

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA PARA  
LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS EÓLICOS  
Y/O HÍBRIDOS EN LA VEREDA SAN JOSÉ DEL  
CHOCHO - MUNICIPIO DE SILVANIA  
(CUNDINAMARCA), A PARTIR DE UN SISTEMA  
DE ADQUISICIÓN DE DATOS-DAQ**

**JENNY PAOLA FLOREZ MATAMOROS**

Código: 16214118

Auxiliar de investigación

**Universidad de Cundinamarca**

Ingeniería electrónica

Facultad de ingeniería

Fusagasugá, Colombia

2019

# **ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS EÓLICOS Y/O HÍBRIDOS EN LA VEREDA SAN JOSÉ DEL CHOCHO - MUNICIPIO DE SILVANIA (CUNDINAMARCA), A PARTIR DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS-DAQ**

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar por el título de  
ingeniero(a) electrónico(a)

**JENNY PAOLA FLOREZ MATAMOROS**

Código: 162214118

Auxiliar de investigación

Director:

**ING. FAIDER HUMBERTO BARRERO SÁNCHEZ**

Co-director:

**ING. CESAR AUGUSTO CASAS DIAZ**

Asesores:

**ING. LEONARDO RODRÍGUEZ MUJICA**

Línea de investigación:

Energías alternativas

**Universidad de Cundinamarca**

Facultad de ingeniería

Programa Ingeniería electrónica

Fusagasugá, Colombia

2019

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Fusagasugá \_\_\_ de \_\_\_\_\_ del \_\_\_\_\_

*A mi familia por su compañía y apoyo.*

*A mi madre por ser mi soporte y enseñarme que nunca es momento para rendirse.*

# Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a mi madre, por acompañarme y apoyarme incondicionalmente, para lograr desarrollarme como persona y profesional.

A mi papá por apoyarme en el inicio y parte del transcurso de la carrera, así como también a mis hermanos, abuelo y aquellas personas incondicionales como lo es Cristhian R, que creen en mis conocimientos y capacidades.

Agradezco a mis docentes de carrera, por compartir sus conocimientos y experiencias, que me servirán para el desarrollo de mi carrera.

Agradezco a mis compañeros de universidad, con quienes compartí grandes momentos, y se formaron lazos de amistad. Lo(a)s ingeniero(a)s Hernández, Cubillos, Amaya, Espinel, Casallas, Bonilla y Otálora.

A los ingenieros Faider Humberto Barrero y Cesar Augusto Casas, quienes me orientaron y apoyaron en la ejecución de mi trabajo de grado como auxiliar de investigación.

Por supuesto agradezco a Dios, y a todas las personas que directa o indirectamente han aportado a mi vida.

...

# Resumen

Las fuentes de energía renovables, en especial la energía fotovoltaica y eólica, han empezado a tener gran auge a nivel mundial debido a que las fuentes de energía no alternativas se han ido agotando con el tiempo, por ejemplo los combustibles fósiles (carbón, petróleo, etc.), y en muchos casos su utilización ocasionan un grave impacto al medio ambiente, otro punto que favorece el incremento del uso de las energías alternativas fotovoltaica y eólica a pequeña escala, es que existen zonas rurales en las que se hace complejo llevar el servicio de electricidad convencional, y en algunos donde se presta el servicio éste no es de la mejor calidad, por lo tanto procesos que se lleven a cabo en estos sectores se ven afectados.

Esta investigación, se desarrolló con el propósito de determinar la factibilidad para la implementación, de sistemas eólicos y/o híbridos eólicos-fotovoltaicos en la Vereda San José del Chocho, municipio de Sylvania-Cundinamarca, a través del análisis del recurso eólico de la zona, con el fin de complementar el sistema fotovoltaico encargado de alimentar una torre de telecomunicaciones que soporta una antena encargada de enviar el servicio de internet a diferentes nodos ubicados en la vereda Bosachoque en el municipio de Fusagasugá-Cundinamarca, debido a que se presentaba intermitencia en el suministro de energía que abastece dicha torre.

La metodología que se desarrolló para la investigación se dividió en cinco fases, que permitieron el diseño e implementación de un sistema de adquisición de datos para la detección del viento, la implementación de un aerogenerador trifásico de 400W y desarrollo de una página WEB para el monitoreo del funcionamiento del sistema híbrido eólico-fotovoltaico que se instaló.

Inicialmente se recolecto la información necesaria para el desarrollo de la investigación, posteriormente se hizo el diseño e implementación del sistema de detección de la velocidad del viento, donde se utilizó el sensor de proximidad E18-D80NK para detectar las RPM (velocidad angular) y transformarlas a m/s (velocidad tangencial), además se midió la dirección del viento con una veleta que hace uso de un potenciómetro de 100K. Para el procesamiento de la información se utilizó el microcontrolador ARDUINO MEGA, la transferencia de datos del sistema de telemetría que envía la información del funcionamiento del sistema híbrido, se hizo por medio del módulo WI-FI Board NodeMcu Lua WIFI v1.0 basado en ESP8266.

# Contenido

Resumen.....	vi
1. Capítulo 1: Contexto.....	12
2. Capítulo 2: Objetivos.....	15
2.1. Objetivo general.....	15
2.2. Objetivos específicos.....	15
3. Capítulo 3: Marco de referencia .....	16
3.1. Estado del arte .....	16
3.1.1. A nivel institucional .....	16
3.1.2. A nivel nacional .....	16
3.1.3. A nivel internacional.....	21
3.2. Estado de la técnica .....	28
3.3. Antecedentes de las energías renovables.....	30
3.3.1. Contexto internacional de las energías renovables.....	30
3.3.2. Contexto latinoamericano de las energías renovables.....	31
3.3.3. Contexto Colombiano de las energías renovables .....	32
3.4. Normatividad para la implementación de energías renovables en Colombia ..	36
3.4.1. Marco legal.....	36
3.5. Fundamentos teóricos .....	37
3.5.1. Fuentes de energías renovables .....	37
3.5.2. Energía solar.....	37
3.5.3. Energía solar fotovoltaica .....	37
3.5.6. Energía eólica.....	42
3.5.7. Aerogeneradores.....	43
3.5.8. Sistema de Adquisición de datos DAQ .....	50
4. Capítulo 4: Metodología.....	51
4.1. Recolección de información.....	52
4.2. Diseño de sistema de adquisición de datos para la detección de viento .....	56
4.2.1. Diseño sistema de detección de velocidad del viento .....	57
4.2.2. Diseño sistema de detección de dirección del viento.....	69
4.3. Implementación del sistema.....	73

4.3.1.	Implementación del sistema de detección de la velocidad del viento.....	73
4.3.2.	Instalación turbina eólica .....	75
4.3.3.	Implementación del sistema de detección de dirección del viento.....	80
4.3.4.	Desarrollo página WEB para la visualización de variables.....	81
4.4.	Verificación y validación .....	86
4.4.1.	Validación sistema de velocidad de viento .....	86
4.4.2.	Validación de pruebas del funcionamiento de la turbina eólica.....	88
5.	Capítulo 5: Análisis de resultados.....	92
5.1.	Velocidad y dirección del viento en San José del Chocho, Silvania.....	92
5.2.	Funcionamiento sistema fotovoltaico .....	97
5.2.1.	Eficiencia del sistema fotovoltaico Vs La turbina eólica.....	100
6.	Capítulo 6: Financiación.....	102
7.	Conclusiones y trabajos futuros.....	103
8.	Recomendaciones.....	105
9.	Glosario.....	106
10.	Referencias .....	107
Apéndice 1: MANUAL DE USUARIO DE LA HERRAMIENTA WEB DE MONITOREO DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA EÓLICO-FOTOVOLTAICO.....		114
A.1.1.	SOBRE LA HERRAMIENTA WEB DE MONITOREO.....	114
A.1.2.	INSTALACIÓN Y REQUISITOS .....	114
A.1.3.	FUNCIONAMIENTO.....	114
A.1.3.1.	INICIO .....	114
A.1.3.2.	GRAFICAS EN TIEMPO REAL.....	117
A.1.3.3.	BOTÓN “Ver otras graficas” .....	119

# Índice de figuras

Figura 1. Topología física de la red comunitaria en Bosachoque en 2018 .....	13
Figura 2. Sistema Fotovoltaico instalado en la Vereda San José del Chocho, Silvania .....	14
Figura 3. Resultados del diseño de sistema fotovoltaico en HOMER. ....	22
Figura 4. Curva característica de una turbina eólica. ....	23
Figura 5. Corriente-voltaje (I-V) característicos de un sistema fotovoltaico.....	24
Figura 6. Potencia-voltaje (P-V) característicos de un sistema fotovoltaico.....	24
Figura 7. Adiciones anuales de capacidad de energía renovable, por tecnología y total, 2012-2018.....	30
Figura 8. Cuota estimada de energía renovable en la producción mundial de electricidad, finales de 2018.....	31
Figura 9. Departamentos con más proyectos avalados por UPME de energías renovables en Colombia para el 2019. ....	34
Figura 10. Mercado de las energías renovables por departamentos en Colombia. ....	35
Figura 11. Estructura básica de una celda fotovoltaica.....	38
Figura 12. Elementos de una instalación solar fotovoltaica. ....	40
Figura 13. Funcionamiento de una placa de energía eólica domestica off-grid.....	43
Figura 14. Partes del aerogenerador .....	44
Figura 15. Anemómetro de 3 cazoletas .....	47
Figura 16. Anemómetro digital de hélice .....	47
Figura 17. Sensor de dirección de viento (veleta).....	48
Figura 18. Escala de velocidades del viento.....	48
Figura 19. Partes del sistema de adquisición de datos DAQ.....	50
Figura 20. Diagrama de bloques de la metodología implementada.....	51
Figura 21. Etapas de la fase 1: Recolección de información .....	52
Figura 22. Graficas velocidad (a) y dirección del viento (b) tomadas de la NASA, 2019 .....	54
Figura 23. Grafica del rango de velocidad del viento tomadas de la NASA, 2019 .....	54
Figura 24. Gráfica de radiación normal directa en San José del Chocho, NASA .....	55
Figura 25. Ubicación del municipio de Silvania (a), mapa de vientos anuales Cundinamarca (b).....	55
Figura 26. Estructura del Nodo Principal de la red de Bosachoque.....	56
Figura 27. Sistema de telemetría.....	57
Figura 28. Diagrama diseño sistema de detección de la velocidad del viento .....	58
Figura 29. Dimensiones del generador eólico .....	61
Figura 30. Partes de la turbina eólica.....	61
Figura 31. Partes y modo de operación sensor E18-D80NK .....	62
Figura 32. Conexión sensor de proximidad E18-D80NK al microcontrolador Arduino .....	63
Figura 33. Diseño estructura de soporte para el sensor E18-D80NK.....	65
Figura 34. Diagrama de flujo Algoritmo detección velocidad del viento .....	69

Figura 35. Diseño sistema de detección de dirección del viento.....	70
Figura 36. Conexión potenciómetro a la placa de Arduino Mega.....	71
Figura 37. Diagrama de flujo Algoritmo detección dirección del viento.....	72
Figura 38. Rosa de los vientos.....	73
Figura 39. Implementación sistema velocidad de viento.....	74
Figura 40. Proceso de instalación de la turbina eólica.....	76
Figura 41. Diseño estructura de soporte para la turbina eólica.....	77
Figura 42. Instalación estructura de soporte del sistema eólico.....	78
Figura 43. Aparatos de red y radioenlaces almacenados en la caja contenedora de la Torre de comunicación en San José.....	79
Figura 44. Sistema de detección de la dirección del viento.....	80
Figura 45. Diagrama de bloque del proceso para el desarrollo de la página WEB.....	81
Figura 46. Arquitectura de tres capas aplicado a herramienta WEB desarrollada.....	82
Figura 47. Herramientas usadas para el desarrollo de la página WEB.....	83
Figura 48. Diagrama ER (entidad relación) de la base de datos del sistema eólico-fotovoltaico.....	84
Figura 49. Inicio página WEB ( <a href="https://proyectomacro.000webhostapp.com/">https://proyectomacro.000webhostapp.com/</a> ).....	85
Figura 50. Gráfico de dispersión prueba No. 1 para la validación del sistema de detección de viento.....	87
Figura 51. Gráfico de dispersión prueba No. 2 para la validación del sistema de detección de viento.....	88
Figura 52. Conexiones internas y externas del sistema de Adquisición de datos.....	89
Figura 53. Gráfica de la velocidad (a) y dirección (b) del viento en San José del Chocho, Sylvania.....	93
Figura 54. Gráfica de la velocidad (a) y dirección (b) del viento en San José del Chocho, Sylvania.....	94
Figura 55. Graficas de Velocidad de viento en San José para los días 6,7,8,9,10 de octubre de 2019.....	96
Figura 56. Graficas de potencias generadas por el panel solar ubicado en San José para los días 6,7,8,9,10 de octubre de 2019.....	98
Figura 57. Estado de las baterías del sistema de energía de San José del Chocho 5-11 de octubre 2019.....	99
Figura 58. Costos del proyecto desarrollado.....	102

# Índice de tablas

Tabla 1. Energía eólica estimada anual a 50 m en Bucaramanga.....	17
Tabla 2. Cuadro comparativo costos de inversión SIN Vs SFV.....	19
Tabla 3. Emisiones de Gases Efecto Invernadero emitidos por SFV.....	19
Tabla 4. Aceptación de las RES en Colombia.....	20
Tabla 5. Patentes sobre sistemas fotovoltaicos y eólicos, entre 2010-2018.....	28
Tabla 6. Proyecciones de las FNCE del plan de desarrollo de la UPME 2011-2020 en Colombia.....	32
Tabla 7. Capacidad instalada de las FNCE en Colombia.....	33
Tabla 8. Potencial de energía solar en Colombia.....	33
Tabla 9. Potencial de energía eólica en Colombia.....	33
Tabla 10. Elementos de un sistema fotovoltaico aislado.....	38
Tabla 11. Partes de un aerogenerador.....	44
Tabla 12. Clasificación de los anemómetros según su operación.....	47
Tabla 13. ventajas y desventajas de la energía eólica.....	49
Tabla 14. Generador eólico de 400W a 12V/24V AC usado en el proyecto.....	59
Tabla 15. Parámetros técnicos del generador utilizado.....	60
Tabla 16. Características sensor de proximidad infrarrojo E18-D80NK.....	63
Tabla 17. Eventos detectados por las interrupciones de Arduino.....	64
Tabla 18. Pines disponibles en ARDUINO MEGA para las Interrupciones.....	64
Tabla 19. Anemómetro usado para validación del sistema detector de viento.....	65
Tabla 20. Parámetros a tener en cuenta para el desarrollo del algoritmo.....	68
Tabla 21. Características del soporte para el sensor de velocidad de viento.....	75
Tabla 22. Prueba No. 1 para la validación de prototipo de velocidad del viento.....	86
Tabla 23. Prueba No. 2 para la validación de prototipo de velocidad del viento.....	87
Tabla 24. Datos de la NASA de velocidad y dirección San José del Chocho a 10M de altura.....	92
Tabla 25. Datos del sistema desarrollado de velocidad y dirección San José del Chocho a 4.2M de altura.....	93
Tabla 26. Cuadro de cargas final.....	99

# 1. Capítulo 1: Contexto

---

El proyecto de investigación “ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS EÓLICOS Y/O HÍBRIDOS EN LA VEREDA SAN JOSÉ DEL CHOCHO - MUNICIPIO DE SILVANIA (CUNDINAMARCA), A PARTIR DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS-DAQ”, fue aprobado y financiado a través de convocatoria interna del semillero de investigación SIAMEL y el grupo de investigación GIGGAT en mayo de 2018, desarrollado por estudiantes vinculados en calidad de auxiliares de investigación.

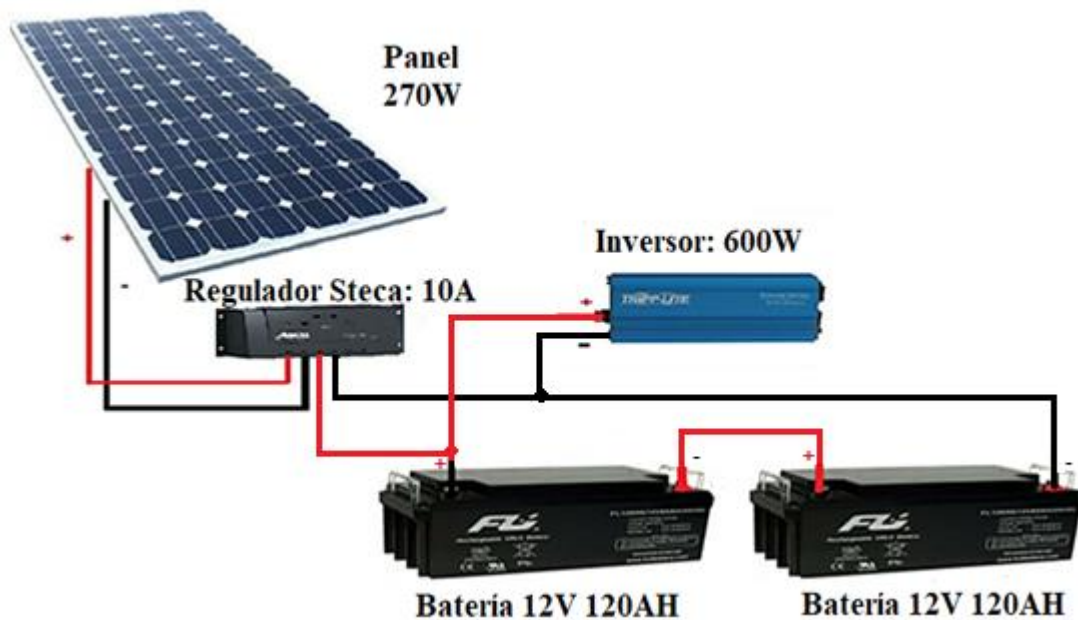
Este proyecto se encuentra dentro del marco del Macro proyecto de investigación de la Facultad de ingeniería “REDES LIBRES COMO ALTERNATIVA DE INNOVACIÓN SOCIAL E INCLUSIÓN DIGITAL EN LA VEREDA BOSACHOQUE DEL MUNICIPIO DE FUSAGASUGÁ”, cuyo objetivo principal fue construir una red digital inalámbrica de propiedad comunitaria, de libre acceso, autogestionada, haciendo uso de prototipos de bajo costo y energías renovables en la vereda Bosachoque del municipio de Fusagasugá, como alternativa de inclusión digital y fortalecimiento de sus comunicaciones locales, fácilmente replicable por personas de cualquier población del país.

Por lo anteriormente expuesto, el proyecto desarrollado dio continuidad a subproyectos ejecutados por pasados auxiliares de investigación, principalmente se tuvo en cuenta los proyectos enfocados a la implementación y adecuación del sistema de energía fotovoltaico, que actualmente está funcionando en la Vereda San José del Chocho en el municipio de Silvania (Cundinamarca), que cuenta con las coordenadas latitud 4.372452 y longitud -74.429544. El sistema de energía mencionado, se encarga de alimentar la torre de telecomunicaciones que da soporte a los equipos de red y radio enlaces que hacen posible el envío de internet a los diferentes nodos ubicados en la Vereda Bosachoque, esto se debe a que la torre de telecomunicaciones o nodo principal donde se encuentra la antena receptora rocket M5 Prism de Ubiquiti, se comunica con una antena transmisora rocket M5 Prism de Ubiquiti que tiene la cobertura inicial del servicio de internet en la Universidad de Cundinamarca. El nodo principal también maneja cobertura de internet para la familia dueña del terreno donde está instalada la torre, esta a su vez soporta una antena sectorial con apertura de 90° que transmite enlaces multipunto a los diferentes nodos ubicados en la vereda Bosachoque, que benefician de internet a más de veinte familias y a la Escuela primaria Bosachoque donde estudian más de cien niños.



compensen los vacíos de energía que se generan, pero nace la pregunta ¿Es suficiente la velocidad del viento que se presenta en la zona, para que trabaje el mini generador eólico y genere la potencia necesaria, para que las baterías mantengan una mayor corriente de carga que de descarga en todo del tiempo de funcionamiento?

Para dar respuesta a la anterior pregunta, en el desarrollo de este trabajo se hace el estudio de factibilidad en la zona y se diseña el sistema de detección de viento, para determinar si es conveniente instalar de forma permanente un sistema de energía eólica. Además, el auxiliar de investigación (Bonilla Diaz, 2019) ejecuta en paralelo un proyecto, para mejorar la parte de protección eléctrica del e implementar el sistema de Adquisición de datos usado en el estudio de factibilidad.



*Figura 2. Sistema Fotovoltaico instalado en la Vereda San José del Chocho, Silvania  
Fuente: Tomada de (Tobon Perdomo, 2018) y editada por Autor*

## **2. Capítulo 2: Objetivos**

---

### **2.1. Objetivo general**

Realizar un estudio de factibilidad técnica en la Vereda San José del Chocho (Silvania-Cundinamarca), para la implementación de sistemas eólicos y/o híbridos eólico-fotovoltaicos.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Recolectar información acerca del estado del arte, estado de la técnica, antecedentes y normatividad, relacionada al proyecto.
- Diseñar e implementar un sistema de adquisición de datos-DAQ, para la detección de viento.
- Verificar y validar los resultados obtenidos en el estudio aplicado en la Vereda San José del Chocho.
- Generar productos bibliográficos y tecnológicos.

## **3. Capítulo 3: Marco de referencia**

---

### **3.1. Estado del arte**

Para el desarrollo del estado del arte se buscaron publicaciones arbitradas que tuvieran su respectivo DOI o ISBN, que manejaran temáticas relacionadas con el uso y aplicación de las energías renovables en la región del Sumapaz, en Colombia y a nivel internacional. Además, se investigo acerca del diseño y construcción de sistemas de adquisición de datos. Esta información fue clasificada según los contextos institucional, nacional e internacional.

#### **3.1.1. A nivel institucional**

En la Universidad de Cundinamarca se han desarrollado algunas investigaciones enfocadas al uso de la energía solar Fotovoltaica, pero no se encontraron trabajos dirigidos a la energía eólica. En el año 2017, se diseñó e implemento un sistema de energía fotovoltaica en Anapoima (Cundinamarca) en una vivienda ubicada en la vereda Golconda, este trabajo se desarrolló en 5 fases denominadas: Estudio radiación solar lumínica, demanda energética de la vivienda, inclinación del panel solar, etapas de potencia y validación del prototipo. (Escamilla Rojas & Romero Sánchez, 2017).

En el trabajo presentado por (Cruz Pardo & Sanabria Perez, 2018), se hizo una evaluación comparativa del rendimiento energético de un sistema fotovoltaico autónomo con carga variable en DC utilizando panel solar monocristalino versus policristalino, en condiciones climáticas del municipio de Fusagasugá. En este estudio se hizo uso, de los datos de radiación solar que proporciona el IDEAM y La NASA, el sistema estaba compuesto por un panel solar de 20W monocristalino y un panel de 20W policristalino, dos reguladores de 10 Amperios cada uno, dos baterías secas de 12 amperios a 12 voltios y cargas en DC variable conectadas a cada uno de los módulos; en el sistema de adquisición de datos se empleó la tarjeta Arduino Mega 2560, Un módulo RTC (Real Time Clock) o "Reloj de tiempo real Ds3231, sensor de temperatura y humedad DHT11, módulo sensor de corriente Acs742, modulo sensor de voltaje, modulo SD card , un módulo I2C y una lcd 2x16.

#### **3.1.2. A nivel nacional**

Colombia es un país que presenta grandes características meteorológicas, debido a su variedad de climas y a su geografía, que favorecen la implementación de sistemas

alternativos de energía, por ello se han llevado a cabo estudios e investigaciones en diferentes regiones y ciudades, así es como en el año 2010 en el departamento del Atlántico, región del Caribe se analizó el potencial energético solar para el diseño de un sistema fotovoltaico a partir del análisis de los mapas de radiación solar de Colombia proporcionados por el IDEAM, por consiguiente estos permiten obtener parámetros de construcción, y viabilidad técnica. En este proyecto desarrollado por el programa de Ingeniería Eléctrica-CUC en convenio con la Fuerza Aérea (CAMCON3), se estudió el consumo real procedente de las medidas tomadas en la Fuerza Aérea CAMCON3 (Ospino Castro, 2010).

En la ciudad de Bucaramanga (Colombia), también se analizó el potencial solar y además el eólico, con el fin de obtener parámetros característicos que permitieran evaluar el recurso energético en la zona. Para ello, se consideraron mediciones horarias de variables como radiación solar, temperatura ambiente, velocidad y dirección del viento para los años 2010, 2011 y 2012, en cuatro puntos estratégicos de la ciudad. El análisis de los datos del viento en esta investigación se realizó mediante la función de distribución (FDP) de Weibull y para la estimación de los parámetros se utiliza el método SEM (Statistic Estimation Method). Como resultado se obtiene que, el recurso eólico es escaso en la ciudad de Bucaramanga, las velocidades medias registradas para las cuatro estaciones, para los años en los cuales se cuenta con más del 90% de los registros horarios, no supera 1,5 m/s. En la Tabla 1 se presenta un estimado de la energía disponible de acuerdo a los histogramas de viento para cada una de las estaciones de estudio.

*Tabla 1. Energía eólica estimada anual a 50 m en Bucaramanga.*

<b>Estación</b>	<b>Año</b>	<b>[kWh/m<sup>2</sup>]</b>
<b>E1</b>	2010	212.12
	2011	205.24
	2012	207.91
<b>E2</b>	2010	196.38
	2011	189.94
<b>E3</b>	2010	235.22
	2011	208.421
	2012	230.02
<b>E4</b>	2010	45.97

*Fuente: Tomada de (Barrios, López, Pinto, & Ordóñez, 2014).*

Con lo anterior se concluyó que no es viable técnicamente, la instalación de aerogeneradores a pequeña y gran escala, debido a que se requiere una velocidad media de viento mínima de 6 m/s a 50 m de altura. No obstante, este estudio permitió identificar que los vientos que presentan el mejor recurso son los que se encuentran en el Centro de la ciudad, provenientes en su mayoría de las montañas que llevan hasta el Aeropuerto Internacional Palonegro, ubicado en el municipio de Lebrija. Por tanto, se presume que dicha zona, a las afueras de la ciudad, podría tener atractivo para la generación eólica. A diferencia del recurso eólico, el recurso solar es adecuado para el desarrollo de proyectos de generación fotovoltaica (Barrios, López, Pinto, & Ordóñez, 2014).

Así mismo se investiga sobre el impacto ambiental de la implementación de las energías eólica y solar, de esta manera en un estudio realizado en la Guajira se usó la metodología de la línea base (describe la situación en que se encuentra el lugar de ubicación del proyecto, dicha descripción incluye los factores bióticos (flora y fauna), abióticos (aire, agua, suelo, paisaje, clima), y socioeconómicos de la zona de estudio). La identificación y evaluación de impactos se realizó mediante el método simplificado de Conesa (método que evalúa cada impacto identificado mediante 10 criterios diferentes: intensidad, extensión, momento, persistencia, reversibilidad, recuperabilidad, sinergia, acumulación, efecto y periodicidad), dentro de los resultados obtenidos se destaca que los impactos no son significativos en las etapas de construcción y desmonte de un sistema solar fotovoltaico, estos procesos no son permanentes y en operación los impactos son prácticamente nulos, pues estos se reducen a tareas de mantenimiento. (Pasqualino, Cabrera, & Vanegas Chamorro, 2014).

Otra zona colombiana donde se investiga el uso de la energía solar es la ciudad de Casanare. Se realizó una investigación de tipo descriptivo e investigación aplicada de campo, donde se valoró la instalación de doscientos seis (206) paneles solares en viviendas rurales aisladas del municipio de Hato Corozal, Casanare. Para la selección del suministro de energía se analizaron aspectos como la cantidad de energía demandada, la disponibilidad del recurso y el desempeño mínimo esperado. Puesto que en esta zona los beneficiarios se encuentran muy dispersos la opción de extender redes de energía convencionales se hace demasiado costosa sumado a la baja demanda que se tendría, en este sentido el uso de los sistemas fotovoltaicos se hace interesante por su bajo costo, en la Tabla 2 se presenta un comparativo de costos de inversión del SIN (Sistema de Interconexión Eléctrica Nacional) versus El SFV (Sistema Fotovoltaico) para suministro de energía eléctrica a una vivienda rural de estrato 1 en el departamento de Casanare. (Rúa, Barrera, & Gómez, 2017)

Tabla 2. Cuadro comparativo costos de inversión SIN Vs SFV.

	SIN		S. FV
	Red rural 13.2 KV	Red rural baja tensión	Aislado
<b>Costo de inversión</b>	\$22,351,780	\$21,247,050	\$19,991,700
<b>Distancia vivienda</b>	750 m	600 m	10 m

Fuente: Empresa de Energía del Casanare, (2003).

En el análisis ambiental de esta investigación se destaca que el SFV emite un 71,3% menos de GEI (Gases Efecto Invernadero) que los que emite el SIN, Tabla 3.

Tabla 3. Emisiones de Gases Efecto Invernadero emitidos por SFV.

Tipo de fuente	Energía producida SFV kW/año	Emisiones GEI	
		g CO <sub>2eq</sub> /kWh	kgCO <sub>2eq</sub> /año
<b>SIN Colombia</b>	1251	195	244
<b>Solar FV 1110 Wp</b>	1251	56	70
<b>Reducción emisión</b>			174
<b>% Reducción emisión</b>			71.3%

Fuente: Tomado de (Rúa, Barrera, & Gómez, 2017).

En Colombia más de la mitad del territorio nacional está conformado por zonas no interconectadas (NIZ), esto significa que gran parte de la población colombiana se encuentra eléctricamente aislada de las redes de energía convencional. En el documento de (Hernandez, 2015) se muestra el resultado del análisis de los principales proyectos desarrollados en departamentos con NIZ, donde se destaca el gran potencial solar que se puede encontrar en Colombia, y que puede ser explotado a través de la financiación del gobierno o entidades de carácter gubernamental que permitan desarrollar proyectos de energía solar fotovoltaica en NIZ, con el fin de mejorar la situación socio-económica de estas zonas; el problema es que en Colombia se refleja una debilidad institucional que parte de la incapacidad de los municipios para gestionar proyectos ante los fondos de financiación, así como un desaprovechamiento de las fuentes renovables en zonas como el Choco y Caquetá (Flórez, Tobón, & Castillo, 2009).

En el artículo presentado por (Rosso & Kafaro, 2015) se hace énfasis en las barreras sociales, políticas y económicas que no han permitido el desarrollo de las energías renovables (RES), esto se determinó a partir de 200 encuestas validadas para una distribución de funcionarios del gobierno, investigadores, vendedores, proveedores e instituciones financieras, al evaluar la aceptación de RES, en la Tabla 4, se puede ver que las energías Mini y Micro hidráulicas tienen mayor aceptación.

Tabla 4. Aceptación de las RES en Colombia.

<b>Aceptabilidad de las RES (Energías renovables)</b>			
<b>RES</b>	<b>%Alta aceptación</b>	<b>%Media aceptación</b>	<b>%Baja aceptación</b>
<b>Eólica</b>	65.7	24.2	10.1
<b>Eólica</b>	49.5	40.1	10.1
<b>Biomasa</b>	74.5	25.6	-
<b>Mini y micro hidráulico</b>	81.3	16.5	2.2
<b>Geotérmica</b>	8.5	58.5	33.0

Fuente: Tomado de (Rosso & Kafaro, 2015).

Los generadores trifásicos son máquinas ampliamente utilizadas como fuentes de energía eléctrica. Es común encontrarlos asociados a sistemas de alimentación alternativos como grupos electrógenos, micro centrales hidráulicas y generadores eólicos. Usualmente estos generadores, de baja y media potencia, no cuentan con la instrumentación adecuada para que el usuario pueda establecer su correcto funcionamiento. Es por eso que (Duarte & Fernández Morales, 2014), en su trabajo desarrollado en el Grupo de Energía y Aplicación de Nuevas Tecnologías (GEANT), Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), describen el diseño y puesta a punto de un sistema para la medición de las variables asociadas a un generador trifásico, este sistema permite la lectura, en tiempo real, de la corriente, voltaje, frecuencia y secuencia de fases asociadas a un generador trifásico. El procesamiento de la información se realiza con microcontroladores PIC 16F873, a los cuales se adaptaron los transformadores de medida y demás dispositivos para el acondicionamiento de las señales.

En varias investigaciones, estudios y trabajos realizados en torno al manejo de las energías renovables, especialmente la eólica y fotovoltaica, es importante analizar variables características, como voltajes, corrientes, velocidad del viento, dirección del viento, radiación solar y entre otras variables presentes en estos sistemas, para determinar si el potencial energético generado por los sistemas es viable técnica y económicamente para la instalación de los mismos. Es por eso que los sistemas de adquisición de datos juegan un papel importante para el tratamiento de la información obtenida al censar dichas variables. De acuerdo a lo anterior se recopiló una serie de artículos que tratan acerca de algunos sistemas de adquisición de datos o sistemas de telemetría desarrollados en Colombia.

A nivel nacional, se halló que el uso de la instrumentación virtual es de utilidad para la medición y evaluación de diferentes variables, como lo propone el Grupo de Procesos y Soluciones Energéticas (GP&SE) de la Universidad Central en Bogotá (Aristizábal

Cardona, Peña Wilches, & Botero Londoño, 2013) y en ocasiones se hace necesario llevar la supervisión de procesos a ciertas distancias (por ejemplo supervisar la potencia de salida de un sistema fotovoltaico ubicado en una zona de difícil acceso), en varios procesos se hace uso del sistema SCADA que es un software que se encarga de supervisar sensores y tomar acciones para generar un control de procesos que se encuentran a cierta distancia, pero la adquisición de estos sistemas es muy costosa, por esto (Herrera, Barrios, & Pérez, 2014) proponen un sistema alternativo SCADA inalámbrico con Arduino y Xbee, compatible con LabVIEW, haciendo bastante interesante el uso del módulo de comunicación Xbee y el software LabVIEW, como también lo plantea (Gómez Monsalve & Durán Acevedo, 2014) en su trabajo para la adquisición de señales en sistemas multisensoriales.

En San Joaquín en el departamento de Cundinamarca también se hace el aprovechamiento de la radiación solar, en el año 2015 se desarrolló un sistema de generación de energía solar en un centro vacacional ubicado en la inspección municipal de este lugar, debido a que el sistema de energía convencional presenta fallas, sumado a los altos costos del servicio de energía. Para el diseño del sistema inicialmente se hace un estudio y dimensionamiento del mismo, debido a que el consumo de potencia es alto al tratarse de un centro vacacional y además se debe abastecer una motobomba que se encarga del funcionamiento de una piscina. Además, se hace el diseño de un sistema de telemetría (tecnología usada para medir diferentes magnitudes físicas de manera remota, por medio de la monitorización automática) para monitorear el funcionamiento del sistema fotovoltaico, ya que en el centro no se cuenta con una persona capacitada que este revisando el funcionamiento del panel solar ni las baterías. De esta manera el propietario podrá monitorear el sistema de forma local. Se hizo uso de sensores de corriente, voltaje, temperatura, el microcontrolador ARDUINO MEGA, y el software LABVIEW para el diseño de la interfaz gráfica del sistema de telemetría. (Narvárez López & Méndez Pardo, 2015)

### **3.1.3. A nivel internacional**

Siguiendo la línea de países americanos, Cuba no se queda atrás a la hora de hacer publicaciones sobre la implementación de sistemas de generación de energía alternativa a pequeña escala. Se encuentran dos publicaciones donde se consideran dos puntos importantes a través de simulaciones en el programa HOMER; el dimensionado mediante simulación de sistemas de energía solar fotovoltaica, logrando establecer que no siempre los sistemas de mayor calidad, son los de mayor costo (Rodríguez & Sarmiento, 2011) y el modo complementario del sistema híbrido eólico-fotovoltaico, resaltando las ventajas de este sistema al ser capaz de atenuar la intermitencia en el suministro de energía, dado que esta proviene de dos fuentes

(Ortega & Cabrera, 2013), también en Brasil (Almeida, Seraphim, Lima, Cremasco, & Ferrari, 2016) se trabajó en esta clase de sistema híbrido, resaltando la mayor producción de energía de los paneles durante el día y el buen rendimiento de la turbina eólica durante la noche. En Nicaragua (Aguilera, 2014) en su artículo indico el uso de equipos de medición de variables meteorológicas para su estudio, y por último como país americano participa Estados Unidos con la publicación “*Design and implementation of hybrid renewable energy systems on micro-communities: A review on case studies*”, que tiene como objetivo revisar varios tipos de proyectos desarrollados en diferentes micro-comunidades, tanto en casos de implementación real como solo en estudios de evaluación (Neves, Silva, & Connors, 2014).

Pasando al continente europeo, en España en el artículo “*Simulation and optimization of stand-alone hybrid renewable energy systems*”, se revisan las técnicas de simulación y optimización, así como las herramientas existentes que se necesitan para simular y diseñar sistemas híbridos independientes para la generación de electricidad (Bernal Agustín & Dufo López, 2009), posteriormente, se analizó el porcentaje de participación de cada fuente de energía y se desarrolló una estrategia para optimizar el tamaño de los subsistemas de generación y almacenamiento de energía (Moriana, Martin, & Sanchis, 2010). Así mismo en Tanzania (Grecia) se hace interesante el uso de energía limpias, enfocándose su aplicación en zonas rurales con el artículo “*On Powering Communication Networks in Developing Regions*”, este proyecto es muy similar a lo que se planteó desarrollar en este trabajo de grado, en vista de que tiene como fin el establecimiento de redes de banda ancha comunitarias sostenibles en áreas donde hay demanda, pero no hay oferta de servicios de banda ancha y donde uno de los principales desafíos resulta ser un suministro de energía confiable (Nungu, Olsson, & Pehrson, 2011).

El uso de las herramientas Simulink del software MATLAB y el software HOMER, se hacen interesantes para modelar y diseñar sistemas Fotovoltaicos y eólicos a través de simulaciones como lo proponen (Uzunoglu, Onar, & Alam, 2009) al modelar un sistema híbrido en Simulink/MATLAB® y SimPowerSystems® y (Vojtek, Kolcun, Mikita, & Špes, 2016) hacen un diseño y simulación también en Simulink/MATLAB® y HOMER.

	PV (kW)	6FM200D	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Capacity Shortage
	100	180	12	\$ 143,668	2,040	\$ 169,746	0.276	1.00	0.13

Figura 3. Resultados del diseño de sistema fotovoltaico en HOMER.  
Fuente: Tomado de (Vojtek, Kolcun, Mikita, & Špes, 2016).

Por otro lado, y pasando al continente asiático, se analizaron algunas problemáticas existentes en los sistemas eólico o fotovoltaico. El tema del envejecimiento de una turbina eólica y sus componentes es inevitable, lo que afectara la confiabilidad y la generación de energía de la turbina a lo largo del tiempo, por lo tanto, realizar la evaluación del envejecimiento de las turbinas eólicas es importante no solo para optimizar la estrategia de operación y mantenimiento de la turbina eólica sino en el caso de los parques eólicos mejorar la gestión de estos (Dai, Yang, Cao a, Liu a, & Long, 2017), otro punto importante a tratar de los parques eólicos, son las características de los recursos dependiendo de donde estén ubicados estos, pues las características meteorológicas (la topografía del flujo de aire) de un lugar montañoso son más cambiantes y complicadas que las de un lugar plano (Dai, Yang, Cao a, Liu a, & Long, 2017). Se pueden presentar problemas con la potencia de salida del sistema eólico o fotovoltaico, por eso se hace necesario reducir perdidas en el proceso de aprovechamiento, (Ostia Jr, y otros, 2017) en su trabajo plantea el uso de PZT para solucionar este problema y para establecer el rendimiento general del sistema, utiliza parámetros como velocidad del viento, velocidad de la hélice, voltaje y corriente de salida. Además (Kalaivani, Divyalakshmi, & Subramaniam, 2018) para el manejo de la potencia de salida, propone el manejo de convertidores de potencia. En la Figura 5 se puede observar la curva característica de un sistema eólico.

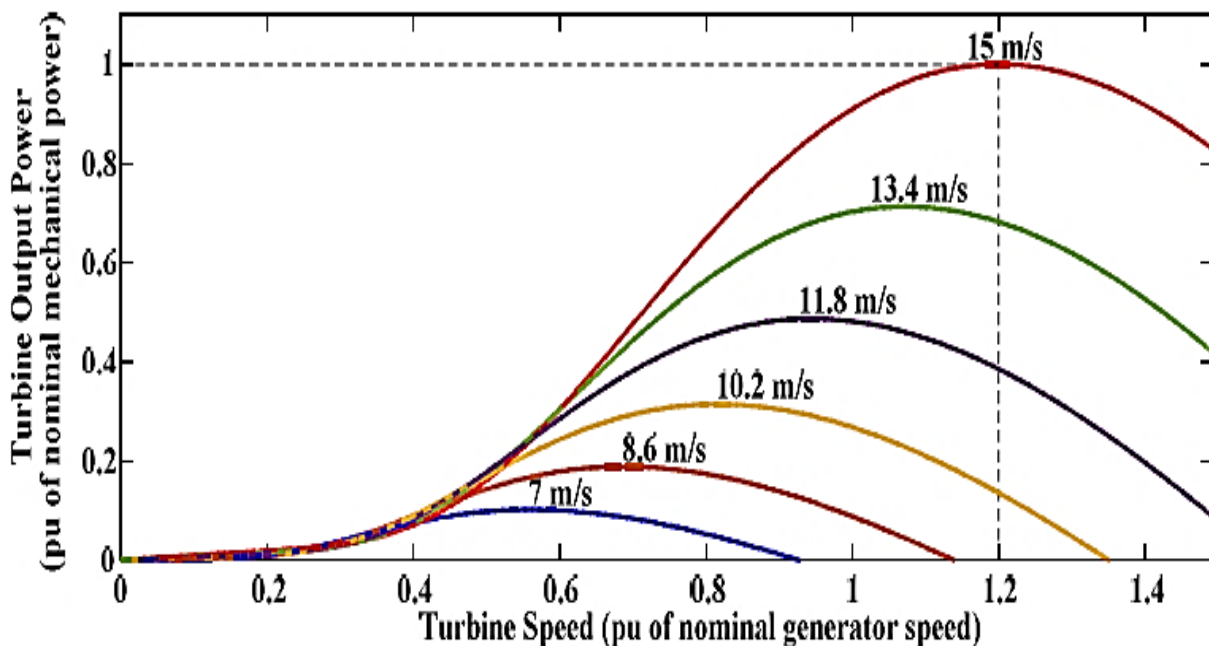


Figura 4. Curva característica de una turbina eólica.  
Fuente: Tomado de (Noureldeen & brahim, 2018).

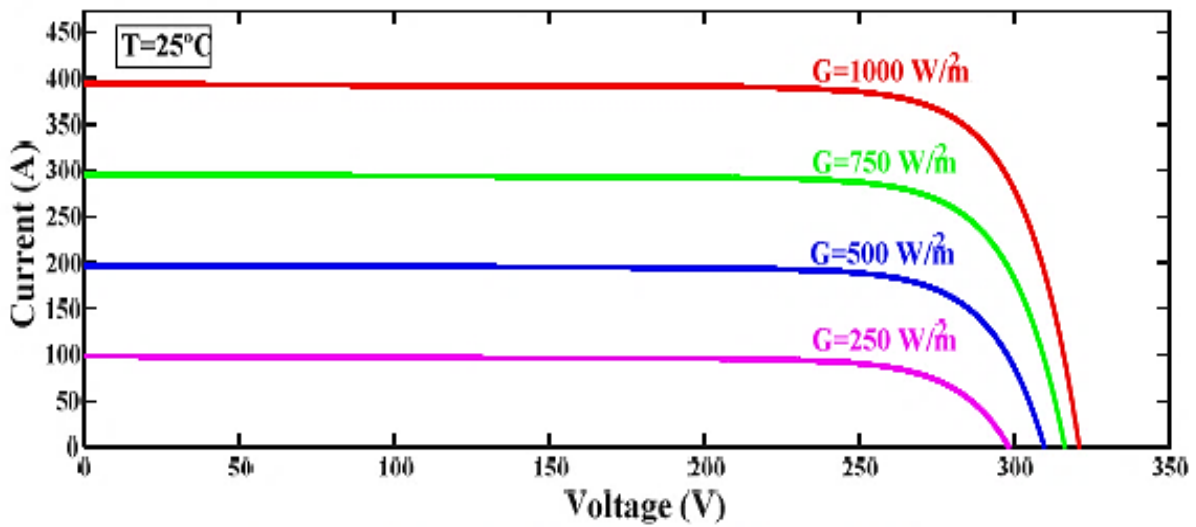


Figura 5. Corriente-voltaje ( $I$ - $V$ ) característicos de un sistema fotovoltaico.  
Fuente: Tomado de (Noureldeen & brahim, 2018).

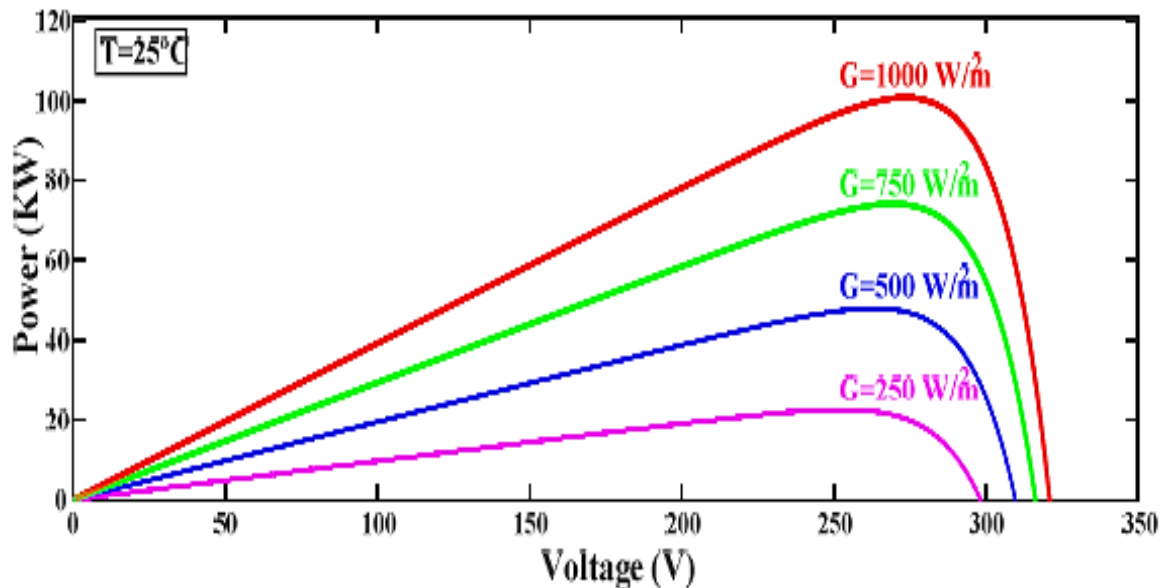
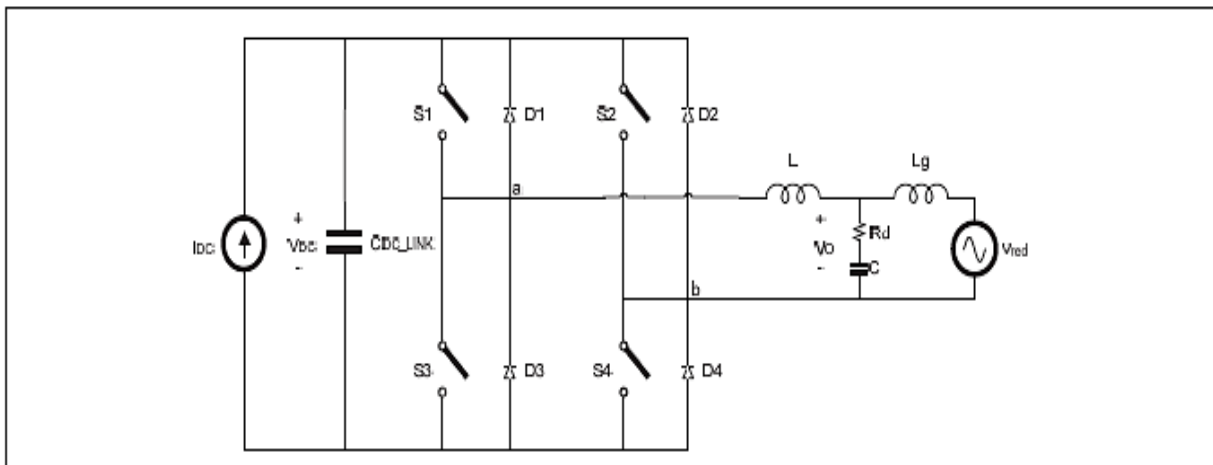


Figura 6. Potencia-voltaje ( $P$ - $V$ ) característicos de un sistema fotovoltaico.  
Fuente: Tomado de (Noureldeen & brahim, 2018).

No solo la potencia de salida se ve afectada sino también las baterías usadas para el almacenamiento de la energía, por esta razón (Jing, Lai, Wong, & Wong, 2018) en su publicación presenta una comparación de desempeño de las diferentes topologías de HESS (sistemas de almacenamiento de energía híbrida), como resultados se obtiene que el HESS controlado activamente demuestra una mayor capacidad para generar una corriente de batería más suave y reducir la corriente máxima que son perjudiciales para la longevidad de la batería.

Otra temática importante a manejar para la implementación de las energías renovables, es el diseño y construcción de los reguladores de carga y de los inversores de voltaje. Es así como en la universidad distrital Francisco José de Caldas, se diseña, modela e implementa un inversor monofásico conectado a la red eléctrica a partir de fuentes renovables, se propone utilizar un control de corriente media (ACC). Los controladores son obtenidos a través del análisis aplicado sobre el modelo en pequeña señal obtenido a partir del modelo del conmutador PWM y de la aproximación del inversor a un convertidor Buck.



*Figura 7. Esquema circuital del Inversor*

*Fuente: Tomado de (Trujillo Rodríguez, Velasco De La Fuente, & Figueres Amorós, 2012)*

Por esta misma universidad, también se hace un desarrollo de un regulador de carga para sistemas fotovoltaicos autónomos, aplicando instrumentación virtual, el cual incluye adquisición y control de datos, medición en tiempo real del voltaje de las baterías, y registro de eventos en archivo de Excel® en el que se indica la hora, día, mes, año, evento ocurrido y magnitud del mismo. Este regulador de carga fue implementado aplicando instrumentación virtual mediante el software de programación grafica LabVIEW® y una tarjeta de adquisición de datos de National Instruments®, la cual tiene una alta velocidad de muestreo y comunicación por puerto USB. (Patiño Abella, Tello Reyes, & Hernández Mora)

Además, es importante tener conocimiento del diseño e implementación de los inversores monofásicos y trifásicos, de esta manera en Lima (Perú), se construyó un prototipo de inversor multinivel monofásico en cascada. Los inversores multinivel pueden generar corrientes y/o voltajes sinusoidales con mucho menor contenido armónico. Si el número de niveles es lo suficientemente alto, se puede obtener un voltaje (o corriente) casi sinusoidal. Más aún, se puede modular en amplitud en vez de ancho de pulso (PWM) al voltaje, por lo que las pérdidas generadas por las armónicas de corriente pueden minimizar. De esta manera se diseñó y construyó un prototipo de

inversor monofásico de 8 niveles para operar un motor de corriente alterna. Este inversor consta de tres puentes completos tipo H, con sus voltajes escalados, lo que permite obtener el número de niveles ya mencionado. El inversor diseñado es capaz de soportar corrientes de aproximadamente 2 A, con un voltaje de salida de 110 Vac, dando una potencia nominal de 220 W. Para llevar a cabo este proceso, se diseñó un sistema de potencia modular con inversores individuales aislados galvánicamente, con sus sistemas de control de encendido y fuentes de alimentación independientes. (Sarzoza & Mírez, 2014)

En cuanto a los inversores trifásicos, en la universidad tecnológica de Pereira se diseñó y construyó un inversor trifásico, el cual muestra una topología de tres ramas, como carga se implementó una configuración RL que fue sometida a un nivel de voltaje de 72V. Además, se aplicó un filtro en configuración L pasa-bajo donde se eliminó desde el tercer armónico. (Torres P., Murillo Y., & Restrepo Patiño, 2008)

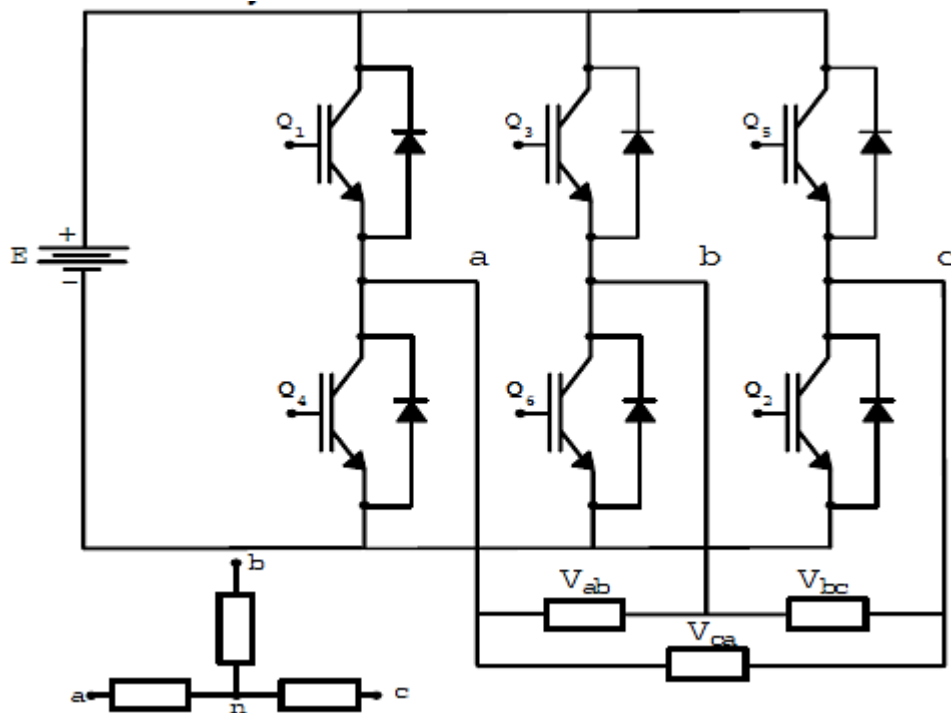
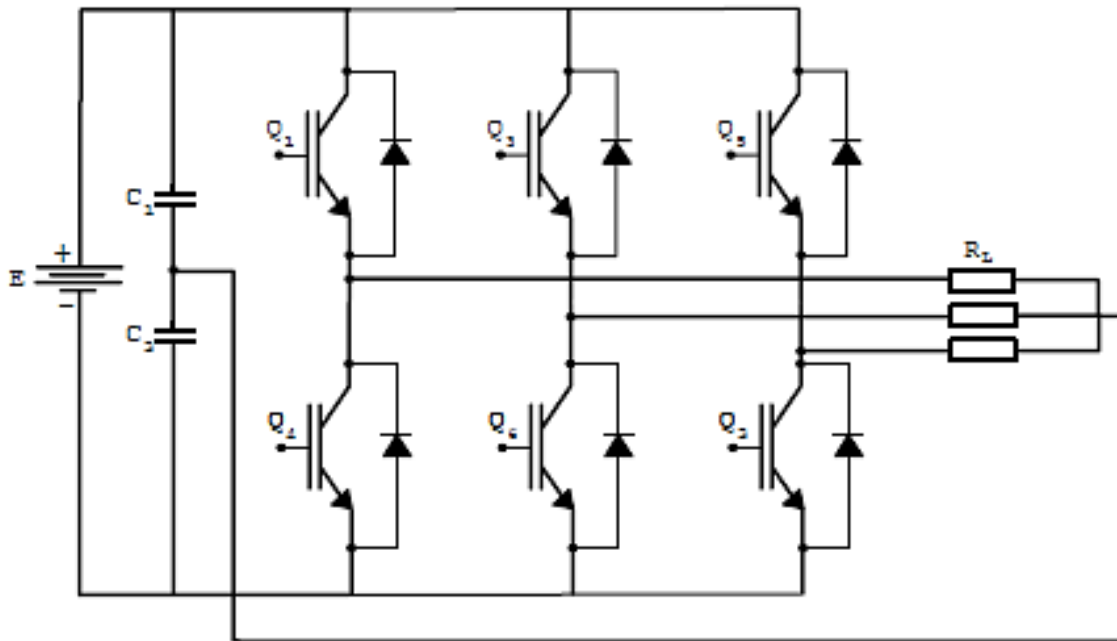


Figura 8. Inversor puente trifásico de 3 ramas.  
Fuente: Tomado de (Torres P., Murillo Y., & Restrepo Patiño, 2008)



*Figura 9. Inversor Trifásico con carga RL en Y*  
 Fuente: Tomado de (Torres P., Murillo Y., & Restrepo Patiño, 2008)

Los reguladores de carga, son muy utilizados en los sistemas fotovoltaicos autónomos y su función es controlar y proteger el estado de la batería mediante una supervisión permanente del voltaje en los bornes de ésta (P.A & T.R, 2019).

En el año 2009 se desarrolla un sistema de regulador de tensión de AC monofásico utilizando interruptores bidireccionales conmutados a alta frecuencia, con esto la idea es proporcionar una tensión de salida constante o dentro de un rango. El circuito de regulación de tensión, se diseña con base a una configuración tipo BUCK, en donde el voltaje de salida debe de ser menor o igual al voltaje de entrada, como resultado se diseñan dos tipos de controladores (controlador PI y controlador de adelanto-atraso de fase) haciendo las diferentes pruebas en Matlab y la interfaz de usuario en DSPACE. (Martinez & Vanessa, 2009)

### 3.2. Estado de la técnica

Se estableció para la ejecución del ejercicio un espectro de diez años de modo que se establezca la capacidad actual, además para tener una cobertura mundial se realizó la búsqueda de patentes en las bases de datos Espacenet, WIPO (World International Property Organization). Los resultados de la búsqueda de patentes se muestran en la Tabla 5.

*Tabla 5. Patentes sobre sistemas fotovoltaicos y eólicos, entre 2010-2018.*

Nombre patente	Inventor	Descripción
<p>“Sistema autónomo de producción de energía fotovoltaica”  <b>(España Patente nº 2 341 161, 2010)</b></p>	<p>Baquero Menéndez Manuel José</p>	<p>Sistema autónomo basado en un cajón cuyas paredes son paneles fotovoltaicos con una tapa reflectante en la parte inferior y otra tapa reflectante en la parte superior, están conectados a una serie de lámparas que se encargan de excitar los paneles y la energía que estos producen se almacena en baterías que a su vez alimentan las lámparas</p>
<p>“Un cargador de batería y método que utiliza una fuente de alimentación irregular como un panel solar y que comprende supercondensadores”  <b>(España Patente nº BG20110005464, 2012)</b></p>	<p>Coleman Julian, Mcdougall Patrick, Bucknall Mathew</p>	<p>Cargador de batería que comprende: una fuente de potencia irregular, un condensador conectado a la fuente de alimentación irregular para almacenar la carga y un circuito de control.</p>
<p>“Turbina eólica”  <b>(España Patente nº 2 425 087, 2012)</b></p>	<p>Gamberini Enzo</p>	<p>Turbina eólica que se encarga de transformar energía eólica en mecánica</p>
<p>“Procedimiento para la investigación de potencia</p>	<p>Buonocunto Nicola,</p>	<p>Proceso que conlleva una serie de etapas, que se realizan de forma</p>

máxima disponible en generadores fotovoltaicos” <b>(España Patente nº 2 595 435, 2013)</b>	Papagno Alessandro, Revelant Alessandro	cíclica, para evaluar y comparar las tensiones de salida, hasta obtener el punto de máxima potencia disponible en el generador fotovoltaico
“Generador de energía eólica”	Sõnajalg Andres, Sõnajalg Oleg	Estructura que asegura la hermeticidad, entre el cuerpo del rotor de la turbina eólica y el almacén principal, simultáneamente el aire fluye a través del cuerpo principal de la turbina eólica, de esta manera los nudos y componentes necesarios se refrigeran, evitando el problema de la corrosión prematura, un deterioro considerable del aislamiento del generador y el perforado eléctrico de los bobinados
“Turbina eólica autónoma con acumulación energética y aplicaciones”	Gonzales Pérez Adolfo	Turbina diseñada para captar energía cinética del viento, según sus características y la potencia requerida.
“Procedimiento para el funcionamiento de una planta de energía eólica”	Giertz Helge	Alimentación de red eléctrica mediante una planta de energía eólica
“Sistema captador de energía eólica”	Muñoz Saiz Manuel	Turbinas helicoidales instaladas sobre un mástil, estas captan el movimiento giratorio generado y lo aplica directamente al eje de un generador eléctrico, o acciona este a través de un multiplicador de rpm, de una bomba hidráulica o de un compresor de aire que alimentan a una motobomba.

*Fuente: información tomada de bases de datos Espacenet, WIPO (World International Property Organization).*

### 3.3. Antecedentes de las energías renovables

#### 3.3.1. Contexto internacional de las energías renovables

El año 2018 se manejó un mercado estable para las tecnologías de energía renovable, se agregó un total de 181 gigavatios (GW) de energía renovable, un ritmo constante en comparación con 2017, y el número de países que integran altas cuotas de energía renovable variable (VRE) sigue aumentando. Las energías renovables proporcionaron aproximadamente más del 26% de la generación mundial de electricidad a fines de año, mientras que, en sectores como calefacción, refrigeración y transporte el incremento es mucho menor debido al débil apoyo político y al poco desarrollo tecnológico (REN21 & NTUA, 2019).

En todo el mundo, la minería, la manufactura y otras industrias usan plantas de energía solar fotovoltaica (y otras renovables) para impulsar sus operaciones (REN21 & NTUA, 2019).

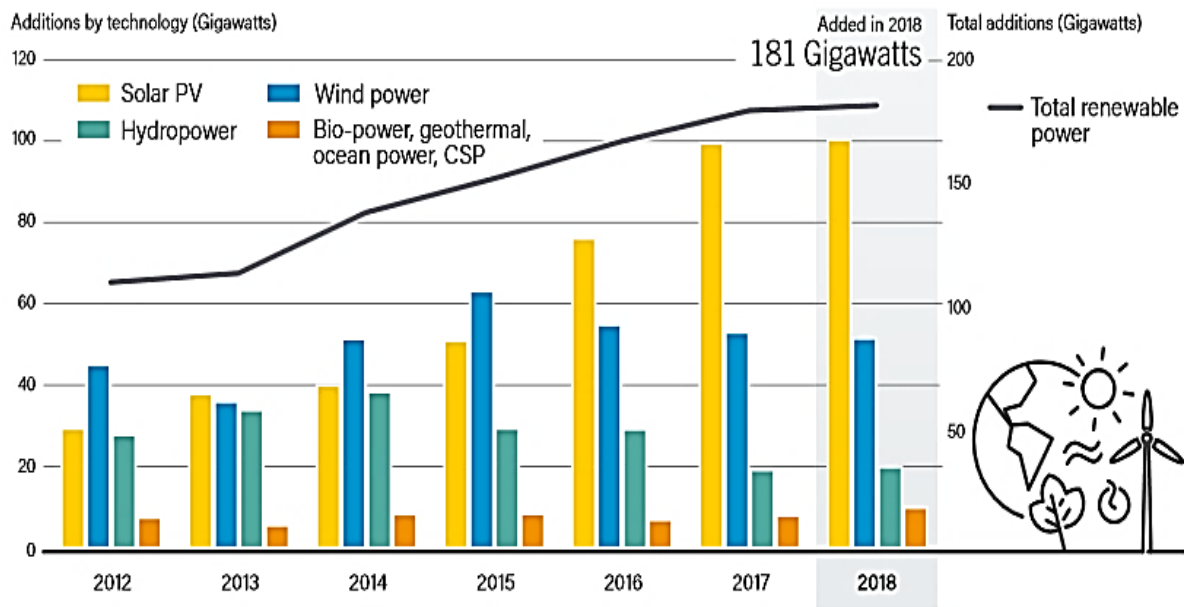


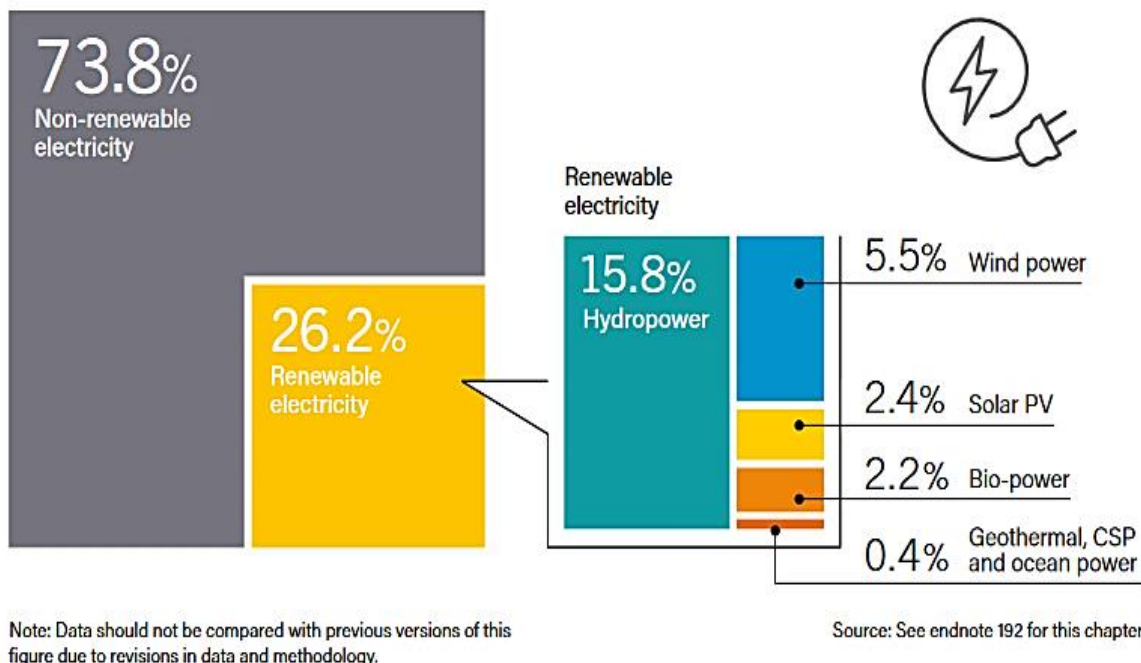
Figura 10. Adiciones anuales de capacidad de energía renovable, por tecnología y total, 2012-2018

Fuente: Tomado de (REN21 & NTUA, 2019)

La energía solar fotovoltaica desempeña un papel importante y creciente en la generación de electricidad en varios países, incluidos Honduras (12.1%), Italia y Grecia (ambos alrededor del 8.2%), y para fines de 2018, uno de cada cinco hogares

australianos genera al menos parte de su electricidad con energía solar (REN21 & NTUA, 2019).

Por otro lado, la producción de energía eólica se mantuvo bastante estable con alrededor de 51 GW añadidos en 2018, lo que aumentó la capacidad acumulada del 9% a 591 GW. Al menos 12 países de todo el mundo alcanzaron el 10% o más de su consumo anual de electricidad con energía eólica en 2018 (REN21 & NTUA, 2019).



*Figura 11. Cuota estimada de energía renovable en la producción mundial de electricidad, finales de 2018.*

*Fuente: Tomado de (REN21 & NTUA, 2019).*

### 3.3.2. Contexto latinoamericano de las energías renovables

Latinoamérica es una región de rápido crecimiento para las ER (energías renovables). Los altos precios de la electricidad en la mayor parte de las regiones, la creciente demanda, y en algunos casos, el potencial de exportación, proporcionan un crecimiento de tecnologías de energías renovables. Además, en la región existe una larga trayectoria de producción de energía hidroeléctrica lo cual se ha traducido en políticas y legislaciones que fomentan el uso de las ER. (Robles & Rodríguez, 2018)

La generación de electricidad es el sector que ha atraído la mayor parte de las políticas de ER y la evolución legislativa en América Latina, lo cual abarca la promulgación de leyes de ER, establecimiento de objetivos para generar electricidad renovable,

políticas de disminución de aranceles, incentivos fiscales, disposiciones para acceso a la red y servicios de financiación. Actualmente la mayoría de los países de esta región tienen leyes para el campo de las ER, a excepción de Bolivia, Guyana y Surinam que no tienen leyes o programas en este campo. (Robles & Rodríguez, 2018)

### 3.3.3. Contexto Colombiano de las energías renovables

En vista de sus condiciones climáticas, ubicación en el trópico y en las montañas de los Andes, Colombia es un país con un alto potencial para el desarrollo de las ER (Energías renovables) en sus diferentes regiones, principalmente para la energía eólica, solar, biomasa, geotérmica y pequeñas centrales hidroeléctricas. (Robles & Rodríguez, 2018)

En el Sistema Interconectado Nacional (SIN) existen grandes oportunidades para el futuro desarrollo de las ER (Energías renovables), a causa de la demanda y la escasez del gas natural. En las Zonas No Interconectadas (ZNI) el panorama también es favorable para sustituir la generación tradicional con diésel por las ER, además la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) ha reconocido la rentabilidad a largo plazo de las fuentes no convencionales de energía en estas zonas. Sin embargo, los altos costos de inversión comparados con los costos en la generación a partir de fuentes convencionales, hacen que no sea fácil la implementación de las ER. (Robles & Rodríguez, 2018).

La Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) de Colombia, a través de su plan de desarrollo 2011-2020 para las Fuentes no Convencionales de Energía (FNCE) realizado por el Consorcio Energético CORPOEMA (2010), ha establecido un subprograma estratégico para la promoción del uso de FNCE. En la tabla 6 se muestran las metas propuestas del plan establecido para las ZNI y SIN.

*Tabla 6. Proyecciones de las FNCE del plan de desarrollo de la UPME 2011-2020 en Colombia.*

<b>Proyecciones de las FNCE en el SIN</b>	
<b>2015</b>	3.5%
<b>2020</b>	6.5%
<b>Proyecciones de las FNCE en el ZIN</b>	
<b>2015</b>	20%
<b>2020</b>	30%

*Fuente: Consorcio Energético CORPOEMA (2010).*

Tabla 7. Capacidad instalada de las FNCE en Colombia.

Tecnología	Capacidad instalada (MW)	%
Pequeñas hidroeléctricas	146	75.9 %
Biomasa	26.9	14%
Eólica	19.5	10.1%
<b>Total</b>	<b>192.4</b>	<b>100%</b>

Fuente: Consorcio Energético CORPOEMA (2010)

En Colombia el potencial de la energía FV, se ha calculado tomando como referencia la información suministrada por las estaciones meteorológicas, instaladas por el Instituto de Estudios Ambientales (IDEAM). La UPME tiene a disposición de la comunidad el atlas de radiación solar en Colombia, el cual fue realizado utilizando estaciones de brillo solar y estaciones radiométricas. Con esta información, se calculó el potencial solar para cada una de las regiones colombianas, Tabla 8.

Tabla 8. Potencial de energía solar en Colombia.

REGIÓN	KWh/m2/año
Guajira	2.190
Costa Atlántica	1.825
Orinoquía	1.643
Amazonía	1.551
Andina	1.643
Costa Pacífica	1.278

Fuente: Consorcio Energético CORPOEMA (2010).

Tabla 9. Potencial de energía eólica en Colombia

UBICACIÓN	W/m2
Guajira (Cabo de la vela hasta extremo norte)	1000-1331
Poblaciones alrededor de Barranquilla	216-512
Región costera de Urabá	125-216
Zona de medio Cesar	125-216
Paso de la línea entre Ibagué y Armenia	216-343
Resto del país	Menos de 125

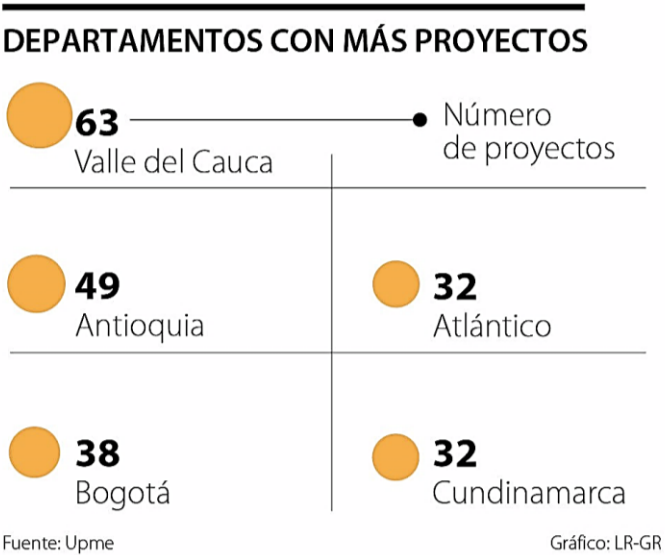
Fuente: Consorcio Energético CORPOEMA (2010)

El estudio más reciente del que se dispone en Colombia, respecto al potencial eólico corresponde al Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia realizado por la UMPE y

el IDEAM en el 2006. La información disponible en el atlas se tomó a partir de 111 estaciones instaladas a lo largo del territorio colombiano, además del uso de modelos meteorológicos. La Tabla 9 muestra los potenciales de densidad de potencia promedio multianual con 20 m de altura. Se destaca el alto potencial que existe en regiones como la Guajira y las zonas circundantes a Barranquilla (Robles & Rodríguez, 2018).

Los lugares en Colombia que presentan considerables velocidades de viento según el IDEAM son: la Isla de San Andrés, Isla de Providencia, Gachaneca, Riohacha, Soledad, Cúcuta, Bucaramanga, Bogotá y Santa Marta, con velocidades del viento que oscilan entre 4 y 5 m/s (Robles & Rodríguez, 2018).

Según la revista LR (La república) de Colombia más de 420 proyectos de energías renovables tienen aval de la UPME. En un estudio de la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) revela que 90% de los proyectos son solares con 383 proyectos de este tipo; 17 son pequeñas centrales hidroeléctricas: 12 eólicos; 11 de biomasa y solo 1 geotérmico (Bohórquez Guevara, 2019). El incremento de este tipo de proyectos se debe a la reducción de los costos de implementación de los mismos en la industria, el hogar y el sector, los departamentos que más han generado proyectos se muestran a continuación.



*Figura 12. Departamentos con más proyectos avalados por UPME de energías renovables en Colombia para el 2019. Fuente: UPME (2019).*

En la anterior tabla se muestran que los departamentos que más sobresalen son Valle del Cauca, Antioquia y Bogotá, seguido de Atlántico y Cundinamarca con igual número de proyectos avalados. Es de aclarar que la mayoría de proyectos son de bajo

potencial eléctrico, entre 0 y 1 MW y que la Guajira concentra la generación más alta del país con 1,716 MW en total y 13 proyectos propuestos como se muestra en la siguiente imagen:

### ASÍ SE MUEVE EL MERCADO DE RENOVABLES POR DEPARTAMENTOS

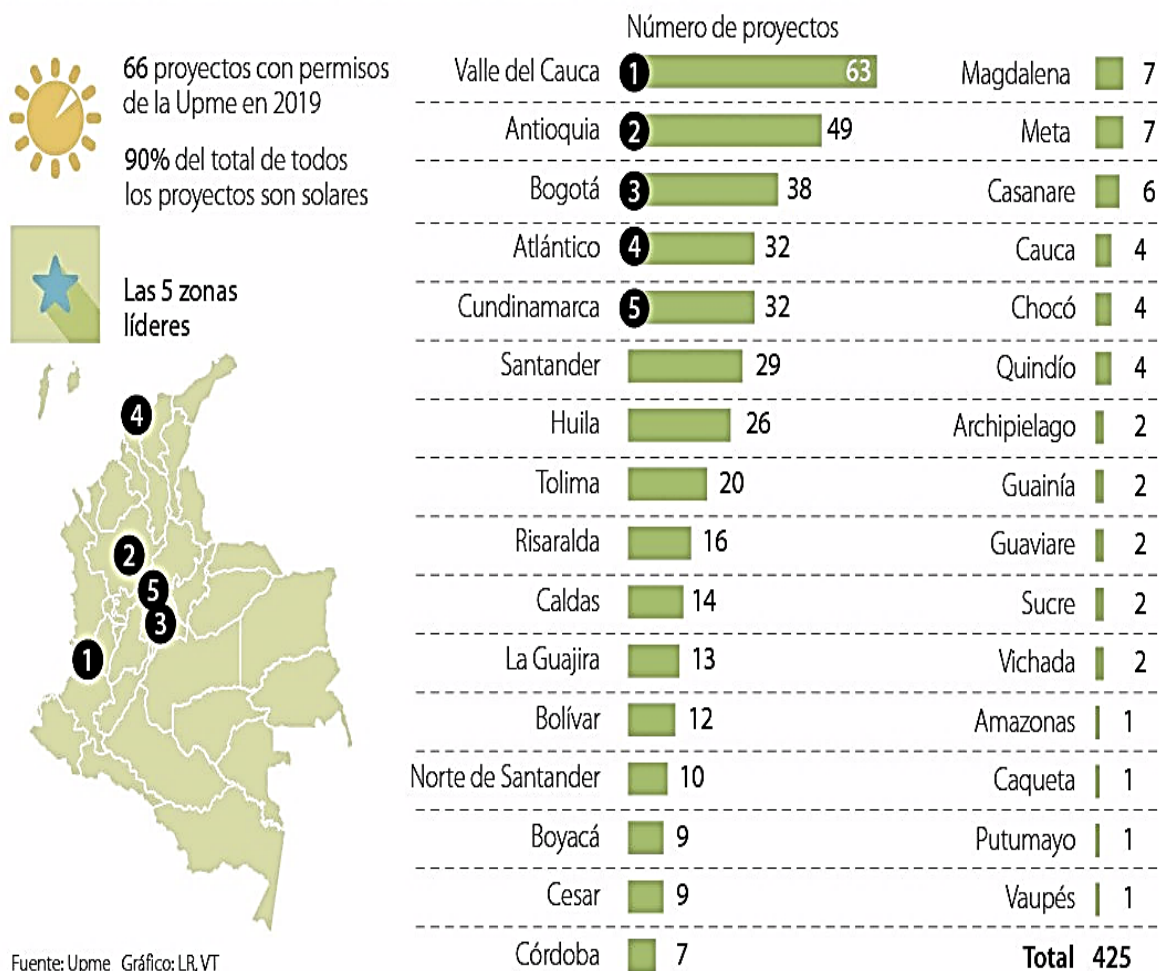


Figura 13. Mercado de las energías renovables por departamentos en Colombia. Fuente: UPME (2019).

“Hay unos departamentos con un muy alto potencial en energía eólica como La Guajira, y en energía solar el Meta y la Costa Caribe se proyectan con un alto potencial a mediano plazo. El panorama es positivo, pues a mediano plazo (2031) estas fuentes llegarán a ser 15% de la matriz energética del país”, explicó Carlos Alberto Zarruk Gómez, presidente ejecutivo de la Cámara Colombiana de la Energía (Bohórquez Guevara, 2019).

## **3.4. Normatividad para la implementación de energías renovables en Colombia**

### **3.4.1. Marco legal**

En las últimas dos décadas el gobierno nacional de Colombia ha aprobado unas normas relacionadas con las energías alternativas. Es así, como en el año 2001 se aprobó la ley 697, sobre el uso racional de la energía, a manera de impulsar el uso de energía renovable a pequeña escala y la investigación básica y aplicada, con el fin de reducir los costos y ampliar el uso de energías como la eólica, solar, geotérmica o la de biomasa. En el año siguiente se expidió la ley 788 del 27 de diciembre de 2002, que busca eximir el impuesto a la renta de ventas de energía con fuentes renovables durante 15 años, siempre y cuando se cuente con la certificación de reducción de emisiones de carbono previstos en el protocolo de Kioto (Giraldo Ocampo, 2017).

La ley encargada de promover el uso y desarrollo de las fuentes no convencionales de energía (FNCE) es la 1715 de 2014, promueve principalmente las de carácter renovable para que sean integradas en el sistema energético nacional, en sectores como el mercado eléctrico, zonas no interconectadas (ZNI) y en otros usos como medio para el desarrollo económico sostenible, disminución en la emisión de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético, esta ley acobija a todos los agentes públicos y privados que intervengan en la definición de políticas sectoriales en el desarrollo y aprovechamiento de las fuentes no convencionales (Ley 1715 de 2014, 2014)

Con referencia al marco ambiental de los proyectos de energía eólica, Colombia cuenta principalmente con la Resolución 1312 de 11 agosto de 2016 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, “Por la cual se adoptan los términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA, requerido para el trámite de la licencia ambiental de proyectos de uso de fuentes de energía eólica continental y se toman otras determinaciones” y la Resolución 1283 de 8 agosto de 2016 de la misma entidad, “Por la cual se establece el procedimiento y requisitos para la expedición de la certificación de beneficio ambiental por nuevas inversiones en proyectos de fuentes no convencionales de energías renovables - FNCER y gestión eficiente de la energía, para obtener los beneficios tributarios de que tratan los artículos 11, 12, 13 y 14 de la Ley 1715 de 2014 y se adoptan otras determinaciones”.

De acuerdo a un análisis realizado por (Giraldo Ocampo, 2017) a la normatividad de las energías limpias en Colombia, indica que esta no ha sido suficiente para impulsar el desarrollo de las mismas, por consiguiente esta no favorece su competencia con las

energías convencionales que ya llevan mucho más tiempo funcionando y son apoyadas por leyes que consolidan una estructura financiera, más que en las energías limpias, el mercado de la energía hidráulica y los combustibles fósiles son la gran competencia de las energías limpias.

## **3.5. Fundamentos teóricos**

### **3.5.1. Fuentes de energías renovables**

Las fuentes de Energías Renovables son aquellas que se generan a partir de recursos naturales, se producen de forma continua y son inagotables a escala humana. Además, son fuentes de abastecimiento energético respetuosas con el medio ambiente. Entre ellas se encuentran la energía solar, eólica, hidráulica, biomasa, geotérmicas, entre otras (Gorjian, 2017).

### **3.5.2. Energía solar**

La energía solar es aquella energía obtenida tras la conversión a calor o electricidad de la radiación proveniente del sol, este trabajo se hace a través del uso de dispositivos que capten la energía del sol y de dos tipos de procesos de conversión: la conversión fototérmica y conversión fotovoltaica (Renovables, 2008). El aprovechamiento energético está entonces condicionado por la intensidad de radiación solar recibida por la tierra.

#### **3.5.2.1. Radiación solar**

La irradiancia solar es la magnitud empleada para indicar el valor de la radiación incidente en una superficie. En el caso del Sol, se define como la energía solar recibida por cada m<sup>2</sup> en un segundo (Lorente). Es el flujo de energía que se recibe del Sol en forma de ondas electromagnéticas que permite la transferencia de energía solar a la superficie terrestre. Estas ondas no necesitan un medio material para propagarse y se desplazan en el vacío a una velocidad de 299.792 Km/s. (AMET, 2010). La unidad en el S.I. es  $\frac{W}{m^2}$ . Los dispositivos de medición de la radiación solar son los piranómetros, son muy usados en las estaciones meteorológicas.

### **3.5.3. Energía solar fotovoltaica**

La tecnología fotovoltaica busca convertir directamente la radiación solar en electricidad, basada en el efecto fotoeléctrico. En este proceso se emplean dispositivos de conversión denominados **celdas fotovoltaicas**, los cuales son semiconductores

sensibles a la luz solar; de manera que cuando se expone a esta, se produce en la celda una circulación de corriente eléctrica entre sus dos caras (Renovables, 2008).

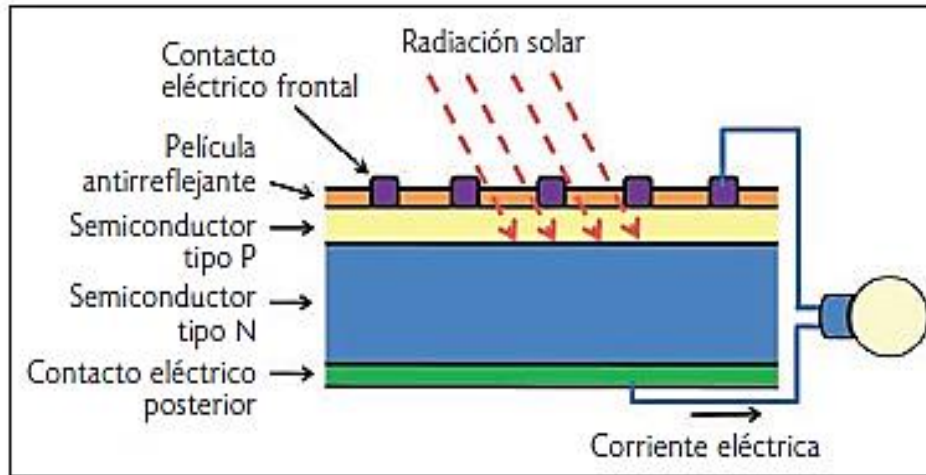


Figura 14. Estructura básica de una celda fotovoltaica.  
Fuente: Tomado de (Bulnes & Brown, 2010)

### 3.5.3.1. Sistema on-grid

Se trata de un sistema fotovoltaico conectado a la red de energía convencional. Para dimensionar este sistema basta con conocer el espacio disponible y la inversión inicial, a causa de que el tamaño no depende del consumo de la vivienda o lugar de instalación.

### 3.5.3.2. Sistema off-grid

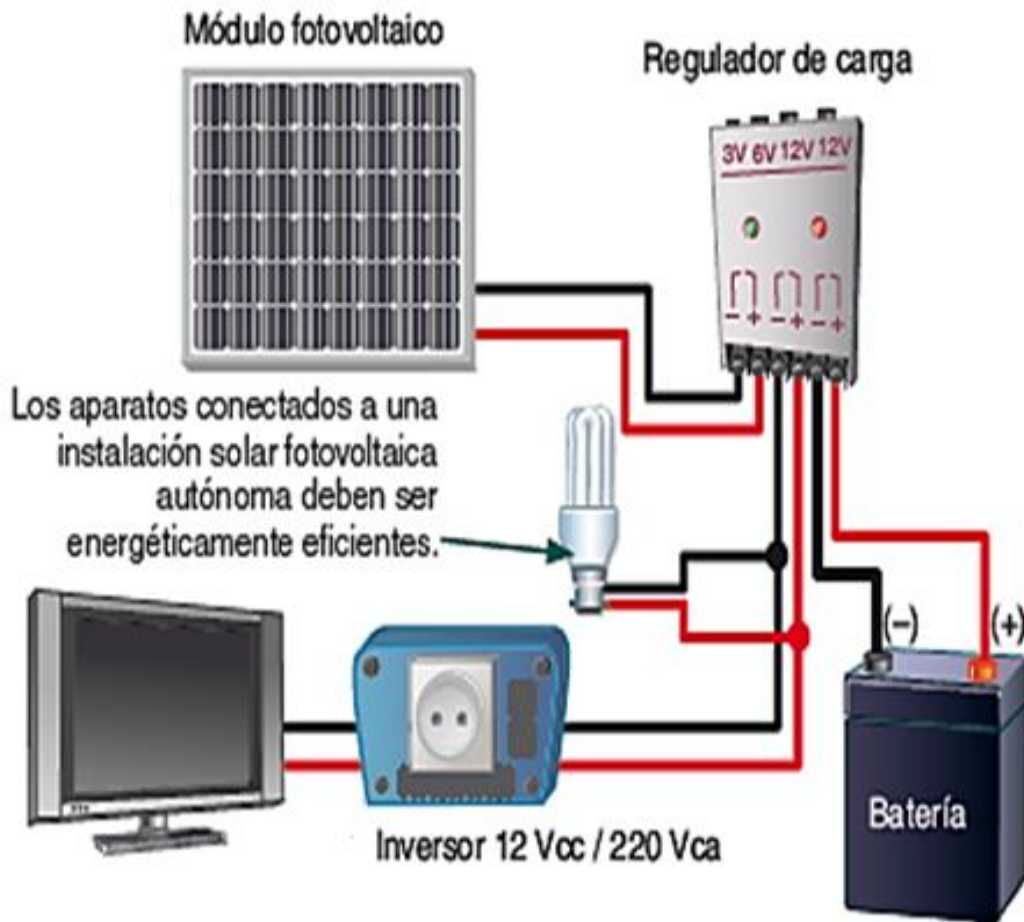
Estos sistemas son muy utilizados en zonas que no tiene conexión alguna a la red eléctrica convencional, porque su instalación resulta más económica que la de una línea convencional. Una instalación fotovoltaica aislada está formada por los equipos destinados a producir, regular, acumular y transformar la energía eléctrica. Y que son los siguientes: Celdas fotovoltaicas, placas fotovoltaicas, regulador de carga, baterías, Ondulador o inversor.

Tabla 10. Elementos de un sistema fotovoltaico aislado

Elementos instalación fotovoltaica aislada	
<b>Celdas fotovoltaicas</b>	Las más utilizadas son aquellas que están hechas con silicio cristalino.

	La incidencia de la radiación luminosa sobre la celda crea una diferencia de potencial y una corriente aprovechable.
<b>Placas fotovoltaicas</b>	Se trata de un conjunto de celdas conectadas entre sí, que generan electricidad en corriente continua. Para tener un mejor aprovechamiento y por lo tanto rendimiento se busca una buena orientación (teniendo en cuenta la ubicación, latitud, ángulo de inclinación)
<b>Regulador de carga</b>	Su función es proteger a la batería contra las sobrecargas y contra las descargas. Además, se encarga de proteger a las cargas en condiciones extremas de operación y proporcionar información al usuario.
<b>Baterías</b>	Se encargan de almacenar la energía proveniente del sistema. Normalmente se utilizan baterías estacionarias, que tienen como característica principal el ciclado, durante el ciclo diario la batería se carga en el día y durante la noche se descarga.
<b>Ondulador o inversor</b>	Transforma la corriente continua (de 12, 24 o 48 V) generada por las placas fotovoltaicas y acumulada en las baterías a corriente alterna (110 V a 60Hz).

*Fuente: Información tomada de (Bulnes & Brown, 2010)*



*Figura 15. Elementos de una instalación solar fotovoltaica.  
Fuente: Tomado de (Instalaciones solares Fotovoltaicas, , 2018).*

### 3.5.4. inversores DC/AC para sistemas fotovoltaicos.

Los inversores (DC/AC) son dispositivos que permiten el cambio de una señal de una corriente directa o continua a una señal alterna, en el caso particular de su uso en sistemas fotovoltaicos su función es transformar la tensión DC producida por los paneles en una tensión AC con características similares a las de la red local de 120 voltios y 60 Hz. Después de este proceso la energía eléctrica puede ser consumida en forma directa por el usuario o inyectada a la red eléctrica Nacional. (Aron, 2012)

Según el uso requerido de la energía eléctrica, se pueden utilizar diferentes tipos de inversores cuya diferencia radica en la forma de onda de salida. La figura 13 muestra las diferentes formas de onda producida por inversores comerciales. (Aron, 2012)

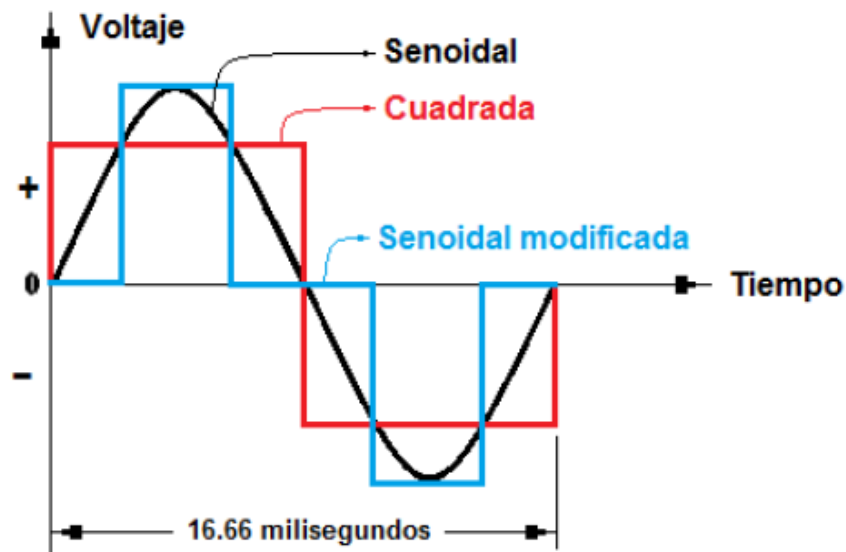


Figura 16. Diferentes formas de onda generada por inversores comerciales para paneles solares  
Fuente: Tomada de (Aron, 2012)

#### 3.5.4.1. Inversor de onda cuadrada

Es el inversor más económico del mercado, al igual que todos los inversores consta de un circuito oscilador conectado a transistores, este circuito produce una onda cuadrada como la de color rojo que muestra la figura 13, esta señal ajustada en voltaje y frecuencia puede ser utilizada para iluminación y televisión. (Aron, 2012)

#### 3.5.4.2. Inversores de onda sinusoidal modificada.

Utilizan técnicas de modulación de ancho de pulso (PWM), con lo cual se obtiene una señal como la de color azul que muestra la figura 13, esta señal es parecida pero no igual a una señal senoidal, esta señal ajustada en voltaje y frecuencia se puede utilizar sin problema para uso en iluminación y en electrodomésticos. (Aron, 2012)

#### 3.5.4.3. Inversores de onda sinusoidal

Utilizan un mayor número de componentes electrónicos para producir una onda senoidal pura como la de color negro de la figura 13. Esta señal es de alta calidad por su bajo contenido de armónicos, los inversores de este tipo son de alto costo, pero son los únicos aceptados para interconexión a red.

La eficiencia de un sistema fotovoltaico conectado a red depende en gran parte del rendimiento del inversor, a su vez este rendimiento depende básicamente de la conexión y del control sobre el punto de máxima potencia (MPPT) de los paneles solares.

La eficiencia total de un sistema fotovoltaico bien sea conectada directamente a la red o independiente, depende mucho de la eficiencia del inversor y de la forma como se conecten entre si los paneles a este. (Aron, 2012)

### **3.5.5. Reguladores**

El regulador es un dispositivo utilizado en los sistemas fotovoltaicos autónomos y su función es controlar y proteger el estado de la batería mediante una supervisión permanente del voltaje en los bornes de ésta (P.A & T.R, 2019). Si el voltaje desciende de un valor preestablecido por el fabricante, el regulador debe enviar una señal de desconexión al sistema de mando para que este ejecute la desconexión de las cargas conectadas a la batería y permita que esta vuelva a cargarse.

En el caso de sobrecarga, el regulador detecta voltaje por encima del preestablecido, por lo cual debe enviar señal de desconexión de cargas y el circuito de mando debe permanecer abierto hasta que la batería seda parte de esta carga. De esta forma el regulador debe mantener a la batería trabajando entre unos valores de carga preestablecidos dependiendo del tipo de batería. Para un mayor rendimiento del sistema algunos reguladores corrigen el voltaje que reciben de los paneles y entregan a la batería; de este tipo de reguladores existen dos tipos.

#### **3.5.5.1. Reguladores PWM**

Un regulador PWM (Pulse Width Modulation), es un interruptor que conecta el panel solar a la batería. Cuando el interruptor está cerrado, tanto el panel como la batería estarán a unos valores de tensión muy cercanos, cuando la batería alcance su valor nominal el interruptor se abre, en adelante el regulador estará abriendo y cerrando el interruptor para evitar la sobrecarga (Reguladores de Carga Solar, s.f.).

#### **3.5.5.2. Reguladores MPPT**

Un regulador MPPT (Maximum Power Point Tracking), es un dispositivo computarizado que ajusta el voltaje de entrada que recibe de los paneles para de esta manera extraer la máxima potencia posible, es un convertidor DC/DC que transforma el voltaje de máxima potencia a voltaje menor que debe estar un poco por encima del voltaje nominal de la batería. Cuando la batería ha alcanzado la carga nominal el regulador hace que se abra el circuito y cuando la carga se baja de un valor preestablecido hace cerrar el circuito. (Reguladores de Carga Solar, s.f.)

### **3.5.6. Energía eólica**

La energía eólica tiene su origen en el viento, es decir, en el aire en movimiento. El viento se puede definir como una corriente de aire resultante de las diferencias de presión en la atmósfera provocadas, en la mayoría de los casos, por variaciones de temperatura, debidas a las diferencias de la radiación solar en los distintos puntos de

la Tierra. Los factores que definen el régimen del viento en un punto determinado son: Situación geográfica, características climáticas, estructura topográfica, irregularidades del terreno, altura sobre el nivel del suelo. La energía del viento es de tipo cinético (debida a su movimiento); lo que hace que la potencia obtenida del mismo dependa de forma acusada de su velocidad, así como del área de la superficie captadora (Tecnología industrial).

### 3.5.7. Aerogeneradores

#### 3.5.7.1. Funcionamiento del aerogenerador

El viento incide sobre las palas del aerogenerador y lo hace girar, este movimiento de rotación se transmite al generador a través de un sistema multiplicador de velocidad. El generador producirá corriente eléctrica que se deriva hasta las líneas de transporte. Para asegurar en todo momento el suministro eléctrico, es necesario disponer de acumuladores.

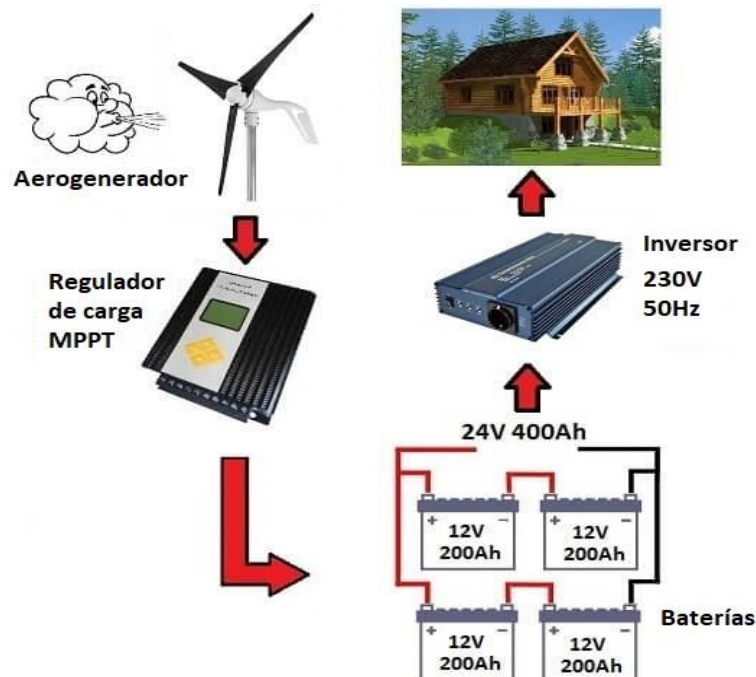
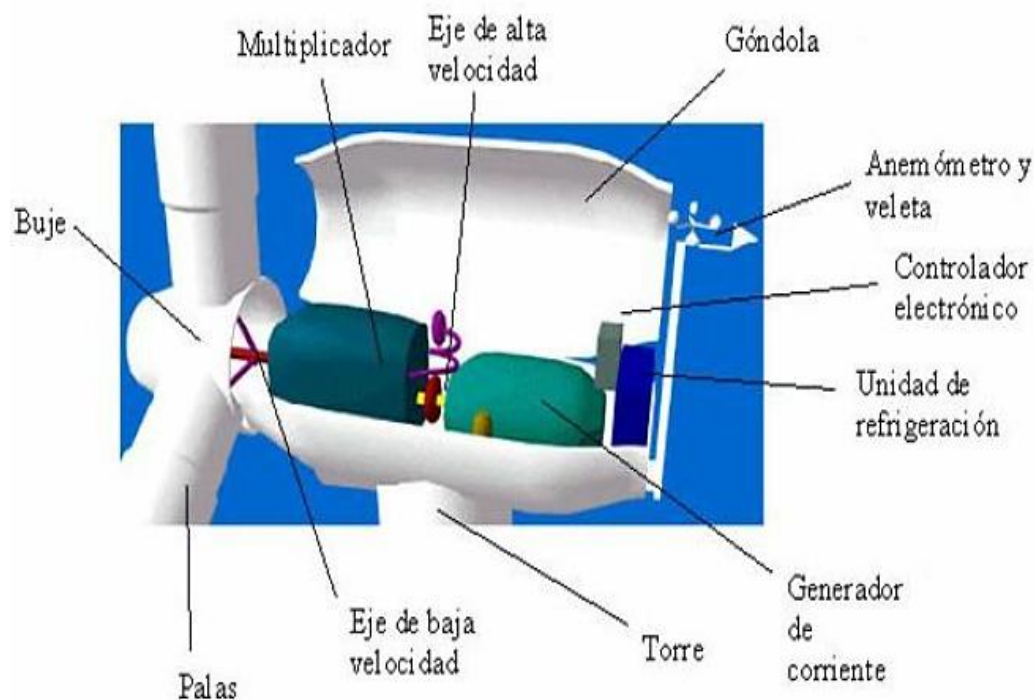


Figura 17. Funcionamiento de una planta de energía eólica doméstica off-grid  
Fuente: Tomado de (Mppt Solar, s.f.)

#### 3.5.7.2. Partes del aerogenerador

Un aerogenerador este compuesto por las siguientes partes:



*Figura 18. Partes del aerogenerador*  
*Fuente: Tomado de (Tecnología industrial)*

A continuación, se muestra un cuadro explicando las partes que componen un sistema generador de energía eólica, es de aclarar que una planta que genere grandes cantidades de potencia en el orden de MW podría tener más componentes, esta es la composición de una planta mediana.

*Tabla 11. Partes de un aerogenerador*

Partes de un aerogenerador	
Elemento	Características
Torre	Es el elemento de sujeción y el que sitúa el rotor y los mecanismos que lo acompañan a la altura idónea. Está construida sobre una base de hormigón armado (cimentación) y fijado a ésta con pernos. La torre tiene forma tubular y debe ser suficientemente resistente para aguantar todo el peso y los esfuerzos del viento. En su base está generalmente el armario eléctrico, a través del cual se actúa sobre los elementos de generación y que alberga todo el sistema de cableado que proviene de la góndola, así como el transformador que eleva la tensión.

<b>Rotor</b>	Este elemento capta la energía del viento y la convierte en mecánica. El rotor está conformado por tres partes fundamentales: <b>las palas</b> (capturan la energía contenida en el viento), <b>el eje</b> (transmite el movimiento giratorio de las palas) y el <b>buje</b> (fija las palas al eje de baja velocidad).
<b>palas</b>	Recibe la fuerza del viento sobre una estructura resistente, y su tamaño depende de la tecnología empleada y de la velocidad del viento.
<b>Góndola</b>	Es la estructura en la que se resguardan los elementos básicos de transformación de la energía, es decir: multiplicador, eje del rotor, generador y sistemas auxiliares.
<b>Multiplicador</b>	Es un elemento conectado al rotor que multiplica la velocidad de rotación del eje (unas 50 veces) para alcanzar el elevado número de revoluciones que necesitan las dinamos y los alternadores.
<b>Sistema hidráulico</b>	Utilizado para restaurar los frenos aerodinámicos del aerogenerador.
<b>Eje de alta velocidad</b>	Gira aproximadamente a 1.500 revoluciones por minuto (r.p.m.), lo que permite el funcionamiento del generador eléctrico. Está equipado con un freno de disco mecánico de emergencia. El freno mecánico se utiliza en caso de fallo del freno aerodinámico, o durante las labores de mantenimiento de la turbina.
<b>Generador</b>	La función del generador es transformar la energía mecánica en energía eléctrica.
<b>Mecanismo de orientación</b>	Activado por el controlador electrónico, que vigila la dirección del viento utilizando la veleta. Normalmente, la turbina sólo se orientará unos pocos grados cada vez, cuando el viento cambia de dirección.

<p><b>Controlador eléctrico</b></p>	<p>Tiene un ordenador que continuamente monitoriza las condiciones del aerogenerador y que controla el mecanismo de orientación. En caso de cualquier disfunción (por ejemplo, un sobrecalentamiento en el multiplicador o en el generador), automáticamente para el aerogenerador.</p>
<p><b>Unidad de refrigeración</b></p>	<p>Contiene un ventilador eléctrico utilizado para enfriar el generador eléctrico. Además, contiene una unidad de refrigeración de aceite empleada para enfriar el aceite del multiplicador. Algunas turbinas tienen generadores enfriados por agua.</p>

*Fuente: Información tomada de (Tecnología industrial)*

### **3.5.7.3. Velocidad del viento**

Es la relación entre la distancia recorrida por el viento y el tiempo que tarda en recorrerla (UPME & IDEAM, Atlas de viento y energía eólica en Colombia, 2015), su unidad de medición es  $\frac{m}{s}$ .

Con fines de estudios de energía eólica, vientos con intensidades iguales o superiores a 5 m/s proporcionan una buena alternativa de uso de este tipo de recurso natural para la generación de energía. Los aerogeneradores requieren una velocidad de viento mínima para empezar a generar energía: para pequeñas turbinas, este es, aproximadamente, de 3 m/s; para turbinas grandes de 6 m/s, como mínimo. La potencia eólica disponible es proporcional al cubo de la velocidad del viento, o sea, una o dos veces más alta significa ocho veces más de potencia.


### **3.5.7.4. Dirección del viento**

Es la dirección de donde proviene el viento. Su medición radica en identificar las direcciones hacia donde el viento sopla con mayor intensidad y duración. Esta información es de importancia para la definición del emplazamiento y distribución de aerogeneradores en un parque eólico, ya que se localizan enfrentando la dirección prevaleciente del viento (UPME, Guía para la utilización de la energía Eólica para generación de energía Eléctrica., 2003).

### **3.5.7.5. Medidor de la velocidad de viento**

El anemómetro es el aparato utilizado para medir la velocidad del viento, estos se pueden clasificar según el principio de operación.

Tabla 12. Clasificación de los anemómetros según su operación

Clasificación de los anemómetros	
De rotación	
<p>Pueden ser de 3 cazoletas o de hélice.</p> <p>El anemómetro de 3 cazoletas o hasta 4 montadas alrededor de un eje vertical, permite que con la fuerza que ejerce el aire en el lado cóncavo la rueda de la cazoleta gire, en este caso la velocidad de rotación es proporcional a la velocidad del viento, esta rotación se puede medir mecánicamente contando el número de revoluciones, al conectar un generador eléctrico pequeño y midiendo el voltaje instantáneo. Este método permite medir las dos componentes horizontales del viento, por esto es muy utilizado.</p> <p>El anemómetro de hélice se utiliza cuando se quiere conocer la velocidad del viento en una dirección en particular, se suele utilizar junto con un sistema de orientación tipo veleta para medir la componente horizontal de la velocidad de viento.</p>	 <p>Figura 19. Anemómetro de 3 cazoletas Fuente: Tomado de (FuehlerSysteme eNET International, s.f.)</p>  <p>Figura 20. Anemómetro digital de hélice Fuente: Tomado de (Amazon.es, s.f.)</p>
De presión	De hilo caliente
<p>La medida de la velocidad del viento se registra mediante los efectos de las variaciones de presión que ejerce el aire cuando se mueve. Miden la rafagosidad mediante galgas extensiométricas acopladas a una esfera perforada, midiendo así la magnitud y dirección del viento.</p>	<p>Miden la velocidad a través del efecto de enfriamiento del viento. La principal ventaja de estos equipos es su pequeña constante de tiempo, aunque, por el contrario, son equipos muy delicados.</p>

Fuente: Información tomada de (Amada Mur)

### 3.5.7.6. Medidor de la dirección del viento

El sistema usado para esta tarea es la veleta, se trata de un dispositivo montado sobre un eje vertical, de giro libre, pero con el movimiento amortiguado para prevenir cambios

demasiado rápidos de dirección del viento para de esta manera evitar algún tipo de daño.



Figura 21. Sensor de dirección de viento (veleta)  
Fuente: tomado de (altocumulo, s.f.)

### 3.5.7.7. Clasificación del viento

Escala de velocidades de viento			
Velocidades de viento a 10 m de altura		Escala Beaufort (anticuada)	Viento
m/s	nudos		
0,0-0,4	0,0-0,9	0	Calma
0,4-1,8	0,9-3,5	1	Ligero
1,8-3,6	3,5-7,0	2	
3,6-5,8	7-11	3	
5,8-8,5	11-17	4	Moderado
8,5-11	17-22	5	Fresco
11-14	22-28	6	Fuerte
14-17	28-34	7	
17-21	34-41	8	Temporal
21-25	41-48	9	
25-29	48-56	10	Fuerte temporal
29-34	56-65	11	
>34	>65	12	Huracán

Figura 22. Escala de velocidades del viento  
Fuente: Tomado de (Energía Eólica, 2011)

### 3.5.7.8. Ventajas y desventajas de la energía eólica

Tabla 13. ventajas y desventajas de la energía eólica

Ventajas y desventajas de la energía eólica	
Ventajas	Desventajas
<p>Totalmente amigable con el medio ambiente, inagotable. En su proceso de generación no crea combustión, ni afecta las características físicoquímicas del suelo, tampoco produce ningún tipo de alteración a los acuíferos, evita la producción de gases de tóxicos o de efecto invernadero. No origina productos secundarios peligrosos ni residuos contaminantes.</p> <p>La energía eólica es independiente de cualquier política o relación comercial, se obtiene en forma mecánica y por tanto es directamente utilizable.</p> <p>En cuanto a su transformación en electricidad, esta se realiza con un rendimiento excelente y no a través de aparatos termodinámicos.</p> <p>Al finalizar la vida útil de la instalación, el desmantelamiento no deja huellas, al contrario, presenta</p>	<p>La principal desventaja es la incapacidad de control del viento por ser una energía impredecible, por lo que no puede ser usada como única fuente de generación eléctrica, en este caso es indispensable complementarla con otro tipo de energía, para que no se presenten apagones. Lo anterior no permite una planificación con antelación, a pesar de los avances meteorológicos para la previsión del viento han mejorado bastante la situación, este sigue siendo un problema.</p> <p><b>Plazo de desarrollo.</b> Desde que un promotor empieza a construir un parque eólico hasta que éste inicia su vertido de energía a la red eléctrica pueden pasar 5 años.</p> <p><b>Almacenamiento imposible.</b> La energía eléctrica producida no es almacenable, es instantáneamente consumida o de lo contrario se pierde.</p> <p><b>Necesidad de infraestructuras.</b> Los parques eólicos suelen situarse en zonas apartadas o en el mar, lejos de los puntos de consumo, y para transportar la energía eléctrica se requieren torres de alta tensión y cables de gran capacidad que pueden salvar importantes distancias y causan impacto en el paisaje. En este proceso, además, suele perderse energía.</p>

beneficios como aportar trabajo a personas durante el proceso de diseño e instalación, generar energía eléctrica a cientos de familias, evitar la generación de toneladas de CO2 al año y proporciona desarrollo tecnológico y social.

**Demasiado viento no ayuda.** Si el viento supera las especificaciones del aerogenerador, la estructura puede resultar afectada, por lo que es necesario desconectar o cambiar la inclinación de las aspas.

**Impacto medio ambiental.** Estos parques suelen ocupar grandes espacios y se localizan en paisajes naturales transformando el paisaje original. Por esto es necesario realizar estudios de impacto ambiental previos para evitar que perjudiquen a las aves migratorias o al paisaje.

*Fuente: Información tomada de (Moreno Cortés, 2013)*

### 3.5.8. Sistema de Adquisición de datos DAQ

La adquisición de datos, es el proceso mediante el cual se pueden medir variables obtenidas por sensores, para luego digitalizarlas y procesarlas para su posterior uso. Esta acción se realiza de manera automática, haciendo uso de una combinación de hardware (tarjeta DAQ) y software basados en computadoras. Un sistema de adquisición o toma de datos está integrado entonces por los siguientes componentes (Villegas, 2013):

Figura 23. Partes del sistema de adquisición de datos DAQ.



Fuente: Tomado de (National Instruments, s.f.)

## 4. Capítulo 4: Metodología

La metodología de investigación utilizada, busca cumplir con los objetivos planteados para esta investigación, esta se divide en 5 fases que se evidencian a continuación:

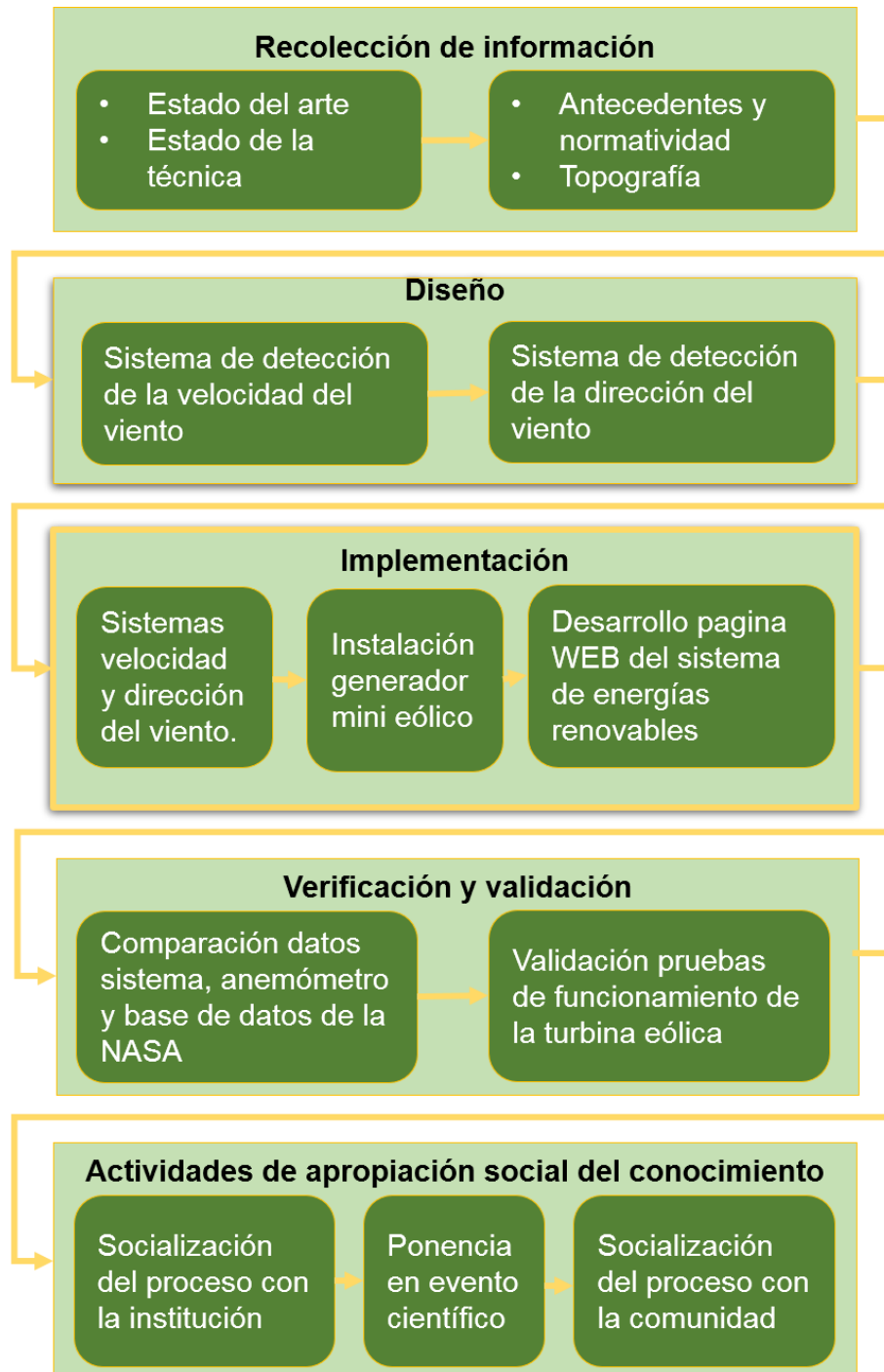


Figura 24. Diagrama de bloques de la metodología implementada

Fuente: Autor

## 4.1. Recolección de información

En esta fase se busca recolectar toda la información necesaria, que permita hacer una contextualización del proyecto a desarrollar, para ello se realizó una exhaustiva revisión de documentos de investigación, artículos, publicaciones arbitradas, trabajos de grado, patentes y leyes, que ayudaran al desarrollo del estado del arte, estado de la técnica, definir antecedentes, normatividad y topografía, de las temáticas que se aplican en el proyecto de investigación desarrollado.



Figura 25. Etapas de la fase 1: Recolección de información  
Fuente: Autor

Para la implementación de los sistemas de generación de energía eólica y fotovoltaica se han llevado a cabo a nivel mundial diferentes investigaciones, así como también se han desarrollado prototipos para la toma de datos de las variables características de estos sistemas. El conocimiento de la investigación básica y aplicada a nivel mundial sobre estas temáticas permite que el proyecto de investigación “Estudio de factibilidad técnica para la implementación de sistemas eólicos y/o híbridos, a partir de un sistema de adquisición de datos DAQ”, este acorde con lo que se desarrolla actualmente, por tal motivo se hizo necesario tomar como base diferentes publicaciones arbitradas expuestas entre los años 2009 y 2018. Para un mejor análisis de esta información, esta se clasificó según los contextos institucional, nacional e internacional.

De acuerdo a la revisión y análisis del estado del arte se muestra que la información por ser de carácter investigativo, en esta se presenta la generación de nuevos productos de conocimiento y sistemas, para la implementación de los sistemas de generación de energía eólica y fotovoltaica, en este sentido se realiza el registro de patentes como mecanismo de protección. Por tal razón se hace necesario conocer que patentes existen a nivel mundial, para no tener problemas por derechos de autor si se da el caso en el que se desarrolle un sistema similar en este proyecto. Se realiza la búsqueda en las bases de datos Espacenet, WIPO (World International Property Organization).

Además, se recopiló información acerca del desarrollo que han tenido las diferentes energías renovables a nivel global, latinoamericano y nacional, para conocer los antecedentes y evolución de las mismas, así como también se investigó sobre la normatividad para tener conocimiento de que leyes y acuerdos amparan a las energías renovables en Colombia.

#### **4.1.1. Análisis topográfico**

De igual importancia es necesario conocer la zona de estudio, para ello se realizó un **análisis topográfico** del lugar, primero se analizan las características meteorológicas, precisamente las variables velocidad, dirección del viento y radiación solar, para esto se consultó la base de datos de la NASA, para obtener las gráficas de la dirección y velocidad del viento y radiación solar que se presentan en la zona cuya ubicación es: Latitud: 4.3725590 Longitud: -74.4293220. El problema que presenta la información obtenida de la velocidad y dirección es que la altura mínima a la que toman esta información es de 10 M, y el sistema a implementar estará a máximo 5M de altura, por lo que la comparación de resultados puede complicarse.

Velocidad y dirección del viento a 10 M de altura.

Ubicación: San José del Chocho Latitud: 4.3725590 Longitud: -74.4293220

Fecha: 1/enero/2019-31 – 31/octubre/2019

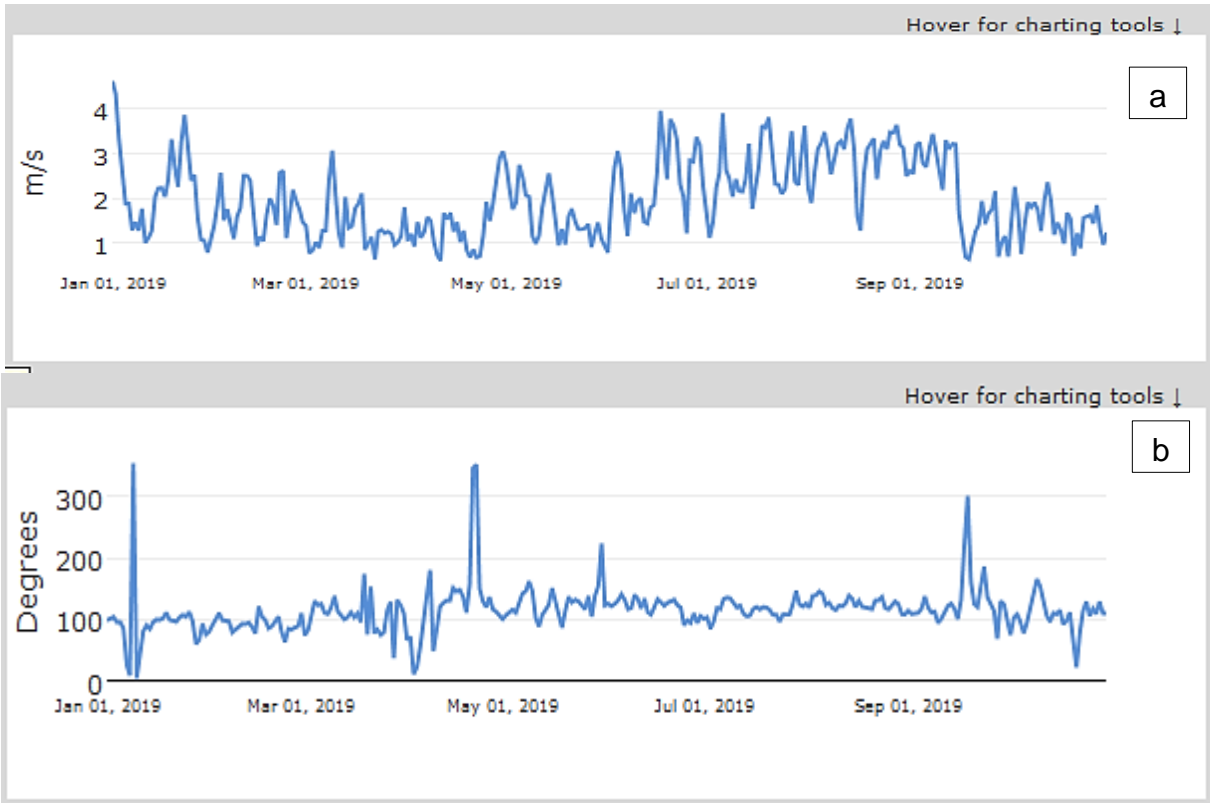


Figura 26. Graficas velocidad (a) y dirección del viento (b) tomadas de la NASA, 2019  
Fuente: Tomado de (Power Data Access Viewer, s.f.)

Rango de velocidad 10 M de altura.

Ubicación: San José del Chocho Latitud: 4.3725590 Longitud: -74.4293220

Fecha: 1/enero/2019-31 – 31/octubre/2019

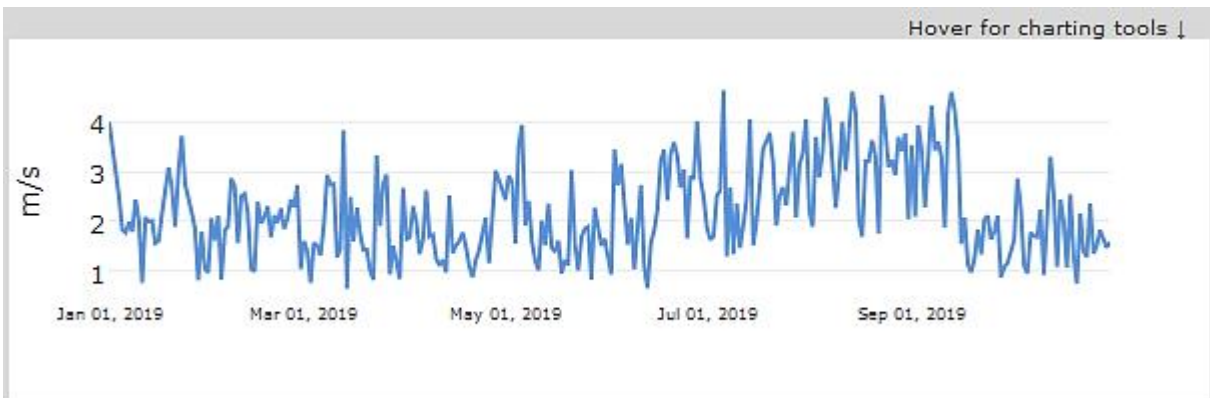


Figura 27. Grafica del rango de velocidad del viento tomadas de la NASA, 2019  
Fuente: Tomado de (Power Data Access Viewer, s.f.)

En las anteriores graficas se puede ver que la velocidad del viento presente en la zona oscila entre los 0 y 4 m/s, manteniéndose muy cerca de los 2m/s entre los meses de enero y junio de 2019, entre junio y septiembre se mantiene muy cerca de los 3 m/s, a un ángulo normalmente entre los 80 y 140° que corresponde a la dirección del viento.

**Radiación normal directa**

Ubicación: San José del Chocho Latitud: 4.3725590 Longitud: -74.4293220

Fecha: 1/enero/2019-31 – 31/octubre/2019

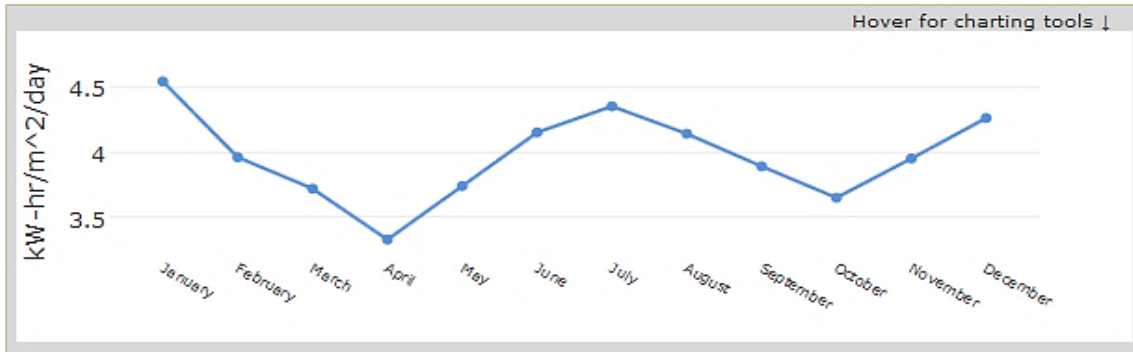


Figura 28. Gráfica de radiación normal directa en San José del Chocho, NASA Fuente: Tomado de (Power Data Access Viewer, s.f.)

Según la información que se indica en el atlas de viento de Colombia del 2017, basados en los datos recogidos por las estaciones meteorológicas Aeropuerto el Dorado en Bogotá y Tibaitará en Mosquera (Cundinamarca) y como se indica en el mapa de Vientos en el municipio de Sylvania se presenta una velocidad de viento que varía entre 2 y 3 m/s, Figura 30.

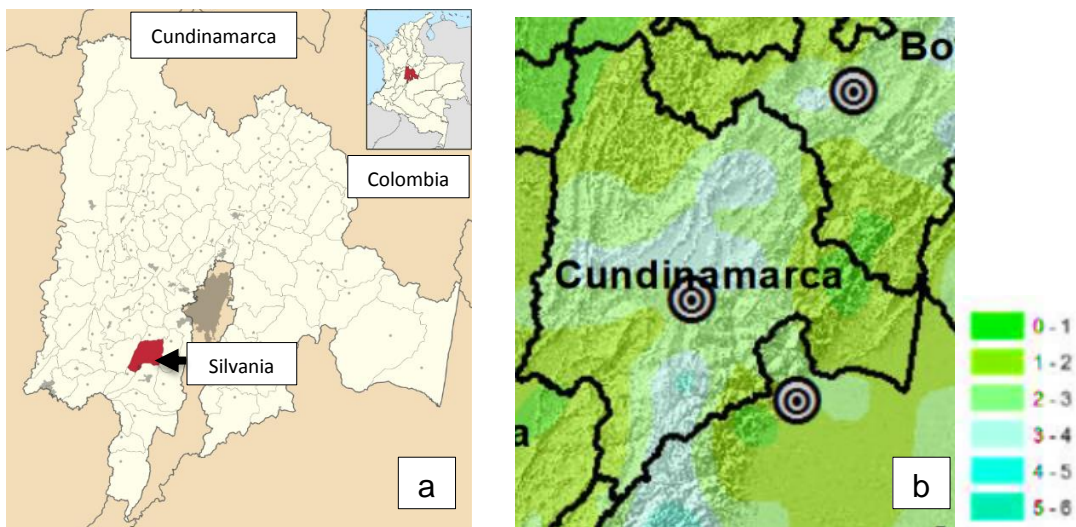


Figura 29. Ubicación del municipio de Sylvania (a), mapa de vientos anuales Cundinamarca (b).

Fuente: Tomado de (Milenioscuro, s.f.) y (IDEAM & UPME, 2017)

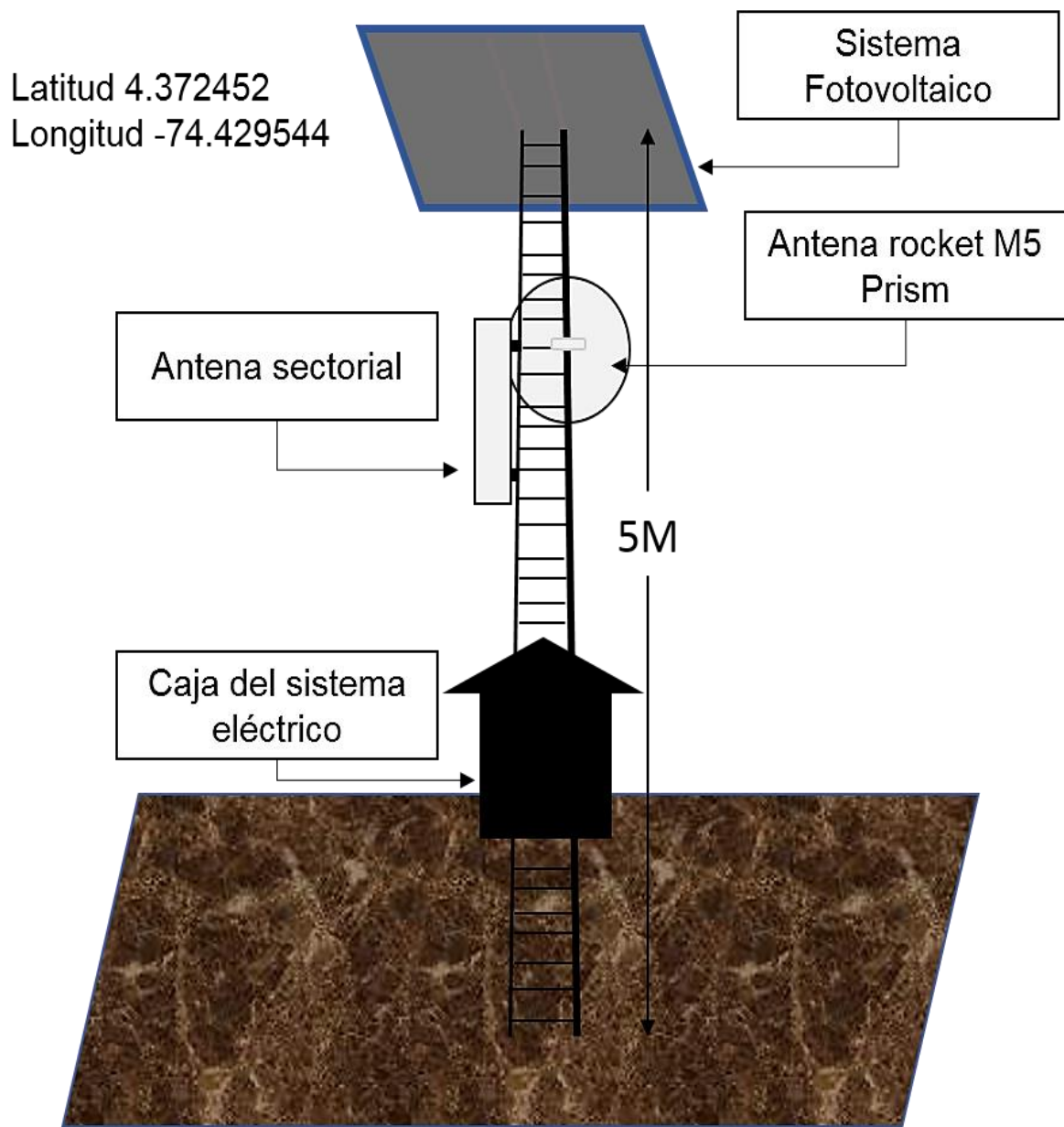


Figura 30. Estructura del Nodo Principal de la red de Bosachoque  
Fuente: Autor

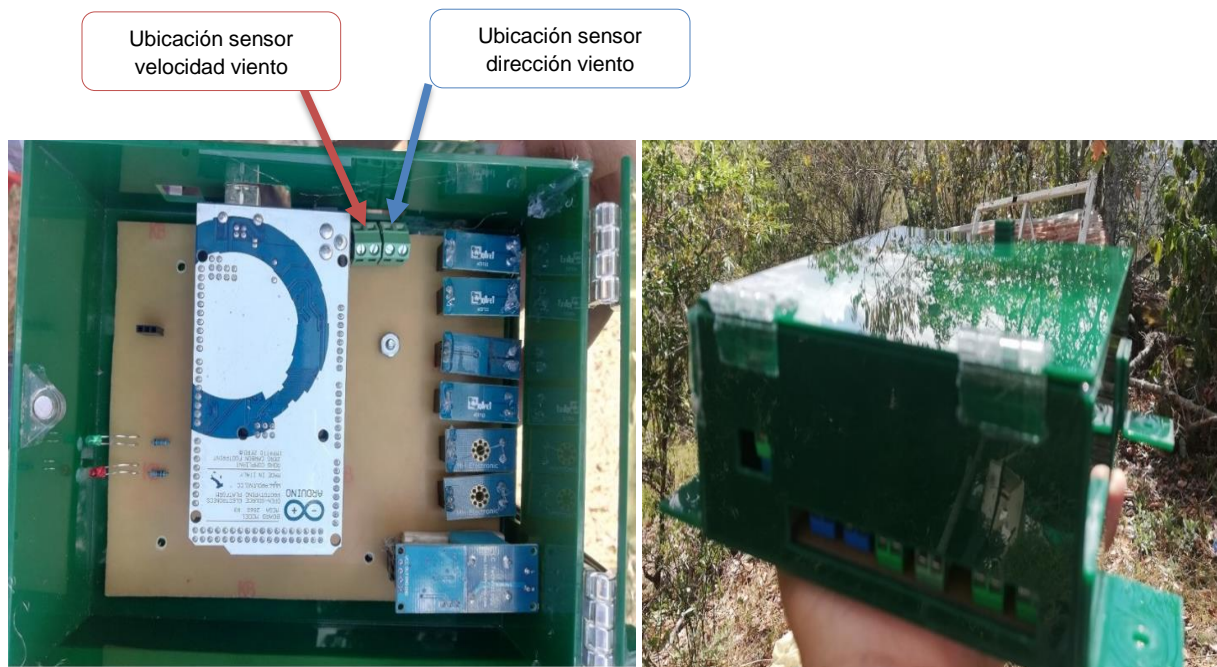
## 4.2. Diseño de sistema de adquisición de datos para la detección de viento

De acuerdo a lo que se expone en el capítulo 1 (contexto), se explica la razón por la que ciertas actividades que se desarrollaron en algunas fases de la metodología de

este trabajo, se complementan con actividades que se desarrollaron en trabajos pasados o proyectos que se ejecutaron en paralelo a este.

En esta etapa, el sistema de adquisición de datos para la detección del viento se conecta a un sistema de telemetría (tecnología que permite la medición remota de magnitudes físicas y el posterior envío de información hacia el operador del sistema) diseñado por el Auxiliar de investigación (Bonilla Diaz, 2019), Figura 32.

Este sistema transmite datos cada 20 segundos.



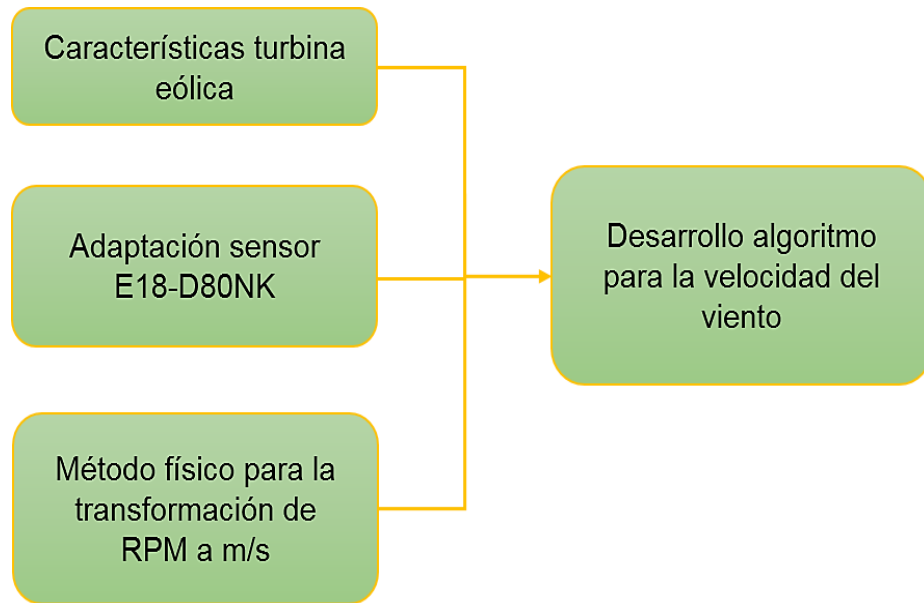
*Figura 31. Sistema de telemetría  
Fuente: Autor*

El sistema de adquisición de datos para la detección del viento se divide en dos etapas denominadas diseño sistema de detección de velocidad del viento y diseño sistema de detección de la dirección del viento.

#### **4.2.1. Diseño sistema de detección de velocidad del viento**

En el sistema que detecta la velocidad del viento, se hace uso del sensor de proximidad infrarrojo E18-D80NK, este sensor óptico reflexivo acoplado al mini generador eólico se encarga de detectar cada aspa del generador cuando el viento incide sobre estas y el buje del rotor gira.

El objetivo con este método es hallar las RPM (Revoluciones por minuto) que provoca el mini generador, para posteriormente mediante el uso métodos y formulas físicas hacer la transformación de las RPM a m/s que corresponde a la velocidad del viento por segundo, para llegar a esto se siguen una serie de pasos que son características del mini generador eólico que se va a usar, adaptación del sensor de proximidad, Método físico para la transformación de RPM a m/s y Desarrollo de algoritmo detección de viento.



*Figura 32. Diagrama diseño sistema de detección de la velocidad del viento  
Fuente: Autor*

#### **4.2.1.1. Características del mini generador eólico**

El aerogenerador usado está compuesto por el Aerogenerador de 400W, cinco aspas, centro de turbina, tornillos y cono nasal y el controlador de 12/24 V. A continuación, se presenta la descripción de la turbina y su funcionamiento.

##### **4.2.1.1.1. Descripción**

Es un sistema cuyo diseño es aerodinámico, de tamaño pequeño, genera poco ruido, Anti-óxido, Anticorrosión, a prueba de humedad, a prueba de agua, a prueba de resistencia, Cuchillas de fibra de carbono, alta eficiencia de la capacidad anti viento, movimiento silencioso y constante, Cuchillas con la capacidad de detener automáticamente la protección bajo el viento fuerte.

Tabla 14. Generador eólico de 400W a 12V/24V AC usado en el proyecto



Fuente: Imágenes tomadas de (Turbina eólica, s.f.) y editadas por Autor.

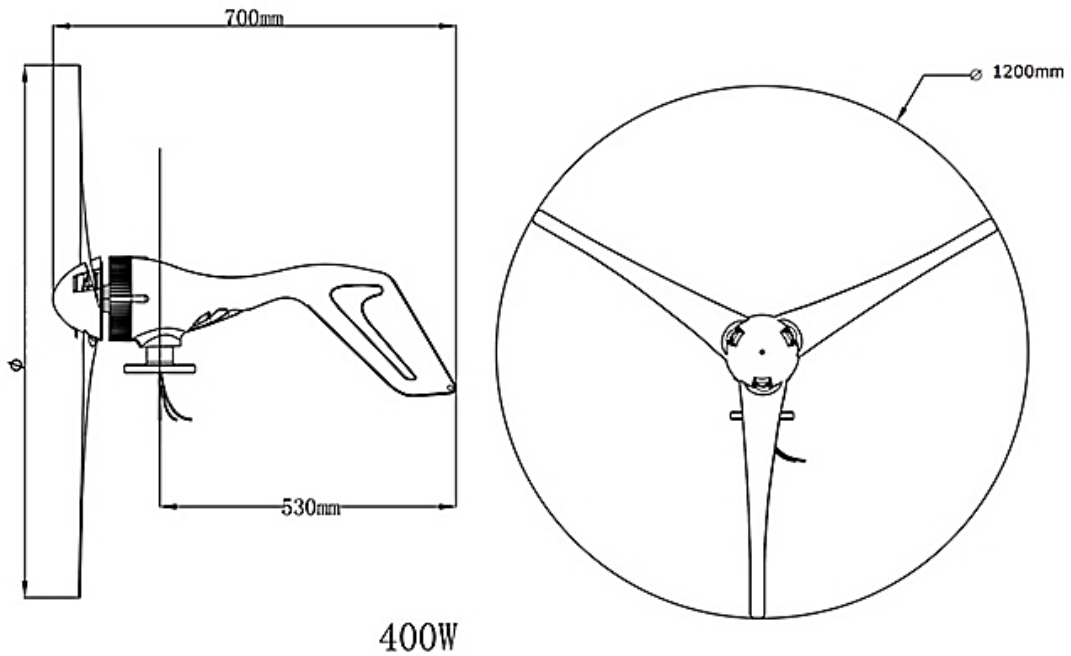
#### 4.2.1.1.2. Parámetros técnicos del generador

Se identificaron los parámetros técnicos del aerogenerador, que son necesarios para el diseño del sistema detector de viento, diseño del mástil que soporta al generador y demás elementos.

Tabla 15. Parámetros técnicos del generador utilizado

Parámetro	Característica
Potencia nominal	400 W
Voltaje AC nominal	12 V/ 24 V
Numero de palas	5
Velocidad de arranque	2.5 m/s
Velocidad de corte del viento	3.5 m/s
Velocidad nominal del viento	13 m/s
Motor	Generador de imanes permanente trifásico
Diámetro del rotor	1200 mm
Material de las aspas	Fibra de carbón con nylon
Diámetro de la torre sugerida	48 mm
Línea de salida dispositivo anti-devanado	Conmutador trifásico general
Equipo de protección de la superficie	Óxido de aluminio + revestimiento plástico
Vida útil	15 años
Temperatura de trabajo	-40°C a 70°C
Peso	10.5 Kg

Fuente: Información tomada de (SUNFORCE, s.f.)



400W

Figura 33. Dimensiones del generador eólico  
Fuente: Tomado de (Turbia eólica, s.f.)

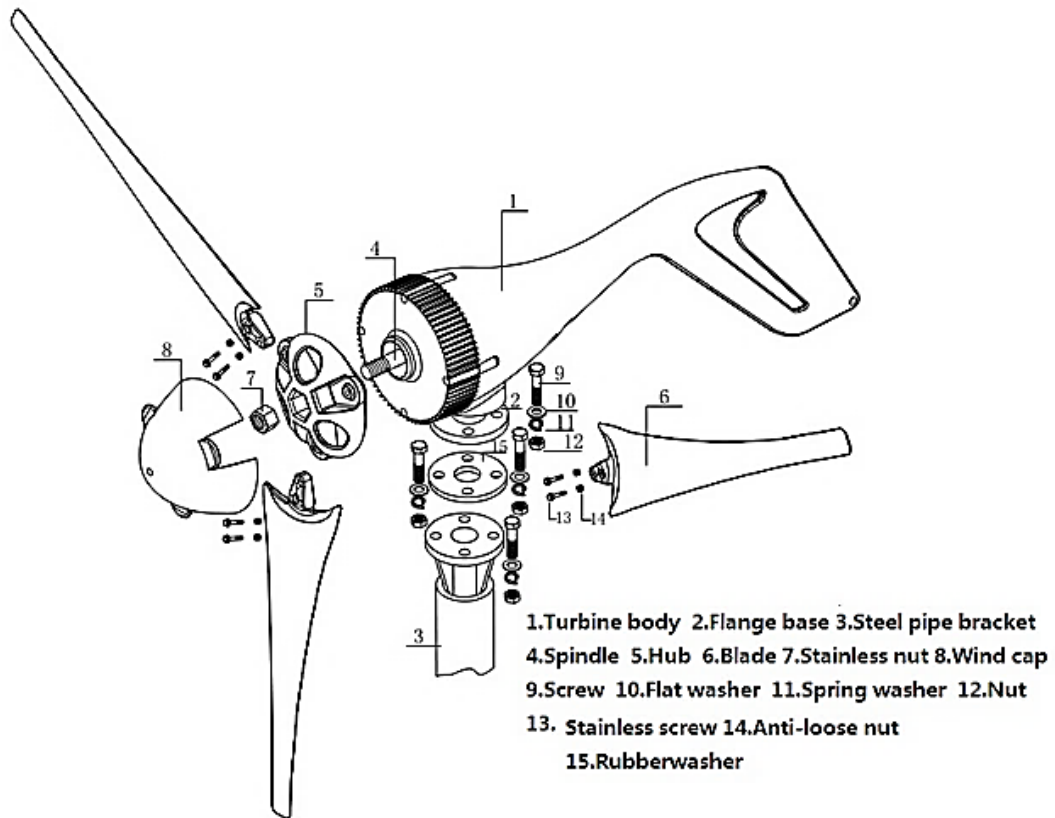


Figura 34. Partes de la turbina eólica  
Fuente: Tomado de (Turbia eólica, s.f.)

#### 4.2.1.2. Adaptación del sensor de proximidad infrarrojo E18-D80NK

Se escogió este sensor de proximidad, en vista de que está diseñado para usarse en exteriores. Como microcontrolador para el procesamiento de los datos se usó la placa ARDUINO MEGA, está permite el uso de interrupciones, muy recomendables para aplicaciones donde sea necesario contar las RPM de un motor, por esta razón se utilizó, para poder medir las RPM de la turbina eólica.

En la Figura 36, se muestra el funcionamiento del sensor de proximidad, en la tabla 18 las características de operación y en la Figura 37 la conexión que se siguió con el microcontrolador ARDUINO.

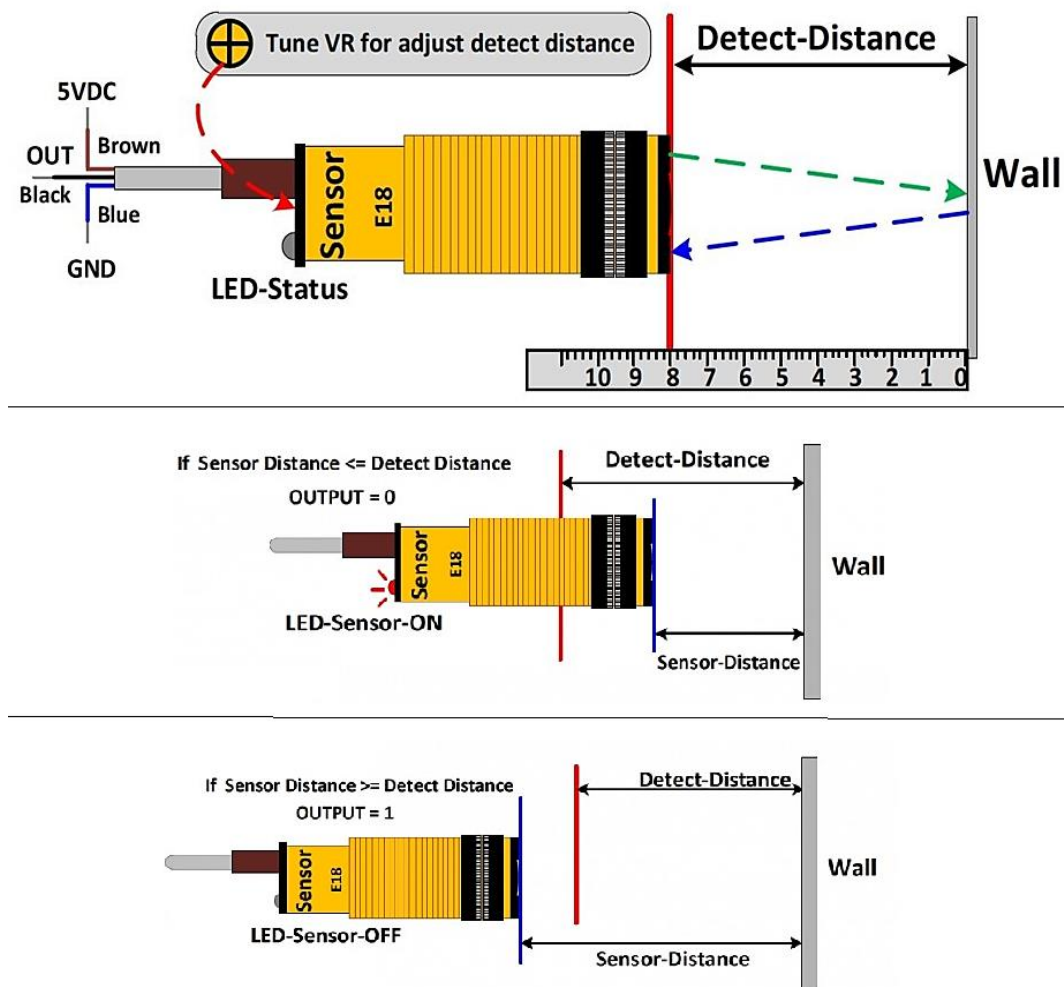


Figura 35. Partes y modo de operación sensor E18-D80NK  
Fuente: Tomado de (MaxElectronica , s.f.)

Se debe tener en cuenta que este sensor es digital, por lo que entregará un nivel lógico alto o bajo (1 o 0), dependiendo de la sensibilidad ajustada en el potenciómetro de la parte trasera del sensor.

Tabla 16. Características sensor de proximidad infrarrojo E18-D80NK

Características sensor de proximidad infrarrojo E18-D80NK	
Tensión de operación	5 V DC
Rango de detección	3-80 cm ajustable
Corriente de salida máx.	100 Ma
Salida	Tipo NPN Normalmente Abierto
Dimensiones	8 (diámetro) x 68 (largo) mm
Largo del cable	50 cm
Material	Polímero (Plástico)
Temperatura de Trabajo	-25 a 70°C
Conexiones	Cable Café +5V Cable Azul GND o Negativo Cable Negro Salida

Fuente: Información tomada de (tinkbox, s.f.)

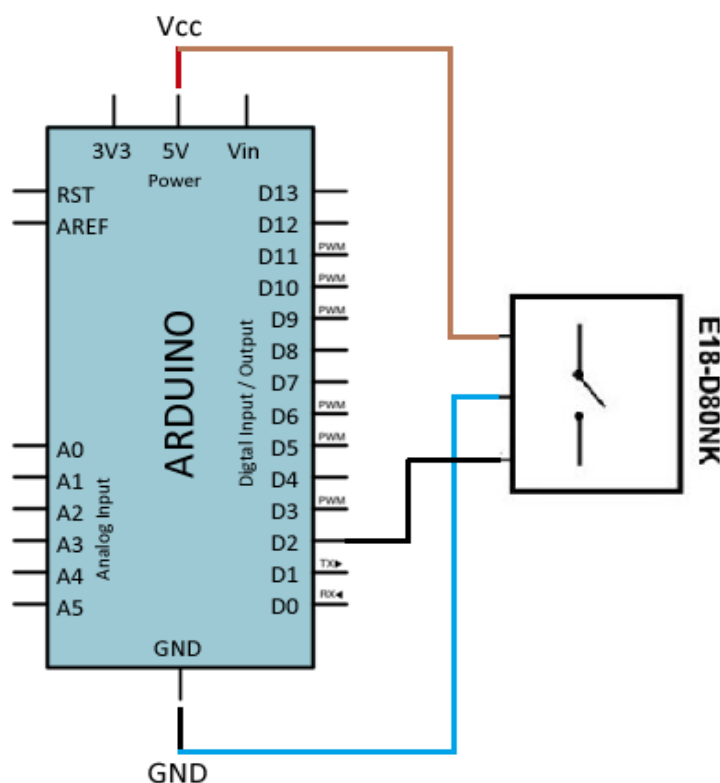


Figura 36. Conexión sensor de proximidad E18-D80NK al microcontrolador Arduino  
Fuente: Imágenes tomadas de (MaxElectronica , s.f.) y editadas por Autor

Para hacer el programa en Arduino se usaron las interrupciones que proporciona este microcontrolador, para detectar el cambio de estado en la entrada digital que está leyendo el sensor.

La **interrupción** es un mecanismo que permite asociar una función a la ocurrencia de un determinado evento. Esta función de callback asociada se denomina ISR (Interruption Service Rutine). Cuando ocurre el evento el procesador "sale" inmediatamente del flujo normal del programa y ejecuta la función ISR asociada ignorando por completo cualquier otra tarea (por esto se llama interrupción). Al finalizar la función ISR asociada, el procesador vuelve al flujo principal, en el mismo punto donde había sido interrumpido (Llamas, 2016).

*Tabla 17. Eventos detectados por las interrupciones de Arduino*

Eventos de las interrupciones en Arduino	
<b>RISING</b>	Ocurre en el flanco de subida (LOW a HIGH)
<b>FALLING</b>	Ocurre en el flanco de bajada (HIGH a LOW)
<b>CHANGING</b>	Cuando el ping cambia de estado (RISING+FALLING)
<b>LOW</b>	Se ejecuta continuamente mientras el estado está en LOW

*Fuente: Tomado de (Llamas, 2016)*

Los pines capaces de generar interrupciones varían según el modelo de Arduino. El Arduino Mega, dispone de los siguientes:

*Tabla 18. Pines disponibles en ARDUINO MEGA para las Interrupciones*

Modelo	INT0	INT1	INT2	INT3	INT4	INT5
<b>Mega</b>	2	3	21	20	19	18

*Fuente: Tomado de (Llamas, 2016)*

A continuación, se muestra el diseño de la estructura que soporta el sensor de proximidad infrarrojo E18-D80NK y lo acopla a la turbina eólica, para su diseño se tuvo en cuenta el diámetro del cuerpo de la turbina, diámetro del sensor, distancia a la que va a estar el sensor del cuerpo de la turbina y distancia entre del sensor y las aspas. También se muestra el anemómetro usado para la validación del sistema que detecta la velocidad del viento, Tabla 19.

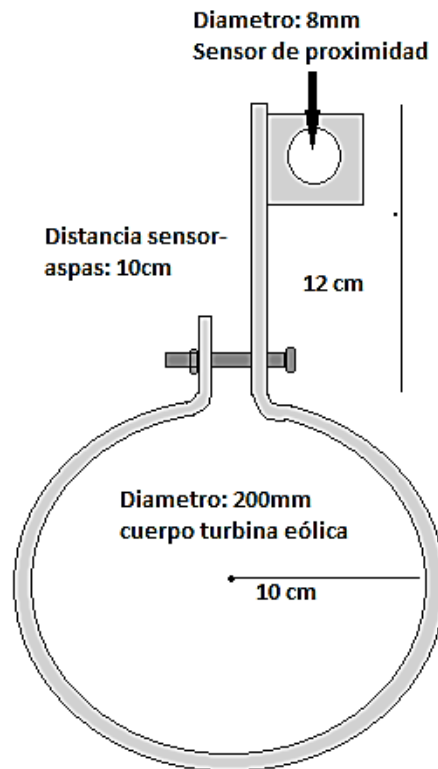


Figura 37. Diseño estructura de soporte para el sensor E18-D80NK  
Fuente: Autor

Tabla 19. Anemómetro usado para validación del sistema detector de viento

<b>Anemómetro digital LCD portátil</b> <b>Medidor de velocidad del viento y temperatura</b>	
	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rango de medición velocidad: 0-30 m/s</li> <li>• Velocidad del viento: m/s, Km/h, ft/min, nudos, mph</li> <li>• Rango de temperatura del viento: -10 ~ 45°C</li> <li>• Batería de alimentación: 3V CR2032</li> <li>• Consumo de corriente: sobre 3mA</li> <li>• Error: ± 5%</li> </ul>

Fuente: Información tomada de (amazon.es, s.f.)

#### 4.2.1.3. Método físico para la transformación de las RPM a m/s

Para este análisis se tomó como referencia el artículo “Design and construction of microcontroller Based Wind speed and direction monitoring system”, en este trabajo se diseña un sistema similar al planteado en el proyecto que se desarrolló en este trabajo, hacen uso de un LED infrarrojo que transmite y un foto diodo que recibe la señal infrarroja transmitida, así se detectan los pulsos por cada vuelta que da un sistema de anemómetro tipo cazoleta, estos pulsos son leídos por un microcontrolador PIC 16F887. Con los pulsos finalmente se hallan las RPM (revoluciones por minuto) y se hace la transformación a m/s (Babu, Acharjya, & Alam, 2014).

Siguiendo lo planteado en el proyecto que se explica con anterioridad, se hizo necesario conocer los métodos físicos que se aplican para la transformación de las RPM a m/s, o en términos físicos pasar la velocidad Angular ( $\omega$ ) a velocidad Tangencial o Lineal ( $V$ ), estos se explican a continuación.

##### 4.2.1.3.1. Movimiento circular Uniforme (MCU)

Describe el movimiento de un cuerpo atravesando con rapidez una trayectoria circular. Aunque la rapidez del objeto es constante, su velocidad no lo es: La velocidad, una magnitud vectorial, tangente a la trayectoria, en cada instante cambia de dirección. Esta circunstancia implica la existencia de una aceleración que, si bien en este caso no varía al módulo de la velocidad, sí varía su dirección.

El movimiento circular uniforme está presente en muchas situaciones de la vida cotidiana: las manecillas de un reloj, las aspas de un aerogenerador, las ruedas el plato de un microondas, las fases de la Luna, etc. (recursostic, s.f.)

##### 4.2.1.3.2. Velocidad lineal ( $V$ )

Es la rapidez con que se mueve un punto a lo largo de una trayectoria circular.

$$V = \frac{\text{arco}}{\text{tiempo}} = \frac{\Delta S}{\Delta t} \text{ m/s} \quad (1)$$

$\Delta S$ = distancia recorrida

$\Delta t$ = Intervalo de tiempo

##### 4.2.1.3.3. Velocidad angular ( $\omega$ ),

En el MCU es un ángulo de barrido,  $\Delta\phi$ , en un intervalo de tiempo  $\Delta t$ .

$$\omega = \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \text{ rad/s} \quad (2)$$

$\Delta\varphi$ = desplazamiento lineal

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta S}{R} \quad (3)$$

La velocidad angular también se puede expresar en revoluciones por minuto (*rpm*, *rev/s*) y su equivalente es:

$$1 \text{ rpm} = \frac{2\pi}{60} \text{ rad/s} \quad (4)$$

#### 4.2.1.3.4. Relación entre $V$ y $\omega$

Cuando un disco gira con cierta rapidez, la velocidad lineal definida sobre la trayectoria y la velocidad angular definida sobre el ángulo de barrido en un tiempo dado se producen de forma simultánea. Por lo tanto, es posible establecer una relación entre la velocidad lineal y la angular. Si el desplazamiento angular y la velocidad angular se representan con las ecuaciones (2) y (4), respectivamente. (recursostic, s.f.)

Al despejar  $\Delta\varphi$  en (4), igualar con (2) y despejar  $\omega R$ , resulta:

$$\omega R = \frac{\Delta S}{\Delta t} \quad (5)$$

La ecuación (5) se iguala con (6), así se obtiene  $V$  (velocidad Lineal o tangencial) de la relación con  $\omega$  (velocidad angular):

$$V = \omega R \text{ m/s} \quad (7)$$

$R$ = radio (m)

#### 4.2.1.3.5. Ecuación de velocidad Tangencial aplicada para la velocidad del viento de la turbina eólica

Entonces para llegar a la velocidad lineal o tangencial ( $V$ ), a partir de las RPM tomadas de la turbina que corresponden a la velocidad angular ( $\omega$ ), primero es necesario pasar las *rpm* a *rad/s*, usando la ecuación (3), una vez se tenga  $\omega$  en *rad/s*, se aplica directamente la ecuación (7), o también se puede usar directamente la siguiente ecuación, resultante de las ecuaciones (3) y (7):

$$V = (\text{rpm} * \frac{2\pi}{60})R \text{ m/s} \quad (8)$$

*rpm*= revoluciones por minuto de la turbina eólica.

$R$ = radio del rotor en (m)

#### 4.2.1.4. Desarrollo de algoritmo detección de viento

Para el desarrollo del algoritmo se tienen en cuenta los siguientes parámetros, recopilados de las anteriores etapas:

Tabla 20. Parámetros a tener en cuenta para el desarrollo del algoritmo

Parámetro	Valor
Radio del rotor (R)	0.6 m
Velocidad Tangencial (V)	$(rpm * \frac{2\pi}{60})R \text{ m/s}$
Evento de la interrupción	CHANGE
Numero de aspas	5
Tiempo envió de datos sistema de telemetría	Cada 20 segundos

Fuente: Autor

Para hallar las RPM se tienen en cuenta el número de aspas de la turbina, el evento de la interrupción y el Tiempo envió de datos sistema de telemetría.

Si se sabe que el generador este compuesto por cinco aspas o palas, significa que por cada vuelta del buje del rotor el sensor de proximidad va a detectar cinco interrupciones. Dicho de otra manera:

$$5 \text{ interrupciones} = 1 \text{ revolución} \quad (9)$$

Puesto que el sistema de telemetría envía datos cada 20 segundos, entonces el sensor E18-D80NK toma las interrupciones durante esos segundos (# interrupciones) y luego se envía el dato, no sin antes haber hecho la conversión a RPM.

$$RPM = \frac{\# \text{ interrupciones}}{20 \text{ seg}} * \frac{20 \text{ seg}}{0.3 \text{ min}} * \frac{1 \text{ rev}}{5 \text{ interrupciones}} \quad (10)$$

$$RPM = \frac{\#}{1.5} \frac{\text{rev}}{\text{min}} \quad (11)$$

#=corresponde al número de interrupciones tomadas por el sensor

Con los parámetros requeridos establecidos, se procedió con el desarrollo del algoritmo que detecta la velocidad del viento usando el IDE ARDUINO versión 1.8.9. El diagrama general del algoritmo, se presenta en la Figura 38.

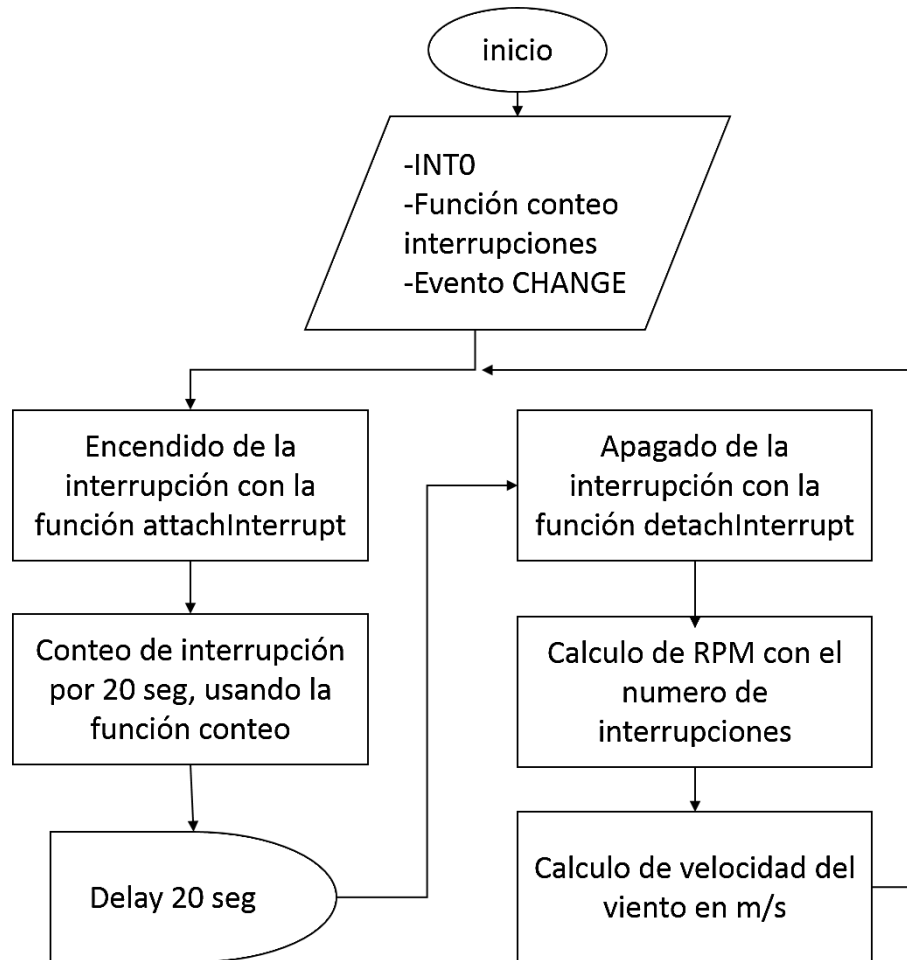


Figura 38. Diagrama de flujo Algoritmo detección velocidad del viento  
Fuente: Autor

#### 4.2.2. Diseño sistema de detección de dirección del viento

Para el diseño del sistema de dirección del viento, se utiliza un potenciómetro de 100kΩ, el cual se alimenta con los 5V que genera la placa Arduino Mega, este potenciómetro se conectó al eje de la torre de una veleta, cuando el viento incide sobre las aspas de la veleta su cuerpo gira haciendo que varíe el voltaje del potenciómetro de 0-5 V, posteriormente se hace la conversión por medio de regla de tres de voltaje a grados para conocer la dirección del viento, el diseño de la veleta se muestra en la Figura 35.

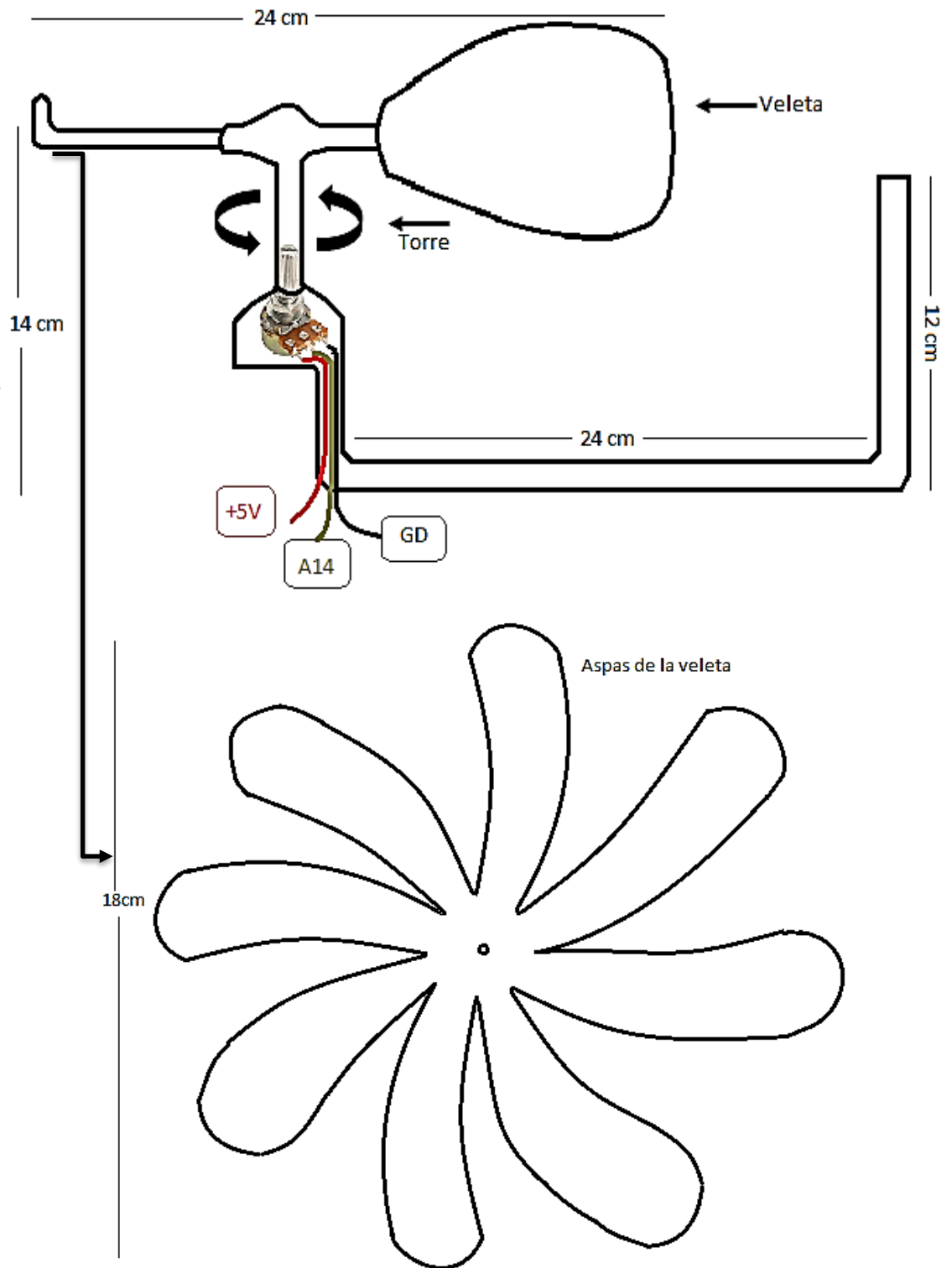


Figura 39. Diseño sistema de detección de dirección del viento  
Fuente: Autor

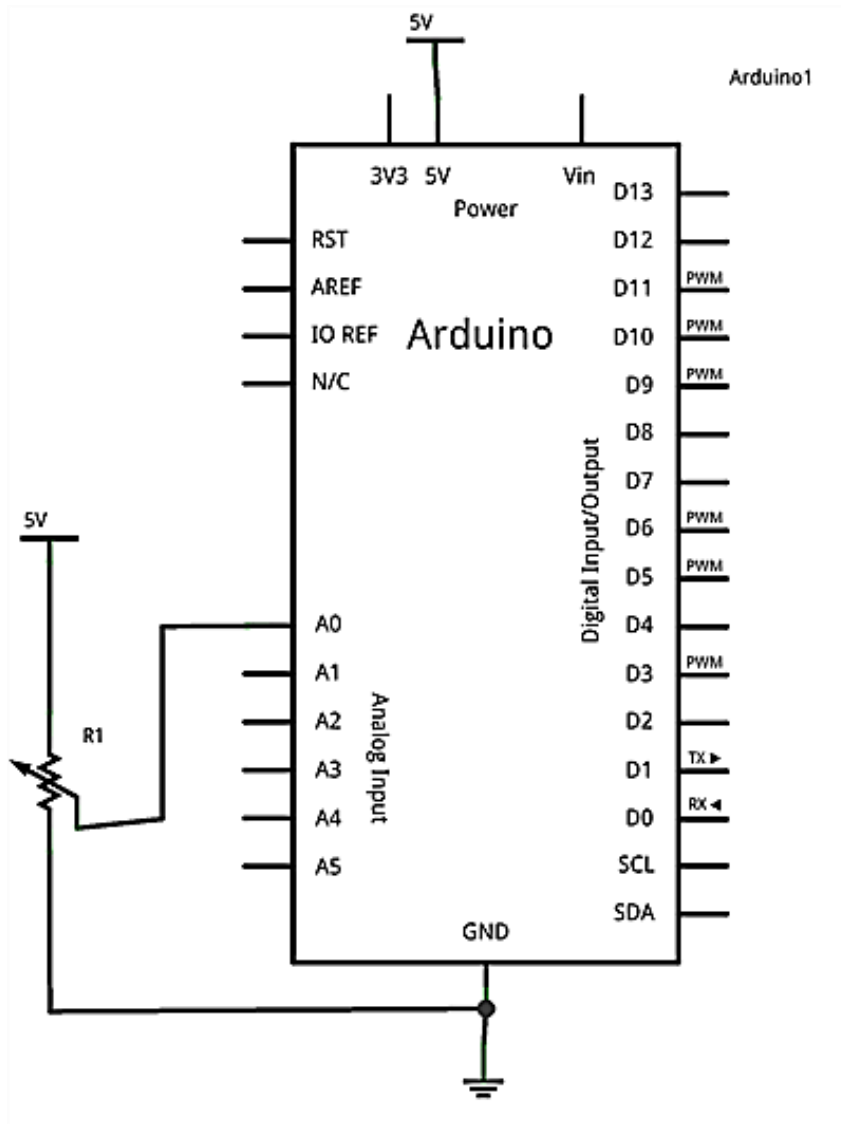
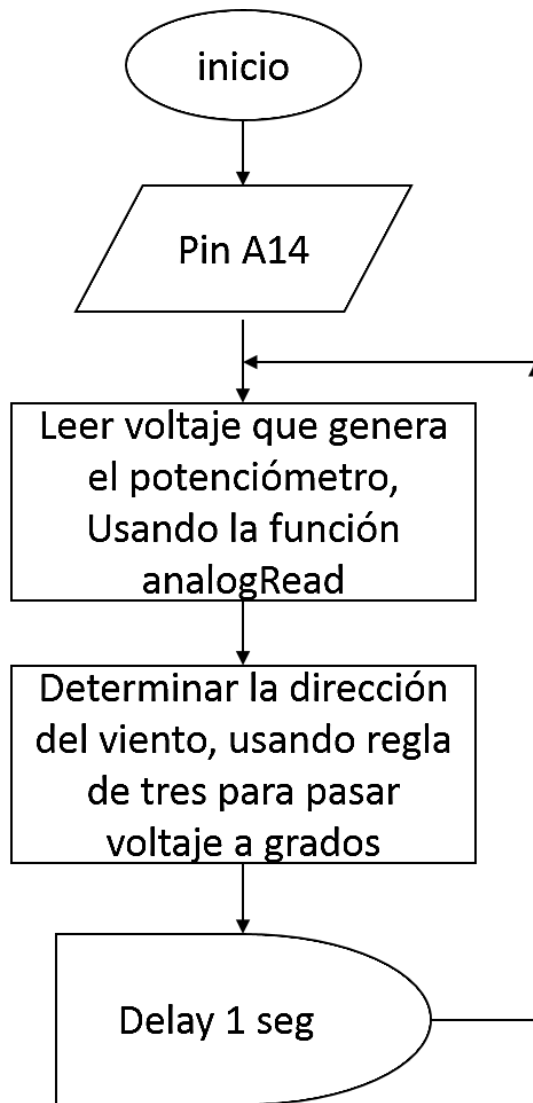


Figura 40. Conexión potenciómetro a la placa de Arduino Mega  
Fuente: Tomado de (Llamas, 2016)

Se sigue la conexión anterior, pero para la lectura el potenciómetro se conecta al pin analógico 14, la lectura de este se da en voltios, que varía de 0 a 5 V, se aplica la fórmula (12) para hacer la transformación y obtener los grados que corresponden a la dirección del viento. Esta fórmula se puede aplicar porque la lectura del potenciómetro es lineal.

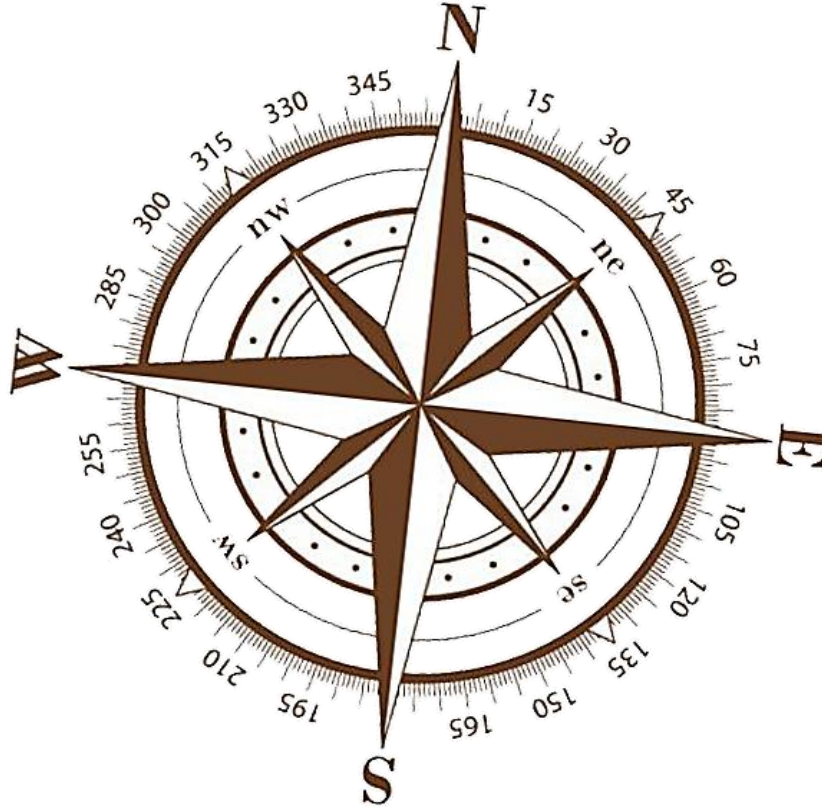
$$\text{Dirección } (^{\circ}) = \frac{\text{Lectura voltaje} * 360}{5} \quad (12)$$



*Figura 41. Diagrama de flujo Algoritmo detección dirección del viento  
Fuente: Autor*

Para conocer los grados a que posición corresponden se sigue la imagen de la Figura 38, que corresponde a la rosa de los vientos, donde cada punta representa un punto con una dirección diferente, Los cuatro puntos principales son: Norte (N) Sur (S) Este (E) y Oeste (O) y todos ellos se conocen como puntos cardinales; entre cada punto cardinal existen otros punto llamados puntos laterales y toman el nombre de la unión de los puntos cardinales que tiene a sus lados los cuales son: Noreste (NE) Sureste (SE) Suroeste (SO) Noroeste (NO).

La rosa de los vientos está dividida en 360° e inicia en el punto Norte con 0° y los grados aumentan en el sentido que giran las agujas del reloj, (SCOUTS DE MEXICO, 2013).



*Figura 42. Rosa de los vientos.*  
*Fuente: Tomado de (SCOUTS DE MEXICO, 2013)*

### **4.3. Implementación del sistema**

Una vez se finalizaron las etapas de análisis de la turbina y diseño de los sistemas de detección del viento, estos fueron implementados y se procedió con desarrollo de la página WEB que se encarga de mostrar gráficamente los resultados transmitidos por el sistema de Telemetría diseñado e implementado por el auxiliar de investigación (Bonilla Diaz, 2019)

Básicamente en este paso se hace la integración de los sistemas de detección de viento al generador eólico y a su vez se conectan con el sistema de telemetría, además, se conecta el sistema al regulador de carga del sistema de energía solar en operación para formar el sistema híbrido eólico-fotovoltaico.

#### **4.3.1. Implementación del sistema de detección de la velocidad del viento**

Como primer paso se colocó el sistema de detección de la velocidad del viento en la turbina eólica, como se muestra en la Figura 39.



*Figura 43. Implementación sistema velocidad de viento  
Fuente: Autor*

Como se aprecia en la anterior imagen la estructura de soporte para el sensor se creó siguiendo el diseño planteado en la Figura 33. El soporte presenta las características que se muestran en la siguiente tabla:

*Tabla 21. Características del soporte para el sensor de velocidad de viento*

<b>Elemento</b>	<b>Característica</b>
<b>Material</b>	Aluminio
<b>Diámetro agarradera cuerpo de la Turbina</b>	20cm
<b>Diámetro agujero para ajustar sensor</b>	0.8 cm
<b>Altura brazo que soporta el sensor</b>	12 cm
<b>Distancia entre sensor y aspas</b>	8cm

Fuente: Autor

#### **4.3.2. Instalación turbina eólica**

Inicialmente para efectos de prueba, se instaló la turbina sobre un trípode a 2 metros de distancia de la torre de Telecomunicaciones de San José del Chocho en Sylvania Cundinamarca, se ubicó en este punto en vista de que se encuentra despejado, de esta manera al girar la Turbina, está no se va a encontrar con obstáculo alguno, además, no se podía dejar a mayor distancia puesto que, en la torre se encuentra el contenedor donde se depositan todos los aparatos de red y radioenlaces, y allí también se instala el sistema de telemetría, que recibe las señales de los sistemas de detección de viento, entonces entre más lejos estén se entra en la obligación de usar cableado de mayor longitud haciendo que se incrementen las pérdidas en el transporte de los datos.

En ese momento la turbina estuvo en el lugar por aproximadamente 15 días, al revisarla se encontró que las aspas estaban causando problemas en el giro, esto se debió a que, no salieron de la mejor calidad, por lo que por efectos del exterior (sol y lluvia) tendieron a doblarse hacia afuera, entonces se tuvo que desmontar el sistema.

Como primera medida para arreglar el daño en las aspas de la turbina, se mandaron a reforzar con aluminio y fibra de vidrio, el resultado se muestra en la Figura 40 (b). Posteriormente, para poder hacer las pruebas del funcionamiento del sistema de velocidad del viento y por tiempo, la turbina se instaló en la terraza del bloque F de la Universidad de Cundinamarca. En ese momento el sistema de telemetría también se

encontraba en etapa de pruebas, para el envío de datos se hacía uso del módulo ethernet Shield W5100 Para Arduino, que le permite a Arduino conectarse a Internet, de esta manera envía los datos a la base de datos del proyecto que se encuentra en un servidor en internet.

Los resultados de esta prueba fueron insatisfactorios, en vista de que, preciso en aquel momento en la universidad de Cundinamarca se hicieron cambios en la red de internet, estos cambios no fueron compatibles con el módulo, por lo que no le permitía conectarse a internet, entonces no se pudieron hacer pruebas reales del funcionamiento del sistema de detección de la velocidad del viento.

Lo anterior se suma al hecho de que el nodo que provee de internet a la red comunitaria de Bosachoque, se encuentra en la Universidad de Cundinamarca, entonces en el nodo de San José del Chocho, también se evidencio el problema cuando se instaló por segunda vez la turbina eólica y no se consiguió la transmisión de información. Además, se notó que el refuerzo que se le hizo a las aspas con fibra de vidrio y aluminio estaba afectando la rotación del mini generador, dado al peso extra de la capa que se le puso de fibra de vidrio.



(a). Primera instalación de la turbina en San José del Chocho



(b). Aspas con refuerzo de Fibra de vidrio y aluminio



(c). Segunda instalación de la turbina en San José del Chocho

*Figura 44. Proceso de instalación de la turbina eólica*

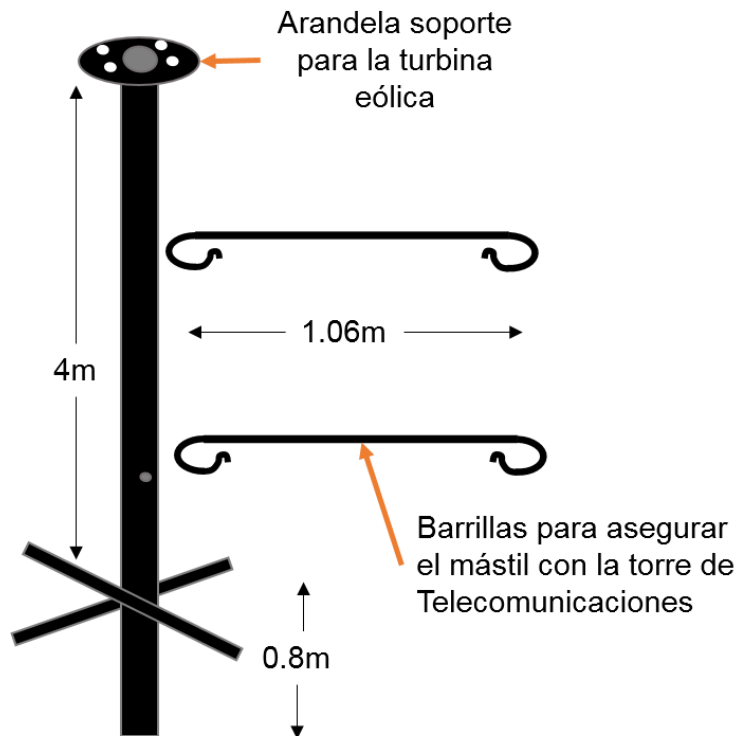
*Fuente: Autor*

Con los problemas presentes hasta ese momento, se tuvieron que hacer cambios en el sistema de telemetría y en la turbina eólica. En cuanto al sistema de telemetría, el

módulo Ethernet se reemplazó por el módulo WIFI Board NodeMcu Lua WIFI v1.0 basado en ESP8266 y las aspas se reemplazaron por unas nuevas.

Después de acondicionar el sistema de energía eólica, y que empezara a trabajar, se notó que se presentaba un alto nivel de turbulencia, haciendo que se balanceara el mástil del trípode provocando inestabilidad en el mismo. De esta manera se optó por no dejar trabajar el sistema hasta que, se estableciera una estructura firme que soportara la turbina eólica. En esta ocasión al igual que las anteriores, no se pudieron realizar las pertinentes pruebas reales para validar el funcionamiento del sistema de detección de velocidad de viento. Cabe aclarar que, para probar el funcionamiento del medidor de velocidad, debe de estar en funcionamiento la turbina.

De acuerdo a lo anterior, se diseñó e instaló la estructura que se muestra en la Figura 41.



*Figura 45. Diseño estructura de soporte para la turbina eólica*  
*Fuente: Autor*

Para el diseño de la estructura del mástil, se tuvo en cuenta la distancia a la que debe estar de la torre pues se maneja cableado que va conectado a los aparatos de la caja almacenadora, también la altura del mástil se maneja de tal manera que la turbina al girar no fuera a chocar con el panel solar. Además, se buscó que la estructura se ajustara al presupuesto.



*Figura 46. Instalación estructura de soporte del sistema eólico*  
*Fuente: Autor*

Una vez se tiene una estructura de soporte firme para la turbina, se conecta el sistema eólico al regulador de carga híbrido, este permite conectar directamente las tres fases. A continuación, se muestra los aparatos que funcionan dentro de la caja contenedora de la torre de Telecomunicaciones de San José del Chocho, resaltando el sistema regulador híbrido PWM eólico/solar.

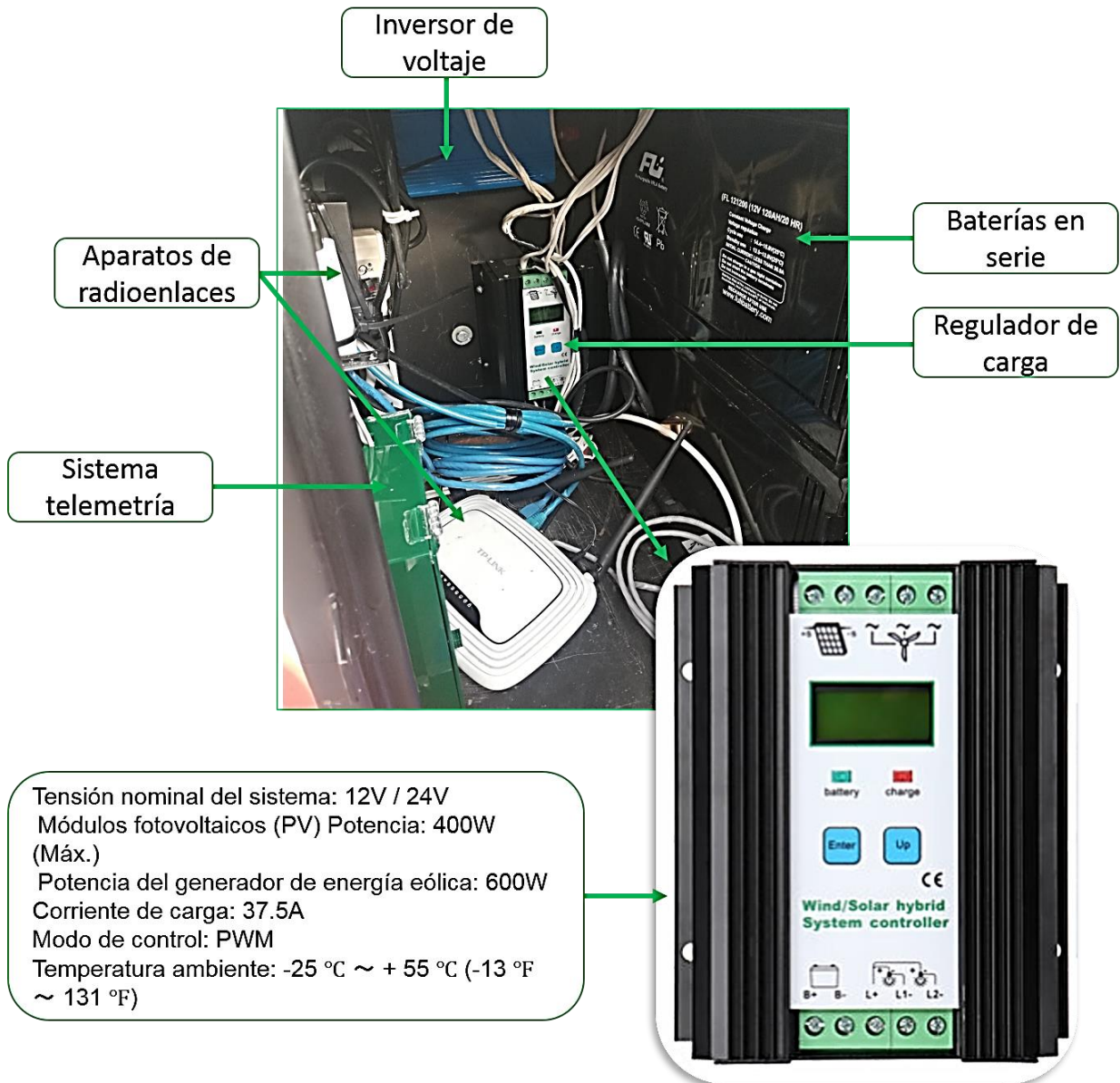


Figura 47. Aparatos de red y radioenlaces almacenados en la caja contenedora de la Torre de comunicación en San José  
Fuente: Autor, información tomada de (Características del controlador híbrido, s.f.)

### 4.3.3. Implementación del sistema de detección de dirección del viento

Siguiendo el diseño planteado en la Figura 35, se obtiene el sistema de la Figura 44. Este sistema se acopla al mástil de la estructura que soporta la turbina por medio de 3 amarraderas plásticas. Para su ubicación se tiene en cuenta una distancia de 80 cm entre su punto de amarre y la arandela de soporte para la turbina (Figura 46), para que al girar las aspas del generador no causen rozamiento.



*Figura 48. Sistema de detección de la dirección del viento  
Fuente: Autor*

#### 4.3.4. Desarrollo página WEB para la visualización de variables

A partir de la necesidad de recibir, procesar y mostrar gráficamente la información transmitida por el sistema de telemetría, con el auxiliar de investigación (Bonilla Diaz, 2019) se planteó el desarrollo de un sitio WEB que entregue información fácil de analizar sobre el funcionamiento del sistema general, como requisitos se definieron los siguientes:

Sitio web que reciba los datos del sistema de energía y los procese, para obtener graficas en tiempo real sobre la velocidad y dirección del viento, estado de las baterías, potencias generadas por el sistema eólico y fotovoltaico.

Las gráficas deben ser descriptivas, indicativas, en caso de que el estado de las baterías sea negativo, se indique un tipo de advertencia.

La recepción de datos se hace cada 20 segundos.

Se maneje un histórico de los datos, para consultar graficas en determinados rangos de tiempo.

Los pasos para el desarrollo del sitio WEB, se muestran en la siguiente Figura.

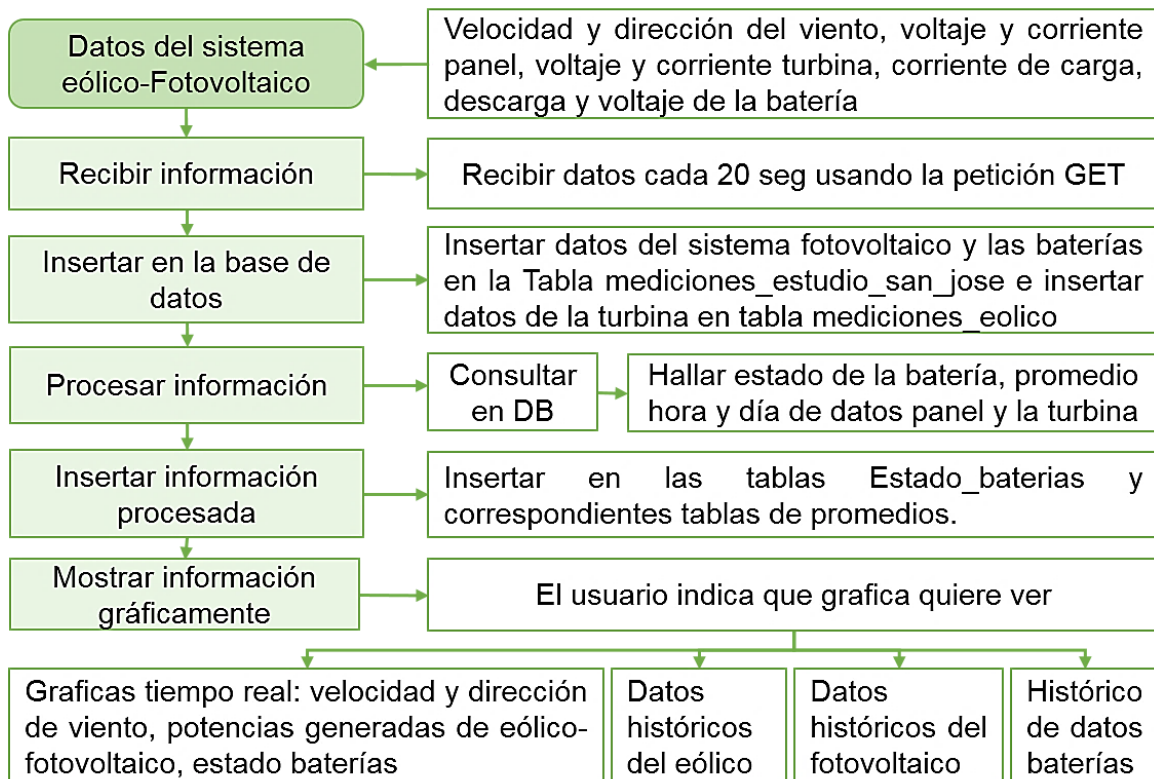


Figura 49. Diagrama de bloque del proceso para el desarrollo de la página WEB  
Fuente: Autor

Se definió que el público objeto del sitio WEB, será cualquier persona que tenga el link del sitio y que desee acceder a él a través de internet. Se consideró que las personas interesadas serian aquellas que tengan conocimiento del proyecto desarrollado, la comunidad de Bosachoque beneficiada con el servicio y auxiliares de investigación que trabajan en torno al proyecto Macro de la facultad de ingeniería de la Universidad de Cundinamarca

#### 4.3.4.1. Selección de la arquitectura

La arquitectura más conveniente a la que se llegó, según la información del proceso de la Figura 45 fue la de tres capas, teniendo en cuenta que se reciben y almacenan datos, se procesan esos datos y se muestran a través de graficas en tiempo real y otras graficas de consulta.

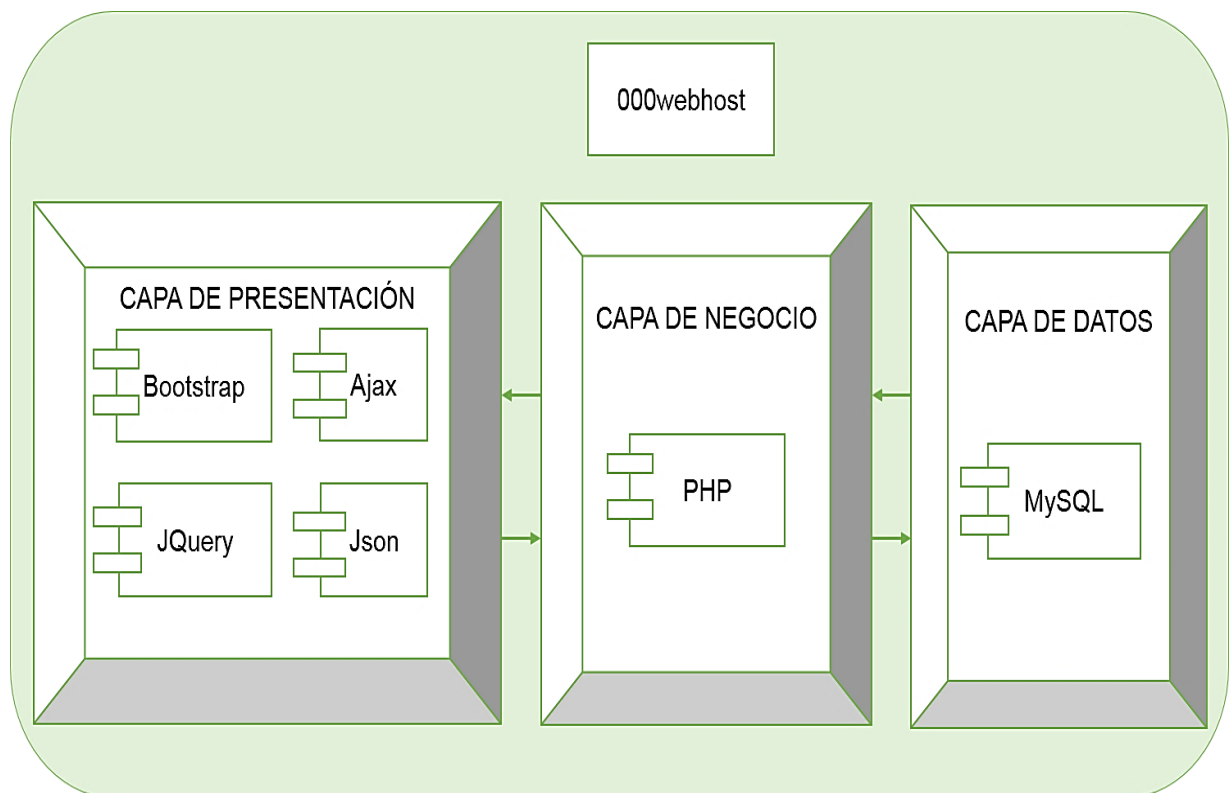
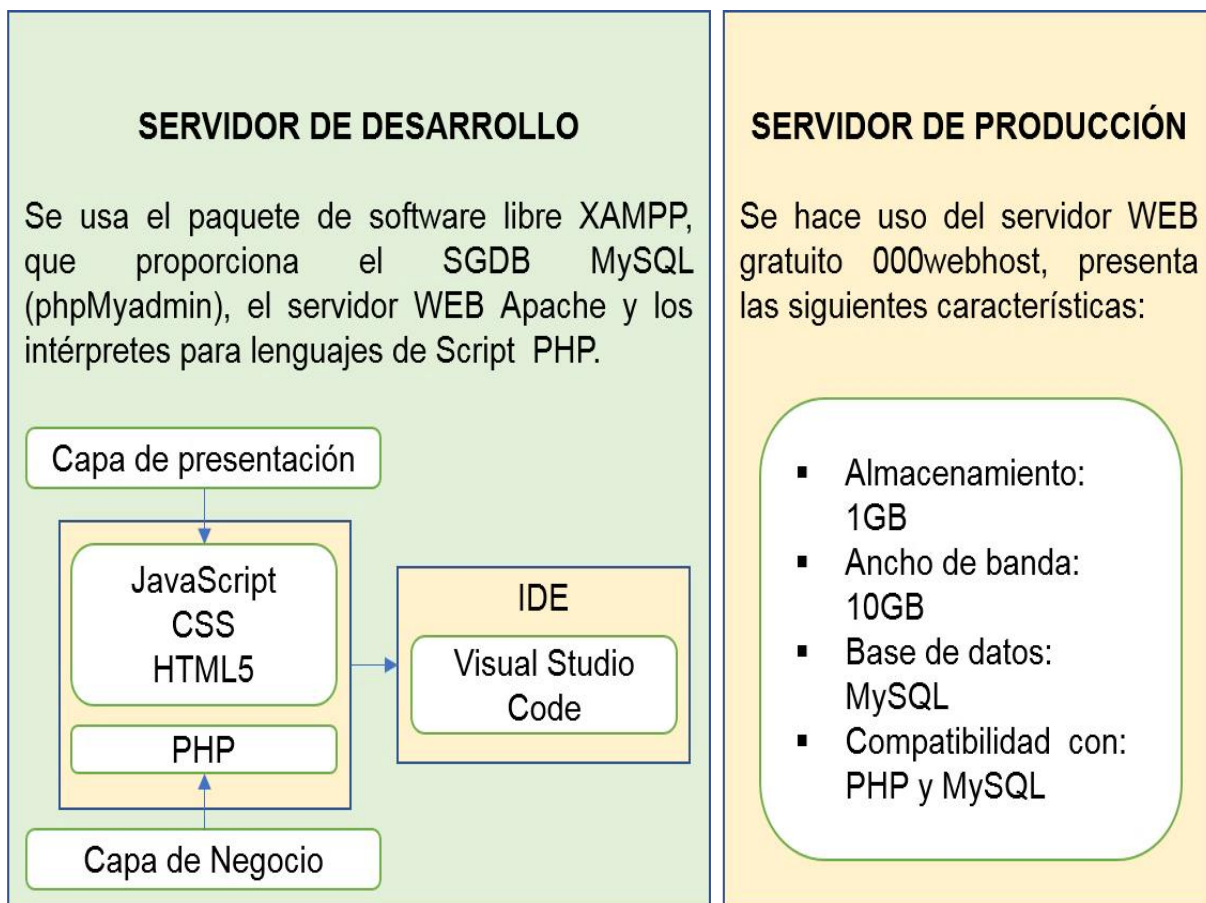


Figura 50. Arquitectura de tres capas aplicado a herramienta WEB desarrollada

Fuente: Autor

Una vez se tiene el proceso y la arquitectura a seguir bien definidos, así como también los lenguajes de programación a usar, se determina el entorno de desarrollo o IDE (Integrated Development Environment), el sistema gestor de bases de datos (SGDB) y el servidor donde se almacena el sitio WEB. En la siguiente imagen se explican las herramientas seleccionadas para el desarrollo del sitio WEB:



*Figura 51. Herramientas usadas para el desarrollo de la página WEB*

*Fuente: Autor*

#### 4.3.4.2. Modelo entidad relación

Una vez se tuvieron bien definidos los requerimientos, la arquitectura, herramientas de desarrollo e información a manejar, se procedió a crear la base de datos en el gestor de bases de datos MySQL (phpMyAdmin) que proporciona el software Xamp, siguiendo el diagrama de bloques de la Figura 45. El diagrama entidad relación (ER) de la DB (base de datos) obtenido a través del Software MySQL Workbench, se muestra a continuación:

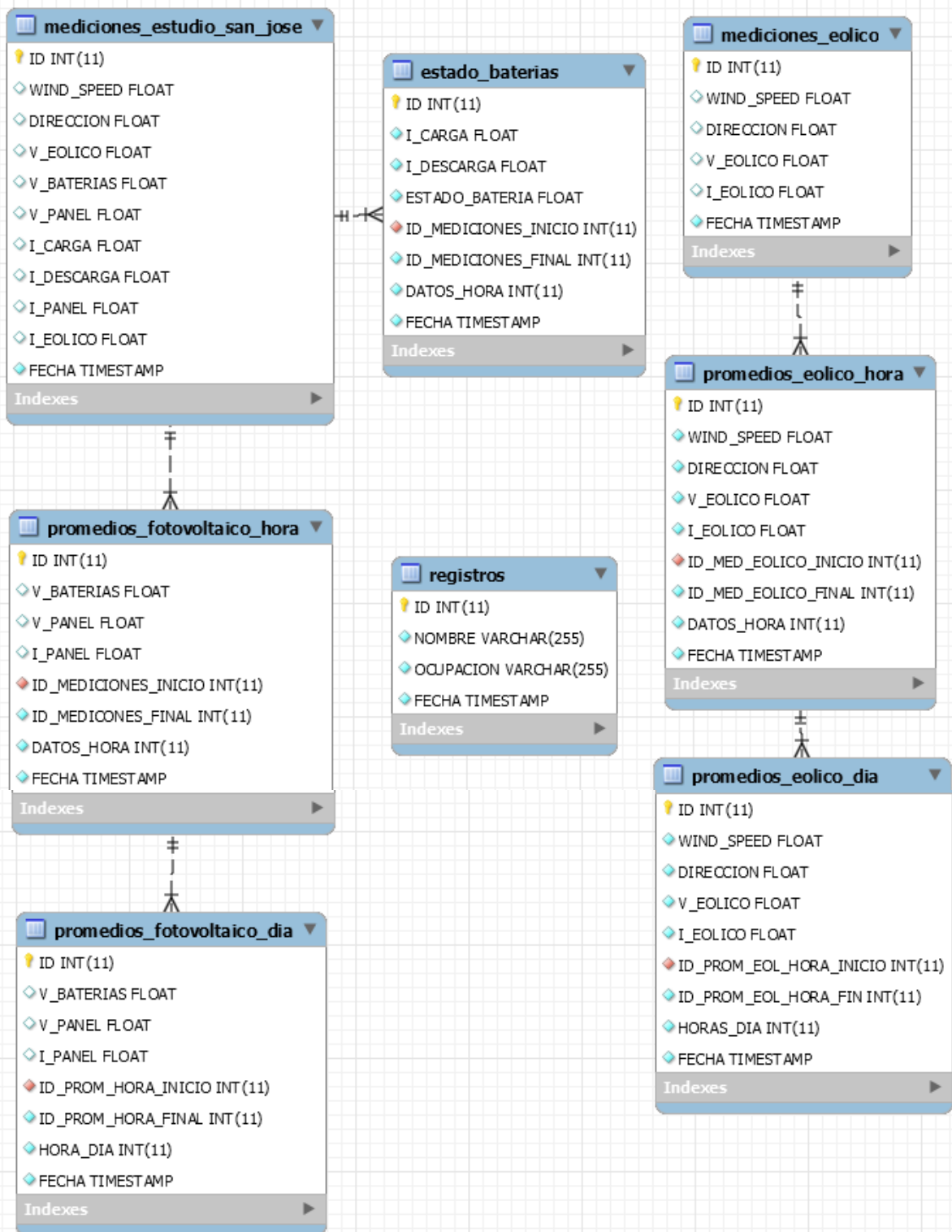


Figura 52. Diagrama ER (entidad relación) de la base de datos del sistema eólico-fotovoltaico

Fuente: Autor

#### 4.3.4.3. Funcionalidad de la página WEB

Como se ha indicado hasta el momento y como se muestra claramente en la Figura 47, el desarrollo de la página WEB se hizo usando el lenguaje de programación PHP5, lenguaje de diseño CSS, lenguaje de maquetado HTML5, como entorno de desarrollo se usó el software Visual Studio Code y lenguaje de base de datos SQL a través del gestor de bases MySQL. En seguida, se muestra el inicio de la página.



Figura 53. Inicio página WEB (<https://proyectomacro.000webhostapp.com/>)  
Fuente: Autor

En cuanto al servidor inicialmente se manejó el servidor de desarrollo donde se crea el código, se hacen las pruebas locales para comprobar el funcionamiento del código, dichas pruebas se practicaron mediante el uso de la herramienta Postman, en donde se crea una prueba automatizada simulando él envió de información cada 20 segundos, a través de una petición HTTP GET se recibe la información ejecutando el

Script PHP que se encarga de recibir los datos e insertar los en la base de datos, la URL que se ejecuta es:

[http://localhost:8080/macro\\_proyecto/php/back.php?WIND\\_SPEED=1.5&DIRECCION=34&VOLT\\_1=2.5&VOLT\\_2=3.5&VOLT\\_3=4.5&I\\_1=5.5&I\\_2=6.5&I\\_3=7.5&I\\_4=8.5](http://localhost:8080/macro_proyecto/php/back.php?WIND_SPEED=1.5&DIRECCION=34&VOLT_1=2.5&VOLT_2=3.5&VOLT_3=4.5&I_1=5.5&I_2=6.5&I_3=7.5&I_4=8.5)

Después de comprobar el funcionamiento del código desarrollado, este se emigra al servidor web gratuito 000webhost, en este host se deposita todo el código y se hace visible la página web para cualquier persona que acceda por medio de internet al link <https://proyectomacro.000webhostapp.com/>

Al final del libro en el Apéndice 1, se encuentra el manual de usuario del sitio WEB.

## 4.4. Verificación y validación

### 4.4.1. Validación sistema de velocidad de viento

Inicialmente se hizo la validación del sistema de detección de la velocidad del viento, para ello se compararon los datos obtenidos del sistema implementado con los generados por el anemómetro que se adquirió (Tabla 19). Para esta tarea, se toman datos en paralelo de la velocidad en m/s de ambos dispositivos durante cinco minutos y se aplica el diagrama de dispersión para determinar la cercanía entre estos datos.

Para la aplicación de la anterior prueba de funcionalidad, se tuvo en cuenta que el sistema de telemetría transmite los datos de la turbina eólica (velocidad y dirección del viento, V y I), siempre y cuando el generador emita un voltaje por encima de 0.005 V, por eso estos datos específicos no se envían constantemente. De esta manera se toman los datos como se presentan en la siguientes Tablas.

*Tabla 22. Prueba No. 1 para la validación de prototipo de velocidad del viento*

<b>PRUEBA 1</b>		Fecha: 6-10-2019	
Hora inicio:	08:00:00	Hora fin:	08:05:00
Hora	WS-Anemómetro m/s	WS-prototipo desarrollado	m/s
08:00:10	2,3	2,3	
08:01:39	3,2	3,3	
08:02:01	2,5	2,96667	
08:02:24	3,1	2,97	
08:02:46	3,2	3,3	
08:04:59	2,2	2,6333	
<b>Promedios</b>	<b>2.75</b>	<b>2.91</b>	

Fuente: Autor

Tabla 23. Prueba No. 2 para la validación de prototipo de velocidad del viento

PRUEBA 2		Fecha: 8-10-2019	
Hora inicio:	08:20:00	Hora fin:	08:25:00
Hora	WS-Anemómetro m/s	WS-prototipo desarrollado m/s	
08:20:57	2.7	2.96667	
08:22:48	2.8	2.96667	
08:23:33	2.5	2.63333	
08:23:57	3.6	2.97	
08:25:46	2.1	3.3	
<b>Promedios</b>	<b>2.74</b>	<b>2.967</b>	

Fuente: Autor

Para la correlación de los datos se aplicaron diagramas de dispersión, mediante la herramienta de gráficos que ofrece Excel. Los resultados se muestran en las siguientes Figuras:

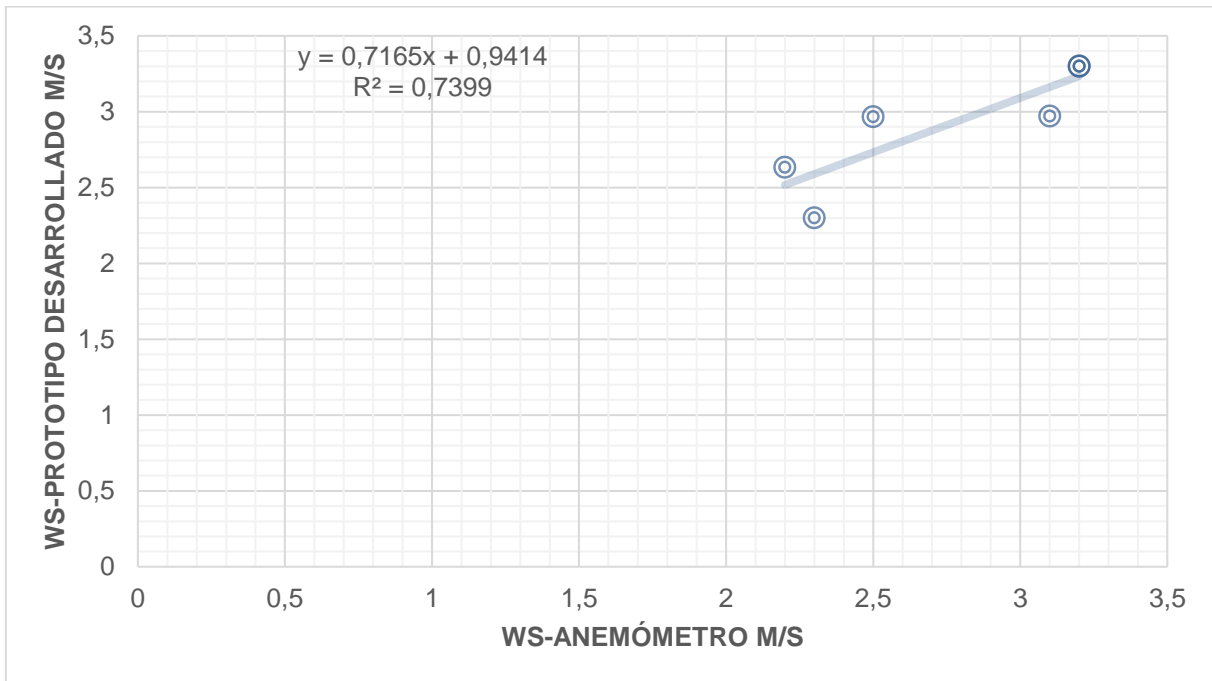
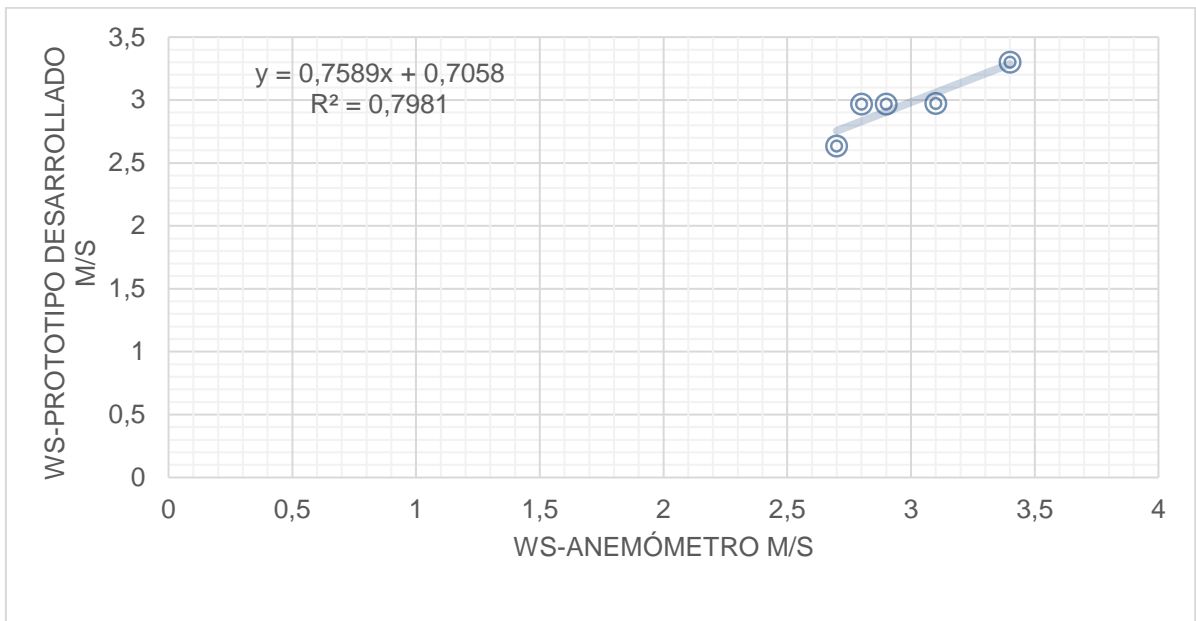


Figura 54. Gráfico de dispersión prueba No. 1 para la validación del sistema de detección de viento

Fuente: Autor



*Figura 55. Gráfico de dispersión prueba No. 2 para la validación del sistema de detección de viento*  
*Fuente: Autor*

En las pruebas 1 y 2, se obtuvo un coeficiente de determinación por encima de 0.7, el coeficiente de determinación  $R^2$  se define como la proporción de la varianza total de la variable explicada por la regresión (Economipedia, s.f.), es decir determina que tan cercanos fueron los resultados obtenidos del sistema de detección diseñado con respecto a los del anemómetro.

Según los diagramas de dispersión de las Figuras 50 y 51, se obtiene un porcentaje de cercanía del 73.99% en la prueba 1 y 79.8% en la prueba 2.

#### **4.4.2. Validación de pruebas del funcionamiento de la turbina eólica**

El funcionamiento de la Turbina eólica se comprobó a partir de la potencia generada por esta, que se obtiene de los datos de voltajes y corrientes medidos por el sistema de telemetría, luego se hizo la respectiva comparación con la potencia que genera el sistema de energía fotovoltaica. Es importante aclarar que los sensores que detectan las corrientes y voltajes del sistema híbrido eólico-fotovoltaico y de las baterías, forman parte del diseño e implementación del sistema de telemetría desarrollado por (Bonilla Diaz, 2019), por lo que, en ese proyecto se encuentran las respectivas calibraciones y pruebas para la validación en la toma de esos datos.

En el diagrama que se muestra en la Figura 52, se muestran las conexiones internas y externas establecidas por (Bonilla Diaz, 2019) para el sistema de telemetría.

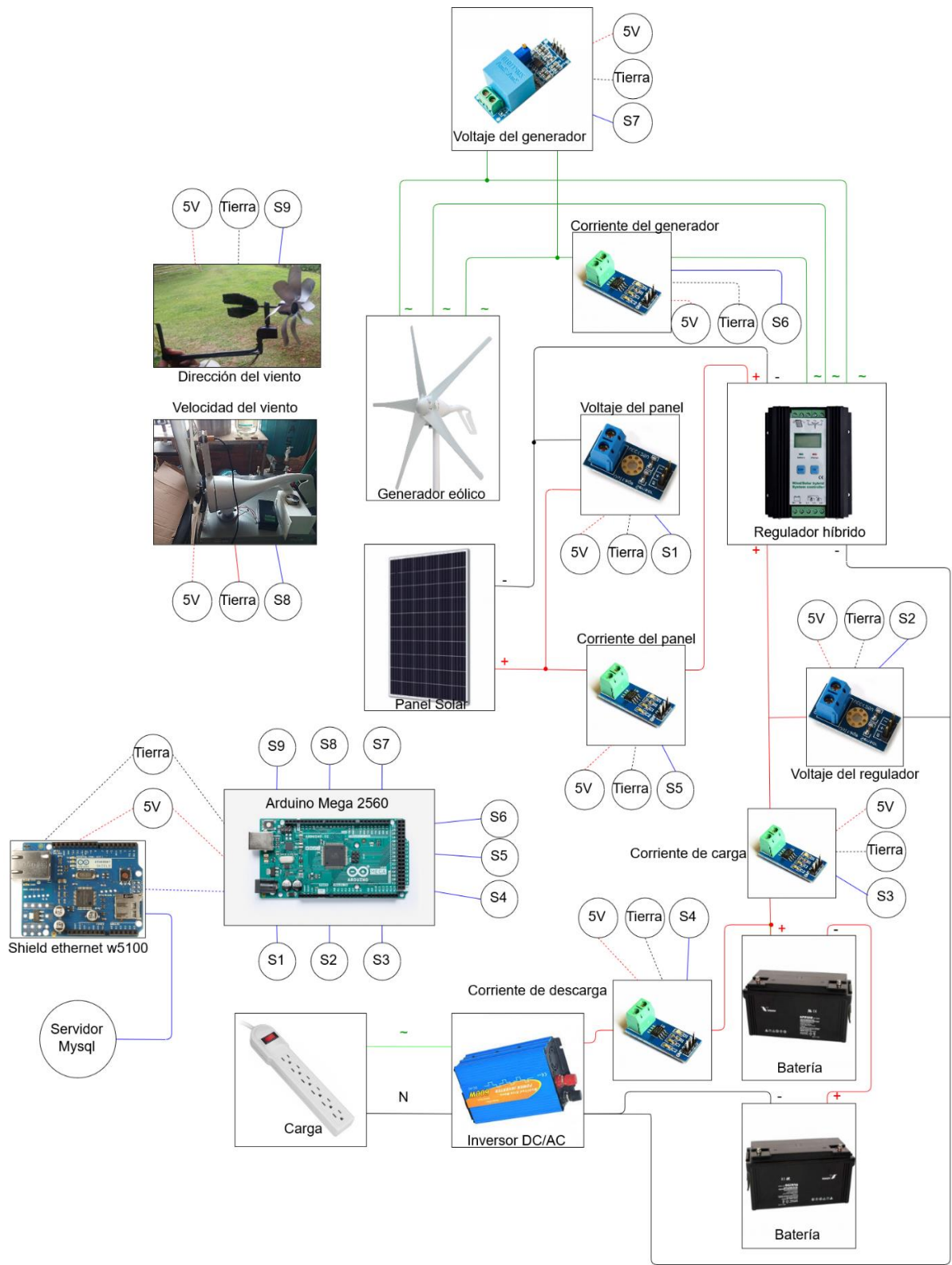


Figura 56. Conexiones internas y externas del sistema de Adquisición de datos  
Fuente: Imagen Tomada de (Bonilla Diaz, 2019)

Para las conexiones de la turbina eólica se tuvo en cuenta que los voltajes entre las fases eran iguales, estos se midieron con tres multímetros durante varios minutos en que operaba el sistema.

La información obtenida del sistema de adquisición de datos se encuentra en la base de datos, que finalmente es consultada para obtener las potencias generadas y mostrada gráficamente, los resultados se presentan en el siguiente capítulo (Cap. 5).

#### 4.5. Actividades de apropiación social del conocimiento

Con el fin de dar a conocer este proyecto investigativo y además de tipo social, en vista de que por medio del uso de energías alternativas, como la eólica y fotovoltaica, le hizo un gran aporte a la comunidad de Bosachoque (Fusagasugá, Cundinamarca), al suministrar de energía a la torre de telecomunicaciones encargada de enviar internet a más de 20 familias y a una escuela de primaria que se ubican allí. Se obtuvo la participación en eventos científicos, socialización con estudiantes de la universidad de Cundinamarca y en otros eventos, que se exponen a continuación.

Actividad	Fecha	Evidencia
Participación en el XVI encuentro regional de semilleros de investigación REDCLOSI, Nodo Bogotá-Cundinamarca.	10-11 Mayo de 2018 Universidad Jorge Tadeo Lozano	 <p>ENCUENTRO REGIONAL DE SEMILLEROS DE INVESTIGACIÓN NODO BOGOTÁ - CUNDINAMARCA</p> <p>La Red Colombiana de Semilleros de Investigación Nodo Bogotá - Cundinamarca otorga el certificado a:</p> <p><b>Jenny Paola Flórez Matamoros</b> con cedula de ciudadanía T 069757139 en calidad de: <b>Ponente</b></p> <p>por su participación en el XVI encuentro regional de semilleros de investigación, Nodo Bogotá - Cundinamarca, en la Universidad Jorge Tadeo Lozano durante los días 10 y 11 de Mayo del 2018.</p> <p>German Eduardo Vargas Zapata Coordinador RedCLOSI Nodo Bogotá - Cundinamarca</p> <p>Nora Milena Roncancio Parra Secretaría Nacional</p>
Participación en el XXI encuentro nacional y XV Internacional de semilleros de investigación en Pasto, Colombia	11-14 de Octubre de 2018 Universidad Mariana	 <p>XXI Encuentro Nacional y XV Internacional de Semilleros de Investigación</p> <p>La Fundación Red Colombiana de Semilleros de Investigación, RedCOLSI</p> <p><b>CERTIFICA QUE:</b> <b>JENNY PAOLA FLOREZ MATAMOROS</b> participó en calidad de: <b>PONENTE</b></p> <p>en el XXI Encuentro Nacional y XV Internacional de Semilleros de Investigación, realizado del 11 al 14 de octubre de 2018 en Pasto, Colombia.</p> <p>William Eduardo Suárez Fernández Coordinador Nacional</p> <p>Franco Andrés Montenegro Coral Coordinador Nodo Nariño</p> <p>Conciencia para la Ciencia</p>

---

Socialización con  
estudiantes de  
ingeniería Electrónica  
de Universidad de  
Cundinamarca

17 de Octubre de  
2018  
Sala de  
investigación  
Electrónica



---

Segunda cumbre  
Latinoamericana de  
redes comunitarias –  
Visita a Bosachoque  
y San José del  
Chocho

27 de Septiembre  
de 2019  
Bosachoque- San  
José del Chocho

<http://youtu.be/tSc8KRDxiPY>

## 5. Capítulo 5: Análisis de resultados

### 5.1. Velocidad y dirección del viento en San José del Chocho, Sylvania

Después de validar el sistema para la detección de la velocidad del viento con respecto al anemómetro, se obtuvo un porcentaje de cercanía entre los datos de aproximadamente 74% en la prueba No. 1 y del 79% en la prueba 2. Con esto se observa que el porcentaje es elevado teniendo en cuenta que el anemómetro maneja un margen de error del 5%, de esta manera se considera que el detector de velocidad de viento es apto para tomar los datos de velocidad del viento presente en San José del Chocho, Sylvania (Cundinamarca).

Se compararon los datos que proporciona la base de datos de la NASA con los datos obtenidos de la herramienta desarrollada, para esto se tuvo en cuenta la información obtenida diariamente entre el 6 de octubre de 2019 y el 11 de octubre de 2019. Sin embargo, existe una diferencia en la condición en que fueron tomadas las medidas, a causa de que la altura mínima en la que se toman los datos capturados por la NASA es de 10M, mientras que el prototipo que se maneja está instalado a una altura de 4.2M, a pesar de eso se trata de hacer la comparación, sabiendo que según la validación hecha anteriormente el sistema de adquisición de datos para la velocidad de viento funciona satisfactoriamente.

*Tabla 24. Datos de la NASA de velocidad y dirección San José del Chocho a 10M de altura*

<b>LATITUD</b>		4.37261		<b>FECHA INICIO</b>	5-10-2019	
<b>LONGITUD</b>		-74.42929		<b>FECHA FINAL</b>	11-10-2019	
<b>DIA</b>	<b>WS10M</b>	<b>WS10M_MIN</b>	<b>WS10M_MAX</b>	<b>WS10M_RANGE</b>	<b>WD10M</b>	
6	1.42	1.14	2.09	0.95	77.84	
7	1.91	1.16	2.92	1.77	95.27	
8	1.80	0.97	2.67	1.70	120.77	
9	1.91	1.23	2.90	1.68	146.76	
10	1.75	0.73	2.97	2.24	165.41	
11	1.27	0.77	1.70	0.92	153.69	
<b>WS10M:</b> Velocidad, <b>WS10M_RANGE:</b> Rango de la velocidad, <b>WS10M_MIN:</b> Velocidad mínima, <b>WS10M_MAX:</b> Velocidad máxima, <b>WD10M:</b> Dirección viento						

*Fuente: Información tomada de (Power Data Access Viewer, s.f.)*

Velocidad y dirección del viento a 10 M de altura.

Ubicación: San José del Chocho Latitud: 4.372590 Longitud: -74.4293220

Fecha: 5/Octubre/2019-31 – 11/Octubre/2019

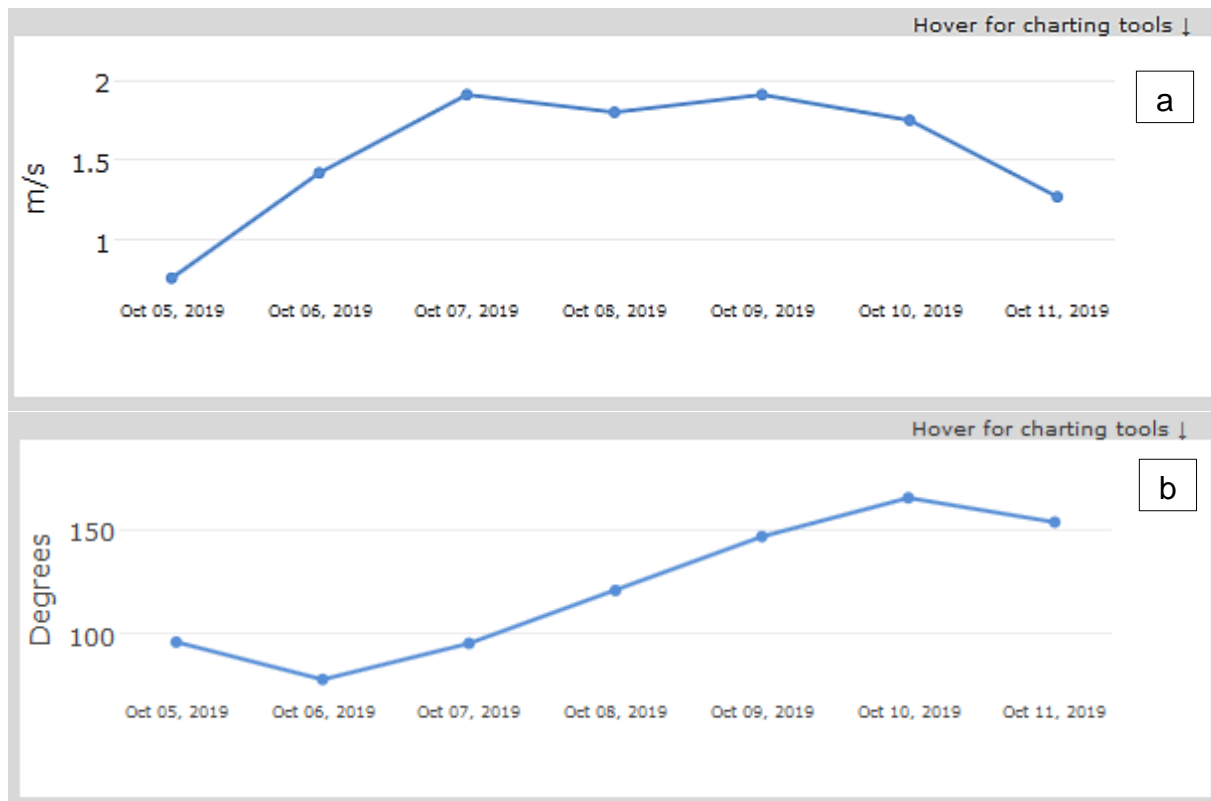


Figura 57. Gráfica de la velocidad (a) y dirección (b) del viento en San José del Chocho, Sylvania

Fuente: Graficas tomadas de (Power Data Access Viewer, s.f.)

Tabla 25. Datos del sistema desarrollado de velocidad y dirección San José del Chocho a 4.2M de altura

LATITUD	4.37261	FECHA INICIO	5-10-2019
LONGITUD	-74.42929	FECHA FINAL	11-10-2019
DIA	WIND_SPEED	DIRECCIÓN	
6	2.8847	156	
7	2.90834	150	
8	2.87917	139	
9	2.89891	131	
10	2.89419	147	
11	2.80572	145	

**WIND\_SPEED:** Velocidad del viento, **DIRECCION:** Dirección del viento

Fuente: Tomado de base de datos del sistema energetico de San José del Chocho

Velocidad y dirección del viento a 4.2 M de altura.

Ubicación: San José del Chocho Latitud: 4.3725590 Longitud: -74.4293220

Fecha: 5/Octubre/2019-31 – 11/Octubre/2019

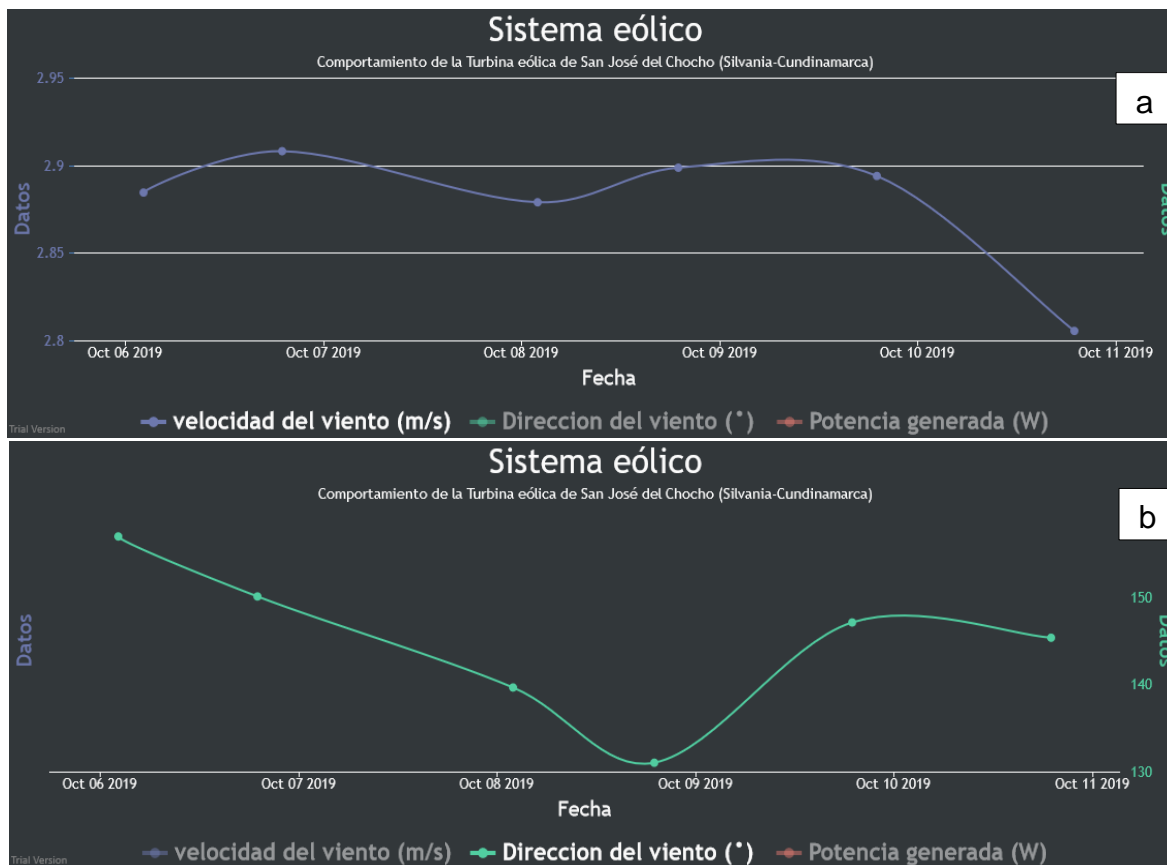


Figura 58. Gráfica de la velocidad (a) y dirección (b) del viento en San José del Chocho, Silvania

Fuente: Graficas tomadas de (Monitoreo del funcionamiento de sistema eólico-fotovoltaico instalado en la vereda San José del Chocho, s.f.)

Las gráficas de la Figura 53, corresponden a la información de la velocidad y dirección del viento que proporciona la base de datos de la NASA, tomadas entre el 5 y 11 de Octubre de 2019 a 10m de altura, en este tiempo se muestra que la velocidad del viento varío entre los 0 y 2 m/s y la dirección entre 70° y 160°, mientras que la información tomada por el sistema de detección de viento desarrollado a 4.2 m de altura, indico según el grafico de la Figura 54, una variabilidad de la velocidad entre los 0 y 2.9 m/s y de dirección de viento entre 130° y 160°. Al comparar las dos graficas existe una gran diferencia entre los datos, con el sistema desarrollado en esta investigación se obtienen datos mayores de velocidad a pesar de tomarlos a una menor altura, pero coinciden en que la menor velocidad de viento se presenta el día

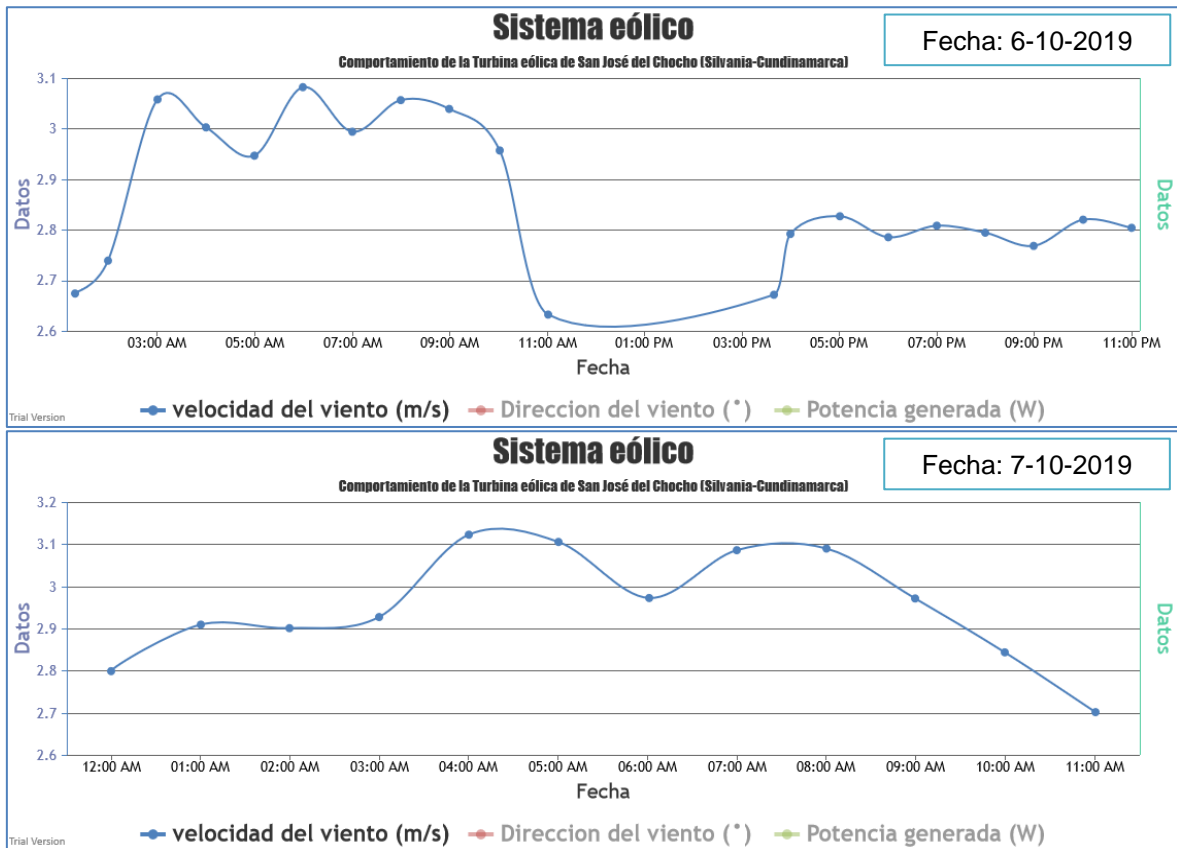
11 de octubre, y las mayores velocidades se consiguen los días 7 y 9 de octubre de 2019.

Para determinar la velocidad del viento presente en la zona, es necesario tomar los datos por cerca de un año, en las diferentes épocas donde se presente variabilidad en el clima. Sin embargo, con la información tomada se hace una aproximación realizando un análisis más detallado de las horas de operación de la turbina eólica según la velocidad de viento, para los días 6,7,8,9 y 10 de octubre del 2019, se tomaron las gráficas de la página WEB desarrollada, como se muestra a continuación.

Velocidad y dirección del viento a 4.2 M de altura.

Ubicación: San José del Chocho Latitud: 4.3725590 Longitud: -74.4293220

Fecha: 6-7-8-9-10 de octubre de 2019



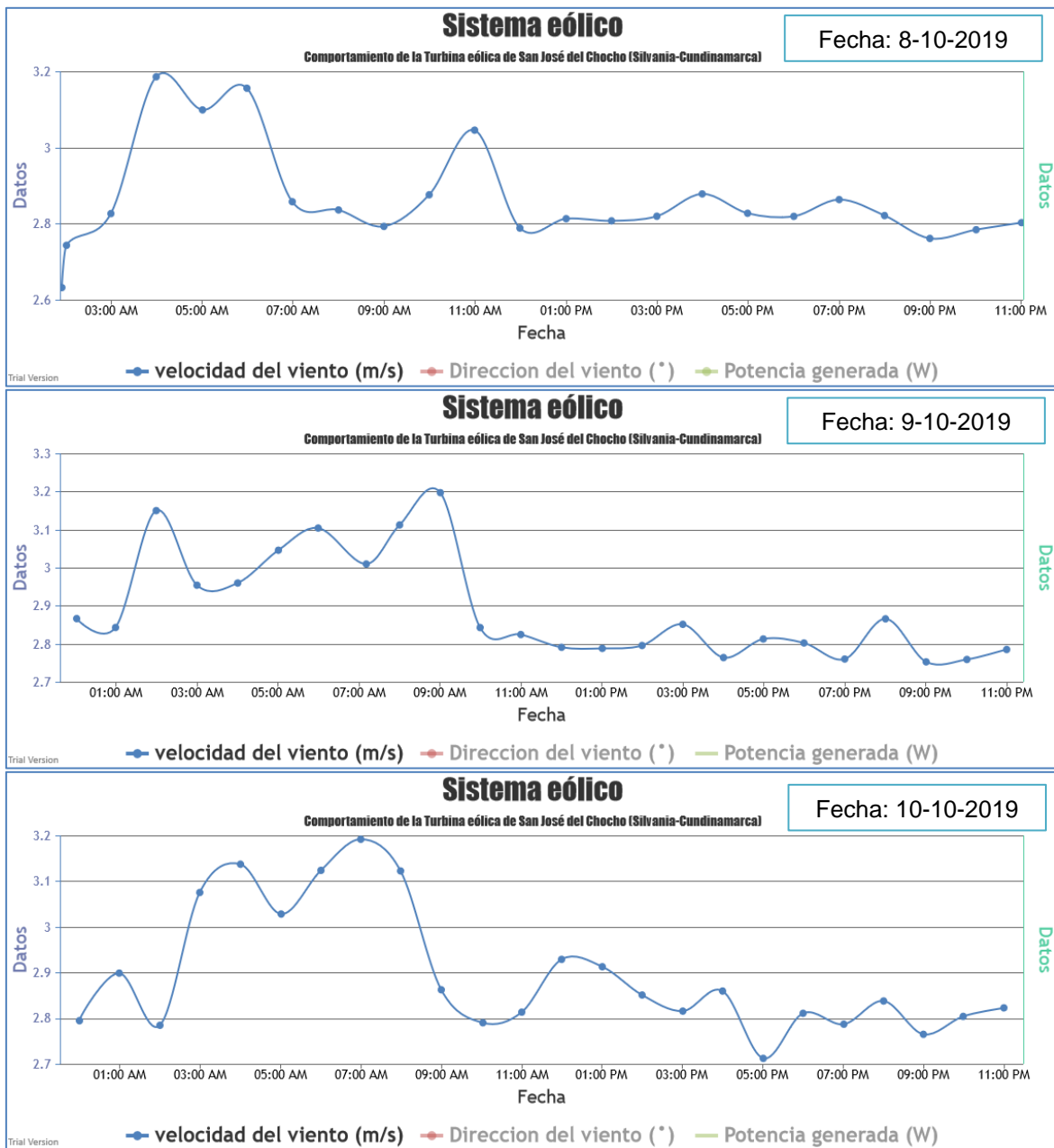


Figura 59. Graficas de Velocidad de viento en San José para los días 6,7,8,9,10 de octubre de 2019

Fuente: Graficas tomadas de (Monitoreo del funcionamiento de sistema eólico-fotovoltaico instalado en la vereda San José del Chocho, s.f.)

Al analizar las gráficas que se muestran en la Figura 55, se observa que entre las horas 1:00 AM y 11:00AM se registran las mayores velocidades de viento, que actúan por encima de los 2.8 m/s, para los días 6,7,8,9 y 10 de octubre de 2019. Con esta información se muestra que; la velocidad del viento no es constante como se muestra

en la gráfica correspondiente al día 7-10-2019, se visualiza que en horas de la tarde no se presentó la velocidad mínima para que lo turbina girara.

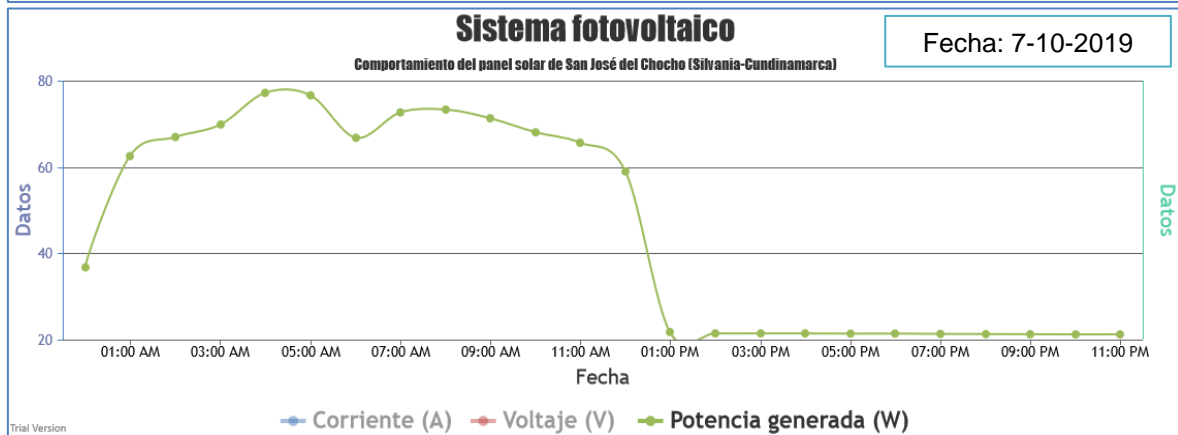
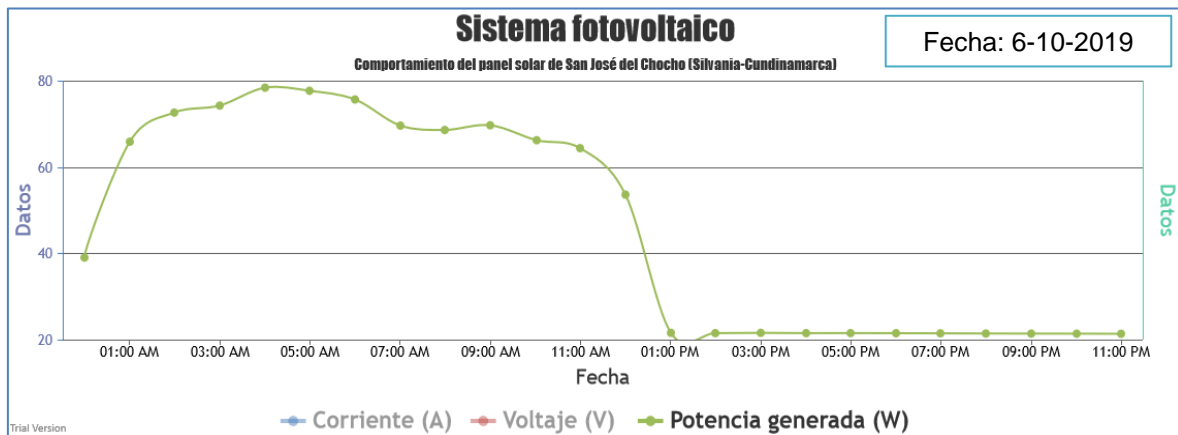
## 5.2. Funcionamiento sistema fotovoltaico

Se analiza el funcionamiento del sistema fotovoltaico, por medio de la graficas de las medias de las potencias generadas por hora, entre los días 5-11 de octubre de 2019, proporcionadas por la página WEB que se desarrolló.

Potencia generada por el panel solar.

Ubicación: San José del Chocho Latitud: 4.3725590 Longitud: -74.4293220

Fecha: 6-7-8-9-10 de octubre de 2019



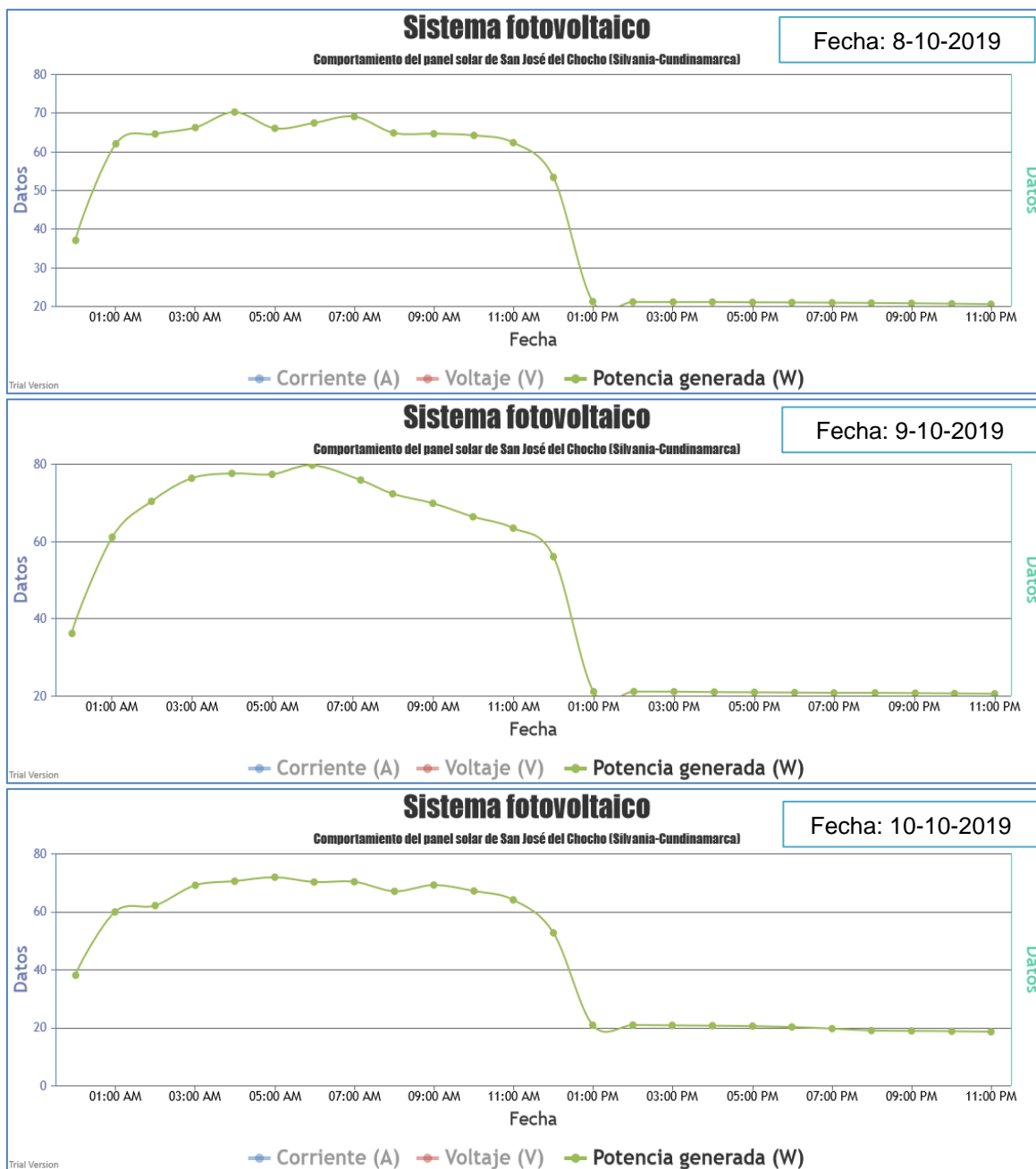


Figura 60. Graficas de potencias generadas por el panel solar ubicado en San José para los días 6,7,8,9,10 de octubre de 2019

Fuente: Graficas tomadas de (Monitoreo del funcionamiento de sistema eólico-fotovoltaico instalado en la vereda San José del Chocho, s.f.)

Para el análisis de las gráficas que se muestran en la Figura 56, se tiene en cuenta el cuadro de cargas del sistema de energía de San José del Chocho, que se muestra en la Tabla 26 y las corrientes de carga y descarga de las baterías Figura 57.

Tabla 26. Cuadro de cargas final

Carga	Consumo (W/h)	N° de horas en funcionamiento	Consumo diario
Rocket Prism AC	9.5	24	228
Litebeam	4	24	96
Enrutador	6	24	144
Arduino Mega 2560	1.5	24	36
NodeMcu Lua	1	24	24
<b>Total</b>	<b>22</b>		<b>573</b>

Fuente: Tomado de (Bonilla Diaz, 2019)

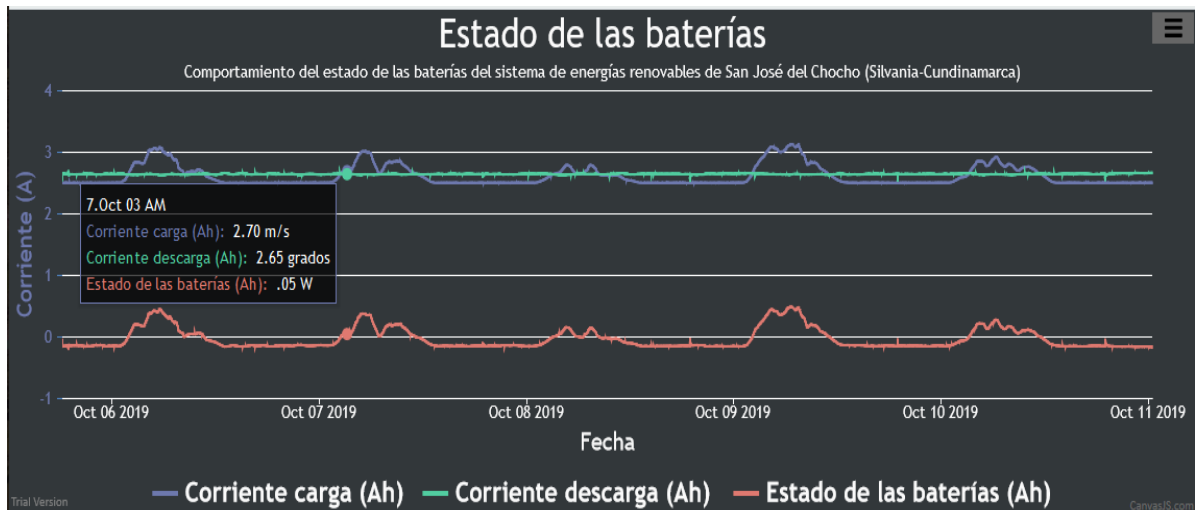


Figura 61. Estado de las baterías del sistema de energía de San José del Chocho 5-11 de octubre 2019

Fuente: Tomado de (Monitoreo del funcionamiento de sistema eólico-fotovoltaico instalado en la vereda San José del Chocho, s.f.)

Según la información de la base de datos del sistema de energía de San José del Chocho, se encontró que la corriente del panel mantiene un valor siempre cercano a los 2.5A, el regulador de carga del sistema hace que este valor permanezca prácticamente constante en todo momento. Así como también el voltaje mínimo generado es de 7.5V, por lo que la potencia mínima que mantiene el panel es de 18.75 W. La hora en que empieza el panel solar a generar una potencia por encima de los 18.75W es a partir de la 1:00 AM, después de las 3:00 AM se mantiene por encima de los 65 W hasta cerca de las 11:00 AM, posteriormente se empieza a ver un rápido decremento de la potencia hasta establecerse en valor muy cercano a los 21 W durante el resto del día.

En horas de la tarde empieza a disminuir la potencia, generando valores por debajo de los 22W que consumen los aparatos que se encuentran en la torre de telecomunicaciones (Tabla 26), haciendo que la corriente de carga sea menor que la de descarga ( $I_{carga} < I_{descarga}$ ), por lo que el estado de las baterías toma un valor por debajo de cero (valor negativo). Si este valor se aleja bastante del cero por un largo tiempo muy probablemente el sistema no se abastece de energía de forma correcta, haciendo que se provoque un apagón.

### 5.2.1. Eficiencia del sistema fotovoltaico Vs La turbina eólica

Se comparan las potencias medias diarias generadas por cada sistema entre los días 5 y 10 de octubre de 2019, y se hallan las respectivas eficiencias.

Tabla 27. Potencias medias generadas por los sistemas eólico y fotovoltaico de San José del Chocho

Potencias del panel solar	Potencias de la turbina eólica	Fecha
45,35 W	72,8 mW	6/10/2019
45 W	68,6 mW	7/10/2019
43,06 W	68 mW	8/10/2019
45.02 W	65,9 mW	9/10/2019
43,35 W	64 mW	10/10/2019

Fuente: Datos tomados de Base de datos del proyecto

La eficiencia del panel solar y turbina están definidas por las siguientes ecuaciones:

$$\eta_{panel} = \frac{P_{max}}{R_{st} * A} * 100\% \quad (12)$$

P<sub>max</sub>: Potencia del panel

R<sub>st</sub>: Radiación estándar (1000W/m<sup>2</sup>)

A: Área del panel (0.2457 m<sup>2</sup>)

$$\eta_{turbina} = \frac{P}{0,5 * \pi * \rho * r^2 * v^3} * 100\% \quad (13)$$

P: Potencia de la turbina

$\rho$ : Densidad del aire (aproximadamente 1,29 kg/m<sup>3</sup>)

r: longitud del aspa + radio del rotor (0.6m)

v=velocidad del viento (se toma la velocidad media diaria de la base de datos del proyecto)

Se hallan solo las eficiencias diarias del panel solar, ya que la potencia generada por la turbina es de aproximadamente cero para cada uno de los días, por lo que la eficiencia de la turbina eólica es de 0% en la zona de San José del chocho (Silvania).

*Tabla 28. Eficiencia del panel solar del 5-11 de octubre de 2019, San José del Chocho*

<b>Eficiencia del panel solar</b>	<b>Fecha</b>
18,46 %	6/10/2019
18,315%	7/10/2019
17,52 %	8/10/2019
18,32%	9/10/2019
17,64 %	10/10/2019

*Fuente: Autor*

Al sacar un promedio de las eficiencias obtenidas, se obtiene que el panel tiene una eficiencia del 18% en San José del Chocho, Silvania-Cundinamarca.

## 6. Capítulo 6: Financiación

Este proyecto fue financiado a través de convocatoria interna del semillero SIAMEL y grupo de investigación GIGGAT, recursos propios de la Universidad de Cundinamarca y el auxiliar de investigación también manejo recursos propios para correr con los gastos extra.

Elemento y características		Costos
SISTEMA DE ENERGÍA EÓLICA		
<b>Mini turbina eólica AC</b> Marca: Mars Rock Aspas: 5 Tensión nominal: 12V Potencia: 400W Velocidad de arranque: 2.5 m/s	<b>Regulador de carga hibrido eólico-fotovoltaico</b> Potencia del módulo fotovoltaico: 400W Potencia del generador de energía eólica: 600W Tensión nominal: 12/24V	\$1.600.000
ESTRUCTURA DE LA TURBINA EÓLICA E INSTALACIÓN		
<b>Mástil:</b> Material: tubo de aluminio Diámetro: 1'1/2 (pulgadas) Largo: 4.80 M Color: negro 2 varillas	<b>Materiales para la instalación:</b> Cemento Gravilla 8 perros para guaya	\$200.000
SENSORES Y ELEMENTOS PARA EL SISTEMA DE MONITOREO		
<b>Velocidad del viento:</b> Sensor de proximidad infrarrojo E18-D80NK Anemómetro: Lcd digital velocidad del viento, marca: Kebidu	<b>Dirección del viento:</b> Potenciómetro	\$100.000
OTROS GASTOS: RECURSOS PROPIOS		
<b>Transporte:</b> 6 pasajes hasta San José del Chocho	<b>Gastos por reposición de componentes:</b> Sensores, tornillos y otros	\$148.000
<b>TOTAL</b>		<b>\$2'048.000</b>

*Figura 62. Costos del proyecto desarrollado  
Fuente: Autor*

## 7. Conclusiones y trabajos futuros

Las investigaciones acerca de la implementación de sistemas generadores de energía eólicos, fotovoltaicos y/o híbridos, se han manejado más que todo a pequeña escala, en zonas rurales o alejadas, donde en la mayoría de los casos se presentan deficiencias en el servicio de electricidad convencional, otras zonas no cuentan con el servicio y también la implementación de estos se ofrece como solución para evitar el uso de combustibles fósiles, haciendo un aprovechamiento de las características meteorológicas que ofrecen estas zonas.

Los estudios acerca del diseño, desarrollo o implementación de sistemas de adquisición de datos o telemetría para el tratamiento de los datos de variables características de diferentes sistemas, muestran que en la mayoría de casos se busca un sistema, confiable, de bajo costo, en el que no sea necesaria la constante supervisión, y que tenga la capacidad de almacenar datos. En cuanto a costos el uso de la plataforma ARDUINO juega un papel importante, además de ser una plataforma sencilla de manejar se puede combinar con módulos que permiten el fácil transporte de la información a una base de datos.

A nivel institucional (Universidad de Cundinamarca), no se habían manejado proyectos dirigidos a la investigación o aplicación de la energía eólica en la región del Sumapaz, a diferencia del sistema solar fotovoltaico que ha tenido varias aplicaciones e investigaciones en diferentes proyectos. Así como tampoco, por parte del IDEAM se manejan datos de estaciones meteorológicas que estén cerca de la zona de estudio (Vereda Silvania) y monitoreen el recurso eólico, las más cercanas se encuentran en Bogotá o muy cercanas a esta ciudad (Estaciones meteorológicas Aeropuerto el Dorado en Bogotá y Tibaitará en Mosquera (Cundinamarca)).

Aplicando ciertas modificaciones al sistema de adquisición de datos para la detección del viento, diseñado e implementado en el desarrollo de este estudio, este se podría replantear como una estación meteorológica para la evaluación del recurso eólico, combinando en un solo, el sistema para la detección de la velocidad del viento, y el sistema para la detección de la dirección del viento, sin que sea necesario la implantación de la turbina eólica para que el detector de viento pueda funcionar, como se hizo en este estudio, esté se desarrolló así, para comprobar la velocidad de arranque que necesita el aerogenerador usado y la velocidad necesaria para que la turbina empiece a generar energía. Además, se pudo comparar el funcionamiento del sistema eólico con el fotovoltaico, y analizar las horas de funcionamiento durante el día de cada uno de los sistemas.

Por falta de tiempo en la toma de las pruebas, no se puede determinar con exactitud si es factible o no, la implementación de la turbina eólica en San José del Chocho (Silvania-Cundinamarca), puesto que para dar información precisa es necesario tomar los datos en las diferentes épocas del año, donde se presente variabilidad en el clima. Sin embargo, con los resultados obtenidos se hizo una aproximación donde se consideró que, no es factible técnica ni económicamente la implementación del Generador de energía eólica de 400 W 12V/24V AC que se utilizó en el desarrollo de este trabajo, en vista de que según los parámetros técnicos su velocidad de corte es 3.5 m/s que están por encima de la velocidad máxima obtenida por el prototipo de velocidad de viento implementado, que fue de 2.9 m/s, con esta velocidad la turbina eólica logro su punto de arranque pues la velocidad de arranque es de 2.5 m/s, pero no es suficiente para que genere una potencia considerable. Pero, para el rango de velocidad obtenida de 2-3 m/s en los días de la evaluación del recurso eólico, sí se puede considerar la implementación de una turbina que se adapte a estas condiciones, que maneje una velocidad de trabajo cerca de los 2.5 m/s y una velocidad de arranque de 2 m/s.

A diferencia del sistema eólico, el sistema solar presenta una eficiencia del 18%, proporcionando una potencia por encima de los 65W entre las 3:00 AM y las 11:00AM, el resto del día al presentarse una radiación solar baja se mantiene sobre los 21W. Como mínimo se genera una potencia de 17.5W, dado que, el regulador de carga del sistema mantiene la corriente prácticamente constante sobre los 2.5 A y el valor más bajo de voltaje del panel es de 7.5V, según la información almacenada en la base de datos del sistema de energía de San José del Chocho.

## **8.Recomendaciones**

Debido a que no es factible la instalación de la turbina eólica, para no tener pérdidas por la instalación, se recomienda usar la estructura del mástil para instalar otro panel solar conectado en serie o paralelo al que se encuentra en San José del Chocho, en vista de que los resultados obtenidos con esta energía son bastante satisfactorios.

También se recomienda aplicar un filtro al inversor de voltaje DC-AC, para reducir los armónicos y evitar daños en las cargas que están siendo alimentadas por este.

## 9. Glosario

**CHANGING:** Evento de las interrupciones de Arduino, ocurre cuando el pin cambia de estado.

**DB:** Base de datos.

**FNCE:** Fuentes no convencionales de energía.

**FNCER:** Fuentes no convencionales de energía renovable.

**IDE:** Entorno de Desarrollo integrado.

**OFF-GRID:** El sistema de conexión autónomo OFF-GRID consiste en una instalación desconectada de la red de energía eléctrica convencional.

**ON-GRID:** El sistema de conexión ON-GRID consiste en la producción de energía eléctrica que si se conecta a la red de energía eléctrica convencional.

**RPM:** Cantidad de revoluciones o vueltas por minuto

**SGDB:** Sistema gestor de base de datos (MySQL, SQL Server, entre otros)

**SIN:** Sistema interconectado

**Telemetría:** tecnología usada para medir diferentes magnitudes físicas de manera remota, por medio de la monitorización automática

**UPME:** Unidad de Planeación Minero Energética de Colombia

**XAMPP:** Es un paquete de software libre, que consiste principalmente en el sistema de gestión de bases de datos MySQL, servidor WEB apache y los intérpretes de lenguaje para PHP.

**ZNI:** Zonas no interconectados al sistema de energía convencional.

## 10. Referencias

---

- (s.f.). Obtenido de Turbia eólica: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/certification-300w-wind-turbine-generator-for-sale-62006037837.html>
- Aguilera, E. A. (2014). Prototipo didáctico de sistema de bombeo de agua con energía solar fotovoltaica. FAREM-Esteli. doi:<http://dx.doi.org/10.5377/farem.v3i12.2462> . ISSN: 2305-5790
- Almeida, L., Seraphim, O. J., Lima, F. d., Cremasco, C., & Ferrari, F. (2016). Variable analysis in wind photovoltaic hybrid systems in rural energization. IEEE Latin America Transactions. doi:DOI: 10.1109/TLA.2016.7817007 . ISSN: 1548-0992
- altocumulo. (s.f.). Obtenido de <https://www.altocumulo.com/producto/sensor-de-direccion-del-viento-veleta-para-aplicaciones-ambientales/>
- Amada Mur, J. (s.f.). Curso de energia eolica .
- amazon.es. (s.f.). Obtenido de <https://www.amazon.es/dp/B00KYL3VNS?tag=cosasportatiles.com-21&linkCode=ogi&th=1&psc=1>
- Amazon.es. (s.f.). Obtenido de <https://www.amazon.es/Anem%C3%B3metro-herramienta-profesional-retroiluminaci%C3%B3n-navegaci%C3%B3n/dp/B07FZR9LVV>
- AMET. (2010). Radiación solar.
- Aristizábal Cardona, A. J., Peña Wilches, D. R., & Botero Londoño, M. A. (2013). Medición y evaluación de parámetros meteorológicos para el centro de Bogotá, Colombia. Researchgate. doi:10.15765/e.v2i2.169
- Aron, S. (2012). Curso de Especialización Sistemas Fotovoltaicos Interconectados a Red, Inversores. Mexico.
- Babu, S. D., Acharjya, A. S., & Alam, S. (2014). Design & Construction of Microcontroller Based Wind Speed and Direction Monitoring System. IEEE Xplore, Digital library. doi:10.1109/IFOST.2014.6991123 . ISBN: 978-1-4799-6062-0

- Barrios, P., López, J., Pinto, G., & Ordóñez, G. (2014). Evaluación del potencial solar y eólico del campus central de la Universidad Industrial de Santander y la ciudad de Bucaramanga, Colombia. *Revista UIS*.
- Bernal Agustín, J., & Dufo López, R. (2009). Simulation and optimization of stand-alone hybrid renewable energy systems. *ELSEVIER*. doi:10.1016/j.rser.2009.01.010
- Bohórquez Guevara, K. S. (2019). Hay más de 420 proyectos de energías renovables que ya tienen el aval de la Upme. *LA REPÚBLICA*.
- Bonilla Diaz, W. A. (2019). Desarrollo de un sistema de protección eléctrica para equipos de telecomunicaciones alimentados con energías alternativas en zonas rurales de la región del Sumapaz (Cundinamarca). *Fusagasugá*.
- Bulnes, C. A., & Brown, R. B. (2010). Energía del sol. *En Ciencia*.
- Buonocunto, N., Papagno, A., Revelant, A., & Stocco, P. (2013). España Patente nº 2 595 435.
- Características del controlador híbrido. (s.f.). Obtenido de <https://es.aliexpress.com/item/32268883351.html>
- Cruz Pardo, L. A., & Sanabria Perez, L. F. (2018). Evaluación comparativa del rendimiento energético de un sistema fotovoltaico autónomo con carga variable en dc utilizando panel solar monocristalino versus policristalino, en condiciones climáticas del municipio de Fusagasugá. *Fusagasuga, Cundinamarca* .
- Dai, J., Yang, W., Cao a, J., Liu a, D., & Long, X. (2017). Ageing assessment of a wind turbine over time by interpreting wind farm SCADA data. *Xiangtan (China): ELSEVIER*.
- Duarte, J. E., & Fernández Morales, F. H. (2014). Monitoreo de las variables eléctricas relacionadas con un generador trifásico. *Ingeniería y Tecnología*.
- Economipedia. (s.f.). Obtenido de <https://economipedia.com/definiciones/r-cuadrado-coeficiente-determinacion.html>
- Energía Eólica. (2011). *En Curso de física ambiental*.
- Escamilla Rojas, D. F., & Romero Sánchez, D. S. (2017). Diseño e implementación de un prototipo de suministro de energía fotovoltaica a una vivienda ubicada en la vereda Golconda. *Fusagasuga, Cundinamarca*.

- Flórez, J., Tobón, D., & Castillo, G. (2009). ¿Ha sido efectiva la promoción de soluciones energéticas en las zonas no interconectadas (ZNI) en Colombia?: un análisis de la estructura institucional. *Prospectiva*. doi:ISSN: 0120-3592
- FuehlerSysteme eNET International. (s.f.). Obtenido de Die Marke fur Sensorik: [https://www.fuehlersysteme.de/wind-speed-transmitter-classic.html?\\_\\_store=de\\_en&\\_\\_from\\_store=de\\_en](https://www.fuehlersysteme.de/wind-speed-transmitter-classic.html?__store=de_en&__from_store=de_en)
- GAMBERINI, E. (2012). España Patente nº 2 425 087.
- Giraldo Ocampo, D. F. (2017). El Marco Normativo De Las Energías Alternativas En Colombia No Garantiza Su Pleno Desarrollo.
- Gómez Monsalve, P. A., & Durán Acevedo, C. M. (2014). Adquisición de datos de una matriz de sensores de gases (e-nose), mediante módulos de comunicación xbee. *Researchgate*. doi:<https://doi.org/10.24054/16927257.v26.n26.2015.2383>
- Gorjian, S. (2017). An Introduction to the Renewable Energy Resources. *ResearchGate*.
- Hernandez, J. (2015). Photovoltaic Projects Developed in Non Interconnected Zones in Colombia. *IEEE*.
- Herrera, J., Barrios, M., & Pérez, S. (2014). Diseño e implementación de un sistema scada inalámbrico mediante la tecnología zigbee y arduino. *Prospectiva*. doi:<http://dx.doi.org/10.15665/rp.v12i2.290> . ISSN 2216-1368
- IDEAM, & UPME. (2017). Atlas de viento de Colombia. Bogotá. doi:978 958 8067 96 4
- Instalaciones solares Fotovoltaicas, . (2018). En T. Díaz Corcobado, & G. Carmona Rubio, Componentes de una instalacion solar fotovoltaica. McGraw Hill.
- Jing, Lai, Wong, & Wong, D. (2018). Cost analysis of battery-supercapacitor hybrid energy storage system for standalone PV systems. *IEEE Xplore, Digital library*. doi:10.1049/cp.2016.1288 . ISBN: 978-1-78561-238-1
- Julian, C., Patrick, M., & Mathew, B. (2012). España Patente nº BG20110005464.
- Kalaivani, Divyalakshmi, & Subramaniam. (2018). A Standalone Hybrid Power Generation System. *IEEE Xplore, Digital library*. doi:10.1109/ICCPEIC.2017.8290472 . ISBN:978-1-5090-4324-8
- Ley 1715 de 2014 (2014). [Película].

- Llamas, L. (28 de 4 de 2016). Ingeniería, informática y diseño. Obtenido de Interrupciones en Arduino: <https://www.luisllamas.es/que-son-y-como-usar-interrupciones-en-arduino/>
- Lorente, J. (s.f.). La radiación solar. En Curso de fotoprotección.
- Martinez, P., & Vanessa. (2009). Sistema de regulador de tension de AC monofásico utilizando interruptores bidireccionales conmutados a alta frecuencia. Santiago de Cali.
- MaxElectronica . (s.f.). Obtenido de <http://www.maxelectronica.cl/movimiento-distancia/365-sensor-de-proximidad-infrarrojo-ir-modelo-e18-d80nk.html>
- Menéndez, M. J. (2010). España Patente nº 2 341 161.
- Milenioscuro. (s.f.). Obtenido de [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Colombia\\_-\\_Cundinamarca\\_-\\_Silvania.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Colombia_-_Cundinamarca_-_Silvania.svg)
- Monitoreo del funcionamiento de sistema eólico-fotovoltaico instalado en la vereda San José del Chocho. (s.f.). Obtenido de <https://macroproyecto.000webhostapp.com/>
- Moreno Cortés, P. A. (2013). Energía eólica: Ventajas y desventajas de su utilización en Colombia. Bogotá.
- Moriana, Martin, S., & Sanchis. (2010). Wind-photovoltaic hybrid systems design. IEEE Xplore, Digital library. doi:10.1109/SPEEDAM.2010.5542247 . ISBN: 978-1-4244-4986-6
- Mppt Solar. (s.f.). Obtenido de <https://www.mpptsolar.com/es/funcionamiento-aerogeneradores.html>
- Narváez López, L. E., & Méndez Pardo, J. F. (2015). Instalaciones solares fotovoltaicas monitoreadas a través de un sistema de telemetría.
- National Instruments. (s.f.). Obtenido de <http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/>
- Neves, D., Silva, C., & Connors, S. (2014). Design and implementation of hybrid renewable energy systems on micro-communities: A review on case studies. ELSEVIER. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.12.047>
- Noureldeen, O., & brahim, A. (2018). Modeling, Implementation and Performance Analysis of a Grid-Connected Photovoltaic/Wind Hybrid Power System. Qena, Egypt.

- Nungu, A., Olsson, R., & Pehrson. (2011). On Powering Communication Networks in Developing Regions. IEEE Xplore, Digital library. doi:10.1109/ISCC.2011.5983868 . SBN: 978-1-4577-0681-3
- Ortega, A. W., & Cabrera, M. E. (2013). Diseño por simulación de un sistema híbrido eólico-fotovoltaico para una vaquería en Cuba. SciELO-Cuba. doi:ISSN: 1815-5944
- Ospino Castro, A. J. (2010). Análisis del potencial energético solar en la región Caribe para el diseño de un sistema fotovoltaico. Revista Inge-CUC. doi:ISSN 0122-6517
- Ostia Jr, C. F., Baylon, R. M., B. Pancho, C. N., Talamera, Viado, & Jr., M. (2017). Design of a Small Scale Wind Energy Harvester Using. IEEE Xplore, Digital library. doi:10.1109/TENCON.2017.8228383 . ISBN: 978-1-5090-1134-6
- P.A, J. S., & T.R, J. S. (2019). Desarrollo de un Regulador de Carga para Sistemas Fotovoltaicos Aplicando Instrumentación Virtual.
- Pasqualino, J., Cabrera, C., & Vanegas Chamorro, M. (2014). Los impactos ambientales de la implementación de las energías eólica y solar en el Caribe Colombiano. Prospectiva. doi:http://dx.doi.org/10.15665/rp.v13i1.361
- Patiño Abella, J. S., Tello Reyes, J. S., & Hernández Mora, J. A. (s.f.). Desarrollo de un regulador de carga para sistemas fotovoltaicos aplicando instrumentación virtual. Revista Ingeniería-Facultad de ingeniería, Universidad distrital.
- Power Data Access Viewer. (s.f.). Obtenido de <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- recursostic. (s.f.). Obtenido de Movimiento Circular Uniforme: [http://recursostic.educacion.es/newton/web/materiales\\_didacticos/EDAD\\_4eso\\_movimiento\\_circular/impresos/quincena2.pdf](http://recursostic.educacion.es/newton/web/materiales_didacticos/EDAD_4eso_movimiento_circular/impresos/quincena2.pdf)
- Reguladores de Carga Solar. (s.f.). Obtenido de <http://www.enernaval.es/PDF/Solar/Comparativa%20reguladores%20EnerNaval.pdf>.
- REN21, & NTUA. (2019). Renewables 2019 Global Status Report. REN21 RENEWABLES NOW, 336. Obtenido de [https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr\\_2019\\_full\\_report\\_en.pdf](https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2019_full_report_en.pdf)
- Renovables, C. d. (2008). Energías Renovables 2008 - Energía Solar. Copyright (C) 2008.

- Robles, C., & Rodríguez, O. (2018). An overview of the renewable energy in the World, LatinAmerica and Colombia. ESPACIOS, 16. Obtenido de <https://www.revistaespacios.com/a18v39n34/a18v39n34p10.pdf>
- Rodríguez, C. G., & Sarmiento, A. (2011). Dimensionado mediante simulación de sistemas de energía solar fotovoltaica aplicados a la electrificación rural. Scielo. doi:ISSN 1815-5944
- Rosso, A. M., & Kafaro, V. (2015). Barriers to social acceptance of renewable energy systems in Colombia. ELSEVIER.
- Rúa, E., Barrera, A. I., & Gómez, M. (2017). Análisis técnico, socioeconómico y ambiental de la electrificación con energía solar fotovoltaica aislada para vivienda rural en Hato Corozal, Casanare, Colombia. Revista de Investigación Agraria y Ambiental. doi:<https://doi.org/10.22490/21456453.1853>
- Sarzosa, D., & Mírez, J. (2014). Diseño y construcción de un prototipo de inversor multinivel monofásico en cascada . Lima, Perú: Revista politecnica.
- SCOUTS DE MEXICO. (11 de 2013). Obtenido de <https://grupo24scoutsdf.jimdo.com/2013/11/16/clasificaci%C3%B3n-de-br%C3%BAjulas/>
- SUNFORCE. (s.f.). Manual de usuario. Obtenido de 400 Watt WIND TURBINEÉOLIENNE 400 WattsTURBINA EÓLICA DE 400Watts: [https://sunforceproducts.com/wp-content/uploads/2016/11/Model-44444\\_Manual.pdf](https://sunforceproducts.com/wp-content/uploads/2016/11/Model-44444_Manual.pdf)
- Tecnología industrial. (s.f.). IES Tegueste.
- tinkbox. (s.f.). rhydolabz. Obtenido de Page1of 5pagesProximity Sensor/SwitchE18-D80NK: <https://www.rhydolabz.com/documents/27/E18-D80NK.pdf>
- Tobon Perdomo, A. B. (2018). Infraestructura de red física, en la vereda Bosachoque del municipio de Fusagasugá. Fusagasuga, Cundinamarca.
- Torres P., C. A., Murillo Y., D., & Restrepo Patiño, C. (2008). Diseño y construcción de un inversor trifásico. Pereira, Colombia.
- Trujillo Rodríguez, C. L., Velasco De La Fuente, D., & Figueres Amorós, E. (2012). Diseño, modelado e implementación de inversor conectado a la red eléctrica a partir de fuentes renovables. Bogotá: Revista Scielo.

- UPME. (2003). Guía para la utilización de la energía Eólica para generación de energía Eléctrica. En UPME. Bogotá, Colombia.
- UPME, & IDEAM. (2015). Atlas de viento y energía eólica en Colombia. En UPME, & IDEAM.
- Uzunoglu, M., Onar, O., & Alam, M. (2009). Modeling, control and simulation of a PV/FC/UC based hybrid power generation system for stand-alone applications. ELSEVIER. doi:<https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.06.009>
- Villegas, A. (2013). Sistema de adquisición de datos vía web para el monitoreo de sensores industriales. ResearchGate.
- Vojtek, M., Kolcun, M., Mikita, M., & Špes, M. (2016). Design and simulation of hybrid system for public lighting power supply. IEEE Xplore, Digital library. doi:[10.1109/EPE.2016.7521763](https://doi.org/10.1109/EPE.2016.7521763)

# **Apéndice 1: MANUAL DE USUARIO DE LA HERRAMIENTA WEB DE MONITOREO DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA EÓLICO-FOTOVOLTAICO.**

## **A.1.1. SOBRE LA HERRAMIENTA WEB DE MONITOREO**

La herramienta web de monitoreo del funcionamiento del sistema eólico-fotovoltaico que tiene como función abastecer de electricidad a la red de telecomunicaciones del nodo principal del proyecto “Redes libres como alternativa de innovación social e inclusión digital en la vereda Bosachoque”, proyecto de la universidad de Cundinamarca de la Facultad de ingeniería que se encarga compartir internet con la comunidad de vereda Bosachoque, se basa en un sistema de adquisición de datos vía web, para monitorear una serie de sensores que miden las variables; velocidad del viento, corrientes y voltajes presentes en el sistema híbrido (eólico-fotovoltaico). Dichas mediciones se muestran en una página web a través de graficas que presentan variables significativas (estado de las baterías, velocidad del viento, potencias generadas) del sistema completo o por separado.

## **A.1.2. INSTALACIÓN Y REQUISITOS**

Esta herramienta al tratarse de una PÁGINA WEB, no requiere instalación previa, solo se necesita tener el link de acceso y contar con internet.

Como único requisito que se necesita, para poder ver el contenido de la herramienta, es tener acceso a una red de internet, así como también contar con un buscador que soporte HTML5 (CHROME, FIREFOX, SAFARI), de esta manera el usuario no tendrá problemas de acceso a la herramienta de monitoreo.

## **A.1.3. FUNCIONAMIENTO**

La herramienta web para el monitoreo del funcionamiento de sistema eólico-fotovoltaico instalado en la Vereda San José del Chocho, se divide en cuatro (5) interfaces (inicio, Graficas en tiempo real, graficas sistema eólico, graficas sistema eólico-fotovoltaico y estado de las baterías) controladas por cualquier usuario.

### **A.1.3.1. INICIO**

Al ejecutar el link <https://macroproyecto.000webhostapp.com/> se muestra el inicio de la página (Figura 55), donde se da una corta explicación del funcionamiento de la herramienta y se pide al usuario que desee ver las gráficas ingresar su nombre, apellidos y ocupación (Figura 56), esto solo para llevar un breve registro de las

personas que acceden a las gráficas, no importa si el usuario se registra varias veces con el mismo nombre, no se trata de un Login.

# SISTEMA SAN JOSÉ DEL CHOCHO

## MONITOREO DEL FUNCIONAMIENTO DE SISTEMA EÓLICO-FOTOVOLTAICO INSTALADO EN LA VEREDA SAN JOSÉ DEL CHOCHO

BIENVENIDO(A)

En esta página podrás encontrar un Sistema de adquisición de datos vía web, para monitorear el funcionamiento de sistema eólico-fotovoltaico implementado en la vereda San José del Chocho.

A través de las graficas que se muestran, se visualiza el estado de la baterías, la potencia generada por el sistema o la velocidad del viento presente en la zona.

Ingrese los siguientes datos para continuar:

Nombres y apellidos

Ocupación

Ver datos!

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA  
EX UMBRA IN SOLEM  
UCUNDINAMARCA  
Generación Siglo 21

¿DONDE SE ENCUENTRA SAN JOSÉ DEL CHOCHO?

Cra. 14A, Fusagasugá, Porta Bello, Fusa...  
4.3725590, -74.4293220  
Más opciones

El Chocho  
2 h 50 min  
13.2 km

Copyright © Universidad de Cundinamarca-2019  
Generación siglo XXI

Imagen 1. Cabecera y cuerpo de la página de inicio de la herramienta para monitoreo del funcionamiento de sistema eólico-fotovoltaico

**BIENVENIDO(A)**

En esta página podrás encontrar un Sistema de adquisición de datos vía web, para monitorear el funcionamiento de sistema eólico-fotovoltaico implementado en la vereda San José del Chocho.

A través de las gráficas que se muestran, se visualiza el estado de la baterías, la potencia generada por el sistema o la velocidad del viento presente en la zona.

Ingrese los siguientes datos para continuar:

Jenny Paola Florez Matamoros

Estudiante

**Ver datos!**

Imagen 2. Formulario de registro para ver datos del monitoreo

En el pie de página se presenta información como el logo de la Universidad de Cundinamarca y la ubicación geográfica por medio de GOOGLE MAPS, de donde se encuentra instalado el sistema eólico-fotovoltaico.

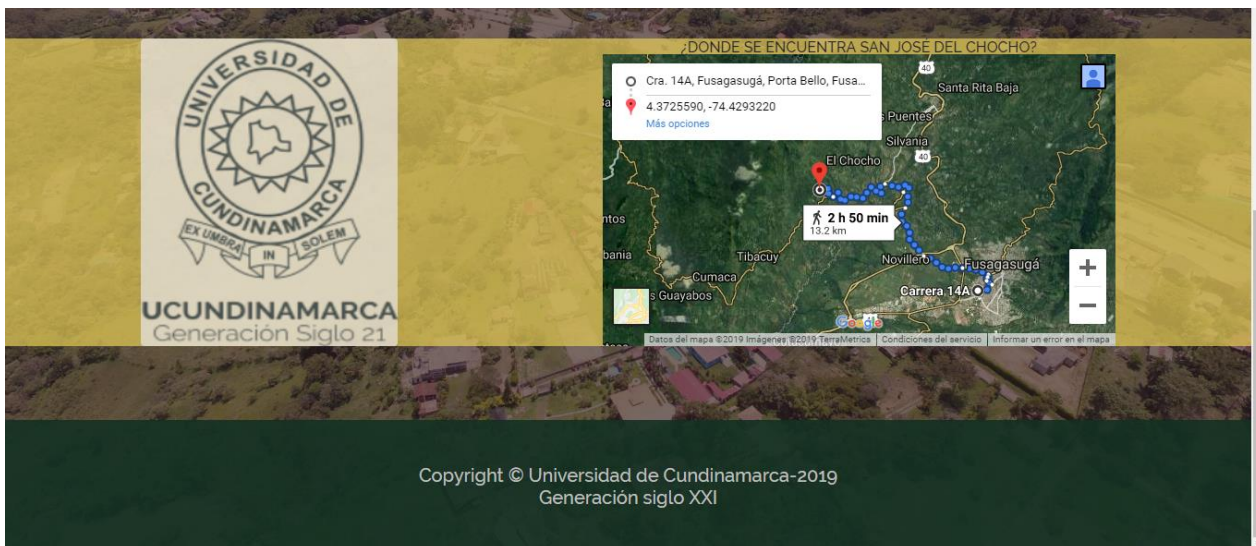


Imagen 3. Pie de página de la página de inicio de la herramienta para monitoreo del funcionamiento de sistema eólico-fotovoltaico

### A.1.3.2. GRAFICAS EN TIEMPO REAL

Después de que el usuario se haya registrado en la página de inicio, esta lo redirecciona a las gráficas en tiempo real, en esta nueva interfaz se encuentran tres gráficas que se van actualizando automáticamente, cada vez que en la base de datos de MySQL se inserta un nuevo registro de los datos del sistema de energía.

También se encuentra un botón desplegable “ver otras graficas”, que dependiendo de la selección del usuario redireccionan a las demás interfaces que van mostrando las gráficas del sistema, pero con datos de las medias o promedios.

Todas las imágenes que corresponden a las graficas son descargables, para ello en la esquina superior derecha se encuentra el botón para poder hacerlo, también puede seleccionar el formato de la imagen a descargar.

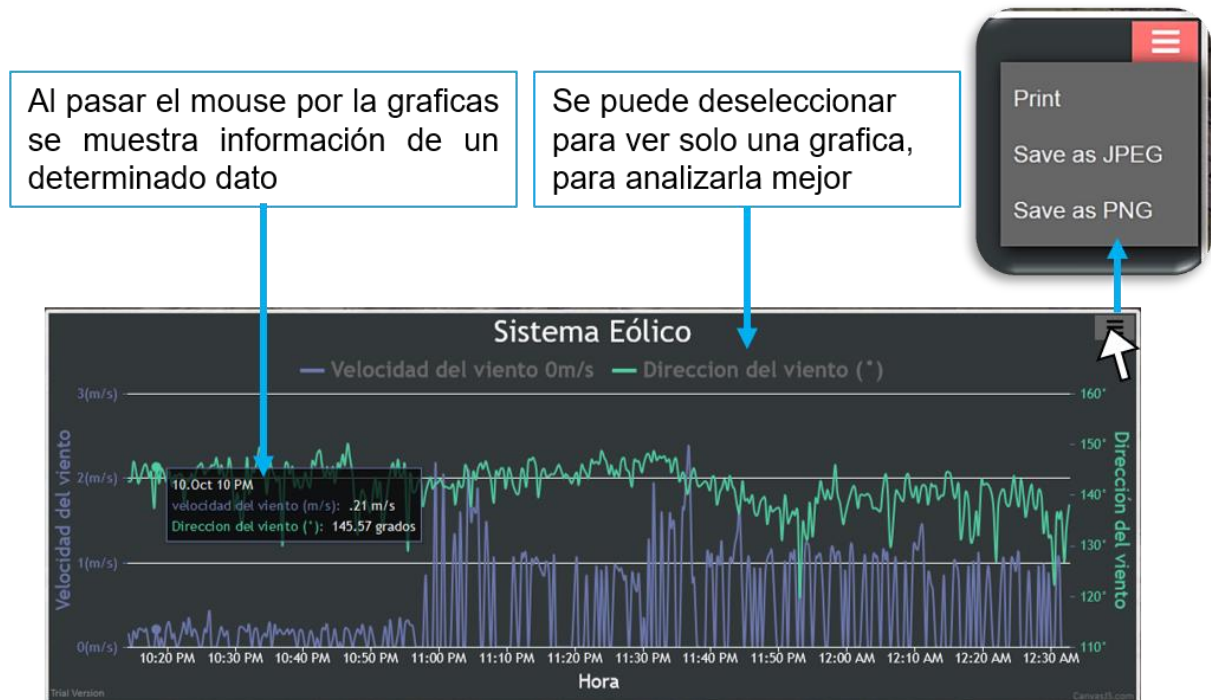


Imagen 4. Opciones para el manejo de las graficas

#### **Grafica “Sistema Eólico”**

En esta primer grafica que se muestra, se maneja el grafico de la Velocidad del viento y dirección que se presentan en San José del Chocho. Este grafico se actualiza cada vez que el sistema de Telemetría envía datos a la base de datos, el tiempo aproximado es cada 20 segundos.

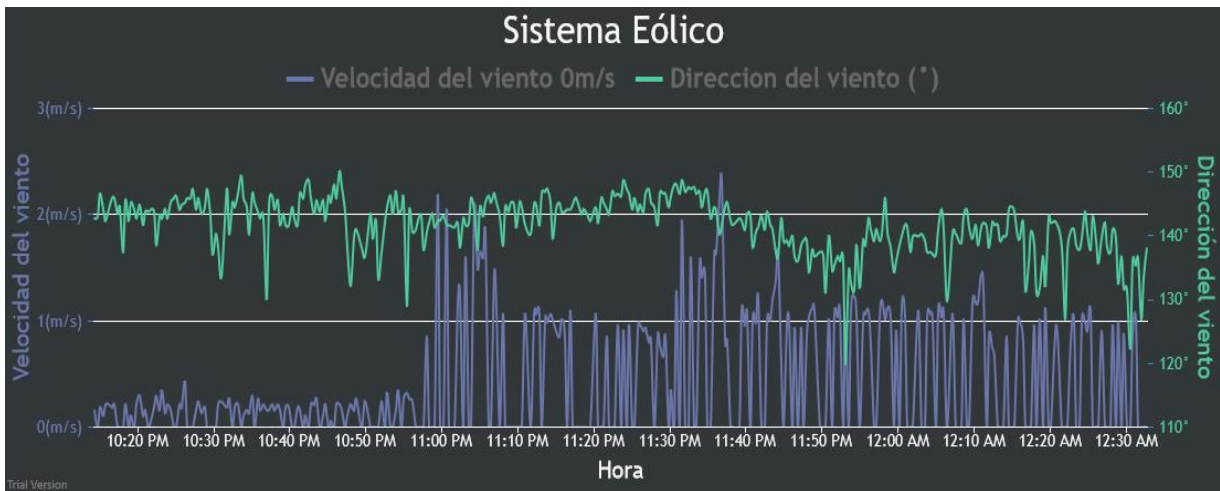


Imagen 5. Grafica de monitoreo para el sistema eólico

### Graficas “Baterías” y “Electricidad sistema eólico-fotovoltaico”

El grafico de “Baterías” presenta las corrientes de carga y descarga, y estado de las baterías. En la última grafica “Electricidad sistema eólico-fotovoltaico”, se visualiza la potencia generada por el sistema eólico y potencia generada por el sistema fotovoltaico. Además, en ambas graficas se muestra un indicador de estado, cuando el estado de las baterías es negativo o las potencias muy bajas la flecha indica hacia el color rojo en modo de advertencia, amarillo aceptable y verde que el sistema funciona de forma correcta.



Imagen 6. Grafica para el monitoreo del estado de las baterías

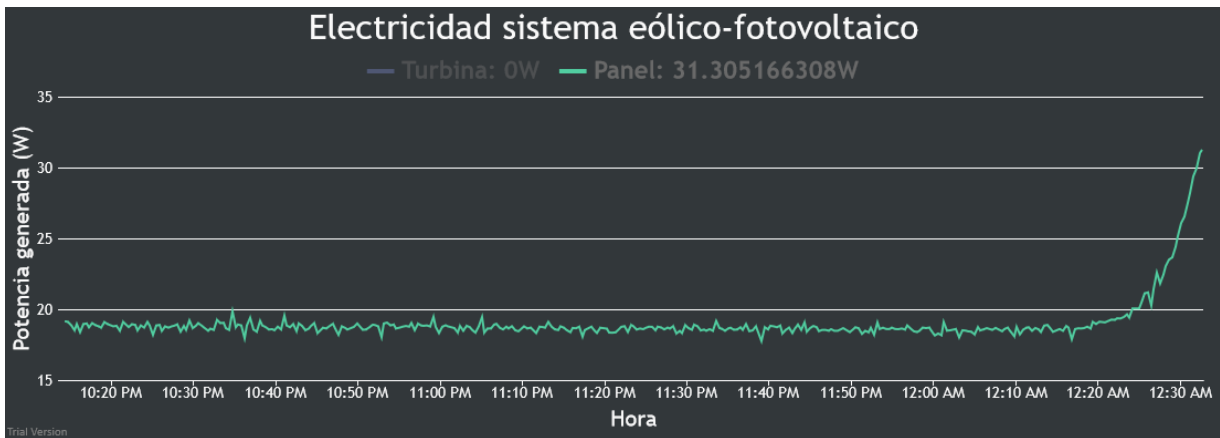


Imagen 7. Grafica para el monitoreo de las potencias generadas por el sistema eólico y fotovoltaico

### A.1.3.3. BOTÓN “Ver otras graficas”

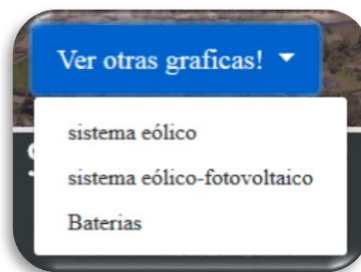


Imagen 8. Botón para mostrar las gráficas de consulta

Este botón desplegable muestra las opciones sistema eólico, sistema eólico-fotovoltaico y Baterías, que dependiendo de la opción seleccionada redireccionan hacia una nueva vista, que presenta la ventana de consulta, Imagen 9.

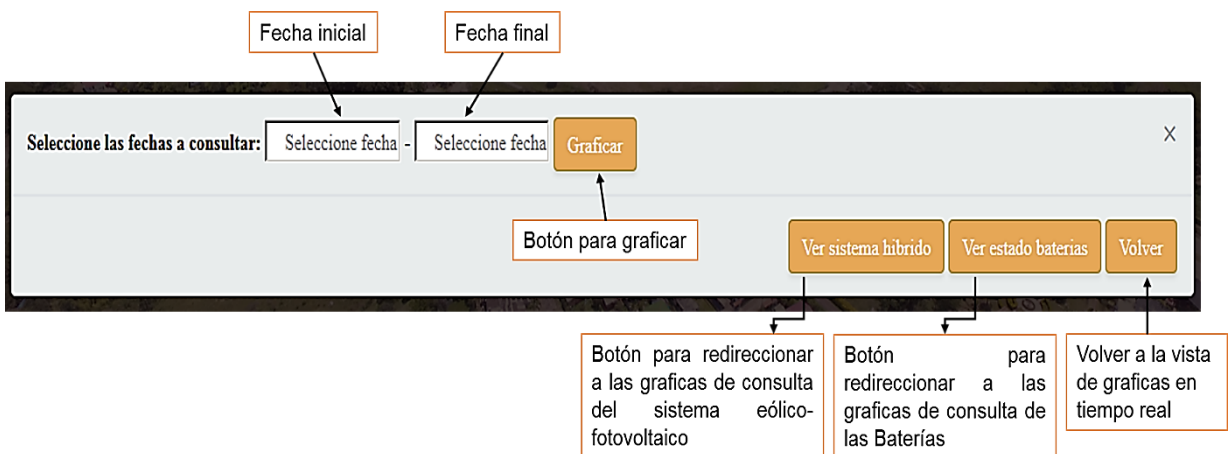
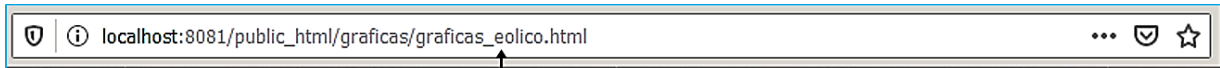


Imagen 9. Ventana de consulta para graficar según las fechas ingresadas

La funcionalidad de la ventana que se muestra en la Imagen 9, es igual para cualquiera de las gráficas de consulta.

En la ventana donde se muestra la URL, se puede observar donde se encuentra, como se enseña a continuación.



La consulta se estaría aplicando a la grafica del sistema eólico