación de energías renovables en dichas áreas.

A partir del desarrollo de una revisión bibliográfica se encontró que como consecuencia al drástico aumento que han experimentado este tipo de energías en la actualidad, es posible destacar que la energía solar es una alternativa que contribuye a la solución de las problemáticas de suministro energético a nivel mundial mediante su adecuada captación y distribución (Stevović et al., 2019). A nivel Colombia, han sido llevados a cabo múltiples proyectos a pequeña escala sobre la implementación de sistemas solares fotovoltaicos en diferentes lugares del país, a partir de dichas investigaciones es posible determinar la viabilidad en el uso de este tipo de energía renovable. Mediante el desarrollo de un análisis y evaluación de dos sistemas (eólico y solar) se logró evidenciar que un sistema fotovoltaico es más eficiente para el abastecimiento de hogares, pero desde una perspectiva económica no representa beneficios teniendo en cuenta su rentabilidad (León-Vargas et al., 2019).

Para el año 2019 el departamento de la Guajira contaba con 26 proyectos inscritos en La Unidad de Planeación Minero-Energética UPME dentro de los cuales fue posible identificar 17 parques eólicos y 7 proyectos solares que se encontrarían ubicados en los municipios de Maicao, San Juan del Cesar, Uribia, Riohacha y el Molino. Estos proyectos se encontraban en fase 1 y fase 2 (Romo, Mendoza, Urrego, & Urrego a, 2019). A nivel nacional ha sido posible identificar que el departamento tiene un potencial eólico y solar muy representativo principalmente por sus características meteorológicas pues presenta una baja nubosidad a lo largo del año, se estima que el promedio de radiación solar que presenta el departamento se encuentra entre los 4,5 y 6 kWh/ m²/día. Además de ello a la hora de realizar la instalación de los proyectos también cuenta con ciertas ventajas como lo es el relieve ya que, se compone por zonas montañosas en su gran mayoría hay llanuras (Romo, Mendoza, Urrego, & Urrego a, 2019).

Uno de los proyectos más destacados es El Parque Eólico Jepírachi, debido a que fue el primer diseño en Colombia en el cual se implementó energía eólica. Este se encuentra ubicado en el municipio de Uribia, esta zona cuenta con óptimas condiciones meteorológicas para generar energía eléctrica a partir de las altas velocidades de viento que presenta, por medio de aerogeneradores con rotor de 60 metros de diámetro y un generador de 60 metros de altura. Está conformado por 15 aerogeneradores los cuales se conectan entre ellos bajo la tierra esto con el fin de tener mayor control sobre la energía mediante una subestación eléctrica (Gutierrez, 2016).

Dentro de los diversos casos de estudio es posible identificar uno sobre la viabilidad del uso de este tipo de proyectos en la notaría única de San Luis de Gaceno en Boyacá en donde se realiza la instalación de un sistema autónomo en el techo de la notaría ubicada en la zona urbana teniendo en cuenta que, es un lugar de interés para la comunidad (Arias Becerra & Martínez Gómez, 2019). Otro claro ejemplo de la implementación de sistemas solares fotovoltaicos se puede evidenciar en el corregimiento de Nazareth del municipio de Uribia, en donde existe una fuerte problemática a nivel social teniendo en cuenta las situaciones de difícil acceso al lugar, mediante una investigación fue posible estimar el requerimiento de un kit solar de 300 vatios el cual tiene la capacidad de suministrar energía eléctrica para una vivienda con un consumo diario habitual (Gálviz Garzón & Gutiérrez Gallego, 2013).

Del mismo modo, otro de los ejemplos de la implementación de este tipo de energía que fue posible identificar se desarrolló en la ciudad de Bogotá, más exactamente en Altos de Cazucá, allí se realizó la instalación de un sistema híbrido eólico solar fotovoltaico en el cual se emplearon baterías usadas por vehículos; dichas baterías fueron debidamente reacondicionadas para el óptimo funcionamiento del sistema. El objetivo de este proyecto fue mejorar las condiciones energéticas de la zona en la institución Luis Carlos Galán en donde se beneficiaron 1500 estudiantes que se encuentran en un rango de edad de los 5 a 18 años (Rodriguez & Contreras, 2020).

MARCO TEÓRICO

4.1 Contexto ambiental, social y económico de la localidad de Usme

La localidad de Usme está conformada por 279 barrios divididos en 7 UPZ (Unidad de Planeamiento Zonal) las cuales, la conforman la ciudad de Bogotá, se encuentra ubicada al sur de la ciudad; limita al occidente con la localidad de Ciudad Bolívar y el municipio de Pasca, al sur con la localidad de Sumapaz; al norte con las localidades de Tunjuelito, Rafael Uribe Uribe y San Cristóbal y al oriente con los municipios de Ubaque y Chipaque. Esta localidad tiene una extensión total de 215,07 km^2 de los cuales 212,07 km^2 son urbanos, 1848,39 Km^2 son rurales y 90 Km^2 son considerados expansión urbana (Eliecer, 2017). En cuanto al contexto económico y el sector productivo se destaca la producción agropecuaria con vocación agrícola en las zonas rurales de la localidad; principalmente, se destacan los cultivos de papa y arveja, sin embargo, también se dan otros cultivos en una menor cantidad como el de habas, cebolla larga y cabezona, fresa, alcachofa, mora y otras frutas (Soto, 2010).

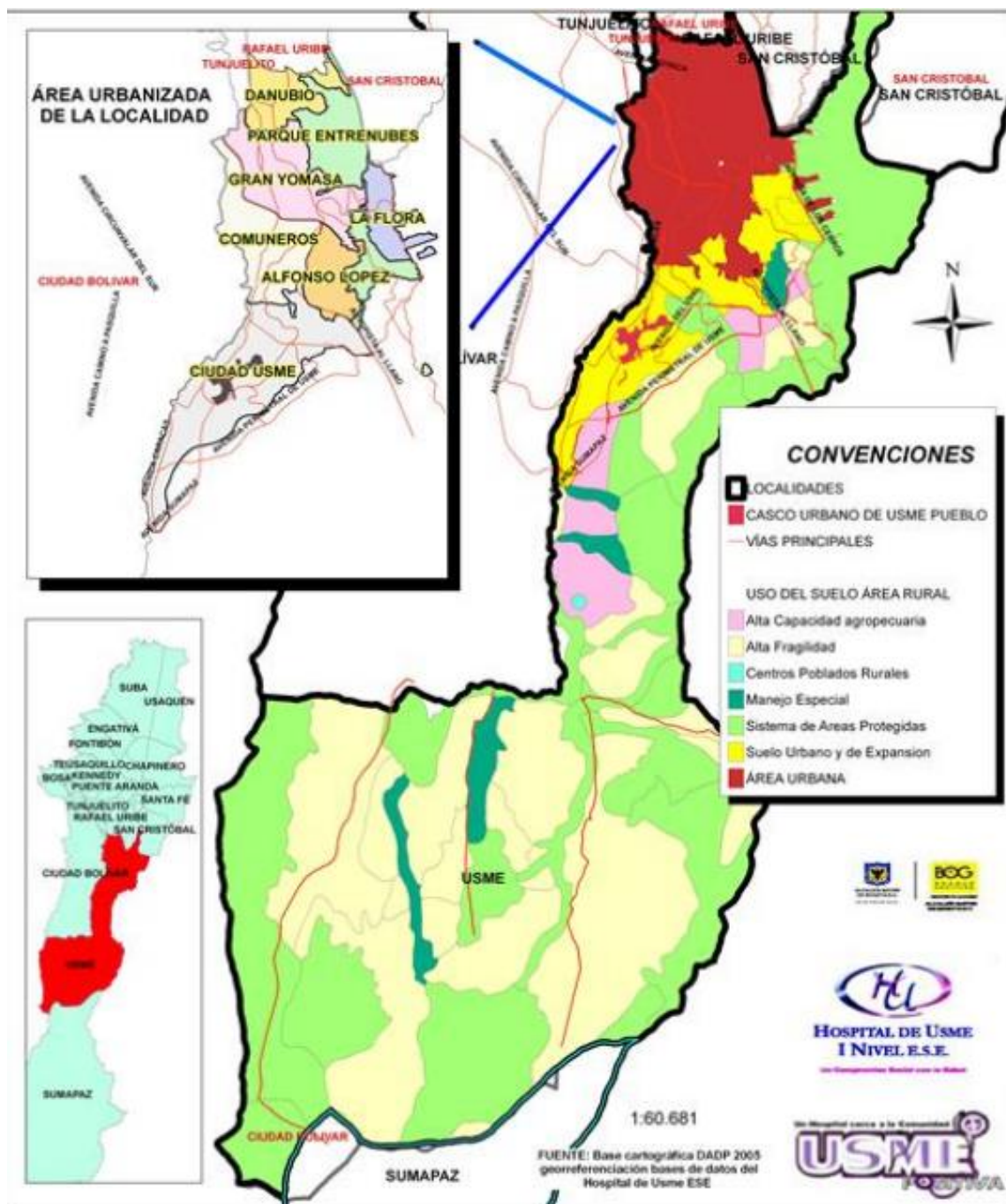
El nivel de escolaridad en la localidad en general es regular, cuenta con 95 instituciones educativas de las 2191 que tiene la ciudad. Usme tiene una baja calidad a nivel estudiantil por sus escasos recursos que afectan tanto la formación, como la calidad de vida de cada uno de los alumnos por lo que, se han propuesto por parte de la alcaldía mayor de Bogotá diferentes proyectos que den una mejora (Secretaría Distrital, 2020).

Respecto a los servicios públicos en la zona rural de la localidad, se sirven 10 acueductos rurales, abasteciendo el agua para consumo humano de cerca de dos mil personas, por lo que se obtiene que hay una relevante distribución del sistema hídrico proveniente de la cuenca alta del río Tunjuelito y las subcuencas de los ríos Curubital, Chisacá, Lechoso y Mugroso; comparado con el acceso a la energía eléctrica es un contraste al tener altas deficiencias con dicho servicio ya que, no cuentan con ello (Garzón, 2017).

Los suelos de las diecisiete veredas que conforman la zona rural de la localidad son aptos para uso agropecuario, lo que quiere decir que tienen óptimas condiciones para el aprovechamiento productivo ya que, se cultiva:

- Papa
- Cebolla larga
- Fresa
- Alverja
- Zanahoria

Figura1. Mapa usos del suelo en área rural localidad Usme.



Fuente: Diagnóstico local de salud con participación social (Soto, 2010)

4.2 Marco normativo de la implementación de energía renovable en Colombia

A nivel general es posible destacar que en Colombia actualmente existen múltiples retos respecto al suministro energético teniendo en cuenta que se presenta un conflicto entorno a las reservas y la producción de petróleo y gas; del mismo modo, al inminente avance del cambio climático, por estos factores el sistema energético se está poniendo en riesgo dado que depende casi que en su totalidad de la energía hidroeléctrica. A partir de dicho conflicto surge la implementación de las políticas energéticas las cuales juegan un papel importante ya que en ellas se estipulan objetivos orientados a la minimización de los costos de energía, la producción y la distribución de la energía suficiente para satisfacer la demanda, de la misma manera en ella se involucran objetivos ambientales como la disminución en emisiones atmosféricas de determinados contaminantes (López et al., 2020).

Actualmente Colombia cuenta con múltiples estrategias orientadas a la expansión de la cobertura de energía eléctrica dentro de estas es posible identificar cuatro grupos, el primero corresponde a las políticas públicas, en ellas se encuentran la ley 1715 enfocada a las energías renovables, el decreto 1623 en el cual se dan lineamientos para la expansión de coberturas en SIN (Sistema interconectado nacional) y ZINI (zonas no interconectadas) y la ley 1753 PND 2014-2018 (Olga Estella Ramirez Yaima, 2016). En relación a las zonas rurales se aplica el Plan Nacional de Electrificación Rural por medio del decreto 884 de 26 de mayo de 2011, en dicho plan se prioriza las necesidades económicas, culturales y sociales con el fin, de mantener una participación activa de la comunidad brindando un bienestar para la mejora de su estilo de vida, este cuenta con el apoyo del ministerio de Minas y Energía, técnico del Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas IPSE y la Unidad de Planeación Minero Energética - UPME los cuales, determinaron que cada dos años se debe de revisar un reajuste de este plan para así poder tener un mantenimiento constante y sostenible de dichas soluciones eléctricas para todos los hogares que no tienen acceso a ella y así contribuir a su uso (COLOMBIA, 2017).

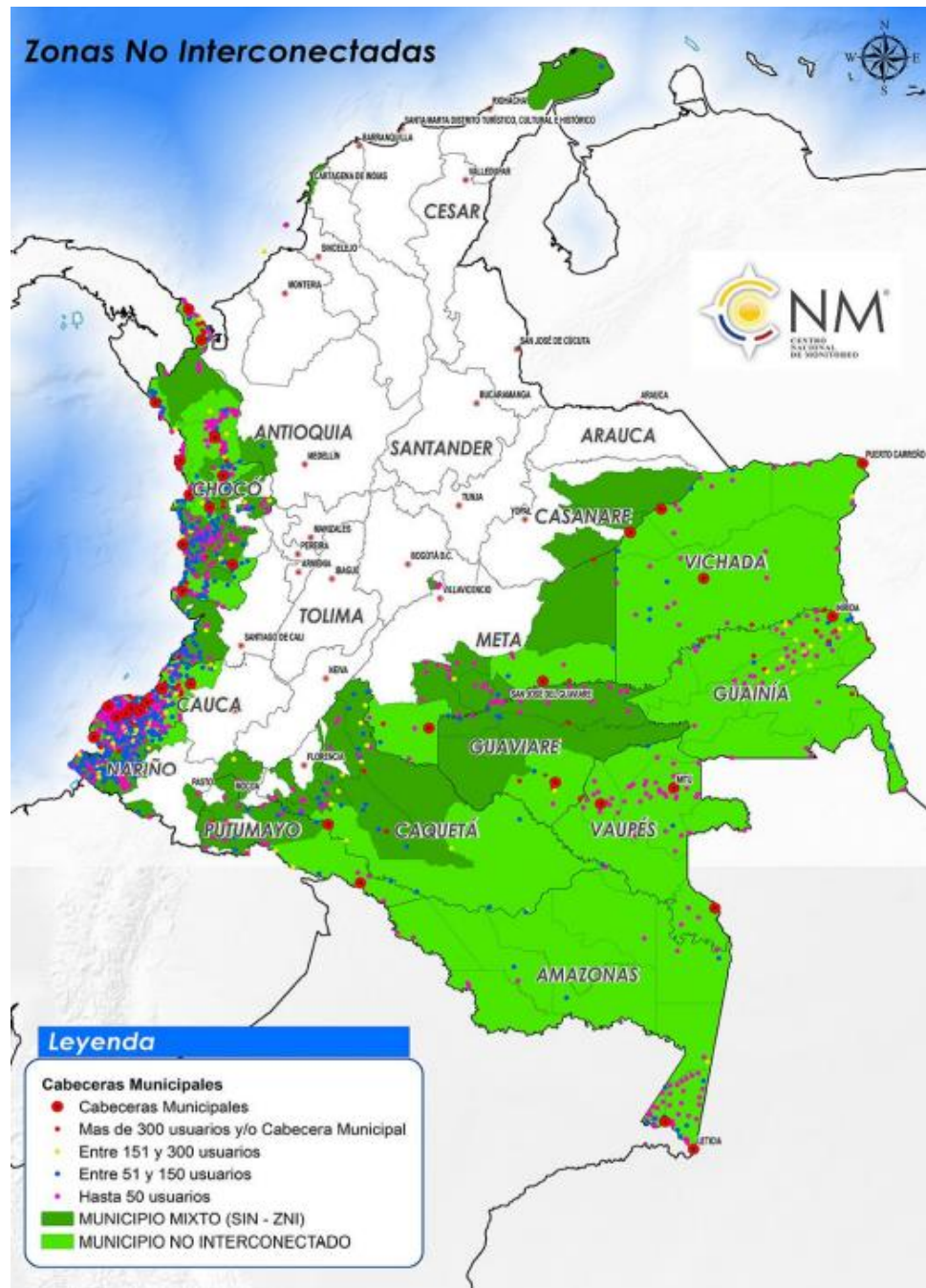
A pesar de que existen diversas estrategias para combatir las problemáticas relacionadas con la disponibilidad de energía en Colombia los objetivos de planificación se enfocan exclusivamente en la exportación y se han llevado a cabo cambios en el marco institucional pero no se han preocupado por una reorganización dirigida a la disminución del consumo y la justicia energética (Piedrahíta, 2016).

4.3 Energía eléctrica en zonas rurales de Colombia

El suministro de energía eléctrica en las zonas rurales de Colombia tiene múltiples deficiencias ya que, la gran mayoría de los departamentos de este país están más afectados por el conflicto armado y presentan los peores índices de cobertura eléctrica, actualmente por la falta de este recurso se recurre a sistemas alternos de generación principalmente diésel (Pinilla, 2016). Se posiciona por la ley 1715 de 2014 al ser una fuente no convencional de generación energética la cual, establece que ninguno de los dos sistemas tiene la capacidad de suplir las necesidades locales, las poblaciones rurales viven con este problema en su cotidianidad debido a que tienen un sistema poco funcional (Montalvo Bonilla et al., 2016).

La población rural presenta una mala calidad de vida dado que no tienen un acceso directo a la red eléctrica, por ende la mayoría de sus hogares implementa el uso de carbón y petróleo como fuente principal de energía, resaltando la contaminación ambiental generada a causa de estas emisiones; dentro de los efectos más relevantes se identifica la afectación a la capa de ozono, la liberación de los gases de efecto invernadero y la salud de la comunidad por el aire contaminado que respiran (Corredor, 1997). Las zonas no interconectadas en Colombia son aquellas en donde no se cuenta con el acceso al servicio público de electricidad, se caracterizan por tener una baja densidad poblacional, una ubicación geográfica lejana a la zona urbana, se abastecen de la generación de la planta diesel los cuales tiene alrededor del 66% del territorio Nacional, se incluyen 17 departamentos, 5 ciudades capitales, 54 cabeceras municipales y 1.262 localidades (Murcia, Figueroa, & Díaz, 2020).

Figura 2. Zonas interconectadas de Colombia



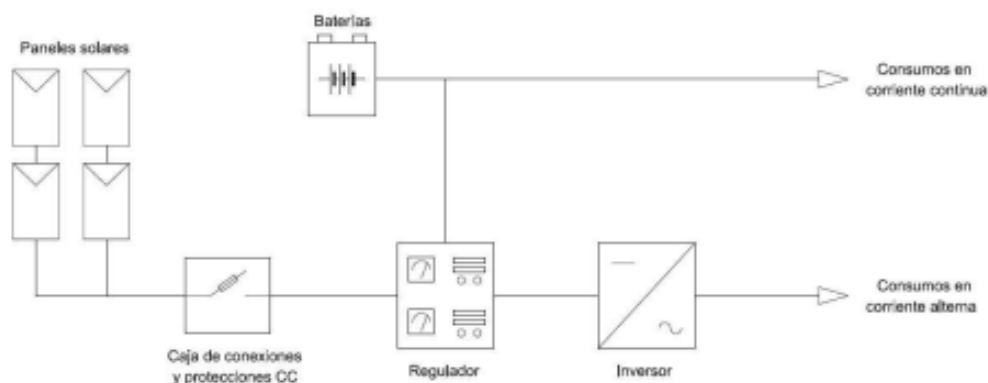
Fuente: Estado de la cobertura eléctrica y las zonas no interconectadas en la región central (Murcia, Figueroa, & Díaz, 2020)

4.4 Energía solar fotovoltaica

La energía solar es una de las formas más eficaces y de fácil acceso ya que, esta tiene la capacidad de adaptarse a la necesidad de cualquier persona, es la tecnología avanzada que se está implementando actualmente en el mundo, existen miles de aparatos que de diferentes formas cuentan como fuentes de uso de energía y ha provocado que su uso tenga una gran demanda de consumo eléctrico (Lamigueiro, 2020). Los sistemas solares fotovoltaicos son autónomos tienen la capacidad de producir electricidad sin ningún tipo de conexión con la red eléctrica por ende son aptas para la electrificación en las zonas rurales y aisladas ya que, estas instalaciones pueden ubicarse en cualquier lugar (Corredor German, 1997).

La generación de electricidad con ayuda de la energía solar junto con los sistemas fotovoltaicos se ha creado principalmente para ayudar al sector rural ya que, estos son los que tienen un difícil acceso a la misma, debido a los altos costos de generación originados principalmente en el precio de los combustibles, y los costos de operación, al contar con la generación solar es mucho más económica y confiable (Murcia, 2009). La demanda energética que tiene Colombia va en aumento, al contar con un crecimiento poblacional e industrial, por lo que generación de la energía solar fotovoltaica es una de las soluciones que tiene esta problemática, al contar con un alto nivel de potencial de radiación solar en todo su territorio, pudiendo sacar provecho de esta fuente energética con diferentes tecnologías ya que, estas son mucho más eficientes, confiables y económicas en un largo plazo (Ramírez, Murcia, & Cabeza-Rojas).

Figura 3. Esquema de sistema aislado.



Fuente: Proyecto de Instalación Solar Fotovoltaica Para Bloque de Viviendas.
(Tabascar, 2016)

4.5 Energía eólica

La energía eólica genera electricidad a partir de la velocidad del viento se obtiene por unos aerogeneradores que al girar van a transformar la cinética en eólica ya que, el viento es una masa de aire que se encuentran en movimiento en la atmosfera donde se tiene en cuenta su dirección y velocidad para producir dicha energía esto es medido por la veleta (equipo de giro libre y eje vertical), en la actualidad ha permitido el crecimiento tecnológico por sus grandes beneficios como un bajo costo en su operación y mantenimiento, reduce el consumo del combustible y a su vez reduce niveles de emisión de dióxido de carbono (Navales, 2011).

La energía que se obtiene por medio de un rotor de un aerogenerador el cual se encarga de darle dirección al viento en la parte frontal y reducir las turbulencias, va en un movimiento que influye por la velocidad del viento de forma rotativa e impulsa a la transformación mencionada anteriormente, se deben de tener en cuenta los diferentes tipos de rotores eólicos que son empleados para diferentes condiciones (Moragues & Rapallini, 2003).

Fotografía 1. Tipos de rotores

Eje	Tipo de Rotor	Rendimiento Máximo	Características
HORIZONTAL	Holandés	0,17	– 30-60 kW – Alto par de arranque – Velocidades medias(*) – Diseño ineficiente de las palas – 4 palas
	Multipala Americano	0,15	– 0,4-6 kW – Alto par de arranque – Bajas velocidades – Muchas pérdidas – 12-15 palas
	Perfil Aerodinámico (hélices)	0,47	– 0,5-3.200 kW – Bajo par de arranque – Altas velocidades – Alto rendimiento – 1 a 3 palas
VERTICAL	Savonius	0,30	– 0-1,5 kW – No requiere ser orientado – Alto par de arranque – Bajas velocidades – 2 a 4 palas
	Darrieus	0,35	– 5-500 kW – No requiere ser orientado – No arranca solo – Altas velocidades – Buen rendimiento – 2 a 3 palas

Fuente: Energía eólica (Moragues & Rapallini, 2003)

METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este proyecto se llevaron a cabo cuatro fases, la primera corresponde al diagnóstico y la selección de la institución, la segunda corresponde al dimensionamiento del sistema híbrido solar y eólico con base a las condiciones meteorológicas del lugar, el requerimiento de energía de la institución y el presupuesto disponible, la tercera la instalación del sistema y por último el desarrollo de la capacitación haciendo uso de un manual de apoyo.

Diagnóstico y selección de la institución:

En esta etapa se eligió el colegio en el cual se va a implementar el sistema teniendo presente las necesidades de la comunidad y los recursos con los que cuenta la misma, un factor importante para la selección fue que la institución contará con un servicio de vigilancia con el fin de evitar el robo de los equipos, dicho sistema ofrece un suministro energético en un área específica de la institución; este proceso se realizó mediante reuniones entre la unidad de proyección social de la Universidad Santo Tomás y la facultad de ingeniería ambiental.

Dimensionamiento del sistema híbrido solar y eólico:

Se llevó a cabo una recopilación de datos en campo a partir de una medición con una estación meteorológica, esta actividad se desarrolló durante un tiempo de 24 horas por 7 días. Cabe resaltar que a la hora de realizar la instalación de la estación fue necesario tener en cuenta ciertos parámetros dado que el equipo tuvo que ser ubicado en un lugar estratégico en el que estuviera alejado de una fuente de calor y del mismo modo a una altura suficiente en donde no se presentarán modificaciones en los datos por factores externos, este lugar permitió que el terreno fuera accesible al observador.

Inicialmente se verificaron todos los componentes de la estación seguido a esto se realizó una revisión del manual de usuario con el fin de encender y de configurar correctamente la consola del equipo en donde se registraron datos específicos del área de estudio como la latitud, longitud, fecha, hora; posteriormente se conectaron los sensores y se ajustó el anemómetro el cual brinda datos sobre la velocidad y la dirección del viento.

Evaluación del requerimiento de consumo de energía eléctrica de la institución:

Se realizó una visita con el objetivo de identificar el número de luminarias LED en cada una de las áreas de la institución y a su vez se revisaron las potencias de consumo de cada una de ellas, posteriormente se observó cada uno de los electrodomésticos con los cuales se contaba dentro de las aulas (computadores, televisores e impresora) con el fin de llevar a cabo el mismo procedimiento de las luminarias; seguido a esto se determinó el porcentaje de energía que será suministrado por el sistema híbrido con base al presupuesto.

Dimensionamiento del sistema:

Haciendo uso de los datos arrojados por la estación meteorológica de la velocidad del viento medidos por siete días durante 24 horas, el dato usado para el desarrollo de la ecuación corresponde al valor más alto.

$$Pot\ Aer = \frac{1}{2} Dens * \pi * R^2 * Vel^3 * F * \mu \text{ (Ec.1)}$$

Donde:

Dens: Densidad del aire

R: Radio del aerogenerador

Vel: Velocidad del viento medida en campo

F: Factor de Raileight

μ : Eficiencia del aerogenerador

Para la ejecución de esta etapa se tuvo en cuenta el lugar exacto donde se realizó la instalación del sistema híbrido eólico solar fotovoltaico, inicialmente se tomaron las coordenadas con el fin de poder ingresar los datos mencionados anteriormente en la página de la NASA "surface meteorology and energy solar", en la base de datos en la sección "Daily solar radiation horizontal" se obtuvieron los valores de radiación solar dentro de los cuales se identificó el dato mínimo para poder ejecutar el cálculo de la energía requerida para el panel solar.

$$Energía\ requerida = \frac{Energía\ consumida}{Radiación\ pico} * eficiencia\ del\ panel \textbf{(Ec.2)}$$

Posteriormente, se procedió al desarrollo de un cálculo mediante el cual fue posible estimar la cantidad de paneles solares necesarios para el abastecimiento de la energía requerida y a su vez de baterías (Tobajas Vázquez, C. 2018).

$$Número\ de\ paneles = \frac{energía\ requerida}{energía\ suministrada\ por\ paneles} \textbf{(Ec.3)}$$

$$Capacidad\ de\ batería = \frac{energía\ suministrada\ en\ Wh}{Voltaje\ de\ las\ baterías} \textbf{(Ec.4)}$$

$$Número\ de\ baterías = \frac{capacidad\ de\ baterías}{Amperios\ de\ la\ batería} * (1,3) \textbf{(Ec.5)}$$

También es necesario tener en cuenta el controlador ya que, este regula el voltaje y la corriente producida por el panel, a su vez se debe tomar en consideración el inversor porque es el encargado de convertir la corriente directa en alterna.

$$Controlador\ en\ A = Número\ de\ paneles * Corriente\ en\ A\ de\ cada\ panel \textbf{(Ec.6)}$$

Desarrollo de la capacitación a la comunidad haciendo uso de un manual de apoyo:

A partir de las fases anteriores, se elaboró un manual el cual aborda los temas sobre el funcionamiento del sistema solar y posteriormente se realizó una capacitación dirigida a la comunidad educativa con el fin de socializar el proyecto ejecutado y dar a conocer el tema de las energías no convencionales.

RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Mediante la colaboración entre la facultad de ingeniería ambiental y la unidad de proyección social fue posible llevar a cabo la selección de una institución educativa para la instalación de un sistema híbrido (eólico solar). Para el presente proyecto fue elegido el colegio rural La Unión ubicado en la localidad de Usme ya que, presenta una intermitencia en el sistema de energía.

Respecto al consumo de energía del colegio no fue posible conocer el dato exacto debido a que no se cuenta con la factura del servicio de energía eléctrica dado que se registra solamente un recibo para las cinco instituciones de las diecisiete veredas que conforman la zona rural de Usme.

- **Radiación solar**

Para establecer la disponibilidad del recurso solar en el área de estudio los datos fueron obtenidos en la página de la NASA “surface meteorology and energy solar” en donde fue posible identificar que en los años (2015 – 2019) el valor de radiación solar mayor corresponde a 5,02 KWh/(m²*día), y el menor valor es de 3,86 KWh/(m²*día); y a su vez se mantuvo un promedio de 4 KWh/(m²*día), como se puede observar en la fotografía 2.

Fotografía 2. Radiación solar

-BEGIN HEADER-

NASA/POWER SRB/FLASHFlux/MERRA2/GEOS 5.12.4 (FP-IT) 0.5 x 0.5 Degree Interannual Averages/Sums

Dates (month/day/year): 01/01/1981 through 12/31/2019

Location: Latitude 4.34 Longitude -74.18

Elevation from MERRA-2: Average for 1/2x1/2 degree lat/lon region = 1874.79 meters Site = na

Climate zone: na (reference Briggs et al: <http://www.energycodes.gov>)

Value for missing model data cannot be computed or out of model availability range: -999

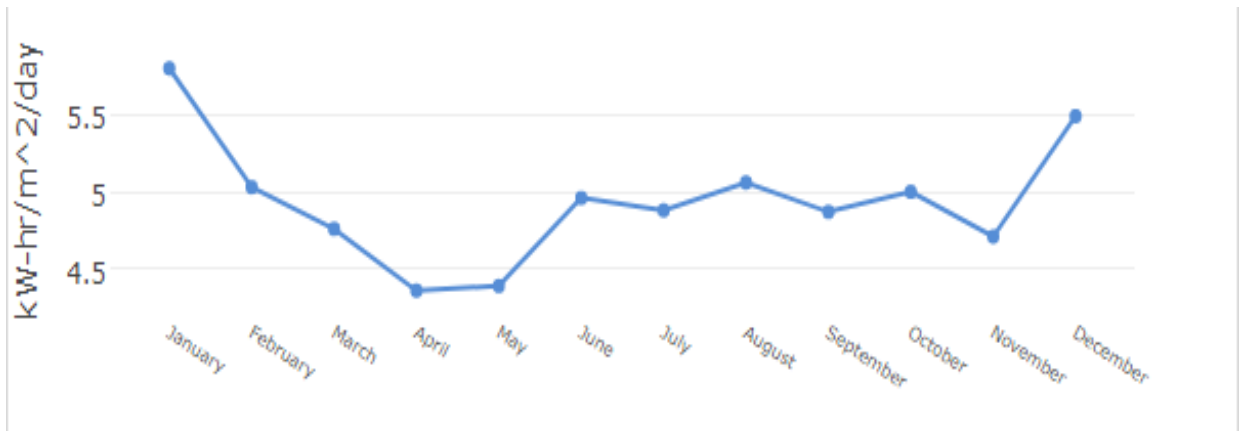
Parameter(s):

ALLSKY_SFC_SW_DWN SRB/FLASHFlux 1/2x1/2 All Sky Insolation Incident on a Horizontal Surface (kW-hr/m^2/day)

PARAMETER	YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANN
- END HEADER-														
ALLSKY_SFC_SW_DWN	1981	-999	-999	-999	-999	-999	-999	-999	-999	-999	-999	-999	-999	-999
ALLSKY_SFC_SW_DWN	1982	-999	-999	-999	-999	-999	-999	-999	-999	-999	-999	-999	-999	-999
ALLSKY_SFC_SW_DWN	1983	-999	-999	-999	-999	-999	-999	5.12	4.86	5.20	4.75	5.10	4.74	4.96
ALLSKY_SFC_SW_DWN	1984	4.99	4.77	5.06	4.71	4.88	4.68	4.96	5.01	4.57	4.10	3.95	4.40	4.67
ALLSKY_SFC_SW_DWN	1985	4.65	5.27	4.88	4.58	4.66	4.97	4.67	4.92	5.40	4.32	4.32	4.74	4.78
ALLSKY_SFC_SW_DWN	1986	4.42	4.47	4.76	4.80	4.74	4.84	5.05	4.90	4.86	4.31	4.69	4.84	4.72
ALLSKY_SFC_SW_DWN	1987	5.17	4.91	5.15	4.75	5.00	5.16	4.86	4.87	5.01	4.43	4.87	4.82	4.92
ALLSKY_SFC_SW_DWN	1988	4.78	4.68	5.26	4.31	4.65	4.55	4.80	4.44	4.91	4.38	4.34	4.57	4.64
ALLSKY_SFC_SW_DWN	1989	4.71	4.40	4.76	4.89	5.01	4.69	5.11	5.35	5.37	5.21	5.03	5.04	4.97
ALLSKY_SFC_SW_DWN	1990	4.86	4.39	4.74	4.56	4.79	4.97	5.21	5.34	5.62	4.54	4.61	4.53	4.85
ALLSKY_SFC_SW_DWN	1991	5.17	5.06	4.62	5.30	4.60	4.73	5.18	5.23	5.30	5.33	4.68	4.53	4.98
ALLSKY_SFC_SW_DWN	1992	5.00	5.17	5.55	4.93	4.79	5.27	4.87	5.09	4.67	4.50	3.95	4.23	4.83
ALLSKY_SFC_SW_DWN	1993	4.37	4.76	4.76	4.50	4.42	5.06	5.29	5.20	4.86	4.70	4.60	4.78	4.78
ALLSKY_SFC_SW_DWN	1994	4.74	4.75	4.77	4.75	4.83	4.95	5.09	4.98	4.97	4.53	4.49	4.52	4.78
ALLSKY_SFC_SW_DWN	1995	5.32	5.45	4.62	4.68	4.90	4.68	4.91	5.07	5.24	4.61	4.87	4.48	4.90
ALLSKY_SFC_SW_DWN	1996	4.55	4.66	4.57	5.10	4.59	4.41	5.02	5.18	5.14	4.53	4.63	4.24	4.72
ALLSKY_SFC_SW_DWN	1997	4.26	5.06	4.99	4.68	4.98	4.80	5.15	5.60	5.18	5.10	4.70	5.25	4.98
ALLSKY_SFC_SW_DWN	1998	5.16	4.86	4.82	4.46	4.49	4.76	4.84	4.93	5.18	5.13	4.74	4.54	4.83
ALLSKY_SFC_SW_DWN	1999	4.39	3.97	5.08	4.49	5.10	4.58	4.96	5.01	4.34	4.70	4.53	4.56	4.65
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2000	4.66	4.81	4.88	4.36	4.21	4.77	4.99	4.87	4.79	4.75	4.63	4.17	4.66
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2001	5.23	4.67	4.52	4.60	4.60	4.95	4.88	5.17	4.98	5.50	4.54	4.36	4.83
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2002	5.21	5.18	4.96	4.24	4.33	4.96	5.03	5.13	5.31	5.04	4.68	4.84	4.91
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2003	5.52	4.90	4.96	4.63	4.75	4.65	5.07	5.13	4.91	4.26	4.53	4.42	4.81
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2004	4.81	5.11	4.96	4.24	4.46	4.97	4.90	5.32	4.80	4.69	4.77	4.50	4.79
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2005	4.87	4.90	5.28	4.78	5.13	4.86	5.54	5.02	5.41	4.92	4.85	4.81	5.03
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2006	4.88	5.28	4.24	4.60	4.96	5.07	5.05	5.47	5.35	4.68	4.51	4.57	4.89
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2007	4.79	5.99	4.59	5.03	4.77	4.94	5.46	4.86	5.12	4.12	4.58	4.25	4.87
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2008	4.52	4.83	4.90	4.45	4.49	4.38	4.49	4.61	4.58	4.64	4.30	4.63	4.57
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2009	4.10	4.70	4.14	4.53	4.63	4.49	4.44	4.74	5.40	4.84	4.76	4.89	4.64
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2010	5.32	5.06	4.73	4.55	4.44	4.39	4.38	4.60	4.66	4.51	4.20	4.13	4.58
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2011	5.30	4.48	4.70	4.64	4.09	4.48	4.45	4.88	4.85	4.41	4.26	4.33	4.57
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2012	4.58	4.97	4.51	4.12	4.53	4.70	4.56	4.55	4.64	4.56	4.58	4.57	4.57
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2013	4.86	3.92	4.23	4.57	3.95	4.83	4.63	4.47	4.80	4.76	4.32	4.06	4.45
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2014	4.57	4.53	4.50	4.46	4.53	4.20	4.59	4.38	4.69	4.35	4.41	4.53	4.48
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2015	4.83	4.63	4.31	4.41	4.38	3.99	4.48	4.43	5.02	4.62	4.22	4.70	4.50
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2016	5.31	4.47	4.78	4.27	4.44	4.41	4.35	4.74	4.75	4.56	4.05	4.28	4.54
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2017	4.02	4.89	3.76	4.40	4.10	3.91	4.24	4.46	4.25	4.06	4.16	4.27	4.20
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2018	4.57	4.59	4.40	3.86	4.34	4.15	4.29	4.79	4.77	4.72	4.40	4.92	4.15
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2019	4.59	4.59	4.11	4.34	4.25	4.32	4.67	4.73	4.58	4.50	4.41	4.22	4.14

Fuente: NASA y plataforma Photovoltaic geographical information system.

Figura 4. Datos promedio máximos de radiación solar mensual



Fuente: NASA y plataforma Photovoltaic geographical information system.

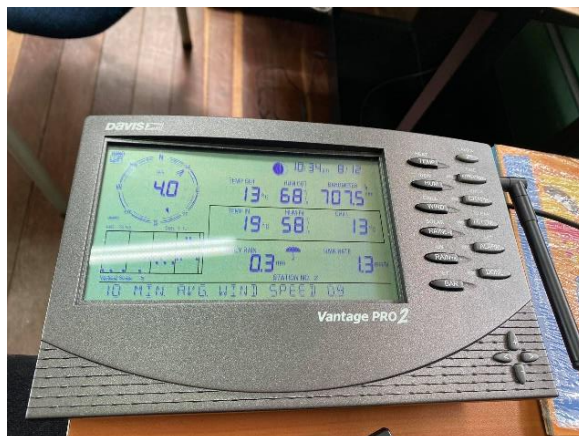
En la figura 4 es posible evidenciar la serie de datos correspondientes a los valores promedio máximos de radiación solar mensual para los años 1983 a 2005 los cuales oscilan entre 4.5 a 5.5 KWh/m²/día.

La adquisición de los recursos para la compra de los equipos que componen el sistema híbrido fue aportado por la Universidad Santo Tomás y gestionado por la Unidad de Proyección Social; el presupuesto aprobado aproximadamente fue de \$5.200.000, los cuales fueron invertidos en dos paneles solares monocristalinos cada uno de 365 W con eficiencia del 95% y un aerogenerador de 400 W con radio de 60 cm y eficiencia 23%, cableado calibre 4 mm² con longitud de 15 m, un controlador de 60 A de 12 V y un inversor de 600 W.

- **Velocidad del viento**

Para la medición de la velocidad del viento fue necesaria la instalación de una estación meteorológica referencia Davis Vantage PRO 2 la cual fue ubicada en un punto estratégico de la institución con el objetivo de obtener datos de calidad y buena precisión.

Fotografía 3. Consola de la estación meteorológica.



Fuente: Autores

Fotografía 4. Instalación de la estación meteorológica.



Fuente: Autores

Fotografía 5. Instalación de la estación meteorológica.



Fotografía 6. Medición velocidad del viento con velocímetro.



Fuente: Autores

La recopilación de los datos fue llevada a cabo durante 24 horas por 7 días en diferentes meses (junio, julio, agosto y septiembre) en intervalos de 30 minutos como se evidencia en las siguientes tablas.

Tabla 1. Datos de velocidad de viento día 1.

DATOS EN CAMPO			
Fecha: 11 de junio 2021			
Hora	Velocidad (m/s)	Watts (W)	Watts-hora,día (WH/día)
6:00	3,06	8,67	4,33
6:30	4,09	20,69	10,35
-7:00	1,8	1,76	0,88
7:30	3,6	14,11	7,06
8:00	2,02	2,49	1,25
8:30	1,9	2,07	1,04
9:00	1,53	1,08	0,54
9:30	4	19,36	9,68
10:00	1,8	1,76	0,88
10:30	0,09	0,00	0,00
11:00	2,7	5,95	2,98
11:30	1,8	1,76	0,88
12:00	1,8	1,76	0,88
12:30	5,4	47,63	23,81
13:00	2,1	2,80	1,40
13:30	1,62	1,29	0,64
14:00	2,2	3,22	1,61
14:30	2,03	2,53	1,27
15:00	2	2,42	1,21
15:30	1,98	2,35	1,17
16:00	1,73	1,57	0,78
16:30	2,13	2,92	1,46
17:00	1,86	1,95	0,97
17:30	1,78	1,71	0,85
18:00	1,84	1,88	0,94
18:30	1,7	1,49	0,74
19:00	1,19	0,51	0,25
19:30	2	2,42	1,21
20:00	1,7	1,49	0,74
20:30	2,5	4,73	2,36
21:00	1,8	1,76	0,88

21:30	3,5	12,97	6,48
22:00	4	19,36	9,68
22:30	2,9	7,38	3,69
23:00	2,8	6,64	3,32
23:30	2,7	5,95	2,98
0:00	1,8	1,76	0,88
0:30	1,9	2,07	1,04
1:00	2,2	3,22	1,61
1:30	1,3	0,66	0,33
2:00	1,2	0,52	0,26
2:30	2,8	6,64	3,32
3:00	3,6	14,11	7,06
3:30	3,1	9,01	4,51
4:00	2,2	3,22	1,61
4:30	2,5	4,73	2,36
5:00	1,8	1,76	0,88
5:30	1,9	2,07	1,04

Fuente: Autores

Tabla 2. Datos de velocidad de viento día 2.

DATOS EN CAMPO			
Fecha: 03 de julio 2021			
Hora	Velocidad (m/s)	Watts (W)	Watts -hora, día (WH/día)
8:00	3,6	14,11	7,06
8:30	5,4	47,63	23,81
9:00	1,7	1,49	0,74
9:30	1,6	1,24	0,62
10:00	3,1	9,01	4,51
10:30	3,2	9,91	4,96
11:00	4,5	27,56	13,78
11:30	4,1	20,85	10,42
12:00	1,8	1,76	0,88
12:30	3,2	9,91	4,96
13:00	2,2	3,22	1,61
13:30	2,5	4,73	2,36
14:00	1,9	2,07	1,04

14:30	1,6	1,24	0,62
15:00	2,5	4,73	2,36
15:30	2,3	3,68	1,84
16:00	2,2	3,22	1,61
16:30	1,4	0,83	0,41
17:00	1,3	0,66	0,33
17:30	2,3	3,68	1,84
18:00	2,8	6,64	3,32
18:30	2,7	5,95	2,98
19:00	2,7	5,95	2,98
19:30	3,1	9,01	4,51
20:00	4,1	20,85	10,42
20:30	3,5	12,97	6,48
21:00	2,9	7,38	3,69
21:30	2,8	6,64	3,32
22:00	2,2	3,22	1,61
22:30	1,8	1,76	0,88
23:00	1,8	1,76	0,88
23:30	3,4	11,89	5,94
0:00	3,2	9,91	4,96
0:30	3,1	9,01	4,51
1:00	2,8	6,64	3,32
1:30	1,6	1,24	0,62
2:00	2,2	3,22	1,61
2:30	2,7	5,95	2,98
3:00	2,9	7,38	3,69
3:30	3,1	9,01	4,51
4:00	4	19,36	9,68
4:30	5,1	40,12	20,06
5:00	5,2	42,53	21,26
5:30	4,6	29,44	14,72
6:00	3,2	9,91	4,96
6:30	3,6	14,11	7,06
7:00	2,9	7,38	3,69
7:30	1,8	1,76	0,88

Fuente: Autores

Tabla 3. Datos de velocidad de viento día 3

DATOS EN CAMPO			
Fecha: 10 de agosto 2021			
Hora	Velocidad (m/s)	Watts (W)	Watts hora, día (WH/día)
8:00	2,6	5,32	2,66
8:30	2,3	3,68	1,84
9:00	3,2	9,91	4,96
9:30	4,1	20,85	10,42
10:00	5,2	42,53	21,26
10:30	6,8	95,11	47,55
11:00	4,5	27,56	13,78
11:30	7,3	117,67	58,83
12:00	6,1	68,66	34,33
12:30	7,2	112,90	56,45
13:00	5,4	47,63	23,81
13:30	4,2	22,41	11,20
14:00	4,6	29,44	14,72
14:30	3,3	10,87	5,43
15:00	2,8	6,64	3,32
15:30	2,9	7,38	3,69
16:00	2,6	5,32	2,66
16:30	2,2	3,22	1,61
17:00	1,8	1,76	0,88
17:30	3,5	12,97	6,48
18:00	3,2	9,91	4,96
18:30	4,1	20,85	10,42
19:00	6,3	75,63	37,82
19:30	6,9	99,36	49,68
20:00	4,8	33,45	16,73
20:30	7,2	112,90	56,45
21:00	7,6	132,78	66,39
21:30	7	103,75	51,87
22:00	6	65,33	32,67
22:30	6,6	86,96	43,48
23:00	5,8	59,02	29,51
23:30	4,9	35,59	17,79
0:00	5	37,81	18,90
0:30	6,5	83,07	41,53
1:00	6,6	86,96	43,48
1:30	4,5	27,56	13,78

2:00	3	8,17	4,08
2:30	3,5	12,97	6,48
3:00	4,1	20,85	10,42
3:30	3,9	17,94	8,97
4:00	5,4	47,63	23,81
4:30	6,6	86,96	43,48
5:00	4	19,36	9,68
5:30	4,8	33,45	16,73
6:00	3,5	12,97	6,48
6:30	3,2	9,91	4,96
7:00	3	8,17	4,08
7:30	2,5	4,73	2,36

Fuente: Autores

Tabla 4. Datos de velocidad de viento día 4.

DATOS EN CAMPO			
Fecha: 15 de agosto 2021			
Hora	Velocidad (m/s)	Watts (W)	Watts- hora,día (WH/día)
8:00	5,4	47,63	23,81
8:30	7,2	112,90	56,45
9:00	4,9	35,59	17,79
9:30	3,6	14,11	7,06
10:00	3,1	9,01	4,51
10:30	4,5	27,56	13,78
11:00	1,8	1,76	0,88
11:30	2,2	3,22	1,61
12:00	3,2	9,91	4,96
12:30	3,4	11,89	5,94
13:00	8	37,81	18,90
13:30	4,9	35,59	17,79
14:00	4	19,36	9,68
14:30	5,3	45,03	22,52
15:00	4,7	31,40	15,70
15:30	3,1	9,01	4,51
16:00	3,5	12,97	6,48
16:30	4	19,36	9,68

17:00	4,5	27,56	13,78
17:30	4,2	22,41	11,20
18:00	2	2,42	1,21
18:30	2,7	5,95	2,98
19:00	3,2	9,91	4,96
19:30	3,5	12,97	6,48
20:00	4,2	22,41	11,20
20:30	3,2	9,91	4,96
21:00	4	19,36	9,68
21:30	4,4	25,77	12,88
22:00	3,6	14,11	7,06
22:30	7,6	6,64	3,32
23:00	3,7	15,32	7,66
23:30	2,1	2,80	1,40
0:00	3,5	12,97	6,48
0:30	4,5	5,95	2,98
1:00	9	19,36	9,68
1:30	6,4	22,41	11,20
2:00	3,6	14,11	7,06
2:30	3,2	9,91	4,96
3:00	2,9	7,38	3,69
3:30	2,7	5,95	2,98
4:00	3,1	9,01	4,51
4:30	3	8,17	4,08
5:00	2,9	7,38	3,69
5:30	1,8	1,76	0,88
6:00	2	2,42	1,21
6:30	2,2	3,22	1,61
7:00	3,2	9,91	4,96
7:30	3,3	10,87	5,43

Fuente: Autores

Tabla 5. Datos de velocidad de viento día 5.

DATOS EN CAMPO			
Fecha:26 de agosto 2021			
Hora	Valor (m/s)	Watts (W)	Watts- hora, día (WH/día)
8:00	4,2	22,41	11,20
8:30	3,2	9,91	4,96
9:00	3,9	17,94	8,97
9:30	2,2	3,22	1,61
10:00	1,8	1,76	0,88
10:30	3,6	14,11	7,06
11:00	3,3	10,87	5,43
11:30	2,8	6,64	3,32
12:00	2,7	5,95	2,98
12:30	3,6	14,11	7,06
13:00	3,1	9,01	4,51
13:30	3	8,17	4,08
14:00	3,5	12,97	6,48
14:30	4,2	22,41	11,20
15:00	5,2	42,53	21,26
15:30	5,9	62,12	31,06
16:00	6,2	72,09	36,04
16:30	6,9	99,36	49,68
17:00	6,6	86,96	43,48
17:30	7	103,75	51,87
18:00	7,2	112,90	56,45
18:30	9,4	35,59	17,79
19:00	10,2	27,56	13,78
19:30	3,8	16,60	8,30
20:00	3,2	9,91	4,96
20:30	3,1	9,01	4,51
21:00	9,6	7,38	3,69
21:30	10	1,76	0,88
22:00	2,2	3,22	1,61
22:30	3,3	10,87	5,43
23:00	3,4	11,89	5,94
23:30	3,1	9,01	4,51
0:00	8	7,38	3,69
0:30	7,5	6,64	3,32
1:00	6	12,97	6,48
1:30	4,3	10,87	5,43

2:00	2,9	7,38	3,69
2:30	4,1	20,85	10,42
3:00	3,3	10,87	5,43
3:30	3	8,17	4,08
4:00	2,2	3,22	1,61
4:30	1,8	1,76	0,88
5:00	1,7	1,49	0,74
5:30	1,6	1,24	0,62
6:00	2,9	7,38	3,69
6:30	2,5	4,73	2,36
7:00	2,2	3,22	1,61
7:30	2	2,42	1,21

Fuente: Autores

Tabla 6. Datos de velocidad de viento día 6.

DATOS EN CAMPO			
Fecha: 2 de septiembre 2021			
Hora	Velocidad (m/s)	Watts (W)	Watts- hora, día (WH/día)
8:00	3,3	10,87	5,43
8:30	2,7	5,95	2,98
9:00	1,3	0,66	0,33
9:30	1,8	1,76	0,88
10:00	4,5	27,56	13,78
10:30	5,6	53,12	26,56
11:00	5	37,81	18,90
11:30	4	19,36	9,68
12:00	5,4	47,63	23,81
12:30	3,3	10,87	5,43
13:00	3,8	16,60	8,30
13:30	3,1	9,01	4,51
14:00	3,2	9,91	4,96
14:30	2,7	5,95	2,98
15:00	2,2	3,22	1,61
15:30	2	2,42	1,21
16:00	2,7	5,95	2,98
16:30	1,8	1,76	0,88
17:00	2,2	3,22	1,61
17:30	3,3	10,87	5,43

18:00	3	8,17	4,08
18:30	3,9	17,94	8,97
19:00	3,5	12,97	6,48
19:30	4,3	24,05	12,02
20:00	4,4	25,77	12,88
20:30	5,6	53,12	26,56
21:00	5	37,81	18,90
21:30	6,3	75,63	37,82
22:00	5,8	59,02	29,51
22:30	4,1	20,85	10,42
23:00	3,6	14,11	7,06
23:30	3,2	9,91	4,96
0:00	3,1	9,01	4,51
0:30	2,7	5,95	2,98
1:00	2,7	5,95	2,98
1:30	2,9	7,38	3,69
2:00	1,8	1,76	0,88
2:30	2,2	3,22	1,61
3:00	3,2	9,91	4,96
3:30	1,8	1,76	0,88
4:00	1,7	1,49	0,74
4:30	2,2	3,22	1,61
5:00	2,9	7,38	3,69
5:30	2,8	6,64	3,32
6:00	3,3	10,87	5,43
6:30	3,5	12,97	6,48
7:00	3	8,17	4,08
7:30	2,9	7,38	3,69

Fuente: Autores

Tabla 7. Datos de velocidad de viento día 7.

DATOS EN CAMPO			
Fecha: 6 septiembre 2021			
Hora	Velocidad (m/s)	Watts (W)	Watts- hora,día (WH/día)
8:00	2,2	3,22	1,61
8:30	3,2	9,91	4,96
9:00	1,8	1,76	0,88
9:30	2,6	5,32	2,66
10:00	2,7	5,95	2,98
10:30	2,2	3,22	1,61
11:00	3,6	14,11	7,06
11:30	4,1	20,85	10,42
12:00	3,6	14,11	7,06
12:30	3,8	16,60	8,30
13:00	3,5	12,97	6,48
13:30	4,1	20,85	10,42
14:00	4	19,36	9,68
14:30	7,4	122,57	61,28
15:00	6,2	72,09	36,04
15:30	5,6	53,12	26,56
16:00	5,9	62,12	31,06
16:30	4	19,36	9,68
17:00	3,5	12,97	6,48
17:30	4,2	22,41	11,20
18:00	5,5	50,32	25,16
18:30	5	37,81	18,90
19:00	4,9	35,59	17,79
19:30	3,9	17,94	8,97
20:00	3,1	9,01	4,51
20:30	2,2	3,22	1,61
21:00	2,7	5,95	2,98
21:30	1,8	1,76	0,88
22:00	2,6	5,32	2,66
22:30	3,3	10,87	5,43
23:00	4,2	22,41	11,20
23:30	3,6	14,11	7,06
0:00	3,9	17,94	8,97
0:30	3,1	9,01	4,51
1:00	2,7	5,95	2,98
1:30	4	19,36	9,68

2:00	4,2	22,41	11,20
2:30	3,5	12,97	6,48
3:00	3,6	14,11	7,06
3:30	4,1	20,85	10,42
4:00	5	37,81	18,90
4:30	5,2	42,53	21,26
5:00	6,3	75,63	37,82
5:30	6,5	83,07	41,53
6:00	5,9	62,12	31,06
6:30	6	65,33	32,67
7:00	4,2	22,41	11,20
7:30	2,8	6,64	3,32

Fuente: Autores

A partir de los datos que se muestran en las tablas 3 a 9 de velocidad del viento medida en campo, se calculó la potencia generada por el aerogenerador con base en la siguiente ecuación:

$$Pot\ Aerogenerador = \frac{1}{2} Densidad\ aire * \pi * R^2 * Vel^3 * F * \mu$$

Donde:

Densidad del aire = $1,224 \frac{Kg}{m^3}$

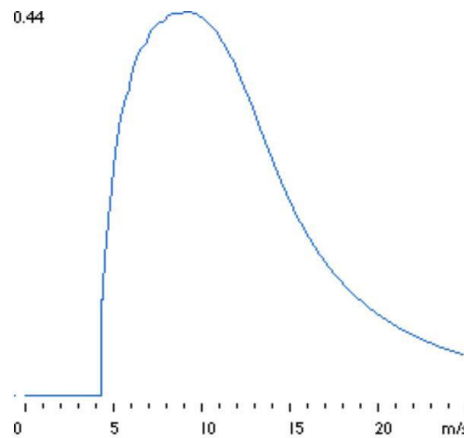
R: radio del aerogenerador de 60 cm = 0,6 m

Vel es la velocidad del viento medida en campo cada 30 minutos

F: factor de Raileight = 1,9

Este factor permite establecer la eficiencia con la cual el aerogenerador convierte la energía en electricidad, se toma el factor de rayleigh teniendo en cuenta la gráfica de potencia, donde indica que las velocidades del viento para un aerogenerador de 400 W tienen un promedio de velocidades igual o superiores a 4 m/s, se tomó esta referencia ya que, los datos tomados en campo se ajustan a esta teoría.

Figura 5. Gráfica coeficiente de potencia



Fuente: Asociación danesa de la industria eólica, 2003

μ : eficiencia del aerogenerador de 23%, indicado en la ficha técnica del equipo, en donde se tiene en cuenta, que los aerogeneradores manejan una eficiencia mayor o igual a un 20%.

Como se muestra en los cálculos se halla la potencia para el primer dato de velocidad de 3,06 m/s de la Tabla 5:

$$Pot\ Aerogenerador = \frac{1}{2} * 1,224 \frac{Kg}{m^3} * \pi * (0,6\ m)^2 * \left(3,06\ \frac{m}{s}\right)^3 * 1,9 * 0,23$$

$$Pot\ Aerogenerador = 8,67\ W$$

Para calcular la energía, se multiplica la potencia obtenida por el tiempo de 30 minutos equivalente a 0,5 horas, este tiempo fue seleccionado con el fin de obtener una mayor precisión del comportamiento de la velocidad del viento:

$$Energía\ Aerogenerador = Pot\ Aerogenerador * tiempo = 8,67\ W * 0,5\ h \\ = 4,33\ WH$$

De esta manera se obtuvieron los valores de potencia y energía que se muestran en las Tablas 1 a 7.

La energía en WH total producida por el aerogenerador cada día se muestra en cada una de las Tablas 3 a 9.

Para el cálculo de la energía obtenida por el sistema híbrido se tomó la energía promedio obtenida por el aerogenerador correspondiente a 469 WH.

Se calculó la energía que puede obtenerse con el sistema híbrido solar y eólico.

- Energía diaria suministrada por el sistema solar con paneles monocristalinos de 365 W y 95% de eficiencia, tomando la menor radiación solar en los últimos 5 años de 3,75 KWH/(m²*día):

$$\text{Energía un panel} = \text{Energía panel} * \text{Radiación solar} * \text{Eficiencia}$$

$$\text{Energía diaria un panel} = 365 \text{ WH} * 3,75 * 0,95 = 1.300,3 \text{ WH}$$

$$\text{Energía diaria 2 paneles} = 1.300,3 \text{ WH} * 2 = \mathbf{2.600,6 \text{ WH}}$$

$$\text{Energía diaria suministrada por el sistema híbrido eólico y solar}$$

$$= 2.600,6 \frac{\text{W}}{\text{día}} + 469 \frac{\text{W}}{\text{día}} = \mathbf{3.069,6 \frac{\text{W}}{\text{día}}}$$

- Baterías, controlador e inversor para el sistema híbrido: Se seleccionan baterías de 12 V

$$\text{Capacidad Baterías} = \frac{\text{Energía suministrada}}{\text{V Batería}} * 1,2$$

Las baterías fueron seleccionadas teniendo en cuenta la capacidad de las mismas, este tipo de baterías son empleadas en sistemas que presentan un consumo

mensual inferior a 100 KWh y potencias de 1 kW. No obstante, también es necesario tener en mente que el factor económico también juega un papel fundamental a la hora de dicha selección.

El factor 1,2 corresponde al sobredimensionamiento de las baterías considerando que pueden perder eficiencia por sobrecalentamiento y que la carga y descarga no se realiza al 100%.

$$\text{Capacidad Baterías} = \frac{3.069,6 \text{ WH}}{12 \text{ V}} * 1,2 = \mathbf{307 \text{ Ah}}$$

Se selecciona dos baterías de ciclo profundo de 150 Ah cada una y 12 V que se encuentra en el comercio

$$\text{Controlador paneles} = \text{No. paneles} * \text{Corriente máxima de cada panel}$$

La corriente máxima de cada panel es 9,3 A según su ficha técnica.

$$\text{Controlador} = 2 * 9,3 \text{ A} = \mathbf{18,6 \text{ A}}$$

Se selecciona un controlador de 20 A o mayor para los paneles solares. Se dispone de un controlador de 50 A.

$$\text{Controlador aerogenerador} = \frac{\text{Energía aerogenerador}}{\text{Voltaje Baterías}}$$

$$\text{Controlador} = \frac{400 \text{ W}}{12 \text{ V}} = \mathbf{33,4 \text{ A}}$$

El aerogenerador trae controlador.

Según los requerimientos del colegio, se seleccionaron los equipos o unidades eléctricas que recibirán la energía del sistema híbrido:

- Luminarias: 4 de 70 W = **280 W**
- Luminaria: 1 de 220 W
- Impresora: 127 W
- Computadores: 2*110 W = **220 W**
- Televisor: 120 W

Tabla 10. Requerimiento energético

EQUIPO ELÉCTRICO	UNIDADES	CONSUMO (W)	HORAS DE USO DIARIO	WH/DÍA
Luminarias (70 W)	4	280	4	1.120
Luminarias (220 W)	1	220	3	660
Impresora (10 min/día)	1	127	0,17	21,59
Computadores (110 W)	2	220	4	880
Televisor (120W)	1	120	3	360
TOTAL		967		3.042

Fuente: Autores

La capacidad requerida del inversor es de 967 W debido a que debe invertir la potencia que consumen todos los equipos si estos estuvieran funcionando simultáneamente. Sin embargo, el inversor que se adquirió es de 600 W que implica que no pueden funcionar todos los equipos simultáneamente, teniendo en cuenta, que la luminaria que consume 220 W solamente se utiliza durante la noche en la

habitación de la profesora y los demás equipos se usan durante el día, además, la impresora consume 127 W y sólo se utiliza en promedio durante 10 minutos diarios; se observa que el inversor tiene la capacidad requerida si la impresora se acciona sin tener las 4 luminarias que se utilizan durante el día encendidas.

- **Instalación del sistema híbrido**

La instalación de los paneles solares se realizó en paralelo el cual permite que se mantenga el voltaje de las placas solares, inicialmente fue necesario ubicar el lugar en el que se implementó la conexión ya que, era fundamental verificar que la superficie fuera capaz de soportar el peso de los dos paneles, por lo tanto, se eligió el techo en donde se ubica el aula de clase y la sala de audiovisuales de la institución educativa.

Con relación a la instalación, en primer lugar, se tuvieron en cuenta las conexiones en paralelo entre los 2 paneles solares fotovoltaicos; la salida de estos se conecta al controlador de carga (positivo con positivo y negativo con negativo) que evita que las baterías se sobrecarguen y sobre descarguen; el controlador se conecta a las baterías que a su vez están entre sí en paralelo a donde también llega el tendido eléctrico de conexión con el aerogenerador. La salida del controlador va al inversor y este se conecta a los tacos de la caja principal del colegio que distribuyen la energía a la biblioteca y a la habitación de la profesora que corresponde a los lugares donde el sistema híbrido va a suministrar energía (computadores, impresora, televisor y luminarias). Se emplearon conectores de tipo MC4, con la finalidad de brindar protección respecto a las diferentes condiciones climáticas y tendido eléctrico con espesor de 4mm y una longitud de 15 m.

Con relación al aerogenerador eólico se encuentra instalado cerca al área de la cocina y el comedor de la institución, este equipo se encuentra fijado a la pared por medio de unas abrazaderas de platino ubicadas a lo largo del tubo; estas se encargan de sostener el aerogenerador junto con un soporte metálico. El sistema híbrido no posee la capacidad de abastecer los equipos de toda la institución; se empleó un conmutador con el objetivo de permitir el paso de la energía eléctrica de la red del lugar o del sistema híbrido.

IMPACTO SOCIAL Y HUMANÍSTICO

La zona rural de la localidad de Usme presenta una situación crítica en lo que respecta a la disponibilidad y el acceso a los servicios públicos, según la caracterización estratégica de salud a su casa se obtuvo que en las veredas habitan 610 familias sin acueducto, 737 sin alcantarillado y 613 sin recolección de basuras. Así mismo en el sector de La Flora 55 familias no cuentan con conexión al acueducto, 91 sin alcantarillado y 33 sin recolección de basura, por lo tanto, se tiene en cuenta que tampoco cuentan con energía eléctrica. (Delgado, Jiménez, Moreno, Rojas, Zambrano, J. et al., 2010).

Respecto al área de cobertura de energía eléctrica en la localidad se tiene que comprender 5.016 Ha de 21.506 Ha, de estas 2.120 Ha corresponden a suelo urbano, 902 Ha se clasifican en invasión urbana y las restantes 18.483 Ha en zona rural, por lo que se identifica que la falta de este servicio fundamental se puede explicar debido a su nivel socioeconómico bajo. (Peña Pinilla, Caicedo Rubiano, Rodríguez Ávila, Peña, Ruiz Guataquí, Paredes Cáceres, J.E et al., 2019)

La Institución Colegio rural La Unión se ve beneficiada con la implementación del sistema híbrido teniendo en cuenta que, este aporta 3042 Wh/día permitiendo el funcionamiento de 5 luminarias, una impresora, 2 computadores y un televisor por lo que es posible afirmar que el proyecto es pertinente socialmente en la medida en que brinda la posibilidad a la comunidad de contar con una provisión de servicio energético que no sea intermitente y del mismo modo, conocer el uso de tecnologías no renovables como los sistemas solares fotovoltaicos los cuales, contribuyen a la sostenibilidad y mejoran las condiciones de acceso a la energía satisfaciendo la demanda energética de la institución educativa. (Arias Becerra, D. F., & Martínez Gómez, K. S. 2019).

No obstante, también es posible y necesario tener en cuenta que mediante el uso de este tipo de energía se está brindando cierta enseñanza a los estudiantes de la institución en la cual se evidencia que existen diversos modelos energéticos que contribuyen de manera significativa a las problemáticas ambientales y de este modo poco a poco ir impartiendo cierta conciencia con relación a temáticas ambientales

CONCLUSIONES

- La implementación del sistema híbrido eólico solar fotovoltaico pudo ser llevada a cabo teniendo en cuenta que el área de estudio presentó condiciones meteorológicas favorables permitiendo el suministro de energía a la institución educativa la Unión.
- Mediante la elaboración del proyecto fue posible realizar un acercamiento a la comunidad de zonas rurales de la ciudad de Bogotá permitiendo que la Universidad Santo Tomás contribuya a las fuertes problemáticas ambientales, sociales y económicas que se presentan cotidianamente.
- En términos educativos se garantizó un mejoramiento en la calidad de vida de los estudiantes en lo que respecta a su desempeño académico dado que se brindan un mayor número de posibilidades y formas de adquirir conocimiento de una manera más didáctica e interesante y a su vez un cambio en las condiciones visuales dentro del aula
- Con base a este proyecto fue posible establecer que la energía solar tiene una mayor eficiencia en comparación a la energía eólica, esto se puede explicar debido a que la ubicación geográfica de Colombia favorece el porcentaje de radiación solar.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda hacer un mantenimiento preventivo del sistema híbrido eólico solar fotovoltaico con el fin de minimizar riesgos dentro de la institución
- Se recomienda promover el uso de energías renovables con el fin de disminuir la contaminación y así mismo mejorar la eficiencia de red eléctrica.
- Se recomienda al colegio La Unión mantener informado a la comunidad y a los estudiantes sobre los beneficios que trae consigo la implementación de energías alternativas y a su vez, las novedades de dichos equipos.
- Se recomienda hacer un uso adecuado del recurso energético en la institución promoviendo las buenas prácticas basadas en el ahorro.

REFERENCIAS

Arias Becerra, D. F., & Martínez Gómez, K. S. (2019). Evaluación de la viabilidad para la implementación de un sistema solar fotovoltaico en la notaría única de San Luis de Gaceno, Boyacá.

Ambiente, m. d. (2017). *Antecedentes para la elaboración de análisis económicos de metas de recolección y valorización para los productos prioritarios neumáticos, baterías y aceites lubricantes contenidos en la ley 20.920*. Chile.

Asociación danesa de la industria eólica,(2003). Obtenido de <http://drømstørre.dk/wp-content/wind/miller/windpower%20web/es/tour/wres/pwr.htm>

COLOMBIA, E. P. (26 de 05 de 2017). *DECRETO 884 DE 2017*. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=81837>

Delgado, J., Jiménez Z, Moreno, S., Rojas, & Zambrano, R. (2010). *Localidad de Usme diagnostico local de salud con participación social 2017*

Garzón, J. E. (2017). Usme Ambiental. *Revista ambiental*, 1-53.

Gálviz Garzón, J. S., & Gutiérrez Gallego, R. (2013). Proyecto para la implementación} Gutierrez, J. J. (2016). Desarrollo de la energía eólica en Colombia. *Universidad de América*, 1-108.

Gimeno Sales, F. J. (2013). Convertidores electrónicos: energía solar fotovoltaica, aplicaciones y diseño. Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia.

Gómez, R. (2017). Aproximación a las prácticas ciudadanas en la escuela: El caso del colegio Fernando González Ochoa de la localidad de Usme (Bogotá, Colombia). *Campos En Ciencias Sociales*, 5(1 y 2), 115-135.

Humberto Rodríguez Murcia. (2008). *Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas*.

- Hwang, H., Kim, S., García, Á G., & Kim, J. (2021). Global sensitivity analysis for assessing the economic feasibility of renewable energy systems for an off-grid electrified city. *Energy (Oxford)*, 216
- Jimenez, R. (2017). Barriers to electrification in Latin America: Income, location, and economic development. *Energy Strategy Reviews*, 15, 9-18.
- Lamigueiro, O. P. (2020). *Energía solar fotovoltaica*. Creative comms.
- León-Vargas, F., García-Jaramillo, M., & Krejci, E. (2019). Pre-feasibility of wind
- Li, L., Lin, J., Wu, N., Xie, S., Meng, C., Zheng, Y., Wang, X., & Zhao, Y. (2020). Review and outlook on the international renewable energy development. *Energy and Built Environment*.
- López, A. R., Krumm, A., Schattenhofer, L., Burandt, T., Montoya, F. C., Oberländer, N., & Oei, P. (2020). Solar PV generation in colombia - A qualitative and quantitative approach to analyze the potential of solar energy market. *Renewable Energy*, 148, 1266-1279.
- Montalvo Bonilla, V., Asesor, P., Pinilla, Á E., & Bogotá, D. C. (2016). *Suministro de energía para las zonas rurales de Colombia*
- Mehrjerdia, H., & Hemmati, R. (2020). Sustainable Energy Technologies and Assessments. *ScienceDirect* , 1-6.
- Moragues, J., & Rapallini, A. (2003). Energía Eólica. *Instituto Argentino de la energía* , 1-22.
- Murcia, J. A., Figueroa, N. M., & Díaz, A. E. (2020). ESTADO DE LA COBERTURA ELECTRICA Y LAS ZONAS NO INTERCONECTADAS EN LA REGIÓN CENTRAL. *Región cenral*, 1-122.

Navales, A. P. (2011). *Energía eólica y Energías renovables*. España: Prensas de la Universidad de Zaragoza.

Olga Estella Ramirez Yaima. (2016). *Plan indicativo de expansión de cobertura de energía eléctrica PIEC 2016 2020*

Perez, A., & Garcia-Rendon, J. J. (2021). Integration of non-conventional renewable energy and spot price of electricity: A counterfactual analysis for Colombia. *Renewable Energy*, 167, 146-161.

Peña Pinilla, J.E., Caicedo Rubiano, I.H., Rodríguez Ávila, C.E., Peña, D.F., Ruiz Guataquí, L.J., Paredes Cáceres, D.A., (2019). *Localidad Usme plan local de gestión del riesgo*

Piedrahíta, E. (2016). *Normatividad para las Energías renovables en Colombia*. Cali: Bioenergía.

Pinilla, Á. (2016). *Suministro de Energía para las Zonas Rurales de Colombia*. Bogotá D.C.

Ramírez, J. G., Murcia, J. D., & Cabeza-Rojas, I. (s.f.). *LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN COLOMBIA*. Bogotá D.C: Universidad Santo Tomás.

Resch, G., Held, A., Faber, T., Panzer, C., Toro, F., & Haas, R. (2008). Potentials and prospects for renewable energies at global scale. *Energy Policy*, 36(11), 4048-4056.

Romo, G. C., Mendoza, M. V., Urrego, D. R., & Urrego, L. R. (2019). Assessment of solar and wind energy potential in La Guajira, Colombia: Current status, and future prospects. *ScienceDirect*, 1-15.

- Rodriguez, K. J., & Contreras, M. C. (2020). Dimensionamiento e implementación de un sistema híbrido elólico-solar fotovoltaico para el abastecimiento de energía eléctrica en la institución Luis Carlos Galán de Cazuca, Soacha. Bogotá: Universidad Santo Tomás .
- Secretaria Distrital. (10 de 03 de 2020). Territorialización de la inversión. Bogotá D.C: Planeación.
- Stevović, I., Mirjanić, D., & Stevović, S. (2019). Possibilities for wider investment in solar energy implementation. *Energy (Oxford)*, 180, 495-510.
- Soto, A. Z. (2010). *Diagnóstico local de salud con participación social*. Bogotá.
- Tabascar, R. P. (2016). Proyecto de Instalación Solar. *Universidad Politécnica de Valencia*, 1-81.
- Tobajas Vázquez, C. (2018). Energía solar fotovoltaica. Cano Pina.
- Viviana, M., & Castillo, O. L. (2019). Colombian energy planning - neither for energy, nor for Colombia. *Energy Policy*, 129
- Wang, Z., & Zhao, L. (2021). The impact of the global stock and energy market on EU ETS: A structural equation modelling approach. *Journal of Cleaner Production*

ANEXOS

Anexo 1. Manual de funcionamiento del sistema híbrido.