

**DIMENSIONAMIENTO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO
EÓLICO - SOLAR FOTOVOLTAICO PARA ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA
ELÉCTRICA EN LA INSTITUCIÓN LUIS CARLOS GALÁN DE CAZUCÁ,
SOACHA**

**Karen Juliana Huérfano Rodríguez
María Camila Gómez Contreras**

Solución de un problema de Ingeniería Ambiental

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**BOGOTÁ D.C
2020**

**DIMENSIONAMIENTO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO
EÓLICO - SOLAR FOTOVOLTAICO PARA ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA
ELÉCTRICA EN LA INSTITUCIÓN LUIS CARLOS GALÁN DE CAZUCÁ,
SOACHA**

**Karen Juliana Huérfano Rodríguez
María Camila Gómez Contreras**

Proyecto de Grado para optar al título de Ingeniero Ambiental

Línea de investigación
Tecnologías limpias

DIRECTORA
Nidia Elena Ortiz Penagos
Ingeniera Química

CO-DIRECTOR
François Herrera Jacquelin
Biólogo

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**BOGOTÁ D.C
2020**

RESUMEN

Altos de Cazucá, es una de las seis comunas del casco urbano del Municipio de Soacha (Cundinamarca), localizada al extremo oriente de la ciudad de Bogotá. Cazucá es calificada como una zona vulnerable educativamente, esto se debe al alto índice de desescolarización infantil, producto de diversas dificultades; siendo una de ellas las intermitencias en el abastecimiento energético, como resultado de la baja tensión eléctrica y del continuo mantenimiento de las redes.

A partir de la problemática actual en las acometidas eléctricas del sector, la Universidad Santo Tomás dedicada a la formación de profesionales con prioridad humanista y responsabilidad social, hoy en día se encuentra en continua vinculación con centros educativos que fomenten su labor en el desarrollo de actividades ambientales escolares (PRAE), decide en vocería del Departamento de proyección social y la facultad de Ingeniería Ambiental brindar su apoyo para dar solución a las diferentes necesidad que estos presenten, seleccionando así la Institución Educativa Luis Carlos Galán, en donde se ha realizado continuamente actividades sociales y en donde es evidente el déficit energético a consecuencia de las intermitencias en redes, diseñando e instalando un sistema híbrido eólico - solar fotovoltaico, que pueda satisfacer las necesidades de consumo eléctrico.

La Institución Luis Carlos Galán por su ubicación geográfica, cuenta con condiciones meteorológicas favorables para realizar el dimensionamiento, esto se debe a que la zona de estudio se encuentra a una altitud de 2.780 m.s.n.m, lo que permitió un mayor acceso a los vientos con una velocidad promedio de 7 m/s en dirección sur-suroeste, y una radiación solar promedio de 4 Wh/(m²*día). Al mismo tiempo la Institución contaba con un área disponible y acometidas eléctricas aptas para su previa instalación. Para la implementación del sistema híbrido instalado se necesitaron dos paneles solares monocristalinos con una capacidad de 365W cada uno a 24V, un aerogenerador de eje vertical de 3 aspas de 400W a 24V, inversor de 600W a 24V, controlador de 60W PWM y 4 baterías vehiculares de 115A reacondicionadas.

En condiciones óptimas el sistema híbrido genera aproximadamente 4,8kWh equivalente al 10% sobre el total de consumo eléctrico diario de la Institución, lo que permite una reducción de aproximadamente el 12% de costos en la factura eléctrica del lugar anualmente, equivalente a \$1.100.000 COP. Sin embargo, este sistema genera 4.0kWh, debido a que existen factores externos y pérdidas de energía que alteran el eficiente desempeño del sistema como lo son la autonomía en las baterías, la variabilidad en las condiciones meteorológicas que afectan la transformación de energía y el exceso de energía de la capacidad máxima de los equipos.

Al garantizar el suministro eléctrico, se permitió beneficiar aproximadamente 600 estudiantes en la jornada de la tarde, mejorando su entorno escolar y productividad en sus actividades educativas, además de fomentar la incursión de energías renovables, dándoles una herramienta para el aprendizaje de manera didáctica e interactiva.

Palabras clave: déficit energético, energía renovable, energía solar, energía eólica, intermitencia, sistema híbrido, vulnerabilidad.

ABSTRACT

Altos de Cazucá, is one of the six communes in the urban area of the Municipality of Soacha (Cundinamarca), located at the eastern end of the city of Bogotá. Cazucá is classified as an educationally vulnerable area, this is due to the high rate of child out-of-school, as a result of various difficulties; one of them being the intermittences in the energy supply, as a result of the low electrical tension and the continuous maintenance of the networks.

Based on the current problems in the electrical connections of the sector, the Santo Tomás University dedicated to the training of professionals with humanistic priority and social responsibility, and that today is in continuous relationship with educational centers that promote their work in development of school environmental activities (PRAE), decides in the spokesperson of the Department of social projection and the Faculty of Environmental Engineering to provide its support to solve the different needs that these present, selecting the Luis Carlos Galán Educational Institution, where it has been carried out continuously social activities and where the energy deficit is evident as a result of intermittences in networks, designing and installing a hybrid wind-solar photovoltaic system, which can meet the needs of electricity consumption.

Due to its geographical location, the Luis Carlos Galán Institution has favorable meteorological conditions to carry out the dimensioning, this is due to the fact that the study area is at an altitude of 2.780 meters above sea level, which allowed greater access to the winds with a speed average of 7 m/s in a south-southwest direction, and an average solar radiation of 4Wh/(m²*day). At the same time, the Institution had an available area and electrical connections suitable for prior installation. For the implementation of the installed hybrid system, two monocrystalline solar panels with a capacity of 365W each at 24V, a vertical axis wind turbine with 3 blades from 400W to 24V, a 600W inverter at 24V, a 60W PWM controller and 4 vehicle batteries were required 115A reconditioned.

In optimal conditions, the hybrid system generates approximately 4.8kWh equivalent to 10% of the Institution's total daily electricity consumption, which allows a reduction of approximately 12% in costs in the electricity bill of the place annually, equivalent to \$ 1,100 .000 COP. However, this system generates 4.0kWh, due to the fact that there are external factors and energy losses that alter the efficient performance of the system, such as battery autonomy, variability in meteorological conditions that affect energy transformation and excess of energy of the maximum capacity of the equipment.

By guaranteeing the electricity supply, it was possible to benefit approximately 600 students in the afternoon, improving their school environment and productivity in their educational activities, in addition to promoting the incursion of renewable energies, giving them a tool for learning in a didactic and interactive way.

Key words: energy deficit, renewable energy, solar energy, wind energy, flashing, hybrid system, vulnerability.

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Estación meteorológica.....	24
Fotografía 2. Velocímetro.....	25
Fotografía 3. Batería Extrema Willard.....	33
Fotografía 4. Prueba realizada con el densímetro.....	33
Fotografía 5. Comprobación capacidad de carga de la batería.....	34
Fotografía 6. Lavado de la batería.....	34
Fotografía 7. Aplicación del bicarbonato de sodio y emisión de gases CO ₂	35
Fotografía 8. Filtración de las partículas contaminadas de ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄).....	35
Fotografía 9. Depuración de los contaminantes del ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄).....	36
Fotografía 10. Lavado total y reincorporación del ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄).....	36
Fotografía 11. Verificación de reacondicionamiento de batería.....	37
Fotografía 12. Instalación de los paneles solares.....	41
Fotografía 13. Conexión de los sistemas a los tableros de distribución eléctrica.....	41
Fotografía 14. Interruptor para dinamizar el fluido eléctrico de la red y del sistema híbrido.....	41
Fotografía 15. Caja donde se instalaron las baterías, el inversor y el controlador.....	42
Fotografía 16. Sistema híbrido de generación de energía implementado.....	42
Fotografía 17. Adecuación de la estructura del aerogenerador.....	43
Fotografía 18. Aerogenerador instalado.....	43

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfico 1: Mapa de radiación solar promedio de Soacha-Bogotá.....	7
Gráfica 2: Mapa de velocidad del viento promedio de Soacha-Bogotá a 10 m de altura.....	9
Gráfica 3. Esquema básico de una batería de plomo-ácido.	11
Gráfico 4. Opciones de eliminación de los componentes de las baterías de plomo-ácido.....	12
Gráfica 5. Esquema de instalación solar y eólica aislada de la red.....	12
Gráfica 6. Etapas para el desarrollo del proyecto.....	15
Gráfica 7. Potencia de un aerogenerador en función del diámetro.....	18
Gráfico 8. Esquema de elementos que componen el sistema híbrido.....	20
Gráfica 9. Ubicación zona de estudio.....	21
Gráfica 10. Ubicación radiación sector Cazucá.....	22
Gráfico 11. Rosa de vientos para Cazucá (Soacha)	29
Gráfico 12. Dirección-Velocidad para Cazucá.....	30
Gráfica 13. Consumo promedio mensual de energía Institución Luis Carlos Galán.....	40
Gráfica 14. Total a pagar por energía en la Institución Luis Carlos Galán.....	40

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Disponibilidad promedio multianual de energía solar por regiones.....	6
Tabla 2. Radiación solar mensual para el año 2018, 2015 y 2010.....	23
Tabla 3. Datos arrojados de la estación meteorológica.....	27
Tabla 4. Velocidades del viento de los días más representativos.....	28
Tabla 5. Promedio de velocidades del viento de los días más representativos.....	29
Tabla 6. Porcentajes de datos periódicos para cada dirección del viento.....	29
Tabla 7. Promedio de velocidades y porcentaje de datos para cada dirección.....	30
Tabla 8. Equipos necesarios para realizar la implementación del sistema de generación de energía.....	40

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
Introducción.....	2
1. Objetivos.....	3
1.1 Objetivo General.....	3
1.2 Objetivos Específicos.....	3
2. Marco teórico.....	4
2.1 Contexto social de la Comuna Altos de Cazucá.....	4
2.2 Fuentes de energías renovables.....	5
2.3 Uso de energías renovables en centros educativos de Colombia.....	13
3. Metodología.....	15
3.1 Definir el área de estudio.....	16
3.2 Ubicación del área y dimensionamiento del sistema híbrido.....	16
3.3 Tratamiento para el reacondicionamiento de baterías de vehículos.....	20
3.4 Instalación del sistema de generación híbrido de energía.....	22
3.5 Manual de funcionamiento para el adecuado desempeño del sistema híbrido.....	22
4. Resultado y análisis.....	23
4.1 Definición del área de estudio.....	23
4.2 Dimensionamiento sistema híbrido eólico - solar fotovoltaico.....	24
4.4 Reacondicionamiento de baterías de vehículos.....	37
4.4 Instalación del sistema híbrido eólico - solar fotovoltaico.....	42
5. Impacto social.....	50
6. Conclusiones.....	51
7. Recomendaciones.....	52

Referencias bibliográficas

Anexos

INTRODUCCIÓN

El Colegio Luis Carlos Galán es una Institución Educativa de carácter público, aprobada legalmente por la secretaría de Educación y Cultura ubicado en Calle 44 N° 27B-20 en el municipio de Soacha (Cundinamarca). Cuenta con una comunidad educativa de 1.550 estudiantes, docentes y personal administrativo, los cuales se encuentran distribuidos en dos jornadas: mañana y tarde. El municipio de Soacha tiene como prestador de servicio de energía a la empresa Enel-Codensa, sin embargo por bajas tensiones, falta de mantenimiento en redes, barrios de invasión y manipulación en la malla eléctrica de forma fraudulenta sobrecargando las líneas de distribución, generando así continuas intermitencias en el fluido eléctrico en la zona de estudio [1].

De esta manera, el presente trabajo propone el dimensionamiento e implementación de un sistema híbrido eólico - solar fotovoltaico para el abastecimiento de energía eléctrica a la Institución Educativa Luis Carlos Galán, este sistema aprovecha la energía captada de los rayos del sol y la velocidad del viento, para ser transformados en energía eléctrica en las redes de suministro del lugar; ya que estas se encuentran expuestas a la ocurrencia de una gran diversidad de eventos que causan fallas en el sistema, lo que finalmente se ve reflejado en la intermitencia energética.[2]

La energía solar y eólica se muestran como posible solución a esta problemática, en caso del colapso del sistema convencional de la red eléctrica, garantizando un suministro de energía de respaldo; asegurando un adecuado funcionamiento de las instalaciones, prácticas educativas de los estudiantes, mejora del entorno de trabajo y rendimiento escolar.

El diseño pretende aprovechar, complementar y maximizar el potencial obtenido de estas energías renovables y generar un menor impacto ambiental. Esta aplicación es ideal para zonas que presentan intermitencias, mejorando las condiciones de vida de la población y crea bienestar al permitir un desarrollo económico y social [1].

1. OBJETIVOS

Objetivo general

Dimensionar e implementar un sistema híbrido eólico – solar fotovoltaico para abastecimiento de energía eléctrica en la Institución Luis Carlos Galán de Cazucá, Saocha.

Objetivos específicos

- 1.** Evaluar la capacidad de generación de energía solar y eólica con base en las condiciones de radiación solar y velocidad del viento en la zona de estudio.
- 2.** Dimensionar el sistema híbrido eólico – solar fotovoltaico y cada uno de sus componentes: generador eólico, paneles solares, regulador, baterías, inversor, cableado y conectores del sistema de energía.
- 3.** Regenerar y reutilizar baterías para implementarlas en el sistema de generación de energía.
- 4.** Implementar el sistema híbrido de generación eléctrica.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 CONTEXTO SOCIAL DE LA COMUNA ALTOS DE CAZUCÁ

Soacha es el municipio más poblado del departamento de Cundinamarca en Colombia, cuenta con una población aproximada de 556.268 habitantes según el censo realizado por el DANE en el 2019, su área es de 184,45 km², establecidos en un 16.36% (30.19 Km²) de área urbana y 83.63% (154.26 Km²) de suelo rural [3].

La Comuna Altos de Cazucá, es una de las seis comunas del casco urbano del Municipio de Soacha (Cundinamarca), caracterizada por ser una de las zonas marginales, debido a su alto porcentaje de desplazados que constantemente se mezclan con el resto de la población presente en el lugar como grupos armados, pertenecientes a estructuras paramilitares desvinculadas y reagrupadas, que han tomado el control de negocios como la venta de estupefacientes, además de otras actividades como la prostitución. Del mismo modo, este y otro tipo de estructuras armadas han encabezado los escuadrones de la denominada “limpieza social”, quienes con el objetivo de “reducir la criminalidad” asesinan en la noche a jóvenes habitantes del sector, muchos de ellos consumidores de drogas [1].

Esta zona es bien conocida por las comunidades de personas y familias que carecen de infraestructura y servicios públicos deficientes, incluyendo acceso a servicios públicos, no cuentan con servicio de acueducto y alcantarillado, sistemas de redes eléctricas, servicio de salud, viviendas dignas, mal estado de vías de acceso y transporte público escaso, siendo este lugar como uno de los lugares más deprimidos de Soacha [1].

En Cazucá los más expuestos a las difíciles condiciones de vida son los niños, los jóvenes, los ancianos y las personas discapacitadas, causando considerables niveles de analfabetismo, desescolarización, problemas de salud, entre otros.

El Instituto Educativo Luis Carlos Galán se encuentra ubicada en el municipio de Soacha, Cundinamarca en el barrio Santo Domingo; es un centro de asistencia educativa que apoya una comunidad aproximada de 1500 niños y niñas entre los 5 y 18 años, en jornadas de la mañana y en la tarde, que no poseen suficientes recursos económicos para su óptimo desarrollo. Este instituto sin ánimo de lucro brinda el cuidado y protección necesaria para que estos pequeños puedan desenvolverse de manera efectiva en un entorno que favorezca su crecimiento cognitivo e integral.

2.2 FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLES

Las energías renovables son aquellas que se producen de forma continua y son inagotables a escala humana. El sol está en el origen de todas ellas porque su calor provoca en la Tierra las diferencias de presión que dan origen a los vientos, fuente de la energía eólica. El sol ordena el ciclo del agua, causa la evaporación, que provoca la formación de nubes y, por tanto, las lluvias. También del sol procede la energía hidráulica. Para el presente proyecto será necesario conocer los siguientes términos [4]

Energía solar fotovoltaica

La **energía solar fotovoltaica** es la energía que proviene del sol, la cual es recibida por el planeta en forma de radiación electromagnética. Esta energía es utilizada para convertir térmicamente la temperatura de un fluido, o bien, la transformación de la energía lumínica en energía eléctrica. Dentro de sus principales ventajas se encuentran: que es respetuosa con el medio ambiente e inagotable, no contamina y genera energía a coste reducido en lugares donde no hay suministro de comercializadoras; y finalmente sus inconvenientes son que igual que la energía eólica es una fuente intermitente dependiendo de las condiciones climatológicas, así como de la ubicación al realizar la instalación. Además, su rendimiento energético es bajo [4].

La energía solar se mide mediante la **radiación solar** que es una forma particular de radiación térmica con una distribución particular de longitudes de onda y que su intensidad depende fuertemente de las condiciones atmosféricas, época del año y del ángulo de incidencia de los rayos del sol en la superficie de la tierra. Para determinar la radiación solar que llega a la tierra se utilizan los atlas de radiación solar de Colombia, los cuales son un conjunto de mapas donde se representa la distribución espacial del potencial energético solar de Colombia; además en estos mapas se establece el valor promedio diario de radiación solar global, brillo y radiación ultravioleta solar que incide sobre una superficie plana por metro cuadrado.

Una aproximación a la disponibilidad promedio multianual de energía solar por regiones es:

Tabla 1. Disponibilidad promedio multianual de energía solar por regiones

REGIÓN DEL PAÍS	RADIACIÓN SOLAR kWh/m ² /año
Guajira	2.000-2.100
Costa Atlántica	1.730-2.000
Orinoquía	1.550-1.900
Amazonía	1.550-1.900
Andina	1.550-1.750
Costa Pacífica	1.450-1.550

Fuente: [3].

Para el presente proyecto se utilizaron los mapas de promedio anual, que ilustran una aproximación de promedios anuales diarios, de la cantidad de energía de la radiación solar que incide por metro cuadrado de superficie horizontal sobre el territorio colombiano [5].

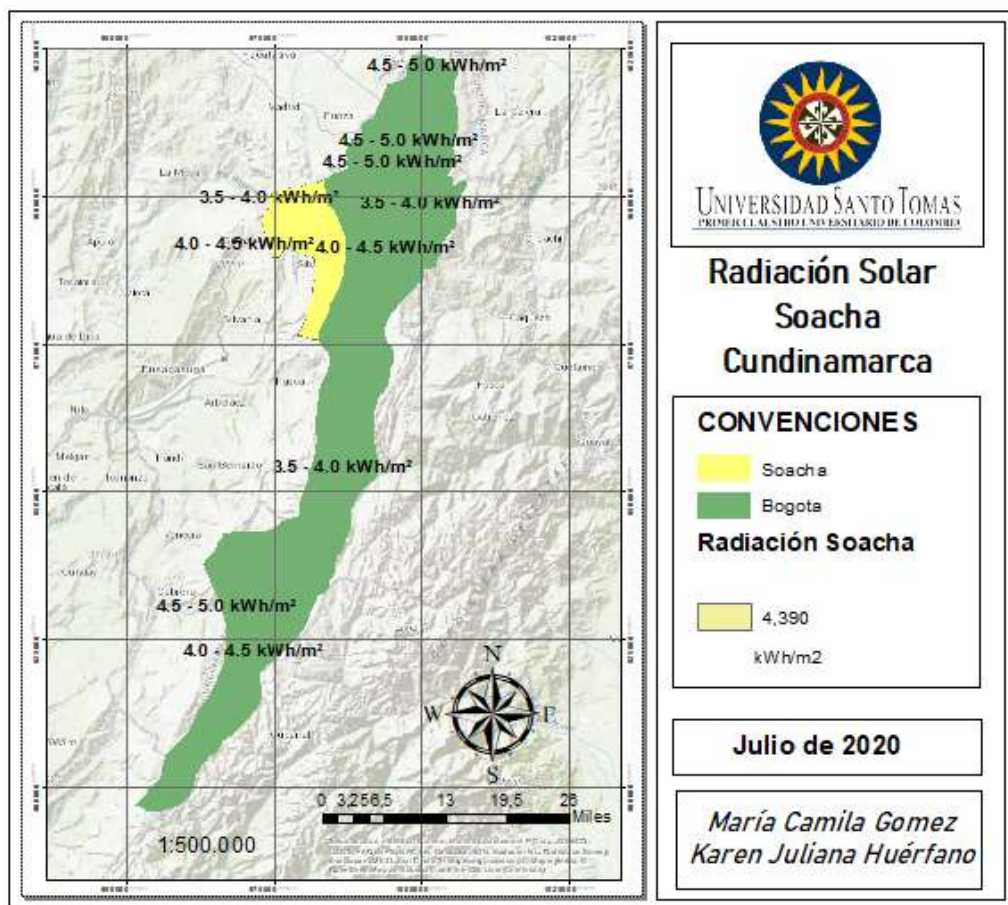


Gráfico 1: Mapa de radiación solar promedio de Soacha-Bogotá
Fuente: Autores. Software: Arcgis. (Atlas de radiación solar de Colombia) [12].

Para la captación de la radiación solar se utilizan los **paneles solares fotovoltaicos** que son el conjunto de células solares que se encargan de convertir directamente en electricidad los fotones que provienen de la luz del sol; la producción de corriente, depende de la irradiación (nivel de iluminación), de modo que, cuanto más sea la luz captada, mayor será la intensidad eléctrica a través de la célula, estas están conectadas eléctricamente entre sí, encapsuladas, y montadas en una estructura de soporte o marco.

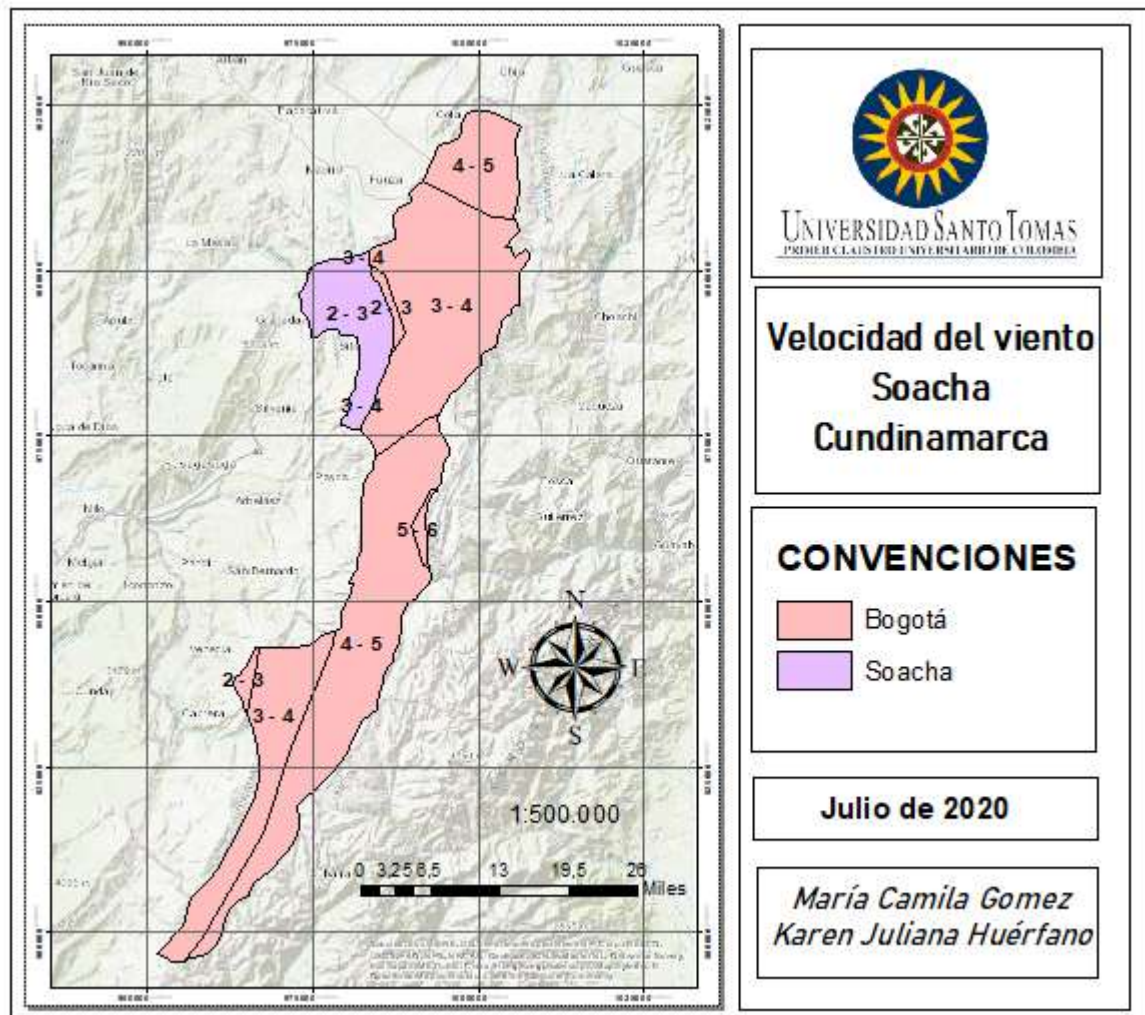
Existen dos tipos de paneles solares conformados por células de silicio como lo son: monocristalino y policristalino. Las células de silicio monocristalino están hechas de silicio monocristalino puro, este silicio tiene una única estructura de red cristalina continua casi sin defectos o impurezas; la principal ventaja de las células monocristalinas es su alta eficiencia, que es típicamente alrededor de 15% y la desventaja de estas células es que se requiere un complicado proceso de fabricación para producir silicio monocristalino, que se traduce en costes más altos que los de otras tecnologías. Las células de silicio policristalinas se producen

utilizando numerosos granos de silicio monocristalino, en el proceso de fabricación, el silicio policristalino fundido se cuela en lingotes, que posteriormente se cortan en obleas muy delgadas y se ensamblan en células completas.

ENERGÍA EÓLICA

La **energía eólica es** la energía que se produce a través del viento. Esta energía se obtiene cuando el viento incide en las aspas de unos molinos o aerogeneradores haciéndolos girar transformando una energía cinética en energía eólica. La energía eólica se produce como consecuencia de la energía cinética del viento. El viento es un fluido puro del cual nos servimos para respirar, este no cambiará su estructura molecular como tampoco afectará al ambiente su transformación en energía eléctrica, por lo que es factible su transformación y utilización como energía final. Cuenta con las siguientes ventajas que es una energía limpia, gratuita y eterna, no se genera por medio de combustión por lo que no contribuye al efecto invernadero, ni a la erosión de la capa de ozono y no produce ningún tipo de residuo; y la mayor desventaja que podemos encontrar es la falta de seguridad en la existencia de los vientos [4].

La energía eólica se mide mediante la **velocidad del viento** el cual suministra la disponibilidad del recurso energético aportado por el viento, así como la circulación general de los vientos en Colombia. El viento produce energía porque está siempre en movimiento. Se estima que la energía contenida en los vientos es aproximadamente el 2% del total de la energía solar que alcanza la tierra ya que el contenido energético del viento depende de su velocidad. Cerca del suelo, la velocidad es baja, aumentando rápidamente con la altura. Cuanto más accidentada sea la superficie del terreno, más frenará ésta al viento. Es por ello que sopla con menos velocidad en las depresiones terrestres y más sobre las colinas. No obstante, el viento sopla con más fuerza sobre el mar que en la tierra [4].



Gráfica 2: Mapa de velocidad del viento promedio de Soacha-Bogotá a 10 m de altura
Fuente: Autores. Software: Arcgis (Atlas de velocidad viento de Colombia) [12].

La captación de la energía eólica se hace a través de los **aerogeneradores** que son dispositivos mecánicos que convierten la energía del viento en electricidad. Sus precedentes directos son los molinos de viento que se empleaban para la molienda y obtención de harina. En este caso, la energía eólica, en realidad la energía cinética del aire en movimiento, mueve la hélice y, a través de un sistema mecánico de engranajes, hace girar el rotor de un generador, normalmente un alternador trifásico, que convierte la energía mecánica rotacional en energía eléctrica.

Los aerogeneradores de eje horizontal son los más utilizados, debido a que el movimiento de rotación se origina por la incidencia del viento sobre unas palas orientadas con un cierto ángulo con respecto a éste, la fuerza del viento se descompone en dos vectores, uno axial que tiende a empujar al aerogenerador y

otro tangencial que es el que hace girar el aerogenerador. Los aerogeneradores de eje horizontal pueden ser monopala, bipala o tripala. Por otro lado, se encuentran los aerogeneradores de eje vertical que son esencialmente una turbina eólica en el cual el eje del rotor se encuentra instalado en posición vertical, lo que le permite generar energía eléctrica sin importar de qué dirección viene el viento. Este tipo de aerogenerador vertical ofrece la ventaja de poder producir energía eléctrica aún en lugares con poco viento y en zonas urbanas donde las regulaciones de construcción típicamente prohíben la instalación de turbinas eólicas horizontales [4].

Para el dimensionamiento e implementación se deben tener en cuenta los diferentes elementos que conforman el sistema híbrido, los cuales son necesarios para su funcionamiento; entre estos se encuentran la *unidad de transformación* de energía como lo son el panel solar por medio de rayos solares y el generador eólico mediante el movimiento producido por el viento. Otros de los elementos necesarios para poner en marcha el sistema son el *inversor* y *controlador* que son los encargados de convertir y controlar las sobrecargas de energía alterna, para el consumo de los equipos eléctricos que se requieran abastecer; evitando la descarga de las baterías. Finalmente se encuentran las *baterías*, estas son las encargadas del almacenamiento energético, permitiendo la operación de las cargas cuando el generador eólico o el panel solar por sí mismo no puede generar la potencia suficiente para abastecer el consumo; en la actualidad existe una variada gama de baterías para las instalaciones solares fotovoltaicas, basadas en tecnologías de ácido – plomo, iones de Litio y níquel–cadmio.

Las baterías están constituidas por *placas* formadas por electrodos positivo y negativo que permiten la entrada y salida de la corriente eléctrica que circula por el interior de cada celda de la batería por efectos de los procesos de carga o descarga. Los electrodos sufren reacciones de oxidación/reducción y dependiendo del proceso funcionan como ánodo o como cátodo. Existen diferentes configuraciones de placas: empastadas, tubulares, cuya elección depende de las condiciones de operación. Los *materiales activos*, constituyentes de cada célula o elemento, participan en la reacción electroquímica de carga y descarga. En algunos tipos de placas se utilizan *rejillas* para retener el material activo y mejorar la distribución de la corriente en la placa. El *electrolito* es una solución diluida de ácido sulfúrico, en el caso de las baterías de plomo-ácido, que funciona como medio de transporte de cargas eléctricas entre las placas positiva y negativa y además interviene en la reacción de carga y descarga [2]



Gráfica 3. Esquema básico de una batería de plomo-ácido.

Fuente: [5]

La contaminación por baterías puede durar hasta 500 años, pero la lluvia, el calor y la acidez del suelo aceleran el proceso de descomposición de la batería. Cuando esto ocurre, las baterías liberan mercurio, litio, plomo, o cadmio, que son de alta toxicidad, produciendo cambios en las características fisicoquímicas del suelo y en el agua, reducción en flora y fauna acuática y afectaciones en la salud humana, debido al incremento del contenido de iones metálicos, como el ión aluminio, disueltos en el agua [7].

La reutilización de baterías usadas no solo permite recuperar hasta el 85% de estos materiales, ya que se estima que la producción de los metales que la componen es, aproximadamente, la causa del 10% de emisiones de CO₂ globalmente, además por cada batería reutilizada se evita la contaminación de 600.000 l/día de agua, equivalente al consumo de treinta personas a lo largo de su vida. Este proceso de reutilización consta principalmente en la recolección, transporte y posterior tratamiento a partir de la reacción entre el bicarbonato y el plomo ácido.

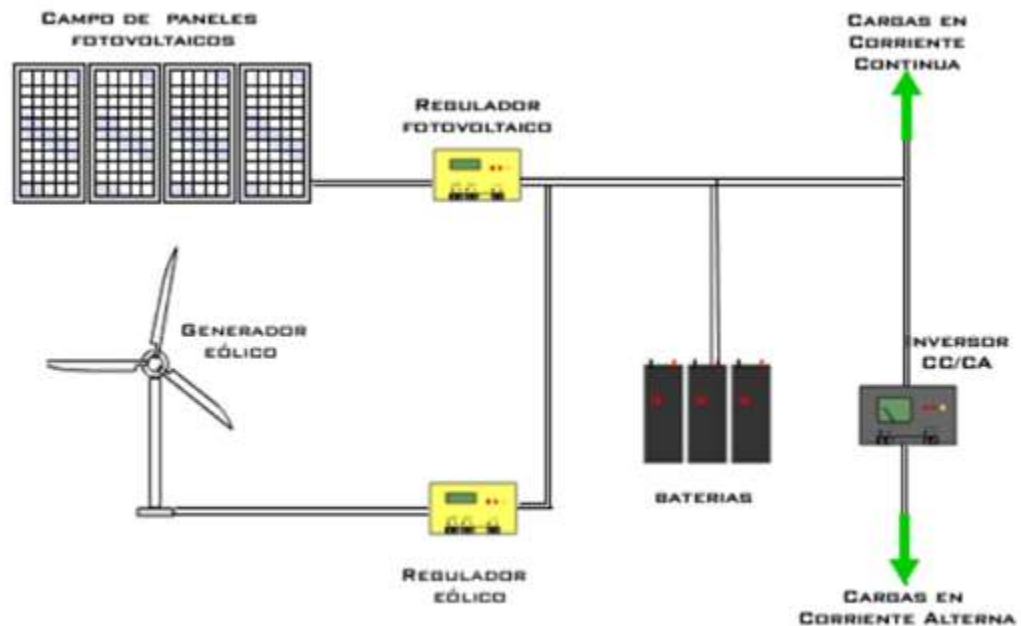
En la separación de las partes de la batería para su reutilizado se generan tres corrientes de residuos: electrolito ácido, placas de plomo y plásticos, cuyas opciones de recuperación, valorización o disposición final se esquematizan a continuación:



Gráfico 4. Opciones de eliminación de los componentes de las baterías de plomo-ácido usadas

Fuentes: Autores

SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO -SOLAR FOTOVOLTAICO



Gráfica 5. Esquema de instalación solar y eólica aislada de la red
Fuente: [4] Sistema híbridos proyecto de instalación Solar en viviendas

El sistema híbrido eólico - solar fotovoltaico como se muestra en la gráfica 5 utiliza el mismo ciclo de regulador, baterías, inversor y cableado que usa cada sistema por separado. La energía eléctrica generada por los paneles solares y por el aerogenerador, pasa a través de un único sistema de las unidades mencionadas anteriormente. Para el dimensionamiento del sistema híbrido de generación, es necesario conocer la radiación solar pico o mínima del lugar donde funcionará el sistema y la velocidad promedio del viento. De esta manera, se puede saber la capacidad de aporte de cada sistema para la generación total de energía eléctrica requerida.

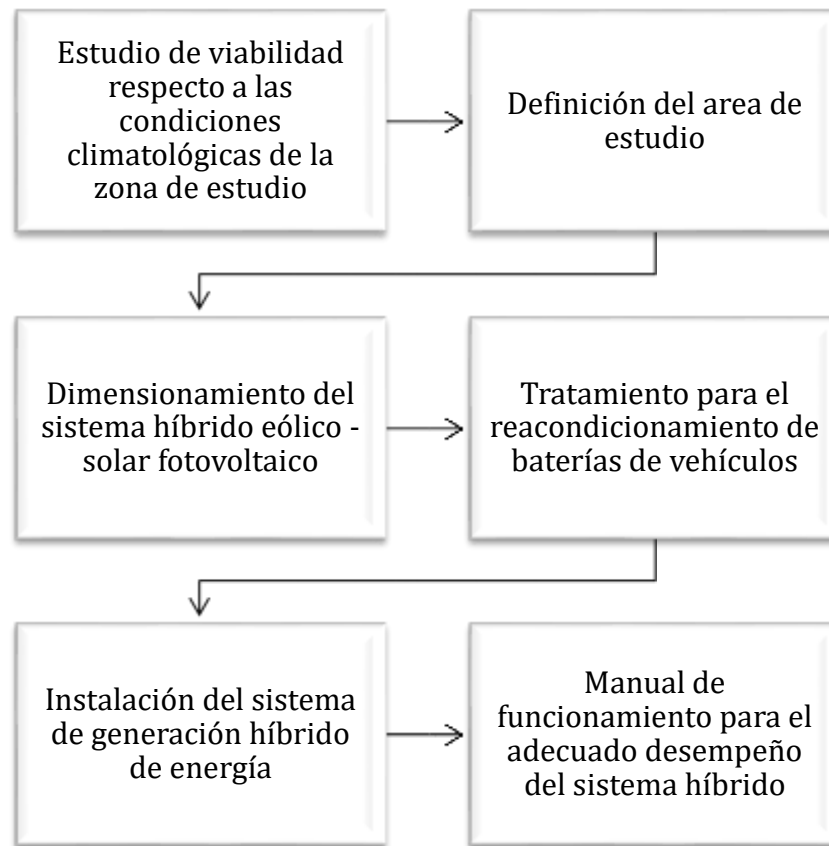
2.3 USO DE ENERGÍAS RENOVABLES EN CENTROS EDUCATIVOS DE COLOMBIA

En Colombia existen alrededor de 45.000 sedes educativas públicas, de las cuales 2.000 no tienen electricidad, la respuesta a la problemática apuesta el uso de soluciones fotovoltaicas; dispositivos que ya han sido entregados a 310 instituciones de diez departamentos, dentro de los que se destacan Amazonas, Córdoba, La Guajira, Bogotá y Chocó, que no se encuentran dentro de los planes de expansión eléctrica del país. Las instituciones educativas que cuentan con esta tecnología son: el *Instituto Educativo Martinica*, ubicado en Montería - Córdoba, el cual tiene una instalación de dieciséis paneles solares que garantizan energía 24 horas, beneficiando a 120 estudiantes; el *Colegio Metropolitano del Sur*, ubicado en el barrio Nuevo Villabel, Santander, cuenta con un sistema solar fotovoltaico aislado con una potencia de 1.81 kW en tres paneles solares, donde aproximadamente se beneficia a 800 estudiantes; la *Universidad Autónoma del Occidente*, ubicada en el departamento del Valle del Cauca, cuenta con 638 paneles solares distribuidos en zonas estratégicas del campus, supliendo el 5% de la energía necesaria, permitiendo la generación de sombras sobre los techos y los suelos de los parqueaderos reduciendo el consumo de aire acondicionado en estos sectores; la *Institución Educativa del corregimiento de Bohórquez*, en el municipio de Campo de la Cruz localizado en Barranquilla, se realizó la instalación de 150 paneles solares que benefician a 623 estudiantes; y la *Institución Distrital Ramón B. Jimeno* ubicado en el barrio La Macarena en el centro de Bogotá, esta institución cuenta con 100% de iluminación producida con energía solar gracias a la instalación de 148 paneles solares de 240 vatios beneficiando a 420 estudiantes, convirtiéndolo en el colegio pionero en el cumplimiento de la ley 1715 de 2014, que toma las energías renovables como proyectos de seguridad en el abastecimiento de la energía y permite y fomenta su integración dentro del sistema energético nacional. [8]

Teniendo en cuenta que en Colombia no se evidencia el uso de energía eólica en instituciones educativas, debido a que se encuentran en etapa de estudio principalmente en el departamento de la Guajira donde hay mayor influencia de vientos. Sin embargo, en este mismo departamento se encuentran proyectos representativos de generación eólica como la subestación colectora de 500kW y dos líneas de transmisión colectora denominada Cuestecitas que se encuentran en el municipio de Uribía (Guajira); estas dos líneas se conectan con la subestación La Loma que genera 500kW aproximadamente ubicada en el departamento del Cesar; esta es la primera conexión realizada entre subestaciones la cual pretende unir un sistema interconectado entre los siete nuevos parque de generación de energía eólica ubicados en el departamento de la Guajira. Por otra parte, Colombia cuenta con el Parque Eólico de Jepirachi, el cual se encuentra instalado en cercanías del Cabo de La Vela en la Guajira. Este parque fue instalado por las Empresas Públicas de Medellín (EPM) y opera desde abril de 2004. Durante los primeros 15 meses de operación, el parque alimentó a la red eléctrica 70,4GWh representando un factor de planta global de un 38% con una disponibilidad del 96% [9].

3. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del proyecto fue necesario seguir las siguientes etapas, como se muestran en la gráfica 6:



Gráfica 6. Etapas para el desarrollo del proyecto

Fuente: Autores

Se realizó un estudio de viabilidad respecto a las condiciones meteorológicas para la instalación del sistema híbrido en una comunidad educativa en el Municipio de Soacha, constituida por niños aproximadamente entre las edades de 5 a 18 años que asisten diariamente a su jornada académica en el horario de 7am a 5 pm. Para establecer el vínculo social e ingenieril del proyecto se efectuó un acercamiento con el colegio por medio de reuniones de participación directa donde se trataron temas tales como el abastecimiento energético por medio de energías renovables, su dimensionamiento, adecuación, ventajas y beneficio para este.

Para el dimensionamiento e implementación del sistema eólico- solar fotovoltaico se tuvieron en cuenta los siguientes pasos:

3.1 Definición el área de estudio:

A partir de reuniones participativas por parte de la facultad de Ingeniería Ambiental y de la unidad de Proyección Social de la Universidad Santo Tomás, se evaluaron las diferentes posibilidades de instituciones educativas con problemáticas en el fluido y/o abastecimiento eléctrico y se seleccionó la más pertinente para su desarrollo.

3.2 Ubicación del área y dimensionamiento del sistema híbrido

En la implementación del sistema híbrido se tuvieron en cuenta las diferentes variables de incidencia para el uso eficiente de este, como lo es la ubicación adecuada de los paneles y del generador eólico para la captación de radiación y velocidad del viento suficiente para abastecer efectivamente el establecimiento, por este motivo se realizó un diagnóstico inicial a su dimensionamiento e implementación, que constó de los siguientes elementos:

- Selección del área de abastecimiento energético con base a la cercanía a la red central de energía, número de salones y luminarias de uso significativo.
- Condiciones de disponibilidad de radiación solar y velocidad del viento.
- Dimensionamiento sistema fotovoltaico: con base al requerimiento energético en el instituto educativo Luis Carlos Galán, se definió el consumo energético de las luminarias para el área seleccionada que suministra el sistema híbrido eólico - solar fotovoltaico mediante sus condiciones de radiación solar y velocidad del viento.
- Cálculo de consumo de energía: se identificó la necesidad energética de la comunidad durante actividades académicas diarias establecidas en el horario de 7:00 a.m. a 5:00 p.m., por reuniones participativas anticipadas al dimensionamiento para determinar los factores de consumo energético total (diario) del sistema luminario del establecimiento que se desean utilizar por medio del generador eólico-fotovoltaico.

Inicialmente se necesitó identificar la cantidad de luminarias que se iban a abastecer de energía eólica-solar, horas diarias en las cuales se utilizan las luminarias y establecer la energía total diaria en kWh que consume cada luminaria.

A partir de mapas de radiación para Colombia, los datos arrojados por la NASA y la plataforma PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM.

A continuación, se muestran las ecuaciones para determinar el sistema de generación de energía solar fotovoltaico:

→ **Cálculo de energía requerida:**

El cálculo de energía requerida es el total de la carga eléctrica en fusión del tiempo que se quiere abastecer. El factor de seguridad es la capacidad máxima del sistema y el valor del requerimiento real al que se verá sometido.

$$Energía\ requerida = \frac{Energía\ consumida}{Radiación\ pico} * Factor\ de\ seguridad\ (1,2) \quad (Ec. 1)$$

→ **Número de paneles solares:**

Cantidad de paneles necesarios para el abastecimiento de la carga eléctrica.

$$No.\ paneles = \frac{Energía\ requerida}{Energía\ suministrada\ por\ paneles} \quad (Ec. 2)$$

→ **Capacidad de batería:**

Cantidad de carga total que una batería completamente cargada puede descargar.

$$Capacidad\ Baterías = \frac{Energía\ suministrada\ en\ Wh}{Voltaje\ de\ las\ baterías} \quad (Ec. 3)$$

→ **Número de baterías:**

Cantidad de baterías para el almacenamiento distribuido total de energía de carga del sistema. El amperio es la unidad de carga de las baterías.

$$No.\ Baterías = \frac{Capacidad\ Baterías}{A\ de\ una\ batería} * Factor\ de\ seguridad\ (1,3) \quad (Ec. 4)$$

→ **Controlador de carga de baterías:**

Es la unidad en la cual se regula el voltaje y la corriente producida de los paneles y el aerogenerador a las baterías.

$$\text{Controlador} = \frac{\text{No.paneles} * \text{Potencia de un panel en W}}{V \text{ Baterías}}$$

(Ec. 5)

→ **Inversor:**

Es la unidad que convierte la corriente directa a corriente alterna. El voltaje es la potencia de entrega de electrones a un circuito.

$$\text{Inversor} = \frac{\text{Voltaje Batería} * \text{Capacidad Batería}}{2}$$

(Ec. 6)

A continuación, se identifican las ecuaciones para la instalación del sistema de generación de energía eólica.

→ **Energía Cinética:**

$$E_{cin} = \frac{1}{2} m_{aire} v^2 \quad (\text{Ec. 7})$$

E_{cin} : Energía cinética (J)

m_{aire} : Masa de Aire

V : Velocidad del viento

→ **Potencia de viento:**

$$P = \frac{dE_{cin}}{dt} = \left(\frac{1}{2}\right) \left(\frac{dm_{aire}}{dt}\right) v^2 \quad (\text{Ec. 8})$$

Potencia del viento (W): La potencia es definida respecto a la cantidad de aire que circula por un determinado sector del espacio.

→ Masa

$$m_{aire} = \rho V \quad (\text{Ec. 9})$$

P: Densidad del aire (kg/m^3)

V: Volumen del aire (m^3)

$$\frac{dm_{aire}}{dt} = \rho \frac{dV_{aire}}{dt} \quad (\text{Ec. 10})$$

A su vez el flujo de aire está definido por:

$$F = \frac{dV_{aire}}{dt} \quad (\text{Ec.11})$$

F: Flujo de aire (m^3/s)

→ La variación de volumen en el tiempo se define como:

$$\frac{dV_{aire}}{dt} = Av \quad (\text{Ec. 12})$$

→ Cálculo de potencia y eficiencia de un aerogenerador en watts

Potencia Aerogenerador

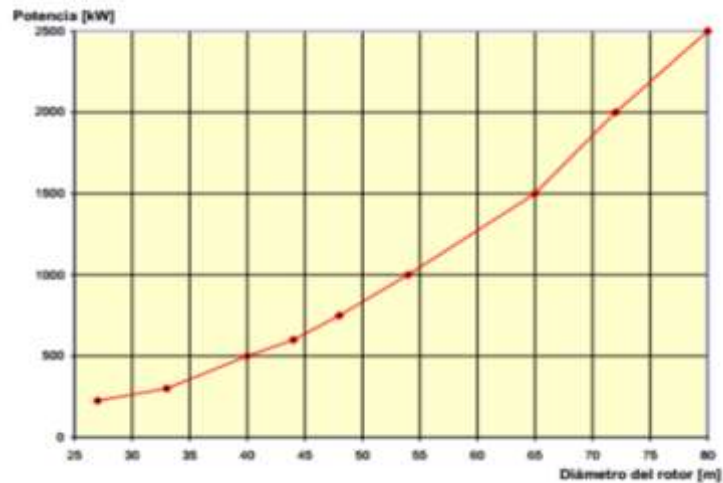
$$= \frac{1}{2} * (\text{Densidad aire}) * \text{Área barrido} * (\text{Velocidad})^3 * F * \eta \quad (\text{Ec. 13})$$

F: (Factor de Rayleigh): 1,91

Área de barrido: $\pi (r^2)$

η : Eficiencia (15-30) % = (0,15 - 0,30)

En la gráfica 7 se presenta la potencia, donde sigue un comportamiento cuadrático respecto al diámetro del aerogenerador si se considera la velocidad del viento como constante.



Gráfica 7. Potencia de un aerogenerador en función del diámetro

Fuente: [11]

3.3 Tratamiento para el reacondicionamiento de baterías de vehículos

Para la implementación del sistema híbrido se utilizarán baterías usadas de automóviles que han culminado su vida útil y que son desechadas indiscriminadamente sin realizarle ningún tipo de tratamiento para su disposición final. Por tal razón el proyecto reincorporó las baterías a su ciclo productivo aprovechando su máxima eficiencia, con el fin reducir la cantidad de residuos de este tipo que diariamente se generan y así minimizar los costos de instalación y de mantenimiento para la comunidad.

Al final de su vida útil la batería contiene la misma cantidad de plomo que el producto nuevo. Por esta razón la batería usada adquiere un valor comercial significativo ya que es posible reciclar el plomo a través de un proceso de fundición.

Pasos para el reacondicionamiento de baterías vehiculares

- **Acopio de baterías**

En el presente proyecto se estableció la compra de baterías post-consumo para ser reacondicionadas en establecimientos autorizados ubicados en la ciudad de Bogotá bajo la resolución 2246 de 2017, por la cual se establecen los sistemas de selección y gestión ambiental de residuos de pilas y/o acumuladores.

- **Período de almacenamiento**

El período de almacenamiento de las baterías de ácido-plomo usadas no debe ser superior a 6 meses y deben realizarse de acuerdo con las instrucciones del

fabricante. En casos justificados de imposibilidad de acceso a las instalaciones de eliminación existentes, tratamientos u otros casos calificados, la Autoridad Sanitaria podrá autorizar el almacenamiento de residuos peligrosos por períodos superiores.

- **Reacondicionamiento de baterías de vehículos usadas**

Se realiza un tratamiento de reacondicionamiento para baterías de vehículos, necesarias para implementar en el sistema de generación híbrido de energía; se buscó información de fuentes primarias y secundarias para realizar el proceso apto para la regeneración de baterías.

Para verificar la capacidad de carga de las baterías regeneradas, se midió la corriente de carga que debe estar en el 30% de la capacidad de la batería y el voltaje que debe ser mayor a 12V, entre 12.5V - 12.9V, para que el porcentaje de carga este entre 85% y 100%, con un multímetro, *UNI-T* que es un instrumento eléctrico portátil para medir directamente magnitudes eléctricas activas, como corrientes y potenciales (tensiones), o pasivas, como resistencias, capacidades y otras; y un densímetro para determinar la densidad del ácido sulfúrico de las baterías, que debe ser aproximadamente 1,8 kg/l, este probador de densidad *KING TONY* es una herramienta que cuenta con un indicador de densidad para la prueba rápida de las condiciones de la batería [7].

3.4 Instalación del sistema de generación híbrido de energía

Para la instalación del sistema de generación híbrido eólico - solar fotovoltaico es necesario realizarlo con el siguiente orden:

1. Panel solar fotovoltaico (paralelo)
2. Aerogenerador
3. Controlador
4. Baterías (paralelo)
5. Inversor
6. Interruptor

El sistema híbrido está conformado por dos unidades fotovoltaicas y una unidad eólica, estas están conectadas a un mismo banco de baterías que se encargan del almacenamiento de la energía transformada por los paneles solares y el generador eólico. Ambas unidades cuentan con su respectivo regulador que ejerce un control en los niveles de corriente y voltaje del todo el sistema. La energía almacenada por las baterías llega al inversor para ser convertida en corriente alterna y de este modo

ser utilizada en la red eléctrica del Instituto; en la gráfica 8 se evidencia los elementos que componen el sistema híbrido.

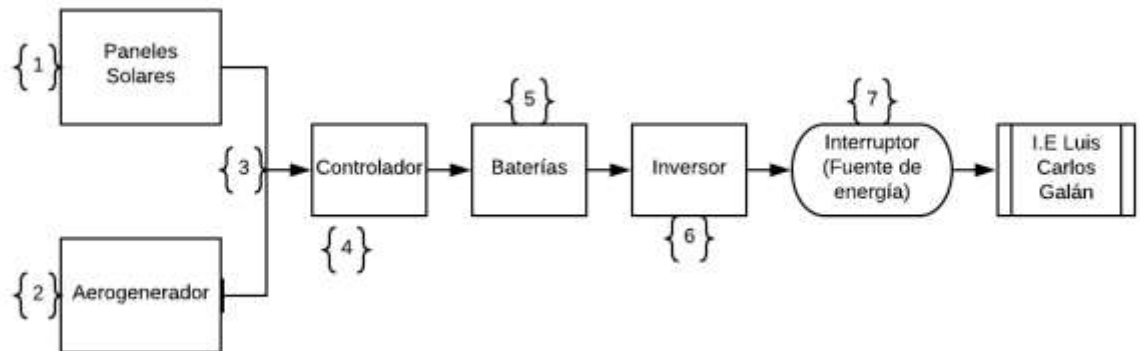


Gráfico 8. Esquema de elementos que componen el sistema híbrido
Fuente: Autores

3.5 Manual de funcionamiento para el adecuado desempeño del sistema híbrido

La institución educativa Luis Carlos Galán a partir de la instalación del sistema híbrido cuenta con un manual de funcionamiento, el cual contiene los objetivos para el adecuado mantenimiento y desempeño del sistema, adicionalmente en el cuerpo del instructivo se encuentran las fichas de los equipos donde se detallan las características de los elementos que componen el sistema, el alcance deseado, el mantenimiento técnico del sistema híbrido y los responsables autorizados para su manipulación, como se puede observar en el Anexo 1.

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 Definición del área de estudio

A partir de las reuniones de participación realizadas entre la facultad de Ingeniería Ambiental y la Unidad de Proyección Social, se realizó un estudio de viabilidad respecto a las condiciones energéticas para la instalación del sistema híbrido en una institución educativa en la Comuna Altos de Cazucá localizada en el Municipio de Soacha. Por tal motivo se seleccionó el Instituto Luis Carlos Galán, este presenta continuas fallas en el fluido eléctrico por intermitencias en el abastecimiento de la red eléctrica.

Luis Carlos Galán tiene una alta demanda energética, porque está constituida por aproximadamente 1500 niños entre las edades de 5 a 18 años que asisten diariamente a una de sus dos jornadas: mañana y tarde, en el horario de 7am a 5 pm. Para establecer el vínculo social e ingenieril del proyecto se efectuó un acercamiento con la institución, donde se trataron temas tales como el abastecimiento energético por medio de energías renovables, a partir del dimensionamiento del sistema, adecuación, beneficios sociales y económicos para este. En la gráfica 9 se identifica el Instituto Educativo Luis Carlos Galán, ubicado en el barrio Santo Domingo, Cazucá.



Gráfica 9. Ubicación zona de estudio

Fuente: Google Earth

Teniendo en cuenta el consumo promedio mensual de energía en la Institución, aproximados en 1.157 kWh entre los meses de junio de 2019 a febrero de 2020, se tomó como referencia un costo cercano en la factura de servicio de luz de \$685.000 COP que incluye el total de energía consumida y el cobro de productos y servicios

(alumbrado público en Soacha). Según funcionarios administrativos de la Institución se estableció un periodo de intermitencia entre 2 a 3 horas ocasionalmente en la jornada de la tarde.

4.2 Dimensionamiento sistema híbrido eólico - solar fotovoltaico

- **Cálculo de la orientación y la inclinación para los paneles solares**

Fue necesario tener en cuenta los siguientes datos de la zona de estudio:

Latitud: 4°34'37" N

Longitud: -74°10'57" W

Se determinó que la inclinación óptima de los paneles (β) es de 4,3° para tener el mayor rendimiento de los mismos respecto a la radiación captada.

- **Disponibilidad del recurso solar**

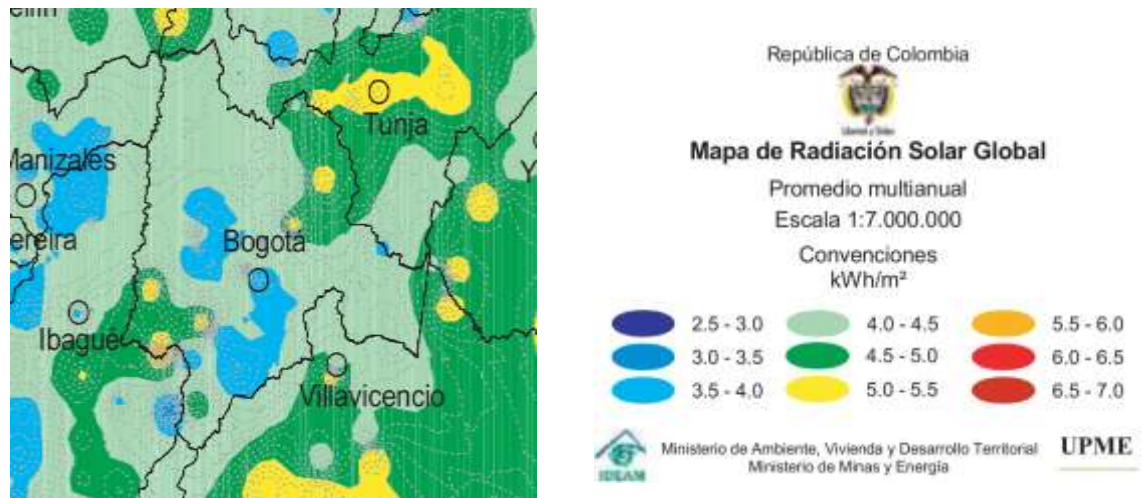
Se utilizó el escenario de radiación solar promedio multianual para la ciudad de Bogotá, estableciendo que el promedio de radiación pico fue de 4.0kWh/m² para el mes de junio siendo este el mes desfavorable y para septiembre una radiación de 5.5kWh/m² siendo el mes más favorable, durante el año 2018; se tiene un histórico de datos donde se pudo observar que es muy poca la variabilidad de la radiación solar como se muestra en la tabla 2 donde el color azul indicó el mes con radiación solar *menos favorable* y el color amarillo indicó la radiación solar del mes *más favorable*. A partir de la información suministrada por la Institución en la facturación eléctrica, se tomó el consumo promedio mensual del segundo semestre del año 2019, siendo así de 1157kWh

Tabla 2. Radiación solar mensual para el año 2018 y 2015

AÑO	MES	H(i)_m	DIAS DEL MES	HSP
2018	Ene	151,58	31	4,87654
2018	Feb	166,88	28	5,96
2018	Mar	161,29	31	5,20290323
2018	Abr	121,56	30	4,052
2018	May	156,92	31	5,06193548
2018	Jun	148,78	30	4,95933333
2018	Jul	161,21	31	5,20032258
2018	Ago	161,71	31	5,21645161
2018	Sep	176,1	30	5,55466667
2018	Oct	154,46	31	4,98258065
2018	Nov	149,89	30	4,99633333
2018	Dic	181,89	31	5,86741936
AÑO	MES	H(i)_m	DIAS DEL MES	HSP
2015	Ene	188,93	31	6,08322581
2015	Feb	146,23	28	5,2225
2015	Mar	131,55	31	4,24354839
2015	Abr	140,9	30	4,69666667
2015	May	144,75	31	4,66935484
2015	Jun	132,21	30	4,407
2015	Jul	159,45	31	5,14354839
2015	Ago	159,69	31	5,15129032
2015	Sep	166,64	30	5,55466667
2015	Oct	153,73	31	4,95903226
2015	Nov	136,71	30	4,557
2015	Dic	160,7	31	5,18387097

Fuente: NASA y plataforma PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM.

Como se puede observar en la gráfica 10 la radiación promedio multianual tomada del Atlas de radiación solar de Colombia IDEAM, muestra para Bogotá una radiación solar mínima de 4.0kWh/m², es por ello que se utilizó ese valor para el respectivo dimensionamiento del sistema.



Gráfica 10. Ubicación radiación sector Cazucá
Fuente: Atlas de radiación solar de Colombia

La instalación del sistema, se realizó con el presupuesto aportado por la Universidad Santo Tomás, Bogotá, desde su Unidad de Proyección Social, con un valor aproximadamente de \$5.000.000 COP, en base a este recurso financiero se proyectaron las posibles áreas a abastecer. Dentro de las cuales se determinaron: 6 luminarias LED de 70W cada una y 12 luminarias LED de 9W cada una.

A continuación, se dimensiona un sistema híbrido eólico - solar fotovoltaico para suministrar la energía requerida. Cada luminaria se utiliza con un tiempo de referencia de 8h/día.

Energía requerida:

$$\frac{\text{Energía}}{\text{día}} = 6 * 70 \text{ W} * 8 \text{ h} + 12 * 9 \text{ W} * 8 \text{ h} = 4.224 \frac{\text{Wh}}{\text{día}}$$

(Ec. 1)

PANELES SOLARES:

Para el dimensionamiento del sistema de energía solar se realizó el cálculo con paneles monocristalinos de 365W, que tienen una eficiencia del 95%, generando mejora en el desempeño en la transformación de energía; en el anexo 2 se muestra su ficha técnica y con baterías de 12V de 115 A

$$\frac{365 \text{ Wh}}{1 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 * \text{día}}} * 4 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 * \text{día}} = 1.460 \frac{\text{Wh}}{\text{día}} * \frac{1 \text{ kW}}{1000 \text{ W}} = 1,46 \frac{\text{kWh}}{\text{día}} * 0,95 = 1,387 \frac{\text{kWh}}{\text{día}} \quad (\text{Ec. 14})$$

- ❖ Si solamente se utilizarán paneles solares, el número requerido de paneles es:

$$No. \text{ paneles} = \frac{4,224 \text{ kWh}}{1,387 \text{ kWh}} = 3,05 \text{ paneles} \quad (\text{Ec. 2})$$

- ❖ Si se utilizan 2 paneles solares y un aerogenerador, la energía suministrada por los 2 paneles es:

$$2 * 1,387 \frac{\text{kWh}}{\text{día}} = 2,774 \frac{\text{kWh}}{\text{día}} \quad (\text{Ec. 15})$$

Por consiguiente, se requiere un aerogenerador de la siguiente potencia:

$$4,224 \frac{\text{kWh}}{\text{día}} - 2,774 \frac{\text{kWh}}{\text{día}} = 1,45 \frac{\text{kWh}}{\text{día}} \quad (\text{Ec. 16})$$

AEROGENERADOR:

Durante el periodo de medición de vientos se realizó por parte de las estudiantes que desarrollaron el presente proyecto, la instalación de la unidad meteorológica referencia *DAVIS VANTAGE PRO 2*, con el propósito de la toma de datos continua y precisa de los viento.



Fotografía 1. Estación meteorológica
Fuente: Autores

Tabla 3. Datos arrojados de la estación meteorológica

Date	Time	Temp Air	Hum	Low Temp	Out Hum	Dew Pt	Wind Speed	Wind Dir	Wind Run	H Speed	H Dir	Wind Chill	Heat Index	TIndex Index	Bar	Rain	Rain Rate	Heat D-D	Cool D-D	In Temp	In Hum	In Dew	In Heat
3	27/08/20	12:30 AM	53.1	53.3	53	34	51.4	0	---	0	---	53.1	53.4	53.4	30.064	0	0	0.248	0	65	63	53.1	65
4	27/08/20	1:00 AM	52.6	53.1	52.6	34	51	0	NW	0	NW	52.6	53	53.1	30.061	0	0	0.254	0	65.5	63	52.9	65
5	27/08/20	1:30 AM	52.7	52.9	52.6	35	51.38	0	---	0	---	52.7	53	53	30.059	0	0	0.258	0	65.6	63	52.7	64
6	27/08/20	2:00 AM	52.7	52.8	52.6	34	51	0	SE	0	NNE	52.7	53	53	30.061	0	0	0.256	0	65.4	63	52.5	64
7	27/08/20	2:30 AM	52.6	52.6	52.6	34	50.9	0	NNE	0	NNE	52.6	52.5	52.9	30.064	0	0	0.258	0	65.4	63	52.3	64
8	27/08/20	3:00 AM	52.5	52.7	52.5	35	51	0	N	0	N	52.5	52.6	52.8	30.065	0	0	0.26	0	65	63	52.1	64
9	27/08/20	3:30 AM	52.6	52.7	52.5	35	51.2	0	NW	0	N	52.6	52.6	52.9	30.071	0	0	0.258	0	64.9	64	52.4	64
10	27/08/20	4:00 AM	53.1	53.1	52.6	34	51.4	0	S	0	SE	53.1	53.4	53.4	30.075	0	0	0.246	0	64.8	64	52.3	64
11	27/08/20	4:30 AM	53.2	53.2	53	33	51.3	0	SSW	0	SSW	53.2	53.4	53.4	30.066	0	0	0.246	0	64.7	64	52.2	64
12	27/08/20	5:00 AM	52.6	53.2	52.6	33	50.6	0	SW	0	SSW	52.6	53	53	30.071	0	0	0.254	0	64.5	64	52	63
13	27/08/20	5:30 AM	52.3	52.8	52.3	33	50.3	0	SW	0	SW	52.3	52.6	52.6	30.072	0	0	0.265	0	64.4	64	51.9	63
14	27/08/20	6:00 AM	51.4	52.4	51.4	33	49.4	0	---	0	---	51.4	51.7	51.7	30.075	0	0	0.283	0	64	64	51.7	63
15	27/08/20	6:30 AM	51.3	51.4	51.1	35	49.5	0	NNW	0	NNW	51.3	51.7	51.7	30.062	0	0	0.295	0	63.9	64	51.5	63
16	27/08/20	7:00 AM	51.7	51.6	51.2	35	50.3	0	SW	0	W	51.7	52	52.1	30.066	0	0	0.277	0	63.7	64	51.3	62
17	27/08/20	7:30 AM	52.8	52.8	51.8	34	51.8	0	W	0	W	52.8	53	53.1	30.06	0	0	0.254	0	63.6	64	51.2	63
18	27/08/20	8:00 AM	55.3	55.4	52.8	33	53.3	0	SSE	0	SSE	55.3	55.5	55.5	30.11	0	0	0.202	0	63.4	66	51.8	62
19	27/08/20	8:30 AM	57.6	57.6	55.4	67	54	0	S	0	SE	57.6	57.6	57.6	30.107	0	0	0.15	0	63.7	66	52.1	62
20	27/08/20	9:00 AM	62	62	57.8	78	55	1	SSW	0.5	S	62	61.5	61.5	30.09	0	0	0.063	0	64	65	52.3	63
21	27/08/20	9:30 AM	62.7	62.7	62	72	53.5	1	SSW	0.5	W	62.7	62.3	62.3	30.032	0	0	0.048	0	64.3	64	52.4	64
22	27/08/20	10:00 AM	64	64	62.7	72	52.6	1	SE	0.5	SSE	64	63.4	63.4	30.039	0	0	0.021	0	65.9	64	53	64
23	27/08/20	10:30 AM	63.8	64	63.8	66	52.3	0	SSW	0	W	63.8	63	63.1	30.053	0	0	0.025	0	65.7	63	52.8	64
24	27/08/20	11:00 AM	63.4	63.3	63.4	72	54.3	0	SSW	0	SSW	63.4	63	63.1	30.055	0	0	0.033	0	65.5	62	52.5	65
25	27/08/20	11:30 AM	65.9	64	62.4	75	54.5	0	NNE	0	NNE	63	62.6	62.8	30.069	0	0	0.042	0	66	63	53	66
26	27/08/20	12:00 PM	66.4	63.3	60.4	81	54.5	2	S	0	W	60.4	60.3	60.3	30.099	0	0	0.096	0	65.5	65	53.8	67
27	27/08/20	12:30 PM	60.2	60.4	53.2	64	55.3	0	NNE	0	SSW	60.2	60.2	60.2	30.069	0	0	0.1	0	65.9	66	54.2	65
28	27/08/20	1:00 PM	61.2	61.5	60.2	81	55.3	0	NNE	0	NNE	61.2	61.3	61.2	30.067	0	0	0.079	0	66.3	66	54.5	65
29	27/08/20	1:30 PM	58.3	61.5	53.2	85	54.8	0	SSW	0	S	53.3	58.3	53.2	30.077	0	0	0.119	0	66.2	67	54.9	64
30	27/08/20	2:00 PM	58.9	59.9	58.9	80	56.3	0	E	0	E	53.9	60	60.1	30.063	0	0	0.106	0	66.2	67	54.9	64
31	27/08/20	2:30 PM	60	60.1	53.6	64	56.2	0	S	0	SSW	60	60	60	30.049	0	0	0.104	0	66.7	66	54.5	65
32	27/08/20	3:00 PM	61.7	61.7	60	75	53.7	0	S	0	SSE	61.7	61.4	61.4	30.038	0	0	0.069	0	66.4	66	54.7	66
33	27/08/20	3:30 PM	64.5	64.6	61.7	71	54.5	0	SSW	0	SSW	64.5	64.3	64.2	30.03	0	0	0.071	0	66.6	66	55.1	66
34	27/08/20	4:00 PM	67.5	67.6	63.2	74	60.6	0	S	0	S	63.2	63	63	30.033	0	0	0.068	0	66.8	66	54.9	66

Para el dimensionamiento del sistema eólico se recopilamos datos de velocidad del viento durante un periodo comprendido entre los meses de septiembre, octubre y noviembre de 2019 con el fin de establecer una aproximación real de las condiciones meteorológicas presentes en el lugar. Para el estudio del comportamiento del viento se utilizó un *velocímetro* el cual mide su dirección y velocidad.



Fotografía 2. Velocímetro
Fuente: Autores

Una vez instalado el equipo se monitoreo el movimiento de viento en intervalos de 15 minutos comprendidos entre las 13:00 pm a 16:00 pm en diferentes posiciones cardinales. La tabla 4 muestra las velocidades más representativas entre el 27 septiembre de 2019 y 15 de noviembre de 2019, donde se estableció que la velocidad promedio en el lugar de estudio es de **7m/s** como se muestra en la tabla 5.

Tabla 4. Velocidades del viento de los días más representativos

27-sep-19		11-oct-19		18-oct-19	
Hora	Velocidad del viento (m/s)	Hora	Velocidad del viento (m/s)	Hora	Velocidad del viento (m/s)
13:00	3,2	13:00	4,5	13:00	5
13:15	3	13:15	6	13:15	6,5
13:30	4,5	13:30	4,5	13:30	5
13:45	6	13:45	5,9	13:45	6
14:00	10	14:00	11	14:00	11
14:15	7,6	14:15	8	14:15	7,4
14:30	7,2	14:30	8,5	14:30	7,4
14:45	9	14:45	8,9	14:45	8,9
15:00	6,5	15:00	7	15:00	7
15:15	5,8	15:15	6,5	15:15	11
15:30	4,5	15:30	5	15:30	4,5
15:45	8,1	15:45	8,1	15:45	8,1
16:00	12	16:00	12	16:00	9
PROMEDIO	6,723076923	PROMEDIO	7,376923077	PROMEDIO	7,446153846
25-oct-19		8-nov-19		15-nov-19	
Hora	Velocidad del viento (m/s)	Hora	Velocidad del viento (m/s)	Hora	Velocidad del viento (m/s)
13:00	3,2	13:00	4,5	13:00	3
13:15	3	13:15	6	13:15	4,5
13:30	4,5	13:30	6,4	13:30	6,4
13:45	6	13:45	5,9	13:45	3,2
14:00	7,2	14:00	7,8	14:00	8,3
14:15	7,6	14:15	8	14:15	8
14:30	6	14:30	8,5	14:30	8,5
14:45	8	14:45	7,9	14:45	8
15:00	6,5	15:00	7	15:00	7
15:15	5,8	15:15	6,2	15:15	7,7
15:30	6,9	15:30	5	15:30	11,7
15:45	7,3	15:45	8,1	15:45	8,1
16:00	6,9	16:00	11,3	16:00	7,4
PROMEDIO	6,069230769	PROMEDIO	7,123076923	PROMEDIO	7,061538462

Fuente: Autores

Tabla 5. Promedio de velocidades del viento de los días más representativos

FECHA	PROMEDIO
27-sep-19	6,72
11-oct-19	7,38
18-oct-19	7,45
25-oct-19	6,07
8-nov-19	7,12
15-nov-19	7,06
PROMEDIO TOTAL	6,97 (m/s)

Fuente: Autores

Según el atlas interactivo de velocidad del viento para Colombia y datos arrojados por las estaciones meteorológicas del IDEAM, se estableció que Bogotá presenta una velocidad promedio de 3-5 m/s, teniendo en cuenta que la velocidad es de 2.630 m.s.n.m. Cazucá al estar situado a una altitud de 2.780 m.s.n.m, con una diferencia aproximada de 150 m.s.n.m con respecto a Bogotá; se decidió la toma de datos por medio del velocímetro, ya que además de tener un punto constante de medición, se debe hacer referencia a la relación proporcional de “*mayor altura, mayor velocidad del viento*”, como respuesta a lo anterior se evidencia que la velocidad del viento en la Institución oscila entre los 6-9 m/s.

Durante tres meses de estudio, se obtuvieron aproximadamente 200 datos los cuales fueron ponderados y clasificados en ocho posiciones cardinales y el número de frecuencia en que estas direcciones se presentan durante este periodo de medición, como se observa en la tabla 6.

Tabla 6. Porcentajes de datos periódicos para cada dirección del viento

PONDERACIÓN DE DATOS			
<i>Dirección</i>	<i>% Datos</i>	<i>Máx.</i>	<i>Promedio</i>
N	8,0%	8,0%	8,0%
NE	3,0%	3,0%	3,0%
NNE	9,0%	9,0%	9,0%
NNW	4,0%	4,0%	4,0%
NW	3,0%	3,0%	3,0%
E	3,0%	3,0%	3,0%
ENE	1,0%	1,0%	1,0%
ESE	5,0%	5,0%	5,0%
S	41,0%	41,0%	41,0%
SE	11,0%	11,0%	11,0%
SSE	24,0%	24,0%	24,0%
SSW	29,0%	29,0%	29,0%
SW	22,0%	22,0%	22,0%
W	15,0%	15,0%	15,0%
WNW	4,0%	4,0%	4,0%
WSW	19,0%	19,0%	19,0%
TOTAL DATOS	201		

Fuente: Autores

En la tabla 7 se presenta el promedio de velocidades para cada día y el porcentaje de datos para cada dirección.

Tabla 7. Promedio de velocidades y porcentaje de datos para cada dirección

Dirección	%	Velocidad (m/s)
N	8,0%	8,0
NE	3,0%	7,8
NNE	9,0%	9,0
NNW	4,0%	8,3
NW	3,0%	8,8
E	3,0%	5,7
ENE	1,0%	6,9
ESE	5,0%	8,0
S	41,0%	7,0
SE	11,0%	5,7
SSE	24,0%	4,8
SSW	29,0%	7,0
W	15,0%	8,0
WNW	4,0%	5,2
WSW	19,0%	4,6
PROMEDIO		7,0

Fuente: Autores

A partir de la gráfica 11 donde se muestra la rosa de los vientos, se pudo determinar el comportamiento de los vientos presentes en el lugar de estudio, demostrando que existe mayor persistencia de viento en las direcciones *SSW* a *NNW*, con una velocidad promedio de **7 m/s**, lo que indica que las corrientes de viento son más frecuentes en esta dirección, haciendo que en esta posición el aerogenerador produce mayor energía.

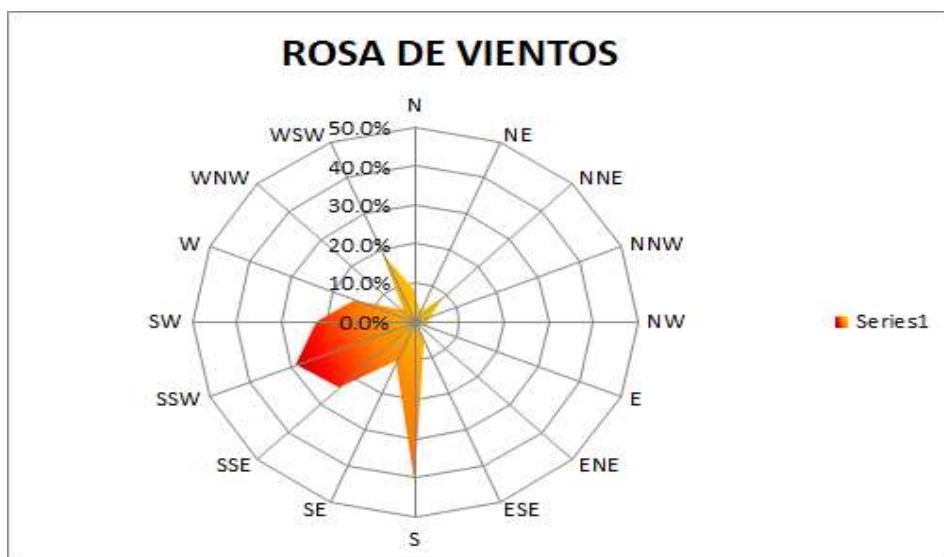


Gráfico 11. Rosa de vientos para Cazucá (Soacha)
Fuente. Autores

A partir de la gráfica 12 se pudo establecer que las posiciones que predominan en el lugar de estudio son las direcciones Sur-sudoeste y Norte-Noreste con una velocidad máxima del 40% sobre el total de los datos obtenidos

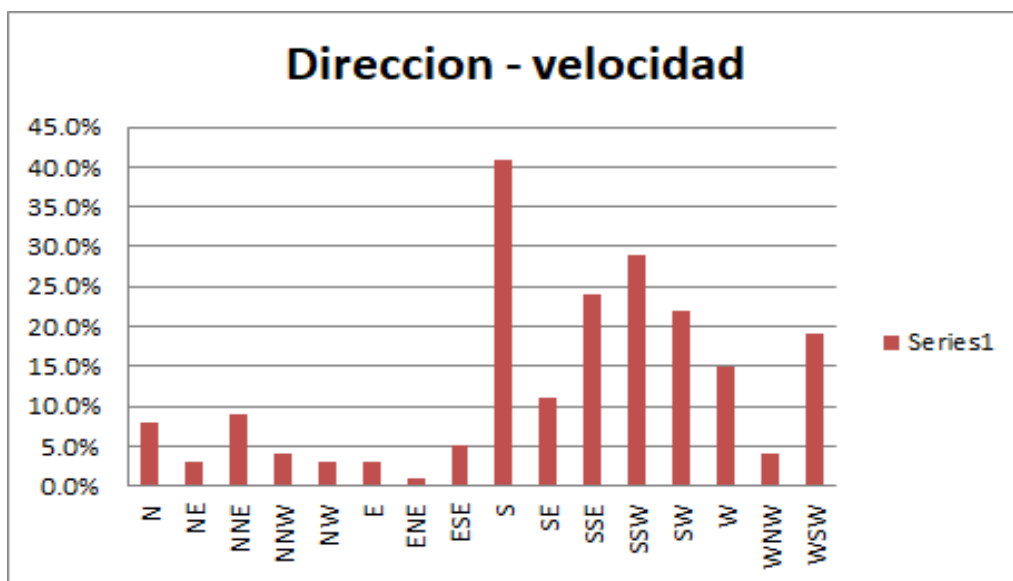


Gráfico 12. Dirección-Velocidad para Cazucá
Fuente. Autores

- **Potencia del aerogenerador**

$$Potencia\ Aerogenerador = 1.450 \frac{Wh}{día} * \frac{1\ día}{12\ h} = 120\ W \quad (Ec. 13)$$

Para realizar el dimensionamiento del sistema eólico es necesario conocer la velocidad promedio del viento en la zona de estudio, en este caso fue de **7 m/s**.

$$120\ W = \frac{1}{2} * 1,225 * \pi * R^2 * 7^3 * 1,9 * 0,23 \quad (Ec. 17)$$

$$R = 0,65\ m$$

Por consiguiente, se requiere un aerogenerador de 65 cm de radio de giro con una potencia de 120W; en el anexo 3 se muestra su ficha técnica.

CAPACIDAD Y NÚMERO DE LAS BATERÍAS PARA LOS PANELES SOLARES Y EL AEROGENERADOR

- **Capacidad de las baterías de 12V en A para los paneles**

$$Capacidad\ Baterías\ paneles = \frac{2.774\ Wh}{12\ V} = 231,2\ A \quad (Ec. 18)$$

- **Número de baterías de 115 A para los paneles solares**

$$No.\ Baterías = \frac{231,2\ A}{115\ A} * 1,3 = 2,61\ baterías = 3\ baterías \quad (Ec. 19)$$

- **Capacidad de baterías de 115 A para el aerogenerador:**

$$Capacidad\ Baterías\ aerogenerador = \frac{1.450\ Wh}{12\ V} = 120\ A \quad (Ec. 20)$$

- **Número de baterías de 115A para el aerogenerador:**

$$No. Baterías = \frac{120 A}{115 A} * 1,3 = 1,35 \text{ baterías} = 1 \text{ baterías} \quad (\text{Ec. 21})$$

Por consiguiente, para la instalación del sistema eólico - solar fotovoltaico se requiere de cuatro baterías con una corriente mínima de 115A y un voltaje de 12V para alcanzar la capacidad de almacenamiento de energía producida.

CONTROLADOR DE CARGA PARA LOS PANELES SOLARES Y EL AEROGENERADOR

- **Controlador de carga en A para los paneles solares:**

$$Controlador \text{ paneles} = \frac{2*365 W}{12 V} = 61 A \quad (\text{Ec. 22})$$

- **Controlador de carga en A para el aerogenerador:**

$$Controlador \text{ aerogenerador} = \frac{120 W}{12 V} = 10 W \quad (\text{Ec. 2})$$

Por lo anterior, en la instalación del sistema solar fotovoltaico se necesita un controlador con una capacidad de carga mínima de 61A y en el sistema eólico es necesario un controlador de carga mínima de 10W, con una potencia de 12V; en el anexo 4 se observa su ficha técnica.

INVERSOR PARA EL SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO Y SOLAR:

Se utiliza un sólo inversor para todo el sistema, debido a que se tiene el mismo voltaje de 12V de salida de las baterías de los paneles y del aerogenerador.

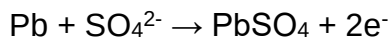
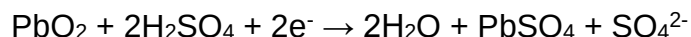
$$Inversor = 6 * 70 W + 12 * 9 W = 528 W \quad (\text{Ec. 24})$$

Entonces, se requiere un inversor de 528W o de mayor potencia para el sistema híbrido; en el anexo 5 se muestra su ficha técnica.

4.3 Reacondicionamiento de baterías de vehículos

Para el proceso de reacondicionamiento de las baterías, estas fueron recolectadas en una zona fresca con techados protegidos, con un cierre perimetral de al menos 1.80 m de altura y con una base impermeable y resistente estructuralmente. Para la manipulación de las baterías, se necesitó de elementos de protección personal tales como gafas y guantes aislantes, y se debió garantizar la mínima volatilidad de emisiones producto del tratamiento realizado a partir de la reacción entre el bicarbonato de sodio y el plomo ácido contenido en las baterías.

Como referencia de aprendizaje para el tratamiento de reacondicionamiento se utilizó una batería *WILLARD EXTREMA* de 500A y 12V, que ha acabado su ciclo de vida; estas están formadas por un depósito de ácido sulfúrico y en su interior una serie de placas de plomo dispuestas de forma alterna, para generar electricidad, esta batería usa la reacción de reducción que se presenta a continuación: [10]



Durante el proceso de carga, el sulfato de plomo es reducido a plomo metal en las placas negativas, mientras que en las placas positivas se forma óxido de plomo. En el proceso de descarga se invierte el proceso de carga, reduciendo así el óxido de plomo a sulfato de plomo mientras que el plomo metal es oxidado para dar igualmente sulfato de plomo y *durante el proceso de descarga*, la concentración de ácido sulfúrico desciende y aumenta la cantidad de agua liberada en la reacción. Como el ácido sulfúrico concentrado tiene mayor densidad que el ácido sulfúrico diluido, la densidad del ácido se puede usar como indicador del estado de carga de este tipo de baterías [10].



Fotografía 3. Batería Extrema Willard
Fuente: Autores

Como primera instancia se realizó una prueba con un densímetro en el cual se muestra que la batería se encuentra con déficit de carga o ácido.



Fotografía 4. Prueba realizada con el densímetro
Fuente: Autores

Luego por medio de un multímetro en corriente directa a 20V se mide la capacidad de carga de la batería, mediante un cable positivo y negativo que son colocados en los bornes se observa que la batería posee un voltaje de 10.27V, lo que indica que la batería no cuenta con el voltaje suficiente para su arranque, posteriormente se realiza la medición con el multímetro de las seis celdas de las baterías para verificar si existen algún corto, nuevamente se coloca el cable positivo en el borne de la batería y el cable negativo en la primera celda, el registro indica un voltaje de 1.39V, se realiza el mismo procedimiento para las otras celdas dando como resultado: en la segunda celda 1.66V, en la tercera 3.67V, en la cuarta 5.64V, en la quinta 7.66V

y en la sexta 9.68V. Se evidencia que en la segunda celda se presentó un corto con un valor 1.67V, este debió duplicar el valor de la primera celda.



Fotografía 5. Comprobación capacidad de carga de la batería
Fuente: Autores

Se descarga el ácido sulfúrico (H_2SO_4) contenido en la batería, para su posterior tratamiento y reparación, se vierte este ácido sulfúrico (H_2SO_4) en un recipiente de plástico con sus respectivos elementos de protección personales como guantes y gafas, ya que este ácido es un compuesto muy reactivo y altamente corrosivo, posteriormente se lava cada celda de la batería con agua potable, se agita y retira el agua residual para la depuración total de las partículas del ácido sulfúrico (H_2SO_4) adheridas a las paredes de las batería.

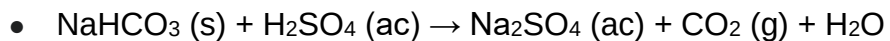


Fotografía 6. Lavado de la batería
Fuente: Autores

Para la limpieza se utilizó bicarbonato de sodio (NaHCO_3) en polvo y agua, la solución es incorporada en las seis celdas para que reaccione con el plomo - ácido, de esta manera mediante un burbujeo se elimina la corrosión de la batería producto de los residuos de ácido sulfúrico (H_2SO_4), durante este proceso se emiten gases,

producto de la reacción que se expone a los residuos de ácido, se descompone en dióxido de carbono (CO_2) y agua, produciendo una característica de efervescencia.

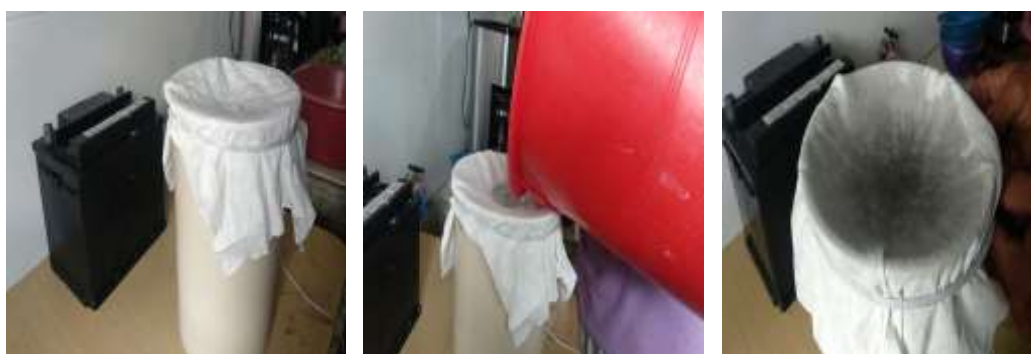
La reacción producida es la siguiente:



Fotografía 7. Aplicación del bicarbonato de sodio y emisión de gases CO_2

Fuente: Autores

Mientras el bicarbonato de sodio (NaHCO_3) realiza su función dentro de la batería, se procede a colar al ácido sulfúrico en un filtro con el fin de la separación de las partículas contaminadas; si el ácido sulfúrico (H_2SO_4) presenta altos niveles de contaminantes, se procede a utilizar 1 lb de sulfato de magnesio (MgSO_4) para su depuración total.



Fotografía 8. Filtración de las partículas contaminadas de ácido sulfúrico (H_2SO_4)

Fuente: Autores

Posterior al proceso de filtrado se evidencia la depuración de los contaminantes en el ácido sulfúrico presentando una coloración marrón.



Fotografía 9. Depuración de los contaminantes del ácido sulfúrico (H_2SO_4)
Fuente: Autores

Luego de 3 horas se procede a realizar el lavado total de la batería, se observa una transparencia gradual del agua residual, nuevamente se incorpora el ácido sulfúrico en el interior de las baterías; y se deja cargar durante cuatro a seis horas.



Fotografía 10. Lavado total y reincorporación del ácido sulfúrico (H_2SO_4)
Fuente: Autores

Finalmente, se realizaron pruebas en el multímetro y el densímetro, donde se mostró un aumento del voltaje en 12.11V de esta manera se determina que se logró su reacondicionamiento.



Fotografía 11. Verificación de reacondicionamiento de batería

Fuente: Autores

En el anexo 6 se puede observar un video del proceso para el reacondicionamiento de baterías de vehículos ya usadas.

4.4 Instalación del sistema híbrido eólico – solar fotovoltaico

Después de realizar el respectivo dimensionamiento del sistema energético, se estableció que era necesario utilizar los siguientes equipos, que se muestran en la tabla 8, para su posterior instalación:

Tabla 8. Equipos necesarios para la implementación del sistema de generación de energía

Equipo	Cantidad	Descripción
Paneles Solares	2	Monocristalino Potencia: 365W
Aerogenerador	1	Eje vertical (3 aspas) Potencia: 400W
Baterías	4	Baterías reacondicionadas Capacidad: 100 Ah Voltaje: 12V
Controlador	2	Corriente: 30 ^a Potencia: 60W Voltaje: 24V
Inversor	1	Onda pura 110V Potencia: 600W Voltaje: 24V

Fuente: Autores

→ Instalación del sistema solar fotovoltaico

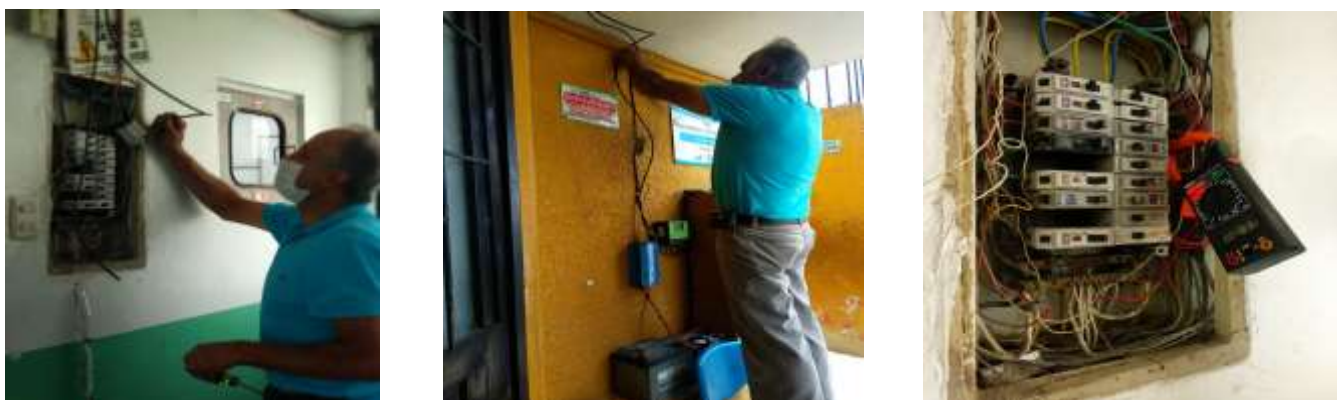
Los paneles solares fueron instalados en la cubierta principal de la Institución, dichos elementos fueron anclados a la cubierta del lugar. Los paneles fueron conectados en paralelo por medio de los conectores MC4, ya que estos se utilizan para el empalme eléctrico y protección a condiciones climáticas, posteriormente se procede a bajar el tendido eléctrico con un espesor de 4mm y una longitud a 30 m que garantizara que las pérdidas por caída de tensión fueran mínimas hacia la zona de mando situado en la recepción de la institución donde se encuentran las baterías, inversor y regulador ajustados a la pared y protegidos por una caja en acrílico, esto con el fin de que los elementos no sean expuestos a manipulación no autorizada y daño de los equipos. Se realizó la instalación del banco de baterías las cuales fueron conectadas en conexión serie-paralelo conforme a las características que permite el inversor. Las baterías y los paneles están conectados al controlador en sus respectivos puertos de conexión, esto con el fin de verificar y monitorear el adecuado funcionamiento de todo el sistema. El banco de baterías se conectó al inversor para la conversión de corriente continua a corriente alterna. El interruptor

número 18 del tablero de distribución eléctrica el alimentó de energía eólico-solar la tercera planta de la Institución que consta de cinco salones, un baño y una sala de profesores.

Teniendo en cuenta que el sistema híbrido no tiene la capacidad de suministrar energía a toda la institución, se alimentó sólo uno de los circuitos eléctricos, por ello se instaló un conmutador el cual tiene la función de permitir la conexión bien sea del circuito fotovoltaico o el circuito de alimentación de la red eléctrica convencional. Esto fue útil a la hora de realizar mantenimiento o que el sistema híbrido no cuente con la capacidad energética para el suministro a la Institución.



Fotografía 12. Instalación de los paneles solares
Fuente: Autores



Fotografía 13. Conexión de los sistemas a los tableros de distribución eléctrica
Fuente: Autores



Fotografía 14. Interruptor para dinamizar el fluido eléctrico de la red y del sistema híbrido
Fuente: Autores



Fotografía 15. Caja donde se instalaron las baterías, el inversor y el controlador
Fuente: Autores



Fotografía 16. Sistema híbrido de generación de energía implementado
Fuente: Autores

→ Instalación del sistema eólico

El aerogenerador eólico está instalado en la cubierta suroccidental de la Institución, dicho elemento es soportado sobre una estructura metálica galvanizada anclados a las vigas y pared del lugar con un tendido eléctrico de 3x12 mm de espesor y una longitud aproximada de 20 metros con certificación Centelsa que garantiza las pérdidas por caídas de tensión. Para su implementación se tuvo en cuenta que este equipo posee un controlador de carga independiente para regular el voltaje, que está conectado directamente a las baterías del sistema fotovoltaico previamente instalado.



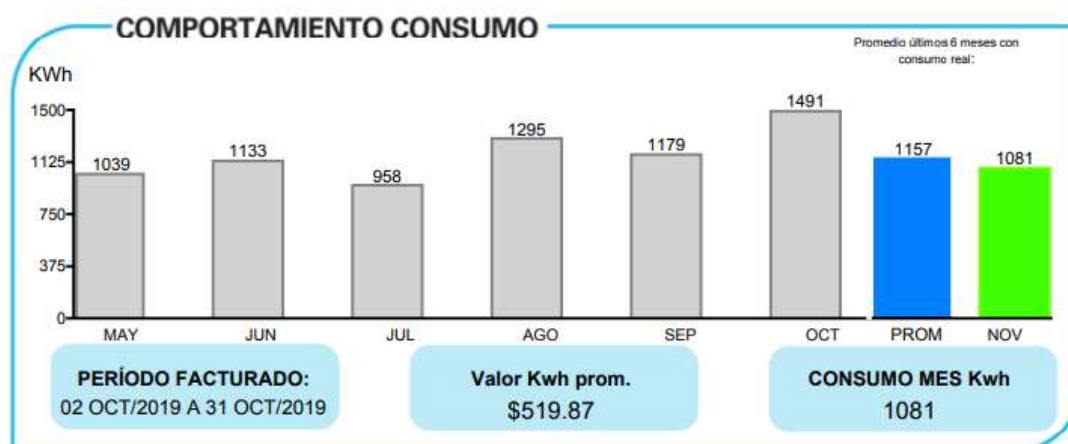
Fotografía 17. Adecuación de la estructura del aerogenerador
Fuente: Autores



Fotografía 18. Aerogenerador instalado

Fuente: Autores

En la gráfica 13 se muestra que la Institución consume en promedio 1.157kWh mensualmente, esta cantidad es dividida por el número de días mensuales de consumo.



Gráfica 13. Consumo promedio mensual de energía Institución Luis Carlos Galán

Fuente: Enel Codensa (Facturación)- Institución Educativa Luis Carlos Galán

$$\text{Consumo diario} = \frac{1.157 \text{ kWh}}{30 \text{ días}} = 38.57 \text{ kWh}$$

$$\text{Energía de sistema} = 600W * 8h = \frac{4.800 \text{ kw/h}}{1000 \text{ W}} = 4.8 \text{ kWh}$$

$$\% \text{ Eficiencia} = \frac{4.8 \text{ kWh} * 100}{38.57 \text{ kWh}} = 12\%$$

La reducción de costos esperados, posterior la instalación del sistema se realizó a partir del costo de la factura de electricidad del el mes de noviembre de 2019 para la institución donde:



Gráfica 14. Total, a pagar por energía en la Institución Luis Carlos Galán
Fuente: Enel Codensa (Facturación)- Institución Educativa Luis Carlos Galán

En la gráfica 14 se evidencia que el total a pagar en la factura en el mes de noviembre de 2019 es de \$685.000 COP.

$$\text{Costo kWh diario} = \frac{\$685.000}{30 \text{ días}} = \$22.833$$

$$\text{Costo de reducción mensual} = \frac{4.8 \text{ kWh} * 22.833}{38.57 \frac{\text{kWh}}{\text{h}}} = \$2.842$$

$$\$2.842 * 30 \text{ días} = \$85.260$$

$$85.260 * 12 \text{ meses} = \$1.023.000$$

$$685.000 * 12 \text{ meses} = \$ 8.220.000$$

$$\text{Beneficio Anual} = 12.4\%$$

La instalación del sistema brindó a la Institución una eficiencia en el consumo energético estimado del 10% de la energía esperada del dimensionamiento diariamente, esto debido a que en condiciones máximas de generación de energía este puede producir aproximadamente 4.8kWh. Sin embargo, la capacidad de las baterías es limitada, puesto que por sus ciclos cortos de descarga no cuentan con el suficiente almacenamiento de energía generado. Asimismo, la variabilidad en las condiciones climatológicas del lugar, es un factor que afecta el máximo rendimiento junto con las pérdidas existentes en el sistema.

Posterior a la implementación del sistema híbrido eólico – solar fotovoltaico en la Institución se realizaron pruebas para garantizar su funcionamiento y eficiencia, según lo observado se determinó que las baterías reacondicionadas son una

alternativa viable para el almacenamiento de energía generado por el sistema, ya que reduce el costo de inversión e incentiva a la comunidad al reciclaje y reutilización minimizando el impacto ambiental que estas generan al ser desechadas. Sin embargo al ser baterías con un ciclo de vida prolongado no posee las mismas características de durabilidad respecto a unas baterías solares, ya que su capacidad de almacenamiento con una carga de 600Wh sin un elemento generador bien sea paneles solares o generador eólico se reduce a 3 horas diarias en comparación con una batería solar que logra una capacidad de almacenamiento de entre 10 a 12 horas diarias. Adicionalmente se debe tener en cuenta que durante la instalación se sugirió a la Institución el cambio de algunas luminarias en la tercera planta donde se destinó que el sistema híbrido alimentaría el fluido eléctrico, existen algunas luminarias que exceden la capacidad máxima de entrega del inversor al ser encendidas al mismo tiempo, debido a que son luminarias fluorescentes con un consumo energético aproximado de 150W por cada unidad.

7. IMPACTO SOCIAL

La Institución Luis Carlos Galán posteriormente a la instalación del sistema híbrido se beneficia aproximadamente de 4.0kWh en su red eléctrica durante ocho (8) horas, este tiene la capacidad de encender 15 bombillos aproximadamente localizados entre la planta dos y tres del lugar. Las ventajas que este sistema ofrece a la comunidad se fundamentan en el contexto económico y educativo, se evidencia la disminución aproximada del 12,4% anual en la tarifa del consumo de energía, esto tomando como referencia del promedio mensual del consumo energético, reduciendo así aproximadamente \$1.100.000 COP en el costo total anual de la Institución, además de ello el sistema suple el 10% de la energía total en la red eléctrica. Educativamente el Instituto favorece su entorno de aprendizaje y enseñanza, mejorando las condiciones lumínicas de las aulas escolares, activando su capacidad de interacción entre los estudiantes y docentes creando un ambiente acogedor y receptivo.

La instalación del sistema híbrido es una herramienta que brinda a los estudiantes de la Institución, por medio de enseñanzas impartidas por el cuerpo docente, conforme a la *ley 115 de 1994* y el *decreto 1743 de 1994*, el fomento de una educación ambiental por medio del afianzamiento de conocimientos técnicos, tecnológicos y habilidades para la conservación, protección y mejoramiento del medio ambiente, de la calidad de la vida, del uso racional de los recursos naturales, de la prevención de desastres, dentro de una cultura ecológica y del riesgo, y de la defensa del patrimonio cultural de la nación; desde un marco social que sirve como referente de identidad del individuo y genere un compromiso con él mismo y con la comunidad educativa [8].

Este proyecto abre las puertas para la futura certificación del Sello Ambiental Colombiano, establecido por las normas técnicas Colombianas (NTC), emitido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, otorgada a proyectos que emplean el uso de fuentes de energías renovables [9], del mismo modo la Institución podrá participar en la certificación concedida por ECODES en la compensación de emisiones de CO₂, basándose principalmente en el aporte voluntario de entidades no lucrativas, proporcional a una suma de dinero por tonelada reducida, destinado a proyectos que disminuyen o absorben emisiones de CO₂eq [11].

Para el buen funcionamiento del sistema híbrido, se brindó a la Institución un instructivo para el adecuado mantenimiento de los elementos instalados previamente. El instituto no cuenta con personal competente para su correcta manipulación, por ende, se recomendó que los funcionarios autorizados reciban

capacitaciones y cumplan con las certificaciones exigidas; de no ser de esta manera se sugiere contratar personal capacitado para realizar esta actividad.

8. CONCLUSIONES

- En este trabajo se realizó un estudio de implementación de un Sistema Híbrido Renovable, para una zona que presenta intermitencia en el suministro de energía, se obtuvo un balance favorable para implementar el sistema con la combinación de la tecnología solar fotovoltaica y eólica, basado en el análisis realizado y los cálculos de radiación solar y velocidad del viento en el Instituto Luis Carlos Galán, teniendo en cuenta factores técnicos, ambientales, económicos y sociales.
- Teniendo en cuenta que en Colombia existe desconocimiento frente a los sistemas de energía renovable, se implementó un manual de funcionamiento que pretende instruir y fomentar el uso de energías alternativas, así mismo la correcta manipulación y cuidados a tener en cuenta para que sea adecuado y seguro.
- El proyecto logró el acercamiento e integración entre la Universidad Santo Tomás, Bogotá y zonas vulnerables, permitiendo satisfacer una necesidad latente como lo es la problemática de suministro eléctrico en el lugar.
- El proyecto permitió que los estudiantes de la Institución logren afianzar conocimientos para el dimensionamiento e implementación de sistemas de energía renovable en Colombia.
- Por medio del proyecto se puede establecer que es más eficiente el uso de energía solar frente al uso de energía eólica, esto debido a que específicamente en Colombia, el porcentaje de radiación solar es más persistente que la presencia de vientos. Sin embargo, la fusión de esos dos sistemas para la generación de electricidad tiene mayor viabilidad, debido a que pueden complementarse en ciertas horas y condiciones meteorológicas en el que uno de ellos no cuente con un buen desempeño para el aporte de transformación de energía.
- El uso de baterías reacondicionadas responde al buen funcionamiento del sistema, sin embargo su capacidad de almacenamiento es limitado, reduciendo el tiempo de autonomía durante horas en las cuales no se esté generando energía sino únicamente la almacenada en ellas.

9. RECOMENDACIONES

- Para el proyecto se recomienda la evaluación del funcionamiento por medio del comportamiento de la demanda total inicial, esta debe ser igual a la demanda total final en un periodo de tiempo de seis meses que es el máximo rendimiento de las baterías regeneradas. Si existiera alguna pérdida esta no deberá superar el 25%.
- Se recomienda gestionar el permiso a la empresa prestadora del servicio de energía ENEL, para la interconexión del sistema híbrido a la red nacional, de tal manera que al colocar un contador de doble sentido se puede descontar del recibo de cobro mensual la energía que se el sistema híbrido entrega a la red en las épocas en que no se utiliza el servicio.
- En general se recomienda fomentar el uso de energías renovables en Colombia, se plantean como la mejor solución de generación, al incrementar la combinación de fuentes renovables a la red existente, favorecen al medio ambiente y mejorar la eficiencia energética, reduciendo la contaminación.
- Se recomienda hacer el mantenimiento preventivo y correctivo según el manual de funcionamiento y sugerido anteriormente.
- Se recomienda invertir en tecnologías de energías alternativas y reconocer las ventajas ambientales de las fuentes renovables, en comparación con las tecnologías convencionales, para ayudar a contrarrestar la contaminación ambiental.
- Se recomienda a la Institución el continuo mantenimiento y reacondicionamiento de las baterías para el buen desempeño del sistema, sin embargo si se requiere de mayor autonomía se sugiere el cambio a baterías solares que poseen mayor tiempo de almacenamiento de la carga generada.
- Se recomienda a la Institución el cambio de luminarias fluorescentes a luminarias LED, con el fin de reducir la carga total de consumo energético y de esta manera abastecer más espacios académicos dentro del lugar.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

[1] “Altos de Cazucá: paradigma del conflicto armado en Colombia”, *Www2.congreso.gob.pe*, 2020. Available: [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con5_uibd.nsf/A06CDF76E72D2ABB05258264006FE61D/\\$FILE/garcirod.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con5_uibd.nsf/A06CDF76E72D2ABB05258264006FE61D/$FILE/garcirod.pdf).

[2] “Diseño e implementación de un sistema fotovoltaico híbrido y desarrollo de su regulador de carga aplicando instrumentación virtual. – PDF Free Download”, *Docplayer.es*, 2009. Available: <http://docplayer.es/16204690-Diseno-e-implementacion-de-un-sistema-fotovoltaico-hibrido-y-desarrollo-de-su-regulador-de-carga-aplicando-instrumentacion-virtual.html>.

[3] *Dane.gov.co*, 2020. [Online]. Available: https://www.dane.gov.co/files/censo2005/PERFIL_PDF_CG2005/25754T7T000.PDF.

[4] “Proyecto de Instalación Solar Fotovoltaica Para Bloque de Viviendas.”, *Riunet.upv.es*, 2016. Available: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/75816/PONS%20-%20PROYECTO%20DE%20INSTALACI%20c3%93N%20SOLAR%20FOTOVOLTCA%20PARA%20BLOQUE%20DE%20%20VIVIENDAS.pdf?sequence=4&isAllowed=y>.

[5] L. Espinosa, “DIMENSIONAMIENTO DE UNA RED ELECTRIA DOMICILIARIA RESPETUOSA CON EL MEDIO AMBIENTE”, *Repository.unimilitar.edu.co*, 2014. Available: <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/6830/DIMENSIONAMIENTO%20DE%20UNA%20RED%20ELECTRICA%20DOMICILIARIA%20RESPETUOSA%20CON%20EL%20MEDIO%20AMBIENTE.pdf;jsessionid=3E951D51A62A8A5999AB10D2006B4EF8?sequence=1>.

[6] C. Guevara, M. Perez. “Análisis de viabilidad del suministro de energía eléctrica a la granja la fortaleza ubicada en Melgar-Tolima mediante la implementación de un sistema solar fotovoltaico”, *Universidad Libre*, 2015. Available: <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/7962/Proyecto%20de%20grado%20final.%20Guevara%20y%20Perez.pdf;sequence=1>

- [7] “La importancia de reciclar las pilas”, *La Hipótesis Gaia*, 2020. Available: <https://www.lahipotesisgaia.com/la-importancia-de-reciclar-las-pilas>.
- [8] El Espectador, “Gustavo Petro entregó el primer colegio con sistema de energía solar en Bogotá”, 2015.
- [9] E. S.A.S., “Avanza la conexión de parques de energía eólica en el país”, *Larepublica.co*, 2020. Available: <https://www.larepublica.co/especiales/especial-minas-y-energia/avanza-la-conexion-de-parques-de-energia-eolica-en-el-pais-2786021>.
- [10] “Métodos de estimación del estado de carga de baterías electroquímicas”, *Upcommons.upc.edu*, 2020. Available: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/104855/TFG_Jaume_Martinez_Metodos_de_estimacion_del_estado_de_carga_de_baterias_electroquimicas.pdf.
- [11] P. compensación, “ceroco2”, *CeroCO2 Actuamos frente al Cambio Climático*, 2020. Available: <https://www.ceroco2.org/proyectos-de-compensacion/31-proyectos>.
- [12] “Atlas climatológico, radiación y viento”, *Ideam.gov.co*, 2020. Available: http://www.ideam.gov.co/documents/24277/72007220/PDF_ATLAS/83b33ddd-09ef-4fa6-9419-cdf8b26db260. [Accessed: 29- Jul- 2020].

ANEXOS

Anexo 1. Manual de funcionamiento para el adecuado desempeño del sistema híbrido

Anexo 2. Ficha técnica de los paneles solares



Anexo 3. Ficha técnica del aerogenerador

■ Technical parameter				
Rated power	100W	200W	300W	400W
Maximum power	130W	220W	310W	410W
Rated voltage	12V/24V	12V/24V	12V/24V	12V/24V
Start up wind speed	2.0m/s	2.0m/s	2.0m/s	2.0m/s
Rated wind speed	10m/s	11.5m/s	13m/s	13m/s
Survival wind speed	55m/s	55m/s	50m/s	50m/s
Top net weight	6kg	6.2kg	6.5kg	6.8kg
Wheel diameter	1.2m	1.3m	1.35m	1.4m
Blades number	3/5			
Blades material	Nylon fiber			
Generator	Three phase permanent magnet ac generator			
Magnetic steel	NdFeB			
Generator case	Die-casting aluminum			
Control system	Electromagnet			
Speed regulation	Automatically adjust windward			
Working temperature	-40℃ - 80℃			

Remarks: above data are for sales reference,not as part of contract,the company reserves the right to make changes without any further notice.

Anexo 4. Ficha técnica del controlador

5. Technical Data								
Model	NV12V030	NV12V040	NV12V050	NV12V060	NV48V030	NV48V040	NV48V050	NV48V060
Max Charging Current	30A	40A	50A	60A	30A	40A	50A	60A
Rated Voltage	12V/24V AUTO				48V			
Open Circuit Voltage of solar panel	< 50V				< 100V			
Float Voltage	13.7V/27.4V				54.8V			
Low Voltage Disconnection(LVD)	10.7V/21.4V				42.8V			
Low Voltage Reconnection(LVR)	12.6V/25.2V				50.4V			
No load loss	< 40mA				< 40mA			
Loop Voltage Drop	< 170mV				< 250mV			
Installation cable area	$\leq 16\text{mm}^2$							
Operating Temperature	$-10^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$							
Storage temperature	$-30^{\circ}\text{C} \sim 70^{\circ}\text{C}$							
Humidity requirements	$\leq 90\%$, no condensation							
Size	60 mm×165 mm×130 mm							
Mounting hole spacing	78 mm×154 mm— $\Phi 5$							
Charging Mode	PWM mode							
Temperature Compensation	$-4\text{mV}/\text{Cell}/^{\circ}\text{C}$							
Net Weight	620g							

Anexo 5. Ficha técnica del inversor

Parámetros eléctricos

MODELO		BEP150S	BEP300S	BEP500S	BEP600S	BEP800S
Salida	Potencia	150W	300W	500W	600W	800W
	Potencia de pico	300W	600W	1000W	1200W	1600W
	Frecuencia					
	Tipo de Onda					
Entrada	Voltage de Batería	12V / 24V (Opcional)	12V / 24V / 48V(Opcional)			
	Rango de voltaje	10-15V(12V) / 20-30V(24V) / 40-60V(48V)				
	Corriente sin Carga	0.6A(12V) 0.3A(24V)	0.8A(12V) 0.6A(24V) 0.3A(48V)	0.8A(12V) 0.6A(24V) 0.3A(48V)	0.6A(12V) 0.3A(24V)	0.8A(12V) 0.6A(24V) 0.3A(48V)
	Eficiencia	≥90%				
	Alarma voltaje bajo	11(12V) / 21V(24V) / 42V(48V)				
Protección entrada batería	Protección de Voltaje bajo en batería	10V±0.5V(12V) / 20V±0.5V(24V) / 40V±0.5V(48V)				
	Protección de Voltaje alto en batería	15V±0.5V(12V) / 30V±0.5V(24V) / 60V±0.5V(48V)				
	Protección de polaridad inversa	NO	SI	SI	SI	NO
	Protección adicional	Protección de alta temperatura, protección cortocircuito, protección sobrecarga				
USB		5V / 500mA				
Ventilación		Inicio automático del ventilador por alta temperatura de la carga, ventilación inteligente				
Rango de Operación		Temperatura 0°C-40°C@100% carga, Humedad 20%-90%RH, No refrigerar				
Dimensiones (mm)		160*95*55	172*150*58	260*150*78	262*150*76	309*180*172
Peso (gr)		530	910	1700	1800	3050

MODEL	BEP1000S	BEP1500S	BEP2000S	BEP3000S	BEP5000S	
Salida	Potencia	1000W	1500W	2000W	3000W	5000W
	Potencia de pico	2000W	3000W	4000W	6000W	10000W
	Frecuencia	50Hz / 60Hz(Opcional)				
	Tipo de Onda	Onda Pura				
Entrada	Voltaje de Batería	12V / 24V / 48V(Opcional)				12V / 24V (Opcional)
	Rango de voltaje	10-15V(12V) / 20-30V(24V) / 40-60V(48V)				
	Corriente	0.8A(12V) 0.6A(24V) 0.3A(48V)	1.8A(12V) 1.0A(24V) 0.5A(48V)	3.0A(12V) 1.5A(24V) 0.8A(48V)	3.8A(12V) 2.0A(24V) 1.2 (48V)	2.5A(24V) 1.4A(48V)
	Eficiencia	≥90%				
	Alarma voltaje bajo	11(12V) / 21V(24V) / 42V(48V)				
Protección entrada sistema	Protección de Voltaje bajo en batería	10V±0.5V(12V) / 20V±0.5V(24V) / 40V±0.5V(48V)				
	Protección de Voltaje alto en batería	15V±0.5V(12V) / 30V±0.5V(24V) / 60V±0.5V(48V)				
	Protección de polaridad inversa	NO				
Protección adicional	High temperature protection, Shortcircuit Protection, Overload Protection					
USB	5V / 500mA					
Ventilación	Inicio automático del ventilador por alta temperatura de la carga, ventilación inteligente					
Rango de Operación	Temperatura 0°C-40°C@100% carga, Humedad 20%-90%RH.No refrigerar					
Dimensiones (mm)	367*150*76	452*150*142	454*180*142	529*180*142	585*180*167	
Peso (gr)	2750	4000	4900	6020	8000	

Esta serie de inversores de onda sinusoidal pura es adecuada para:

Electrodomésticos: TV, refrigerador, congelador, lavadora, aire acondicionado, amplificador, cocina de inducción, ventilador eléctrico, cocina eléctrica Lámparas y linternas.

Anexo 6. Video del proceso para el reacondicionamiento de baterías de vehículos