



**Diseño de un sistema de generación de energía eléctrica a partir de fuentes de energías renovables para cubrir las necesidades del internado rural camino verde del municipio de Uribia la Guajira.**

**Erick De Jesús Días Cotes**

**21131626999**

**José Luis Rodríguez Sánchez**

**21131621586**

**Universidad Antonio Nariño**

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Riohacha, Colombia

2023



**Diseño de un sistema de generación de energía eléctrica a partir de fuentes de energías renovables para cubrir las necesidades del internado rural camino verde del municipio de Uribia la Guajira.**

**Erick De Jesús Días Cotes**

**José Luis Rodríguez Sánchez**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Ingenieros Electromecánicos**

Director (a):

Juan Vicente Cajal Barros

Línea de Investigación:

Energías renovables y alternativas

**Universidad Antonio Nariño**

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Riohacha, Colombia

2023



## NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado  
Diseño de un sistema de generación de energía eléctrica  
a partir de fuentes de energías renovables para cubrir  
las necesidades del internado rural camino verde del  
municipio de Uribia la Guajira,

Cumple con los requisitos para optar  
Al título de Ingeniero Electromecánico.

---

Firma del Tutor

---

Firma Jurado

---

Firma Jurado

Riohacha, 2 06 2023.

# Contenido

Pág.

<b>Resumen</b> .....	<b>1</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>2</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>3</b>
<b>1. Objetivos</b> .....	<b>9</b>
1.1 Objetivo general .....	9
1.2 Objetivos específicos.....	9
<b>2. Justificación</b> .....	<b>10</b>
<b>3. Marco teórico</b> .....	<b>11</b>
3.1 Energía solar fotovoltaica.....	11
3.1.1 <i>Número de horas sol pico equivalente (HSP)</i> .....	12
3.2 Tipos de sistemas fotovoltaicos.....	13
3.2.1 <i>Sistemas fotovoltaico autónomos</i> .....	13
3.2.2 <i>Sistemas conectados a red</i> .....	14
3.3 Principales componentes de un sistema solar fotovoltaico .....	15
3.3.1 <i>Panel solar</i> .....	15
3.3.2 <i>Regulador</i> .....	21
3.3.3 <i>Baterías o acumuladores</i> .....	23
3.3.4 <i>Convertidores</i> .....	26
3.4 Aerogeneradores.....	30
3.4.1 <i>Funcionamiento</i> .....	30
3.4.2 <i>Curva características del aerogenerador</i> .....	30
3.4.3 <i>Tipos de turbinas eólicas</i> .....	31
3.4.4 <i>Elementos que integran un aerogenerador</i> .....	32
3.4.5 <i>Clasificación por tamaño</i> .....	33
3.5 Línea de investigación.....	34
<b>4. Marco metodológico</b> .....	<b>35</b>
4.1 Fase 1. Diagnóstico del potencial energético, renovable, solar y eólico.....	35
4.2 Fase 2. Determinación y diseño del sistema de generación eléctrica.....	35

4.3	Ubicación geográfica del internado.....	37
4.4	Recursos solar y eólico información secundaria .....	38
4.4.1	<i>Recurso solar</i> .....	38
4.4.2	<i>Recurso del viento</i> .....	40
4.5	Información de campo: demanda energética.....	44
4.6	Cuadro de rangos de las variables recurso de irradiación y velocidad del viento.....	46
4.7	Dimensionar los sistemas de generación de energía. ....	47
4.7.1	<i>Cálculo del sistema solar fotovoltaico</i> .....	47
4.7.2	<i>Cálculo del aerogenerador potencia y energía producida.</i> .....	52
4.8	Normas y reglamentos aplicables a los sistemas de energías renovables. ....	54
4.9	Diagrama unifilar del sistema .....	59
4.10	Presupuesto de los sistemas fotovoltaico y eólico .....	60
5.	<b>Analisis de resultados</b> .....	<b>62</b>
6.	<b>Conclusiones</b> .....	<b>65</b>
7.	<b>Recomendaciones</b> .....	<b>66</b>
	<b>Referencias Bibliográficas</b> .....	<b>67</b>
	<b>Anexos</b> .....	<b>69</b>



## Lista de Figuras

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Fenómeno fotoeléctrico. ....	12
Figura 2. Irradiación expresada en HSP. ....	13
Figura 3. Configuración básica de una instalación aislada con suministro de corriente continúa y alterna. ....	14
Figura 4. Configuración un sistema fotovoltaico generación al centro de transformación. ....	15
Figura 5. Panel solar. ....	16
Figura 6. Tipos de células fotovoltaicas. ....	16
Figura 7. Características físicas del panel solar. ....	18
Figura 8. Regulador serie. ....	22
Figura 9. Regulador en paralelo o Shunt. ....	22
Figura 10. Partes constitutivas básicas de un acumulador. ....	24
Figura 11. Onda cuadrada. ....	28
Figura 12. Aproximación a la onda sinusoidal. ....	28
Figura 13. Aerogenerador accionado por sustentación. ....	30
Figura 14. Góndola de una turbina eólica de eje horizontal con algunos componentes. ....	31
Figura 15. Aerogeneradores de eje vertical. ....	32
Figura 16. Elementos de un aerogenerador de eje horizontal tripala. ....	33
Figura 17. Flujograma de actividades. ....	36
Figura 18. Ubicación geográfica internado indígena camino verde. ....	37
Figura 19. Irradiación global horizontal media diaria anual ..... 38	38
Figura 20. Irradiación global horizontal media diaria anual indicando la Guajira. ....	39
Figura 21. Energía solar de onda corta incidente diario promedio en Uribia. ....	40
Figura 22. Velocidad promedio del viento a 10 metros de altura (m/s). ....	41
Figura 23. Velocidad promedio del viento a 10 m de altura (m/s) indicando la Guajira. ....	42
Figura 24. Velocidad promedio del viento en Uribia. ....	43
Figura 25. Figura 33. Dirección del viento en Uribia. ....	44
Figura 26. Ficha técnica del aerogenerador Bornay 25.3+. ....	53
Figura 27. Diagrama unifilar sistema solar fotovoltaico. ....	60

## Lista de tablas

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Infraestructura internado camino verde. ....	5
Tabla 2. Equipos, cantidades y potencia por unidad.....	5
Tabla 3. Energía solar kWh por mes Uribia. ....	40
Tabla 4. Velocidad del viento en kph y m/s por mes Uribia.....	43
Tabla 5. Consumo de los receptores en corriente alterna (CA). ....	45
Tabla 6. Consumo de los receptores sala de informática.....	46
Tabla 7. Cuadro comparativo de los rangos variables según recurso disponible. ....	47
Tabla 8. Coeficientes que conforman el parámetro de rendimiento global. ....	48
Tabla 9. leyes, decretos y resoluciones en Colombia de sistemas de energías renovables. ....	55
Tabla 10. Presupuesto sistema solar fotovoltaico autónomo . ....	60
Tabla 11. Presupuesto aproximado del sistema eólico. ....	61
Tabla 12. Análisis comparativo sistema fotovoltaico y sistema eólico. ....	63

*(Dedicatoria)*

*Dedicamos este trabajo para optar al título de ingeniero electromecánico inicialmente a Dios, por habernos dado la vida y permitirnos llegar a estas instancias tan importante en nuestra capacitación profesional, a nuestros padres por brindarnos siempre su cariño, apoyo, consejo en todo momento, recursos para lograrlo y ser los pilares más importantes en nuestras vidas, a nuestros hermanos, familiares, esposa, novia e hijos por impulsarnos cada día a cumplir las metas y logros que nos proponemos, pero sobre todo a ser mejores personas. Por último a nuestros docentes quienes nos brindaron los conocimientos necesarios a lo largo de nuestra formación profesional.*



## **Agradecimientos**

Ha sido un amplio periodo en el cual nos hemos visto frente a dificultades y oportunidades de las cuales obtuvimos los mejores aprendizajes, tanto en el ámbito personal como a nivel académico. Es por esto que decidimos tomar este espacio dentro de nuestro proyecto para darles las gracias a todas esas personas que de una u otra manera nos han brindado su apoyo. Primeramente, le agradecemos a DIOS por brindarnos la sabiduría para tomar las mejores decisiones, a nuestros padres Bienvenido Antonio Diaz Cotes, Rosa María Cotes Epieyu, Víctor José Rodríguez y Rosa Isela Sánchez, familiares y amigos por darnos su apoyo incondicional e impulsarnos a cumplir nuestras metas y por último y no menos importantes a nuestros docentes por proporcionarnos los conocimientos necesarios para ser unos profesionales competentes en nuestro campo.

A todos nuestros agradecimientos más sinceros.



## Resumen

Este trabajo de grado propuso el diseño de un sistema de generación de energía a través de fuentes renovables en la institución etnoeducativa camino verde en el municipio de Uribia, departamento de La Guajira. Dicho trabajo partió de la problemática que se presenta en el plantel educativo con la deficiencia del fluido eléctrico y la necesidad de un sistema de generación de energía eólica o fotovoltaica que garantice la conectividad y funcionamiento de los equipos en la sala de informática y se lleve un proceso educativo con dignidad. Para lograr los objetivos propuestos se realizó una investigación descriptiva. Se determinó que los recursos disponibles de la zona de irradiación y velocidad del viento promedio a 10 metros de altura son de 4,5-5,0 kwh/m<sup>2</sup>, y 4-10 m/s respectivamente, asimismo la demanda energética aproximada en corriente alterna en la sala de informática es de 8980 Wh/día. Se determina un sistema fotovoltaico de 3150 *WP* con un día de autonomía, seis batería de 12V 300 Ah, siete panel solar de 450 W, un regulador solar de 100 A-24 V y un inversor de 5000 W- 24 V con costo aproximado de \$ 30.128.149,00 pesos colombianos. De igual forma se obtiene un sistema eólico con un aerogenerador Bornay Wind 25.3 + 5000 W, 12 batería estacionaria BAE 24 V 1160 Ah de 2 V c/u, una torre de 10 m, un regulador MPPT Wind+ 24 vdc e intensidad máxima 125 Amp, un inversor de 24 Vcc/110 Vca-5000 W onda pura, accesorios y elementos adicionales con un costo aproximado de \$ 115.380.840,00. Se establece el beneficio directamente a 421 estudiantes que utilizan la sala de informática.

Palabras clave: energía eólica, fotovoltaica, ambiental, sector energético y vientos.

## Abstract

This degree work proposed the design of an energy generation system through renewable sources in the camino verde ethno-educational institution in the Municipality of Uribia, department of La Guajira. Said work started from the problems that arise in the educational establishment with the deficiency of electrical fluid and the need for a wind or photovoltaic energy generation system that guarantees the connectivity and operation of the equipment in the computer room and takes a educational process with dignity. To achieve the proposed objectives, a descriptive investigation was carried out. It was determined that the available resources of the irradiation area and average wind speed at 10 meters high are 4.5-5.0 kwh/m<sup>2</sup>, and 4-10 m/s respectively, likewise the approximate energy demand in alternating current in the computer room is 8980 Wh/day. A 3150 *WP* photovoltaic system is determined with one day of autonomy, six 12V 300 Ah batteries, seven 450 W solar panels, a 100 A-24 V solar regulator and a 5000 W-24 V inverter with an approximate cost of \$30,128,149.00 Colombian pesos. In the same way, a wind system is obtained with a Bornay Wind 25.3 + 5000 W wind turbine, 12 BAE 24 V 1160 Ah stationary batteries of 2 V each, a 10 m tower, an MPPT Wind + 24 vdc regulator and a maximum intensity of 125 Amp. , a 24 Vdc/110 Vca-5000 W pure wave inverter, accessory and additional items with an approximate cost of \$115,380,840.00. The benefit is established directly for 421 students who use the computer room.

Keywords: wind energy, photovoltaic, environmental, energy sector and winds.

## Introducción

La energía eólica es la energía que se obtiene del viento. Se trata de un tipo de energía cinética producida por el efecto de las corrientes de aire. Esta energía se puede convertir en electricidad a través de un generador eléctrico [1]. La energía solar es aquella que obtenemos del sol. A través de placas solares se absorbe la radiación solar y se transforma en electricidad que puede ser almacenada o volcada a la red eléctrica [2]. En el caso de la energía eólica no presenta ninguna novedad pues en la antigüedad se había aprovechado a través de los molinos de viento en las labores agrícolas al poder moler granos y además el bombeo de agua; pero el potencial de este tipo de energía le ha permitido mantenerse a la vanguardia, pues representa un menor costo ambiental en su producción y un desarrollo técnico más elemental a través de la mecánica.

Todo esto lo que permite comprender es que la energía eólica y fotovoltaica se están posicionando como una manera de producción de energía a bajo costo y que responde a los objetivos del nuevo milenio al permitir el desarrollo de las comunidades. El manejo de una energía con enfoque de reducción del impacto ambiental. La modernidad ha significado para el ser humano la adaptabilidad al medio y su aprovechamiento a través de la utilización de los recursos naturales que en un primer momento se asumió para la satisfacción de necesidades básicas, pero a medida que el crecimiento industrial demandó más manufactura se acrecentó la demanda de elementos naturales y se ha puesto en jaque el medio ambiente [3].

Una de las respuestas ante el alza de la demanda energética ha sido la gestión de producción de energías renovables ya que, por sus características inagotables, el bajo costo de producción y la facilidad de su utilización en zonas rurales la han convirtiendo en una forma de producción de energía competitiva dentro del sector energético. La energía eólica y fotovoltaica forman parte de las energías renovables una de las formas de producción energética a menor precio [4].

Colombia adoptó la energía eólica y fotovoltaica como fórmula dentro del plan nacional de desarrollo a partir del año 2010 y que ha presupuestado un crecimiento en los últimos años, por lo cual logró priorizar los departamentos que tuvieran la capacidad estratégica en la generación de este tipo de energía, dentro de los cuales se destacó La Guajira. En el municipio de Uribia, ubicado en el departamento de La Guajira se presenta un servicio ineficaz de energía eléctrica en el que se tiene una dificultad de conexión a fuentes de abastecimiento o una nula existencia del servicio eléctrico tal como lo reconoce el informe de gestión de la administración de Uribia 2016-2019 “alrededor de 20.000 personas de todas las áreas de la alta Guajira” no tienen ningún tipo de fluido eléctrico evidenciándose un problema estructural en la zona [5]. Este es el caso de la institución etnoeducativa rural camino verde el cual se encuentra ubicado en una ranchería de este mismo nombre en el municipio de Uribia, el cual es un internado que presta educación con enfoque diferencial a 420 estudiantes de educación primaria y básica secundarias indígenas de la comunidad Wayuu y que propende por un proceso de aprendizaje inclusivo con la diferenciación étnica para preservar los valores culturales. La institución plantea desafíos en materia de energía eléctrica, dado que la prestación de servicio dentro del plantel educativo

camino verde no responde a la demanda energética actual. La infraestructura del internado se encuentra conformada según se muestra en la (Tabla 1).

Tabla 1. Infraestructura internado camino verde.

<b>Infraestructura internado camino verde</b>	
3	Oficinas
1	Enfermería
1	Sala de profesores
1	Sala de informática
1	Sala de audio visuales
24	Salones de clase
2	Dormitorios para interno, con 20 habitaciones cada uno
2	Canchas
18	Baños en toda la institución
1	Cocina
1	Laboratorio
1	Biblioteca
3	Bodegas de almacenamiento
1	Cuarto frio
1	Comedor escolar
1	Cafetería
1	Dormitorio profesores 8 habitaciones

Fuente: Elaboración propia.

Aparte cuentan con equipos eléctricos que necesitan un flujo constante de energía eléctrica mostrados en la siguiente (Tabla 2).

Tabla 2. Equipos, cantidades y potencia por unidad.

Ítem	Equipos	Cantidad	Potencia por unidad
1	Ventilador de techo	70	66W
2	Aires mini Split	25	860W
3	Pc portátiles	50	50W
4	Pc de escritorio	10	220W
5	Cuarto frio	1	2.500KW
6	Congeladores	4	365W
7	Hornos microondas	2	700W
8	Licuadoras	4	600W
9	Sandwichera	5	750W
10	Televisor	5	200W
11	Motobomba	4	745W
12	Reflectores	15	300W
13	Lámpara	40	100W
14	Bombillos	15	60W
15	Video Beam	3	240W

Fuente: Elaboración propia.

Debido a que la institución solo cuenta con cinco horas diarias de energía eléctrica inestables, dificulta y retrasa la jornada académica y las labores diarias. Esto imposibilita la prestación de un servicio educativo de calidad dado que al no tener fluido eléctrico permanente o de más horas diarias se limita el acceso al manejo de aparatos electrónicos dentro de las instalaciones lo que afecta las actividades de la comunidad educativa en general. El objetivo general es identificar un sistema de generación de energía eléctrica alternativa para el internado a partir de un estudio de las condiciones del consumo de energía, recursos de radiación y/o velocidad del viento de la zona y demás condiciones técnicas que conlleven a presentar una propuesta que ayude a la problemática que se presenta con el deficiente servicio de energía eléctrica.

Colombia ha formulado de manera inequívoca estos puntos como agenda energética, esto se evidencia en los trabajos de investigación de la última década, siendo el caso de la tesis de maestría [6] “desarrollo de la energía eólica en Colombia”, en la cual se describen las ventajas y desventajas de este sector en el país reconociendo como principal ventaja las zonas costeras y la velocidad del viento en las mismas, tal es el caso de La Guajira, es por ello, que se formularon proyectos sobre la temática, siendo el caso del parque Eólico Jepirachi ubicado en media luna corregimiento de la alta Guajira, se encuentran en etapa de formulación; financiados por parte del Estado como una estrategia a futuro para lograr la disminución de la dependencia energética de los recursos no renovables.

Dentro de la revisión de antecedentes se tiene el caso de estudio realizado por Torres & Vargas [7] esta realiza de manera exitosa el diseño de un sistema de generación híbrido en zona rural de Bogotá reconociendo que es viable desde el punto de vista de formulación

técnica contando con las condiciones meteorológicas necesarias para ser eficientes en la generación de energía renovable. En este trabajo el desarrollo del proyecto determinó que se necesitaba siete paneles solares fotovoltaicos con dos aerogeneradores para cubrir la demanda energética del lugar enfocado aunque desde el punto de vista de inversión resulta más económico la inversión de paneles solares, pues con 11 se cubrirá la demanda del sistema híbrido. En un estudio desarrollado en Nazareth, Puerto Estrella en La Guajira, con el diseño de un sistema híbrido de generación de energía, para ello se tomó como ejemplo los datos de la NASA- MERRA2, el atlas de vientos del IDEAM, Windfinder y Global Wind Atlas, esto con el fin de hallar un emplazamiento ideal para el aprovechamiento eólico, lo que supone un diseño conceptual confiable sobre el tipo de turbina a utilizar. Luego del tratamiento de datos, se realizó la simulación en HomerPro, planteando dos escenarios de integración energética. Finalmente se encuentra que es viable suplir la demanda mediante el sistema eólico escogido (WESPA 500 kW), ya que la curva agregada de la oferta siempre estará por encima de la petición en los dos escenarios planteados, y esto también permitiría ampliar las horas de cobertura con los excedentes de energía obtenido [8].

Todo lo expuesto permite comprender que en Colombia la energía eólica y fotovoltaica es un tema de actualidad que se está construyendo desde la experiencia internacional y adaptándolo a las realidades locales teniendo para ello un apoyo gubernamental principalmente abordando nuevos campos que superen las líneas básicas de adopción y planteen nuevos cuestionamientos sobre lo logrado hasta el momento y las posibles estrategias para potencializar este recurso [5].

El proyecto reconoce la necesidad de consumo de energía eléctrica del internado, el diagnóstico de las condiciones de radiación solar y velocidad del viento de la zona, una revisión de la política, normativas actuales en energías alternativas en Colombia, diagrama unifilar y presupuesto del sistema propuesto. El trabajo se desarrolla bajo el tipo de investigación descriptiva, en el que a través de una revisión de tipo documental e información de campo se puede establecer de manera clara respuestas a los objetivos formulados. Este trabajo empieza plasmando el objetivo general y los objetivos específicos necesarios para la consecución y desarrollo del mismo, seguido de ellos trata la justificación donde se manifiesta la relevancia del trabajo, del mismo modo se continua con el marco teórico donde inicialmente se plasman los antecedentes, definición de la energía solar fotovoltaica, tipos y principales componentes de los sistemas fotovoltaico, funcionamiento y curvas características de un aerogenerador, tipos de turbinas, clasificación, tamaño y la línea de investigación. Posteriormente se presenta el marco metodológico, donde se fijan las fases, actividades, ubicación del contexto, recurso solar y eólico de la zona, cálculo de la demanda energética y dimensionamiento de los sistemas. Por otro lado se relaciona el análisis y resultados correspondiente a cada uno de los objetivos específicos y finalmente las conclusiones y algunas recomendaciones.

## 1. Objetivos

### 1.1 Objetivo general

Diseñar un sistema de generación de energía eléctrica partiendo de fuentes de energías renovables eólica o fotovoltaica con el fin de cubrir las necesidades energéticas del internado rural camino verde el municipio de Uribia La Guajira.

### 1.2 Objetivos específicos

- Determinar el potencial energético renovable eólico y solar presente en inmediaciones del internado rural camino verde del municipio de Uribia La Guajira a través de fuentes secundarias IDEAM.
- Estimar la demanda energética requerida para el dimensionamiento del sistema de generación eléctrica renovable.
- Determinar el sistema de generación eléctrica renovable más conveniente considerando el potencial eólico y solar presente y los requerimientos energéticos del internado rural camino verde.
- Elaborar el diseño del sistema de generación eléctrica renovable con almacenamiento determinado, considerando la normativa vigente: RETIE, RETILAP y NTC 2050.
- Determinar la viabilidad que conlleva la implementación del sistema a través de la técnica costos-beneficios.

## 2. Justificación

La presente propuesta tiene una relevancia de tipo contemporánea porque responde al debate actual de la implementación de nuevas formas de producir energía que respondan a la alta demanda existente, pero con la disminución de costos y de valor para el consumidor final. Asimismo, tiene una relevancia de tipo social porque los proyectos eólicos y fotovoltaicos formulados por las entidades gubernamentales en La Guajira tienen como objetivo central el beneficio poblacional a las comunidades locales con el fin de disminuir la brecha social existente en Colombia. Es así que mediante el diseño de un sistema de energías renovables se pretende desarrollar una forma permanente de producir energía en el plantel educativo, dando una respuesta a la insuficiencia de la conectividad del servicio eléctrico y abordando para ello un sistema económico y sustentable que se adapte a las necesidades de la institución etnoeducativa de camino verde que estos plantean.

Este proyecto aporta a la solución de la problemática de deficiencia del servicio de energía eléctrica y al problema generado durante el desarrollo de las actividades académicas y administrativas del establecimiento educativo, la cual se verían mitigada con la adopción del diseño de un sistema fotovoltaico que respondería a la demanda energética del lugar y permitirá contribuir con el medio ambiente ya que con estas energías fotovoltaicas la contaminación es menor. Por otro lado, la ventaja de diseñar un sistema fotovoltaico es que permitirá garantizar la continuidad del servicio eléctrico, en la sala de informática sin interrupción.

### 3. Marco teórico

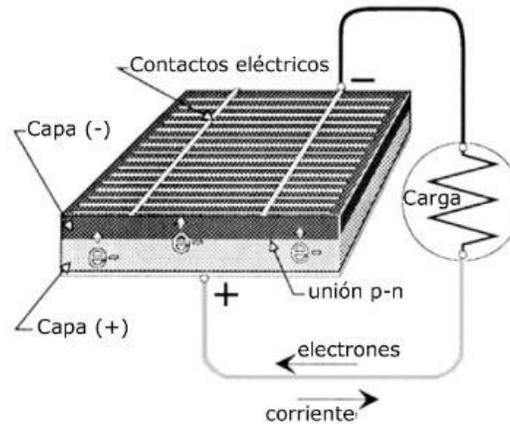
#### 3.1 Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica consiste en la transformación de la radiación solar en electricidad a través de un proceso conocido como efecto fotoeléctrico y la utilización de módulos solares que están conformados por fotocélulas hechas con materiales semiconductores como silicio [9]. Dentro de sus principales ventajas se tiene:

- La no generación de emisiones de gases de efecto invernadero y la contribución al cambio climático [9].
- Su combustible es la radiación solar, fuente de energía considerada inagotable [9].
- Son sistemas escalables, los cuales son fácil de añadir o quitar sus componentes según demanda energética [9].

En la Figura 1 se muestra el fenómeno fotoeléctrico, la radiación solar llega sobre el material semiconductor generando artificialmente dos regiones conocidas como tipo P (P = positivo) dopada con un elemento conocido como boro y la tipo N (N = negativo) que contiene electrones adicionales [10]. Al incidir la luz sobre la unión de estas dos regiones se produce un campo electrostático constante, generando un movimiento de electrones que fluyen cuando se cierra el circuito con una carga externa conocida como corriente continua [10].

Figura 1. Fenómeno fotoeléctrico.

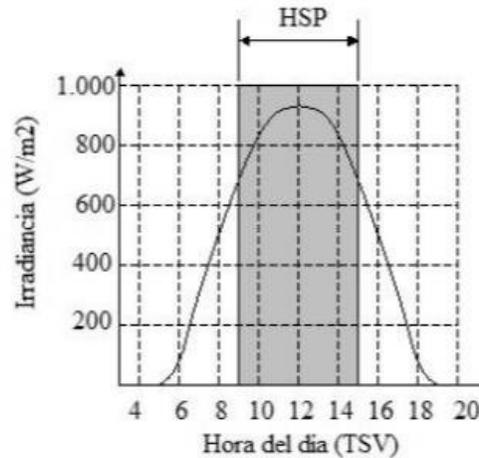


Fuente: (Soles, 2014).

### 3.1.1 Número de horas sol pico equivalente (HSP)

La potencia pico de un panel solar se tiene cuando la irradiancia que incide sobre él es de  $1000 \text{ W/m}^2$ , la energía que incide sobre el módulo solar se indica durante el número de horas que debería incidir el flujo de energía mostrando la energía total durante todo el día [11]. La Figura 2 muestra la curva de variación, a lo largo del día, de la irradiancia que incide sobre una superficie. El área comprendida debajo de la curva es la irradiación diaria, si se traza un rectángulo de igual área y de altura  $1.000 \text{ W}$ , la base de este rectángulo es el HSP.

Figura 2. Irradiación expresada en HSP.



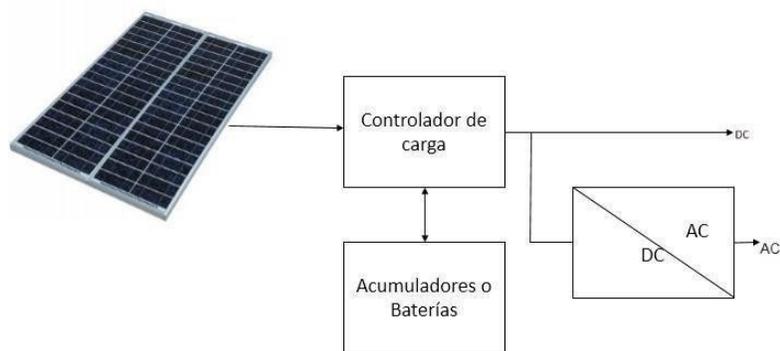
Fuente: (Jutglar Banyeres, 2012).

## 3.2 Tipos de sistemas fotovoltaicos

### 3.2.1 Sistemas fotovoltaico autónomos

Las instalaciones aisladas o autónomas se pueden configurar para proporcionar solo la corriente continua que surten los módulos fotovoltaicos o alternos, obtenida a través de equipos complementarios. Puede disponer de sistemas de acumulación para soportar en determinado momentos consumos superiores a los de la energía captada en tiempo real, o bien para mantener el servicio durante la noche [12]. La instalación más elemental es la que dispone el módulo fotovoltaico en conexión directa con el consumo. Sin embargo, presenta unas posibilidades muy reducidas al limitarse al servicio diurno y solo con condiciones aceptables durante las horas centrales, cuando la intensidad de la radiación solar es intensa. Agregando un acumulador se puede conseguir prolongar el servicio al periodo nocturno. El inversor, como convertidor de corriente continua a alterna satisface el requisito, quedando la instalación conforme [12], como se visualiza en la Figura 3.

Figura 3. Configuración básica de una instalación aislada con suministro de corriente continua y alterna.

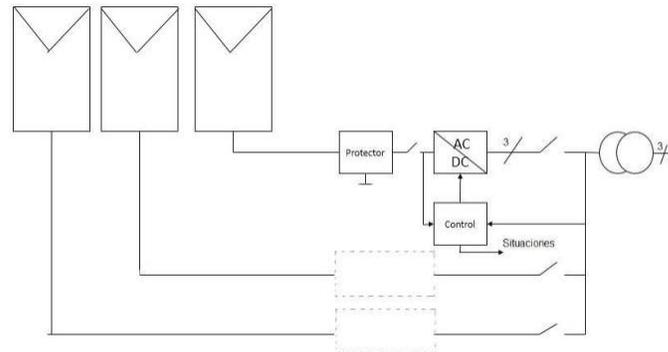


Fuente: (Benito, 2015).

### 3.2.2 *Sistemas conectados a red*

Es común asociar este grupo con el suministro de electricidad a las redes de distribución, participando del consumo global de la zona geográfica asignada. Es el propósito de las centrales o instalaciones industriales, las dedicadas a la venta de su producto. La primera aplicación corresponde a las huertas solares, instalaciones industriales con cientos o miles de módulos fotovoltaicos que finalizan en convertidores DC/AC y estos, a través de transformadores de adaptación de los distintos valores de tensión, en las redes públicas de suministro. Su envergadura eléctrica es elevada y la extensión de terreno necesario considerable [12]. En la Figura 4 se muestra un tipo de sistema unido a la red.

Figura 4. Configuración básica de un sistema fotovoltaico desde la generación al centro de transformación.



Fuente: (Benito, 2015).

### 3.3 Principales componentes de un sistema solar fotovoltaico

#### 3.3.1 Panel solar

El panel solar se encuentra conformado por un conjunto de células normalmente de silicios conectadas entre sí encargadas de tomar la radiación solar y convertirla en energía eléctrica [13]. El silicio, es un elemento común en la Tierra, tiene que procesarse para poder utilizarlo en estado de gran pureza en las aplicaciones solares fotovoltaicas. Una vez es suficientemente puro, se le introducen unas impurezas microscópicas (a escala atómica) de átomos de boro o estaño. Con este proceso (que se denomina dopado) el silicio se convierte en lo que se conoce como material semiconductor. El silicio dopado se ve alterado por la radiación solar, y los fotones de la luz hacen que, al chocar con la superficie de la celda, se genere una corriente eléctrica continua. Existen tres tipos de silicio, en función del proceso de fabricación por el que se obtiene y de los rendimientos de generación eléctrica: silicio monocristalino (con un rendimiento del 14-15%), silicio policristalino (con un rendimiento del 12-13%) y silicio amorfo (con un rendimiento del 6%). La diferencia de rendimiento

se traduce también en una diferencia de precio: el más caro es el silicio monocristalino [13].

En la Figura 5 se muestra un panel solar de forma frontal.

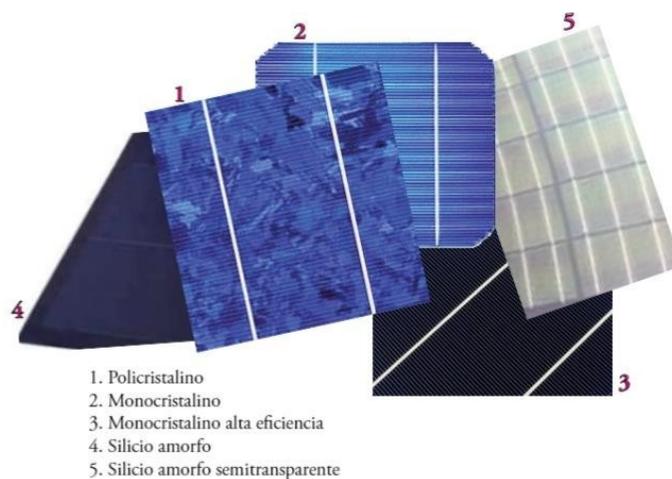
Figura 5. Panel solar.



Fuente: ATERSA.

En el mercado se puede encontrar diferentes tipos de panel solar, según su fabricación, rendimiento, tipo de material, dopaje y estructuras. En la Figura 6 se muestra diferentes tipos de células utilizadas en la fabricación de los paneles solares y posteriormente se presenta la definición de algunos de ellos.

Figura 6. Tipos de células fotovoltaicas.



Fuente: (Tobajas, 2019).

- Panel solar monocristalino

Estos tipos de paneles solares entregan un rendimiento bastante elevado, comprendido entre el 20% en el proceso de fabricación en serie y 24% en modelos de laboratorios, además están hechos de silicio puro fundido [14].

- Panel solar policristalino

Los policristalinos presentan un rendimiento entre el 12 y 14%, contiene un espesor reducido, son de forma cuadrada lo cual le permite aprovechar mejor el espacio entre las celdas y su costo es bajo sobre todo porque se aplica menos silicio en su fabricación [14].

- Panel solar amorfos

Su rendimiento se encuentra por debajo del 10%, son bastante utilizados en tejas solares, superficies de edificios, extremadamente delgado y económicamente rentables [14].

- Panel solar de arsénico de galio

Su rendimiento teórico se encuentra entre 27 y 28% en su modalidad monocristalina, algunos inconvenientes es la escasez de materiales encareciendo la materia prima, sin embargo, su coeficiente de absorción es bastante elevado indicando que con poco material presenta una eficacia muy alta [14].

- Panel solar de diseleniuro de cobre en indio

Presenta rendimientos en laboratorio del 17% y en módulos comerciales del 9% [14].

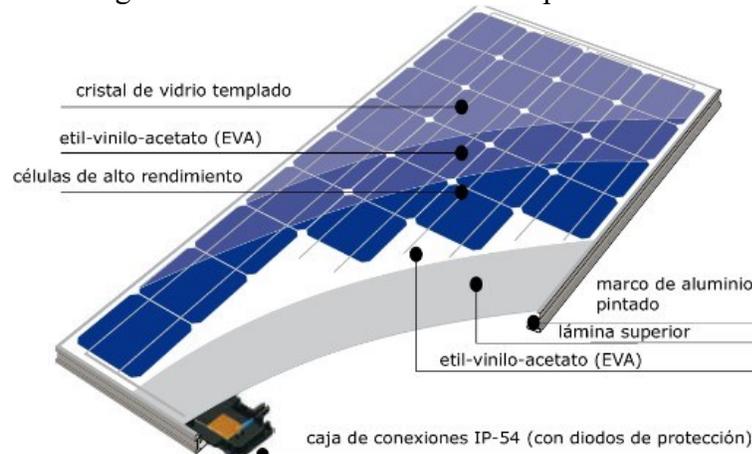
- Panel solar de telurio de cadmio

Maneja rendimiento en laboratorio del 16% y en módulos comerciales del 8% [14].

- Características físicas.

Los paneles solares presentan unas características físicas importantes para su protección, instalación y traslado. En la Figura 7 se muestra cada una de ellas y seguido la definición al respecto.

Figura 7. Características físicas del panel solar.



Fuente: (Vázquez, 2014).

- Cubierta exterior.

Está conformada por un vidrio templado que presenta una transmisión a la radiación del espectro solar, protege el panel solar de los impactos y agentes atmosféricos y su espesor está alrededor de 4 mm [15].

- Encapsulante

Su material está hecho de EVA (Etil-vinilo-acetileno), y se encarga de proteger las celdas solares y las conexiones con una excelente transmisión de la radiación solar [15].

- Parte posterior

Está hecha de componentes acrílicos del tipo TELDAT o EVA, encargados de proteger el panel solar [15].

- Marco soporte

Están hechos de aluminio anodizado o acero inoxidable y es el encargado de sujetar el panel solar, suelen traer una conexión a tierra equipotencial [15].

- Características eléctricas.

En el procedimiento de diseño de una instalación solar fotovoltaica es fundamental conocer y estudiar las características técnicas de los paneles solares disponibles en el mercado, ya que dichos aspectos van a influir, entre otras cosas, en el rendimiento del sistema [16].

- Potencia máxima ( $P_{max}$ ).

La potencia que el panel solar suministra a la carga se encuentra determinada por la siguiente ecuación [16]. Se denomina potencia máxima el valor más alto del panel solar y viene dada por la multiplicación de la corriente y tensión en el punto de máxima potencia [16].  $I_{Pmax}$ : Corriente en el punto de máxima potencia [16].  $V_{Pmax}$ : Tensión en el punto de máxima potencia [16].

- Corriente de cortocircuito ( $I_{sc}$ )

Se puede medir en el momento que se cortocircuita el panel solar y al mismo tiempo se está recibiendo radiación solar [16].

- Tensión de circuito abierto ( $V_{oc}$ )

Se puede medir en el momento que el panel solar está en circuito abierto y al mismo tiempo se está recibiendo radiación solar [16].

- Irradiancia

Distribución espectral incidente a  $1.000 \text{ W/m}^2$  ( $1 \text{ KW/m}^2$ ) con una masa de aire de 1.5 y temperatura normal de la célula a  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ .

- Cálculo del generador fotovoltaico

El cálculo del generador fotovoltaico para una instalación solar fotovoltaica autónoma se puede obtener a través de las siguientes ecuaciones utilizadas en el proyecto, auspiciado desde TKNIKA, que está desarrollando la Comisión de Energías Renovables.

$$E_G = \frac{E}{\eta_R} \quad \text{Ec.(1)}$$

$$P_N = \frac{E_G}{(HSP * \eta_G)} \quad \text{Ec.(2)}$$

$$M_S = \frac{V_{NS}}{V_{NM}} \quad \text{Ec.(3)}$$

$$M_P = \frac{P_N}{(M_S * P_P)} \quad \text{Ec. (4)}$$

$$M_T = M_S * M_P \quad \text{Ec.(5)}$$

$$P_{NI} = M_P * P_P \quad \text{Ec.(6)}$$

Donde:

$E_G$ : Energía diaria que debe producir el generador fotovoltaico.

$E$ : Energía diaria que debe recibir el acumulador (R).

$\eta_R$ : Rendimiento del regulador.

$P_N$ : Potencia nominal del generador fotovoltaico.

$HSP$ : Horas de sol pico.

$\eta_G$ : Rendimiento del generador fotovoltaico.

$M_S$ : Número de módulos fotovoltaico conectados en serie.

$V_{NS}$ : Voltaje nominal del sistema.

$V_{NM}$ : Voltaje nominal del módulo.

$M_P$ : Numero de módulos fotovoltaico conectados en paralelo.

$P_P$ : Potencia pico del módulo utilizado.

$P_{NI}$ : Potencia pico instalada.

### 3.3.2 Regulador

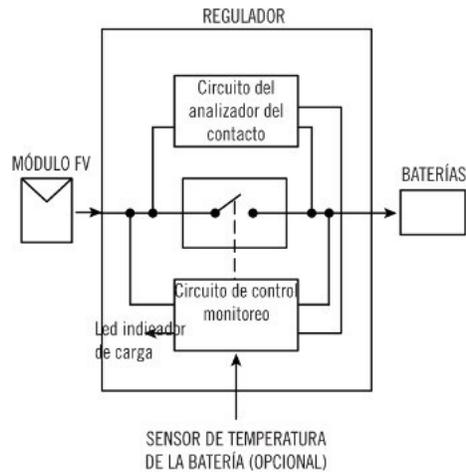
Su principal función es evitar que la batería no siga recibiendo energía del módulo solar luego de que esta se haya cargado completamente, al intentar suministrar más energía, se inicia (en la batería) el proceso de gasificación o de calentamiento, que pueden llegar a ser peligrosos originando un descenso de la correcta utilidad de la misma [16]. El regulador cumple además un papel de prevención, permitiendo que se sobre descargue y se agote en exceso la carga de la batería, esto lo hace a través de alarma sonora o luminosa previa a la desconexión [16].

- Tipos de reguladores

- Reguladores en serie

Estos reguladores cuando se logra el estado de plena carga de la batería desconectan el panel solar de la misma, esto se lleva a cabo a través de un interruptor normalmente dispositivos semiconductores como transistores de potencia bipolares. Este elemento es gobernado por un circuito de control que compara constantemente la tensión de la batería con un valor de referencia, entrega al regulador una señal que le indicará si debe dejar pasar o no la corriente [16]. La Figura 8 muestra un regulador serie de manera general.

Figura 8. Regulador serie.

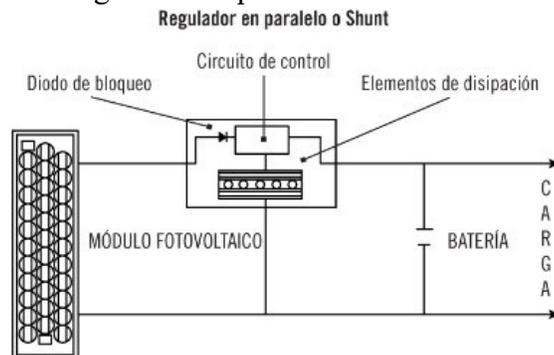


Fuente: (Pérez, 2017).

- Reguladores en paralelo o shunt

Utiliza la tensión de la batería como variable principal, la cual es previamente establecida y crea un camino de baja resistencia, es decir, deriva la corriente, adicionalmente tiene un diodo para que la corriente no regrese a los módulos solar [16]. Estos reguladores disipan toda la corriente de salida del panel cuando la batería tiene carga máxima, adecuados para sistemas eléctricos solares pequeños, sin embargo, los grandes sistemas requieren disipadores de grandes dimensiones provocando problemas de fiabilidad y de costo elevado [16]. La Figura 9 muestra un regulador shunt de manera general.

Figura 9. Regulador en paralelo o Shunt.



Fuente: (Pérez, 2017).

- Características eléctricas

Respecto a las características eléctricas, se pueden destacar:

- Tensión de funcionamiento: Tensión a la que debe estar conectado el sistema solar fotovoltaico, normalmente 12, 24 y 48 V.
- Intensidad de carga: Intensidad máxima que entregan los módulos solares en servicio permanente.
- Intensidad de descarga: Intensidad máxima que entregan el regulador de manera permanente.
- Protecciones.
- Cálculo del regulador fotovoltaico

El cálculo del regulador para una instalación solar fotovoltaica autónoma se puede obtener a través de las siguientes ecuaciones utilizadas en el proyecto, auspiciado desde TKNIKA, que está desarrollando la Comisión de Energías Renovables.

$$I_{PG} = M_P * I_P \quad \text{Ec.(7)}$$

$$I_R = I_{PG} * 1,25 \quad \text{Ec.(8)}$$

Donde:

$I_{PG}$ : Corriente pico del generador.

$M_P$ : Módulos en paralelo.

$I_P$ : Corriente pico del módulo fotovoltaico.

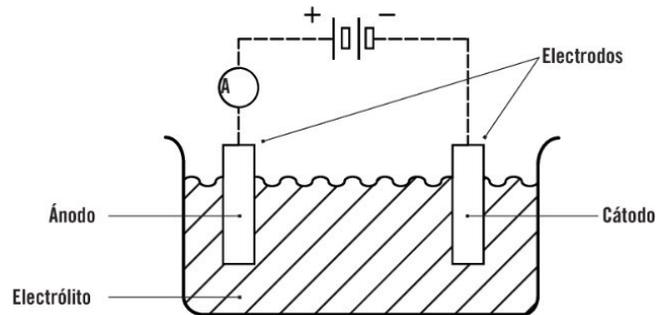
$I_R$ : Corriente del regulado.

### 3.3.3 Baterías o acumuladores

Una batería está compuesta por uno o varios elementos electroquímicos, capaces de transformar una energía potencial química en energía eléctrica. Cuando las reacciones químicas son irreversibles, el dispositivo solo puede usarse una vez (pilas), mientras que, si son reversibles (baterías o acumuladores), el elemento puede ser recargado eléctricamente [16]. La batería básica se encuentra compuesta principalmente de dos electrodos sumergidos

en un electrolito, que es donde se originan las reacciones de carga y descarga, como se muestra en la Figura 10.

Figura 10. Partes constitutivas básicas de un acumulador.



Fuente: (Pérez, 2017).

#### - Tipos de acumuladores

En el mercado no existe una batería óptima para todas las aplicaciones, sino que existen varios tipos. Los más importantes son:

- Plomo ácido (Pb-ácido).
- Níquel-Cadmio (Ni-Cd).
- Níquel-Zinc (Ni-Zn).
- Zn-Cloro (Zn-Cl<sub>2</sub>).
- Litio (Li).

Dentro de las de plomo ácido, se distinguen las baterías de Plomo-Calcio (Pb-Ca) y las de Plomo-Antimonio (Pb-Sb). Las de plomo-Calcio tienen a su favor una menor autodescarga, así como un mantenimiento más limitado; mientras que las de Pb-Sb sufren un deterioro inferior con la sucesión de ciclos y presentan mejores propiedades para niveles de baja carga [16]. Acumuladores de Níquel-Cadmio respecto a las de plomo ácido, presentan la posibilidad de ser utilizadas sin necesidad de elemento regulador, permanecer largo tiempo con bajo nivel de carga, estabilidad en la tensión que suministra y un mantenimiento mucho más espaciado en el tiempo.

- Principales características de la batería

- Capacidad

Es la energía total que entrega una batería cuando se encuentra cargada, su unidad de medida es Amperios-Horas (Ah), es decir, una batería de 130 Ah esta puede entregar una corriente de 130A en una hora o 13A en 10 horas [17].

- Eficiencia de carga

Viene dada para la relación entre la energía empleada para cargar la batería y la que realmente almacena [17].

- Autodescarga

Está relacionada normalmente con el regulador cuando no se está utilizando y tiende a descargarse [17].

- Profundidad de descarga

Es el valor en porcentaje que entrega el acumulador totalmente cargado en una descarga es por ejemplo, una batería de 100Ah sometida a una descarga de 20Ah presenta una profundidad de descarga del 20%, con menos profundidad de ciclos cargas/descargas mayor duración tiene la batería [17].

- Cálculo del banco de acumuladores.

La capacidad del banco de acumuladores para una instalación solar fotovoltaica autónoma se puede obtener a través de las siguientes ecuaciones utilizadas en el proyecto, auspiciado desde TKNKA, que está desarrollando la Comisión de Energías Renovables.

$$C_U (Ah) = \frac{E * N}{V * N * S} \quad \text{Ec.(9)}$$

$$C (Ah) = \frac{C_U}{P_d * K_T} \quad \text{Ec.(10)}$$

$$K_T = 1 - \left(\frac{\Delta T}{160}\right) \quad \text{Ec.(11)}$$

$$A_S = \frac{VNS}{VNA} \quad \text{Ec.(12)}$$

$$A_P = \frac{C}{C_{NA}} \quad \text{Ec.(13)}$$

$$A_T = A_S * A_P \quad \text{Ec.(14)}$$

Donde:

$C_U$ : Capacidad útil disponible de la batería (Ah).

$C$ : Capacidad total de la batería (Ah).

$E$ : Energía que debe recibir el acumulador diariamente (wh).

$N$ : Número de días de autonomía.

$P_d$ : Máxima profundidad de descarga de la batería.

$VNS$ : Voltaje nominal del sistema (V).

$K_T$ : Factor de corrección por temperatura.

$\Delta T$ : Diferencia de temperatura  $T^a$  entre  $20^0$  y la mínima  $T^a$  de trabajo  $10^0$ .

$A_S$ : Acumuladores en series.

$A_P$ : Acumuladores en paralelo.

$A_T$ : Acumuladores totales.

$C_{NA}$ : Capacidad del acumulador.

$V_{NA}$ : Voltaje nominal del acumulador.

Es el nivel máximo de descarga que se le permite a las baterías antes de la desconexión del regulador, para proteger la duración de la misma. En baterías estacionarias de plomo-ácido un valor adecuado de este parámetro es de 0.7. La batería se elige de forma que se aproxime al valor de capacidad nominal  $C$  calculado.

### 3.3.4 Convertidores

La tensión y la corriente de origen fotovoltaica, unidos a instalaciones autónomas con equipos de consumo especificado para alterna, o la inyección a la red eléctrica de corriente

alterna, requiere de un elemento que permita acondicionar las características eléctricas del generador al receptor [17]. Dicho elemento es el denominado habitualmente inverso o convertidor, aunque la denominación más utilizada en SFA es la de convertidor [17].

- Tipos de convertidores

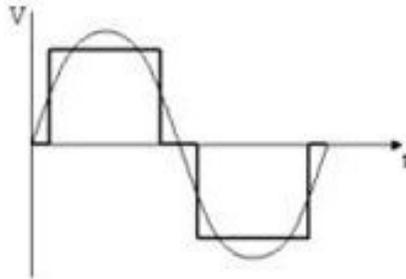
En función de las características de la energía de entrada y salida los convertidores se clasifican en [17]:

- Convertidor continuo-alterno (DC/AC). Son los más usados en instalaciones fotovoltaicas, su finalidad es tomar la corriente continua generada por los módulos FV o almacenada en los acumuladores y convertirla en corriente alterna [11].
- Convertidor continuo-continuo (DC/DC). Su objetivo es convertir la tensión de la corriente continua en entrada en una corriente de salida, también continua, pero a una tensión distinta. En instalaciones FV, su utilización no es tan frecuente y suele formar parte integrante de sistemas de regulación con seguimiento del punto de máxima eficiencia de los paneles [11].
- Convertidor alterno-continuo (AC/DC). Su finalidad es convertir la corriente alterna en continua, se les suele llamar rectificadores y su aplicación, como tales, a sistemas FV es prácticamente nula[11].
- Convertidor alterno-alterno (AC/AC). Estos dispositivos convierten la corriente alterna, de alimentación, en corriente también alterna pero de distinta frecuencia, mayor o menor, en algunos círculos se les conoce como “invertir”. A no ser que se pretenda aplicar un convertidor DC/AC diseñado para producir alterna a 60 Hz a un sistema de consumo a 50 Hz o el caso inverso, su aplicación a instalaciones FV es nula [11].

Según la forma de onda de la corriente alterna de salida, existen dos tipos extremos[11]:

- Onda cuadrada, también llamada onda sinusoidal modificada (MSW). En la que la corriente de salida es una señal en forma de onda cuadrada, en el que la tensión y la intensidad tiene un comportamiento periódico ya que pasa de cero a un valor máximo positivo, alcanzando un valor máximo negativo y volviendo a cero, cerrando así el ciclo [11]. La Figura 11 se muestra la señal de onda cuadrada.

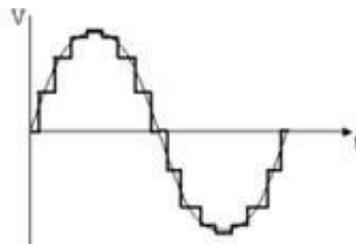
Figura 11. Onda cuadrada.



Fuente: (Jutglar Banyeres, 2012).

- Onda sinusoidal pura (PSW). Existen convertidores que generan una corriente de salida que divide el ciclo en intervalos de tiempo más pequeños, acercándose más a la sinusoidal pura [11]. La Figura 12 muestra la señal de aproximación a la onda sinusoidal.

Figura 12. Aproximación a la onda sinusoidal.



Fuente: (Jutglar Banyeres, 2012).

- Principales características

- Tensión nominal.

Tensión que llega a los terminales de entrada del inversor [17].

- Potencia nominal.

Es la potencia que entrega el inversor de forma continua[17].

- Capacidad de sobrecarga.

Capacidad con la cual cuenta el inversor para suministrar potencia considerablemente superior a la nominal, así como el tiempo que puede mantener esta situación [17].

- Cálculo del inversor y sección de los conductores

El cálculo del inversor y la sección de los conductores para una instalación solar fotovoltaica autónoma se puede obtener a través de las siguientes ecuaciones utilizadas en el proyecto, auspiciado desde TKNIKA, que está desarrollando la Comisión de Energías Renovables.

$$P_{NI} = \frac{P_S}{\eta} \quad \text{Ec.(15)}$$

$$S = 2 * I * \frac{l}{\delta * \Delta V} \quad \text{Ec.(16)}$$

Donde:

$P_{NI}$ : Potencia nominal del inversor.

$P_S$ : Potencia de consumo.

$\eta$ : Eficiencia del inversor.

$S$ : Sección transversal de los conductores.

$\Delta V$ : Variación de caída de tensión.

$\delta$ : Conductor de cobre (Se utiliza el numero 56).

$l$ : Longitud del tramo entre los equipos.

$I$ : Corriente del quipo.

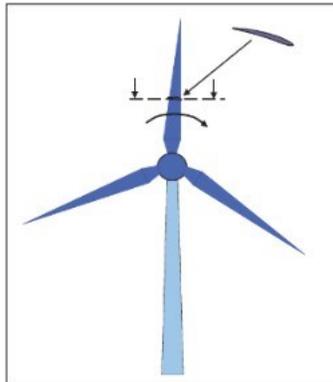
Algunos porcentajes de caídas de tensión utilizados entre los diferentes equipos son: generador fotovoltaico y el regulador de carga 3%, batería y el regulador de carga 1%, regulador de carga y las cargas 5%.

### 3.4 Aerogeneradores

#### 3.4.1 Funcionamiento

Las palas con las cuales cuentan los aerogeneradores se encuentran sujetas a la fuerza de arrastre y sustentación, como se evidencia en la Figura 13 el viento impulsa las aspas en dirección a la fuerza, en la segunda las aspas son empujadas parecido a las alas de un avión [18]. Con respecto a las turbinas de arrastre el movimiento en que giran es provocado por la fuerza de arrastre y en las turbinas de sustentación por la fuerza de sustentación [18].

Figura 13. Aerogenerador accionado por sustentación.



Fuente: (Pérez, 2017).

#### 3.4.2 Curva características del aerogenerador

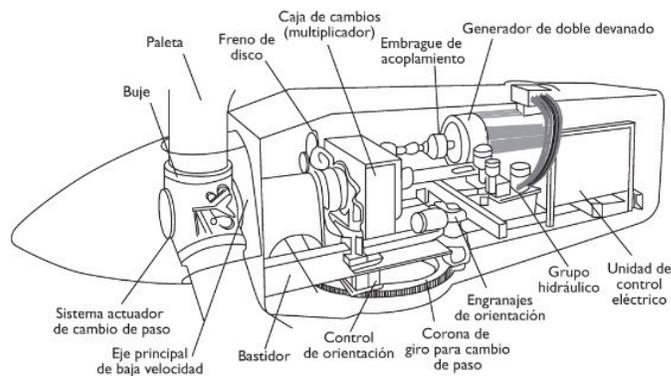
La curva características de los aerogeneradores relaciona el coeficiente de potencia  $C_p$  y la velocidad específica  $\lambda$ , [18]. La velocidad específica  $\lambda$ , indica el cociente entre la velocidad lineal de acuerdo a el punto de la pala con respecto a la velocidad que presenta el viento [18].

### 3.4.3 Tipos de turbinas eólicas

#### - Turbinas eólicas de eje horizontal

Estas turbinas suelen nombrarse por medio del acrónimo inglés HAWT (Horizontal Axis Wind Turbine). Entre las máquinas de eje horizontal las hay lentas o rápidas, según sea su velocidad específica (con respecto a la relación entre la velocidad lineal de la punta del ala y la velocidad no perturbada del viento). Las turbinas eólicas que se utilizan para generar electricidad son de rotación rápida y se caracterizan por su baja solidez, presentando una, dos o tres paletas como máximo [19]. En la Figura 14 que se muestra a continuación la góndola de una turbina eólica de eje horizontal con algunos de sus componentes.

Figura 14. Góndola de una turbina eólica de eje horizontal con algunos componentes.



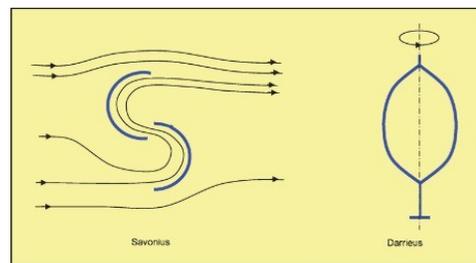
Fuente: (Velasco, 2015).

#### - Turbinas de eje vertical

Estas turbinas de eje vertical suelen denominarse con el acrónimo VAWT (Vertical Axis Wind Turbines). En este tipo de máquinas, el movimiento del rotor se presenta debido fundamentalmente a los efectos que generan las fuerzas de arrastre aerodinámicas producidos por el viento en posiciones opuestas al eje de giración. Las turbinas eólicas que

se mueven por arrastre giran más despacio que las que lo hacen por sustentación, pues una pala que es arrastrada por el viento siempre se moverá a menor velocidad que éste. El eje de estas Aero turbinas, situado verticalmente, les permite reaccionar a los vientos procedentes de cualquier dirección sin la necesidad de ser reorientadas. Otra ventaja es que permiten el montaje de la caja de engranajes, junto con el generador eléctrico, en el suelo. Mediante la caja de engranajes la velocidad de rotación de las paletas se convierte en la velocidad óptima para el generador eléctrico. Sin embargo, son máquinas que presentan un menor rendimiento que las de eje horizontal [19]. La Figura 15 muestra un aerogenerador de eje vertical.

Figura 15. Aerogeneradores de eje vertical.

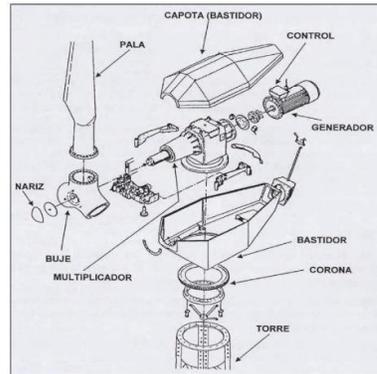


Fuente: (Pardillo, 2017).

#### 3.4.4 Elementos que integran un aerogenerador

Uno de los aerogeneradores que mayor uso tiene en las mayorías de las instalaciones eólicas es el de eje horizontal tripala [18]. La Figura 16 muestra los elementos que integran este tipo de aerogenerador.

Figura 16. Elementos de un aerogenerador de eje horizontal tripala.



Fuente: (Pardillo, 2017).

#### 3.4.5 Clasificación por tamaño

Los aerogenerador según su tamaño se clasifican en [18]:

- Micro aerogeneradores: Manejan potencia por debajo 1 kW, el radio que maneja el rotor es menor a un metro y se utilizan en sistemas de comunicación, refugios, montañas y embarcaciones [18].
- Mini aerogeneradores: Manejan potencias ubicadas entre 1 kW y 10 KW, el radio del rotor se encuentra entre 1-3 metro y se utilizan en viviendas aisladas, granjas y sistemas mixtos eólico-fotovoltaico [18].
- Aerogeneradores de pequeñas potencias: Manejan potencias ubicadas entre 10 y 100 kW, el radio del rotor se encuentra entre 3-9 m y se utilizan en tratamientos de agua y sistemas mixtos eólico-diésel [18].
- Aerogeneradores de medianas potencias: Manejan potencias ubicadas entre 100 y 1.000 kW, el radio del rotor se encuentra entre 9 y 27 m utilizados en parques eólicos tanto en tierra como en el mar [18].

- Aerogeneradores de altas potencias: Manejan potencias ubicadas entre 1.000 y 10.000 kW, el radio del rotor se encuentra entre 27-81 m utilizados en parques eólicos en tierra y también en mar [18].
- Aerogeneradores de muy altas potencias: Manejan potencias superior a 10.000 kW, el radio del rotor es superior a 81 m y se utilizan en instalaciones marinas [18].
- Cálculo de la potencia y energía del aerogenerador y acumuladores.

El cálculo de la potencia y energía del aerogenerador se puede obtener a través de las siguientes ecuaciones.

$$P_{MAX} = \frac{1}{2} * \rho * V^3 * A \quad \text{Ec.(17)}$$

$$A = \pi * r^2 \quad \text{Ec.(18)}$$

$$r = \frac{D}{2} \quad \text{Ec. (19)}$$

$$EAP = \frac{(P/A)*(A)*(Rendimiento\ total)*(8760h/año)}{(1000\frac{W}{kW})} \quad \text{Ec.(20)}$$

$$B_{ACUM} = \frac{(E_{AC})*(Numerod\ de\ dias\ sin\ viento)}{VNS} \quad \text{Ec.(21)}$$

Donde:

$P_{MAX}$ : Potencia máxima.

$E_{AC}$ : Energía en corriente alterna.

$VNS$ : Voltaje nominal del sistema.

$EAP$ : Energía producida por el aerogenerador

$A$ : Área de barrido.

$D$ : Diámetro del aerogenerador.

$\rho$ : Densidad del aire.

$P/A$ : Densidad de energía eólica.

$V$ : Velocidad del viento.

### 3.5 Línea de investigación

El trabajo integral de grado se encuentra inmerso según lo estipulado por la Universidad Antonio Nariño en la línea de Energías renovables y alternativas.

#### 4. Marco metodológico

El presente trabajo de grado se desarrolla bajo el tipo de investigación descriptiva, en el que a través de una revisión de tipo documental e información de campo se puede establecer de manera clara respuestas a los objetivos formulados. El proyecto se desarrolla en las fases y actividades descritas a continuación:

##### 4.1 Fase 1. Diagnóstico del potencial energético, renovable, solar y eólico

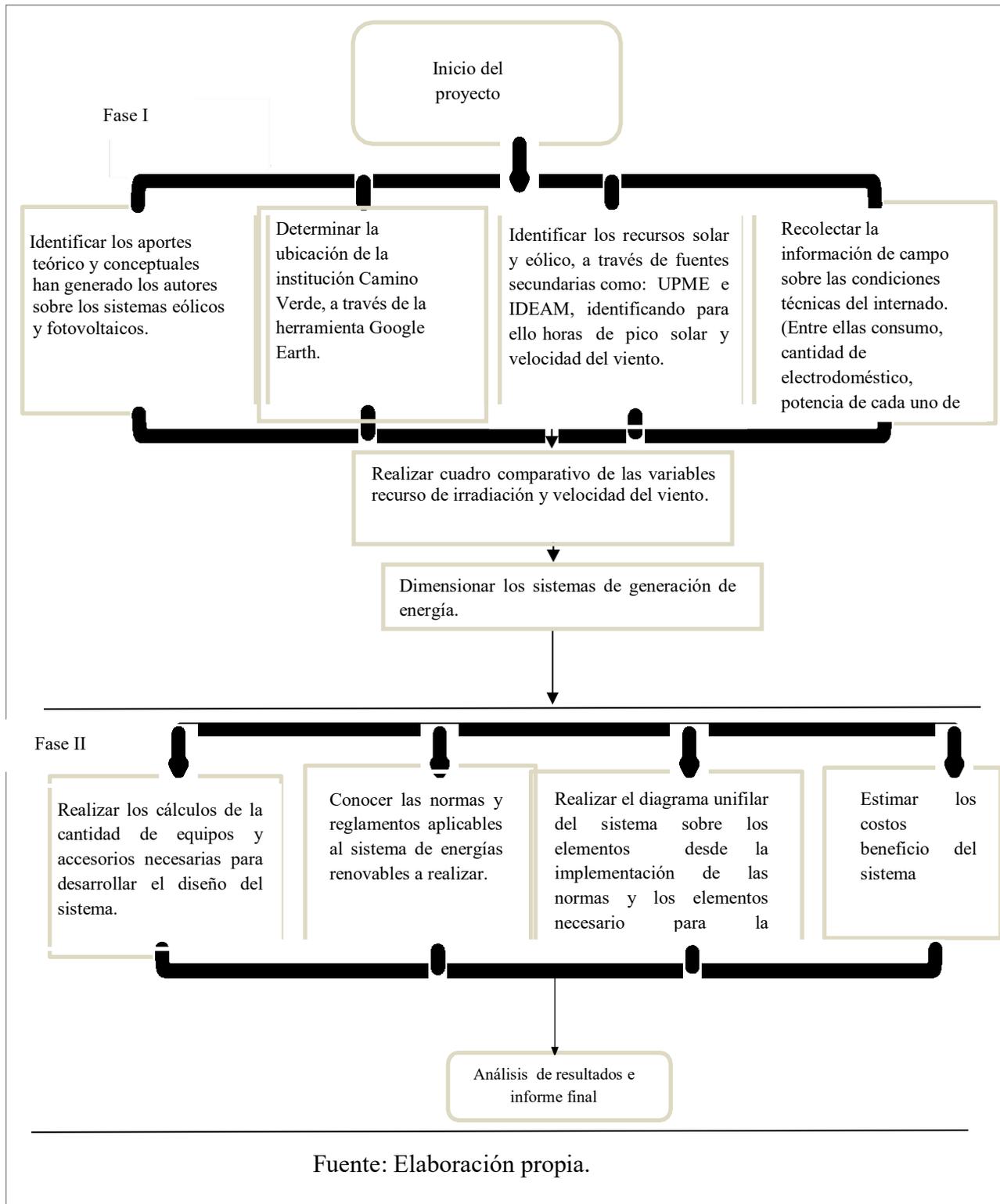
- Identificar los recursos solar y eólico, a través de fuentes secundarias como: UPME e IDEAM, identificando para ello horas de pico solar y velocidad del viento.
- Identificar los aportes teóricos y conceptuales que han generado autores sobre los sistemas eólicos – fotovoltaicos.
- Determinar la ubicación de la institución Camino Verde, a través de la herramienta Google Earth.
- Recolectar la información en campo sobre las condiciones técnicas del internado. (Entre ellas consumo, cantidad de electrodoméstico y potencia de cada uno de ellos), demanda energética.
- Realizar cuadro comparativo de los dos sistemas con las variables determinante para su selección.

##### 4.2 Fase 2. Determinación y diseño del sistema de generación eléctrica.

- Realizar los cálculos de acuerdo a la cantidad de equipos y accesorios necesarias para el desarrollo del diseño del sistema.
- Dimensionar los sistemas que generan la energía
- Conocer las normas y reglamentos aplicables al sistema de energías renovables a realizar.
- Realizar el diagrama unifilar del sistema de generación de energía seleccionado.
- Estimar los costos - beneficios del sistema
- Análisis de resultado e informe final.

Las diferentes fases y actividades del trabajo integral de grado se muestran en la Figura 17.

Figura 17. Flujograma de actividades.



Es importante señalar que los aportes teóricos y conceptuales sobre los sistemas eólicos y fotovoltaico fueron definidos en el apartado 3 marco teórico.

### 4.3 Ubicación geográfica del internado

La ubicación de institución etnoeducativa integral rural se encuentra ubicada en una ranchería, municipio de Uribia a 10 km del casco urbano. En la actualidad, cuenta con 420 estudiantes entre educación primaria y básica secundaria la mayoría de la comunidad Wayuu. Las coordenadas son: Latitud  $11^{\circ}43'04''N$  y longitud  $72^{\circ}18'09''W$ . En la Figura 18 se muestra la ubicación de la institución educativa, donde se logran ver sus infraestructuras.

Figura 18. Ubicación geográfica internado indígena camino verde.



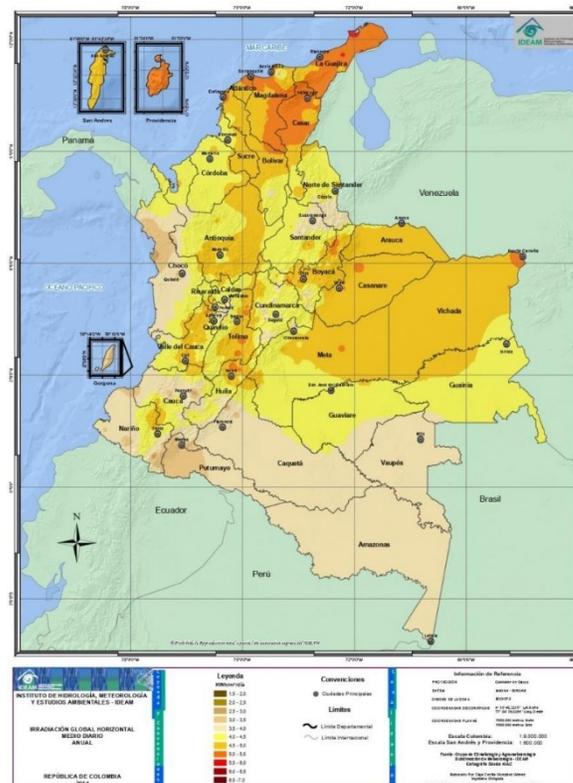
Fuente: Google Earth.

#### 4.4 Recursos solar y eólico información secundaria

##### 4.4.1 Recurso solar

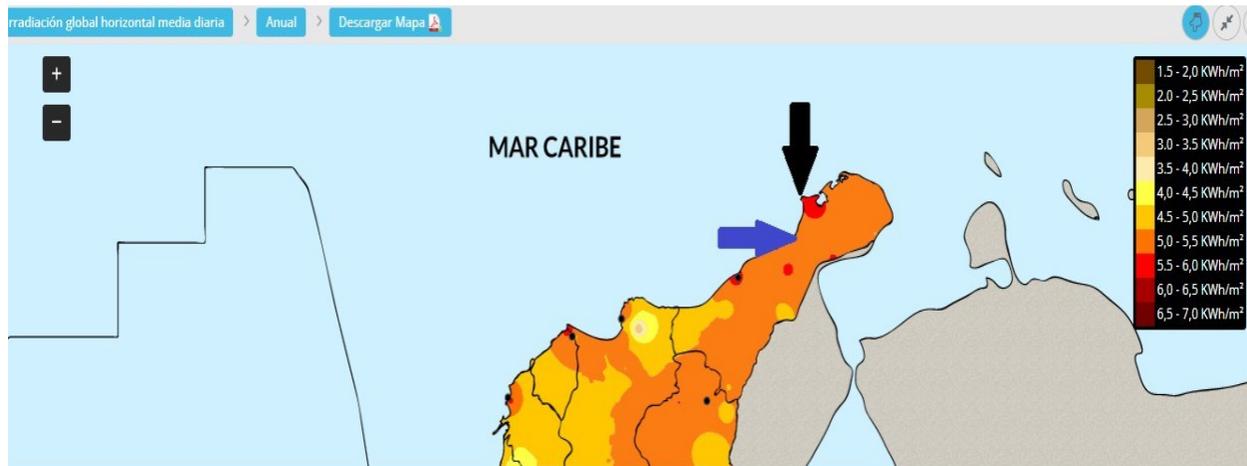
Para determinar el recurso solar y eólico se utiliza el atlas interactivo del IDEAM. El atlas es una herramienta fundamental en la evaluación de la disponibilidad de la radiación global y del brillo solar en el territorio nacional y en el conocimiento del comportamiento de la radiación ultravioleta y el ozono, que contribuyen a entender la relación entre estas dos y sus efectos en la salud humana [20]. En la Figura 19 se muestra el mapa anual de irradiación global media diaria con su leyenda, convenciones y límites. De igual forma en la Figura 20 se puede ver el departamento de la Guajira más cerca con su leyenda y tres flechas que indican los tres rangos en que se encuentran identificados en el departamento.

Figura 19. Irradiación global horizontal media diaria anual .



Fuente: (IDEAM, 2014a).

Figura 20. Irradiación global horizontal media diaria anual indicando la Guajira.



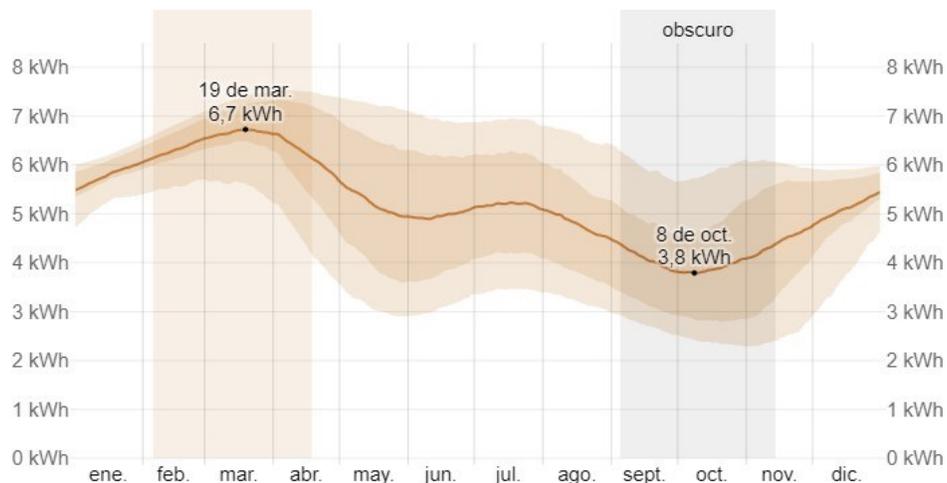
Fuente: (IDEAM, 2014a).

Adicionalmente a la información que brinda las fuentes gubernamentales de Colombia con respecto a estos recursos, se explora también el servicio en línea de WeatherSpark, el cual es un completo servicio web que proporciona información meteorológica acompañado de una serie de gráficas que nos ayudará a entender mucho mejor el tiempo que hará no sólo en el día actual sino en los días siguientes, observando la evolución a través de una línea de tiempos bien estructurada y completamente interactiva [21]. La Figura 21 muestra la energía solar de onda corta que incide directamente al llegar a la superficie de la tierra en un área amplia, tomando en cuenta las variaciones estacionales de la duración del día, la elevación del sol sobre el horizonte y la absorción de las nubes así como otros elementos atmosféricos. La radiación de onda corta incluye luz visible y radiación ultravioleta [22].

La energía solar de onda corta incidente promedio diaria tiene variaciones estacionales leves durante el año, el período más resplandeciente del año dura 2,4 meses que va desde el 5 de febrero al 18 de abril, con una energía de onda corta incidente diario

promedio por metro cuadrado superior a 6,1 kWh. El mes más resplandeciente del año, con respecto al municipio de Uribia es marzo, con un promedio de 6,7 kWh. Mientras que el periodo más oscuro del año dura 2,3 meses, del 5 de septiembre al 14 de noviembre, con una energía de onda corta incidente diario promedio por metro cuadrado de menos de 4,4 kWh presentándose Octubre como el mes más oscuro del año en Uribia, con un promedio de 3,9 kWh [22].

Figura 21. Energía solar de onda corta incidente diario promedio en Uribia.



Fuente: <https://es.weatherspark.com/s/25355/0/Tiempo-promedio-en-la-primavera-en-Uribia-Colombia#Figures-SolarEnergy>.

Tabla 3. Energía solar kWh por mes Uribia.

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Energía solar kWh	5.8	6.3	6.7	6.2	5.2	5.0	5.2	4.8	4.1	3.9	4.4	5.1

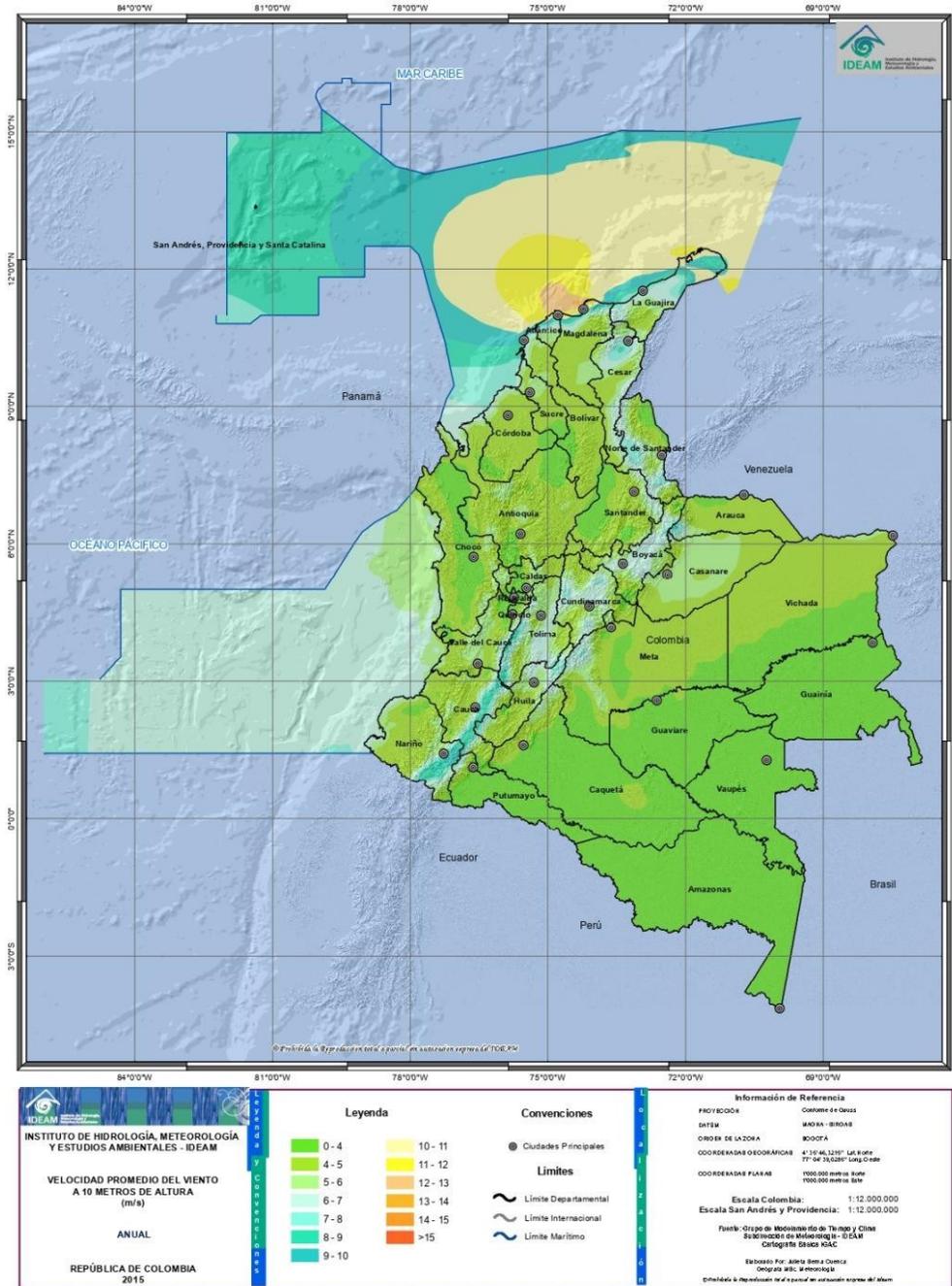
Fuente: <https://es.weatherspark.com/s/25355/0/Tiempo-promedio-en-la-primavera-en-Uribia-Colombia#Figures-SolarEnergy>.

#### 4.4.2 Recurso del viento

Para determinar el recurso solar y eólico se utiliza el atlas interactivo del IDEAM. La Figura 22 muestra el mapa anual de velocidad promedio del viento 10 metros de altura (m/s) con su leyenda, convenciones y límites [23]. La Figura 23 muestra el departamento de la

Guajira más cerca con su leyenda que más adelante serán explicadas en conjunto con el mapa solar.

Figura 22. Velocidad promedio del viento a 10 metros de altura (m/s).



Fuente: (IDEAM, 2014a).

Figura 23. Velocidad promedio del viento a 10 metros de altura (m/s) indicando la Guajira.

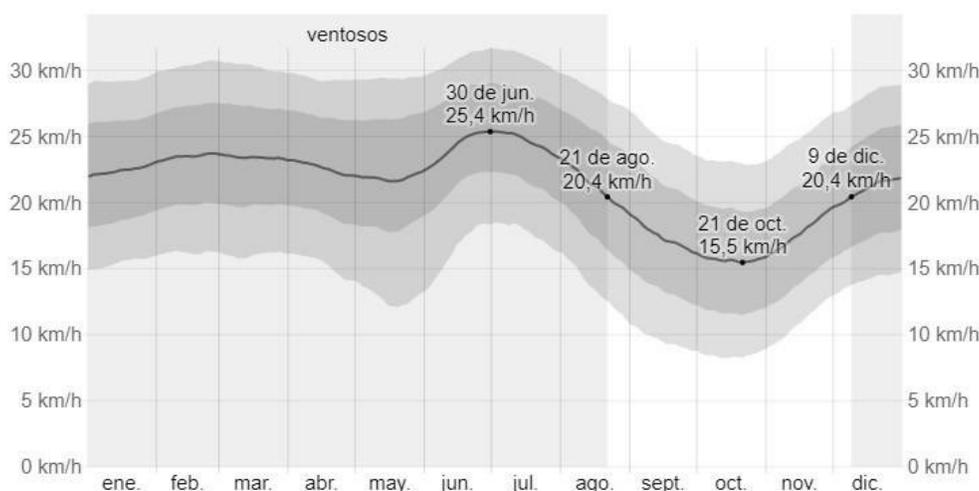


Fuente: (IDEAM, 2014a).

Adicionalmente a la información que brinda las fuentes gubernamentales de Colombia con respecto a estos recursos, se explora también el servicio en línea de WeatherSpark, es un completo servicio web que nos proporciona la información meteorológica con una serie de gráficas que nos ayudará a entender mejor el tiempo que hará no sólo en el día actual sino en los siguientes, observándose la evolución a través de una línea de tiempos bien estructurada y completamente interactiva [21]. La Figura 24 muestra el vector de viento promedio por hora del área ancha (velocidad y dirección) a 10 metros sobre el suelo. Donde el viento de cierta ubicación depende en gran medida de la topografía local y de otros factores, así como la velocidad instantánea y dirección del viento que varían más ampliamente que los promedios por hora. La velocidad promedio del viento por hora en Uribia tiene variaciones estacionales considerables en el transcurso del año [22]. Presentándose la parte más ventosa del año dura 8,4 meses, del 9 de diciembre al 21 de agosto, con velocidades promedio del viento de más de 20,4 kilómetros por hora. El mes más ventoso del año en Uribia es julio, con vientos a una velocidad promedio de 24,6

kilómetros por hora. El tiempo más calmado del año dura 3,6 meses, del 21 de agosto al 9 de diciembre. El mes más calmado del año en Uribia es octubre, con vientos a una velocidad promedio de 15,7 kilómetros por hora. El promedio de la velocidad media del viento por hora (línea gris oscuro), con las bandas de percentil 25° a 75° y 10° a 90° [22].

Figura 24. Velocidad promedio del viento en Uribia.



Fuente: <https://es.weatherspark.com/y/25355/Clima-promedio-en-Uribia-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o#Figures-WindSpeed>.

Tabla 4. Velocidad del viento en kph y m/s por mes Uribia.

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.
Vel. Del viento (kph)	22.4	23.5	23.4	22.6	21.9	24.3	24.6	21.1	17.3	15.7	17.8
Vel. Del viento (m/s)	6.22	6.52	6.5	6.27	6.08	6.75	6.83	5.86	4.80	4.36	4.94

Fuente: <https://es.weatherspark.com/y/25355/Clima-promedio-en-Uribia-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o#Figures-WindSpeed>.

- La dirección del viento en el verano en Uribia

La dirección del viento promedio por hora predominante en Uribia es aquel que proviene de Este durante el año. En la Figura 33 se muestra los porcentajes de horas en las que la

dirección media del viento proviene de cada uno de los cuatro puntos cardinales, excluyendo las horas en que la velocidad media del viento es menor de 1,6 km/h. y las áreas de colores claros en los límites son el porcentaje de horas que pasa en las direcciones intermedias (noreste, sureste, suroeste y noroeste) [22].

Figura 25. Figura 33. Dirección del viento en Uribia.



Fuente: <https://es.weatherspark.com/y/25355/Clima-promedio-en-Uribia-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o#Figures-WindSpeed>.

#### 4.5 Información de campo sobre las condiciones técnicas del internado: demanda energética.

La Tabla 7 muestra la información relacionada con el consumo de energía, la cual fue recolectada en campo, en ella se presenta la cantidad de equipos, potencia y tiempo aproximado de uso por día. Según esta información la potencia es de aproximadamente 56430 W y el consumo de 250415 Wh/día. En vista de presentar una propuesta razonable y que considera una política de ahorro en algunos equipos de mejor tecnología, y comprendiendo también que muchos de estos equipos para funcionar con tecnología solar fotovoltaica hoy día todavía no se están considerando, al menos, en esas cantidades o simultáneamente, se propone una reestructuración de la tabla de consumo. La misma

consiste excluir aquellos equipos que demanda demasiado energía para conectarlos al sistema fotovoltaico, al igual que seleccionar unos más ahorradores.

De igual manera se busca mantener las cantidades y el tiempo de cada uno según la información suministrada por la institución etnoeducativa. A partir de lo anterior se presenta la Tabla 8 con el nuevo consumo de los receptores en corriente alterna correspondiente a la sala de informática de la institución. En esta última tabla se presentan solo los equipos que integran actualmente la sala de informática y en lo que se enfoca el dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico autónomo. Aunque todas las actividades que se presentan en la institución etnoeducativa son importante este trabajo le apunta una de las más fundamentales y es la que se desarrolla en la sala de informática donde los estudiantes puedan hacer uso de las herramientas de la tecnología, información y comunicación, contribuyendo a una mejor calidad de la educación y transferencia del conocimiento.

Tabla 5. Consumo de los receptores en corriente alterna (CA).

<b>Consumo de los receptores en CA</b>					
<b>EQUIPO</b>	<b>POTENCIA en W (W)</b>	<b>N° EQUIPOS simultáneos(N)</b>	<b>POTENCIA TOTAL (W.N)</b>	<b>TIEMPO en H/Día (H)</b>	<b>CONSUMO Wh/Día W.N.H</b>
Ventilador de Techo	66	70	4620	6	27720
Aires mini Split	860	25	21500	6	129000
Pc portátiles	50	50	2500	2	5000
Pc de escritorio	220	10	2200	3	6600
Cuarto frio	2500	1	2500	6	15000
Congeladores	365	4	1460	6	8760
Hornos microondas	700	2	1400	0,5	700
Licuadoras	600	4	2400	0,5	1200
Sandwichera	750	5	3750	0,5	1875
Televisor	200	5	1000	4	4000
Motobomba	745	4	2980	4	11920
<b>TOTAL PCA</b>			<b>56430</b>	<b>TOTAL (Eca)</b>	<b>250415</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. Consumo de los receptores sala de informática.

<b>SALA DE INFORMATICA INSTITUCION ETNOEDUCATIVA INTEGRAL RURAL INTERNADOINDIGENA CAMINO VERDE</b>					
EQUIPOS	POTENCIA INICIAL	N° EQUIPOS	POTENCIA	TIEMPO	CONSUMO INICIAL
	(W)	Simultáneos (N)	TOTAL (W.N)	H/Día (H)	Wh/Día W.N.H
Aires mini Split	860	1	860	3	2580
Pc de escritorio	220	1	220	2	440
Pc portátiles	50	50	2500	2	5000
Lámpara	60	4	240	2	480
Video Beam	240	1	240	2	480
		<b>TOTAL PCA</b>	<b>4060</b>	<b>TOTAL (Eca)</b>	<b>8980</b>

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.6 Cuadro comparativo de los rangos según las variables recurso de irradiación y velocidad del viento.

En la Tabla 7 los recursos disponibles tanto de irradiación y velocidad del viento presentan más de un rango cada una tal como lo muestran las Figuras 22 y 23 en el apartado 4.4. Los rangos se encuentran señalados en las figuras anteriormente nombradas por medio de flechas y puntos. Esta situación es importante en este trabajo, tener claridad porque solo se requiere seleccionar un valor del rango para poder dimensionar el sistema requerido. Lo que se hizo fue seleccionar he indicar el mapa del departamento de la Guajira en cada uno de los mapas anual de irradiación solar y velocidad del viento. Luego de identificar los valores según los colores y la leyenda que se observan claramente. Es importante indicar que la indicación fue en todo el departamento, sin embargo, la ubicación la institución etnoeducativa donde se plantea el proyecto se encuentra en la zona alta del departamento. Así las cosas, el número de rango con respecto a la irradiación solar se reduce a dos y el de velocidad del viento se mantiene.

Ahora bien ubicando la institución en el mapa se observa que con respecto a la irradiación solar el rango se convertirá en uno solo comprendido entre 5,0-5,5 kWh/m<sup>2</sup>. haciendo el mismo análisis para la velocidad del viento la institución quedaría en media de más de un rango. Aunque no se encuentra con una estación meteorológica en las coordenadas del proyecto propia ni del gobierno, la información suministrada por el IDEAM es de muchos años y está habilitada para interpretar y plantear situaciones que resuelvan problemas de las comunidades y sobre todo estas que se encuentra asilada. Según lo anteriormente expuesto para este trabajo se define realizar el dimensionamiento de un sistema solar fotovoltaico autónomo utilizando el valor mínimo del único rango que se encuentra dentro de las coordenadas del proyecto equivalente a 5,0 kWh/m<sup>2</sup>.

Tabla 7. Cuadro comparativo de los rangos variables según recurso disponible.

Recursos	Información según leyenda de los mapas	Rangos
Irradiación	4,5-5,0 kWh/m <sup>2</sup> . 5,0-5,5 kWh/m <sup>2</sup> . 5,5-6,0 kWh/m <sup>2</sup> .	3
Velocidad del viento promedio 10 metros de altura	4-5 m/s. 5-6 m/s. 6-7 m/s. 7-8 m/s. 8-9 m/s. 9-10 m/s.	6

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.7 Dimensionar los sistemas de generación de energía.

##### 4.7.1 Cálculo del sistema solar fotovoltaico

La demanda de energía eléctrica influye de manera directa en las características de la instalación, por lo que en la planificación se debe considerar todo lo relacionado con los diversos aparatos eléctricos como las cargas del sistema. Es decir, se calcula la energía que diariamente necesita el usuario. Para ello se determina la potencia que presentan cada uno de los aparatos que integran la instalación individualmente, con el tiempo medio de uso de

cada uno de ellos. Con la información obtenida en la Tabla 6 se procede a calcular la energía, considerando el rendimiento global a través de las siguientes formulas.

- Estimación del consumo de energía en corriente en AC.

$$E_{AC} = P * U * T$$

Donde:

$E_{ACT}$  : Es la energía consumida en AC (Wh)

P: Es la potencia en (watts) de los elementos.

U: Cantidad de elementos utilizados.

T: Es el tiempo en (horas) que se quiere trabajar el elemento.

A partir del consumo energético teórico se calcula el consumo energético real con la expresión considerando el parámetro de rendimiento.

$$E = \frac{E_{AC}}{R}$$

Donde R es:

$$R = (1 - K_b - k_c - K_v) * (1 - \frac{K_a * N}{P_d})$$

Donde la Tabla 7 se muestra los valores de los coeficientes que conforman el parámetro de rendimiento global.

Tabla 8. Coeficientes que conforman el parámetro de rendimiento global.

Kb: Pérdidas por rendimiento del regulador.	0,05: se utiliza en sistemas que no demanden descargas intensas.
0,01: se utiliza en sistemas con descargas profundas.	
Kc: Pérdidas en el convertidor.	0,05: utilizado para convertidores senoidales puros, trabajando en régimen óptimo.
0,1: en otras condiciones de trabajos, lejos del óptimo.	
Kv: Pérdidas varias.	Pérdidas como (rendimiento de red, efecto joule, etc). 0,05-0,15 como valores de referencia.
Ka: Auto descarga diario	0,002: Se utiliza para batería de baja auto descarga Ni- Cd.

Entonces:

$$R = (1 - 0,1 - 0,05 - 0,1) * (1 - \frac{0,005 * 1}{0,7})$$

$$R = 0,74$$

$$E = \frac{8980}{0,74} = 12135 \text{ wh/dia}$$

- Cálculo de la capacidad del banco de batería

$$C_u = \frac{E * N}{VNS} = \frac{12135 * 1}{24} = 506 \text{ Ah}$$

$$C_n = \frac{506}{0,7 * 0,94} = 768 \text{ Ah}$$

$$A_s = \frac{VNS}{12} = 2 \text{ elementos}$$

$$A_p = \frac{C_n}{C_{NA}} = \frac{768}{300} = 2,6 \text{ elementos en paralelo}$$

$$A_T = A_s * A_p = 2 * 2,6 = 5,2$$

Se han seleccionado baterías monoblock de 12V-300Ah ver ficha técnica (Anexo 1).

En este caso se deben seleccionar 6 baterías monoblock para que la conexión serie y paralelo se pueda hacer.

- Cálculo del potencial del generador fotovoltaico

$$E_G = \frac{E}{\eta_R} = \frac{12135}{0,9} = 13483 \text{ wh/dia}$$

- Cálculo de la potencia nominal del generador fotovoltaico

$$P_N = \frac{N_G}{HSP * \eta_G} = \frac{13483}{5 * 0,9} = 2996 \text{ w}$$

- Cálculo del número de panel solar en serie y paralelo del generador fotovoltaico.

$$M_s = \frac{VNS}{V_{NM}} = \frac{24 \text{ V}}{24 \text{ V}} = 1$$

$$M_p = \frac{P_N}{M_s * P_p} = \frac{2996}{1 * 450} = 6,66 \text{ ramas}$$

$$M_T = M_s * M_p = 1 * 6,66 = 6,66 \text{ se aproxima al número entero } 7.$$

Potencia pico instalada es:  $M_T * P_p = 7 * 450 = 3150 W_p$ . Ver ficha técnica (Anexo 1).

- Cálculo del regulador

$$I_{PG} = M_T * I_p = 7 * 10,87 A = 76,09 A$$

$$I_R = I_{PG} * 1,25 = 95,11 A.$$

Se selecciona un regulador comercial de 100A- 24V ver ficha técnica (Anexo 1).

- Cálculo del inversor

$$P_{NI} = \frac{PCA}{0,9} = \frac{4060 w}{0,9} = 4511 w.$$

Se selecciona un inversor comercial de 5000W. Ver ficha técnica (Anexo 1).

- Cálculo de la sección de los conductores.

Tramo 1. Generador-Regulador. Utilizando cable de cobre.

$$\Delta V = 3\% * 24 = 0,72$$

$$l = 12 m$$

$$\delta = 56$$

$$S = 2 * I_{PG} * \frac{l}{\delta * \Delta V} = 2 * 76,09 A * \frac{12 m}{56 * 0,72V} = 45,29 mm^2$$

Se aproxima a un valor comercial 50 mm<sup>2</sup>. Los elementos de protección para la línea serán fusibles rápidos de 80A. Ver ficha técnica (Anexo 1).

Tramo 2. Regulador-Acumulador

$$\Delta V = 1\% * 24 = 0,24$$

$$l = 3 m$$

$$\delta = 56$$

$$S = 2 * I_{PG} * \frac{l}{\delta * \Delta V} = 2 * 76,09 A * \frac{3 m}{56 * 0,24V} = 33,96 mm^2$$

Se a próxima a un valor comercial 35 mm<sup>2</sup>. Los elementos de protección para la línea serán fusibles rápidos de 80A. Ver ficha técnica (Anexo 1).

#### Tramo 3. Acumulador-Inversor

$$\begin{aligned}\Delta V &= 3\% * 24 = 0,72 \\ l &= 3m \\ \delta &= 56 \\ I_{CC} &= \frac{P_{INV}}{VNS} = \frac{4511 w}{24 V} = 187,95 A \\ S &= 2 * I_{CC} * \frac{l}{\delta * \Delta V} = 2 * 187,95 A * \frac{3 m}{56 * 0,72V} = 27,96 mm^2\end{aligned}$$

Se a próxima a un valor comercial 35 mm<sup>2</sup>. Los elementos de protección para esta línea es el interrupto automático rápidos de 200A. Ver ficha técnica (Anexo 1).

#### Tramo 4. Acumulador-Inversor

$$\begin{aligned}\Delta V &= 3\% * 110 = 3,3 V \\ l &= 2 m \\ \delta &= 56 \\ I_{CA} &= \frac{P_{INV}}{VNS} = \frac{4511}{24} = 187,95 A \\ S &= 2 * I_{CA} * \frac{l}{\delta * \Delta V} = 2 * 187,95 A * \frac{2 m}{56 * 3,3 V} = 4,098 mm^2\end{aligned}$$

Se a próxima a un valor comercial 6 mm<sup>2</sup>. Los elementos de protección para esta línea es el interrupto automático rápidos de 80A. Ver ficha técnica (Anexo 1).

#### 4.7.2 Cálculo del aerogenerador potencia y energía producida.

Como primera medida se determina el tipo de aerogenerador según su eje considerando las características de cada uno de ellos presentadas en el apartado 3.5.3 y las ventajas que se muestran a continuación:

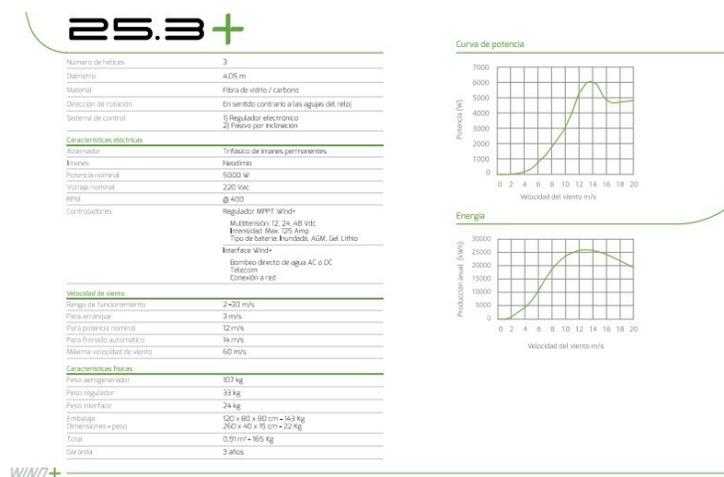
- Ventajas de las turbinas de eje horizontal sobre las de eje vertical [25].
  - Mayor rendimiento.
  - Mayor velocidad de giro (multiplicadores más sencillos).
  - Menor superficie de pala  $S$  a igualdad de área barrida  $A$ .
  - Se pueden instalar a mayor altura, donde la velocidad del viento es más intensa.
- Ventajas de las turbinas de eje vertical sobre las de eje horizontal [25].
  - No se necesitan sistemas de orientación.
  - Los elementos que requieran un cierto mantenimiento pueden ir situados a nivel del suelo.
  - No requieren mecanismos de cambio en las revoluciones, por cuanto no suelen emplearse en aplicaciones que presiden una velocidad angular constante.

Los aerogeneradores de eje horizontal son especialmente indicados para el uso en instalaciones “fuera de red” o más comúnmente conocidos como “instalaciones de autoconsumo” ya que son capaces de generar la energía suficiente para cargar baterías desde 300 Ah a 18.000 Ah. Comúnmente se recomienda para aplicaciones que exigen una alta potencia eléctrica debido a que es directamente proporcional al tamaño del equipo [25]. Por el tipo de aerogenerador a utilizar en este trabajo es de eje horizontal. Una vez definido el tipo de aerogenerador según el tipo de eje se pasa a seleccionar el correspondiente para este trabajo, considerando necesidades de potencia, consumo de energía, costo y mejor

adaptación según los equipos que integran el sistema, obtenidas de las fichas técnicas y catálogos de tres aerogeneradores: Aerogenerador FSH2000 (Marine) – 2000W 24V-TECHNO SUN, aerogenerador Bornay 1500 y el aerogenerador Air 30. Ver ficha técnica (Anexo 2).

Según los datos suministrados por las fichas técnicas, potencia generada, mantenimiento y la relación precio-beneficios se selecciona un aerogenerador Bornay 5000 W de potencia. La potencia de los equipos consignados en la tabla 6 es de 4060 W y la energía diaria es de 8980 Wh/día. Según esta información, se estima un consumo mensual de 269,4 Kwh/mes, es decir 3232,8 Kwh/año. Según los datos del catálogo del aerogenerador Bornay 5000 W presentado en la Figura 26, la producción de energía anual está por encima de 20000 Kwh/año a una velocidad de 10 m/s. tomando como referencia la velocidad mínima que se presenta en Uribia según los recursos esta se encuentra por encima de 4 m/s. Observando la curva de energía en la Figura 26 a esa velocidad la producción se encuentra alrededor de 3232,8 Kwh/añual.

Figura 26. Ficha técnica del aerogenerador Bornay 25.3+.



Fuente: Aerogeneradores Bornay.

- Cálculo de la potencia del aerogenerador

$$r = \frac{D}{2} = \frac{4,05 \text{ m}}{2} = 2,025$$

$$A = \pi * r^2 = \pi * (2,05 \text{ m})^2 = 13,20 \text{ m}^2$$

$$P_{MAX} = \frac{1}{2} * \rho * v^3 * A$$

$$P_{MAX} = \frac{1}{2} * \left( 1,2 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) * (4 \text{ m})^3 * (13,20 \text{ m}^2)$$

$$P_{MAX} = 506,88 \text{ w}$$

- Energía producida por el aerogenerador

$$EAP = (P/A) \times (A) \times (\text{rendimiento total}) \times (8760 \text{ h/año}) / (1000 \text{ W/kW})$$

$$E_{AP} = \frac{\left( \frac{P}{A} \right) * (A) * (\text{Rendimiento total}) * \left( \frac{8760 \text{ h}}{\text{año}} \right)}{\left( \frac{1000 \text{ w}}{\text{KW}} \right)}$$

$$E_{AP} = \frac{\left( 1000 \frac{\text{w}}{\text{m}^2} \right) * (13,20 \text{ m}^2) * (0,15) * \left( 8760 \frac{\text{h}}{\text{año}} \right)}{\left( 1000 \frac{\text{w}}{\text{KW}} \right)}$$

$$E_{AP} = 17344 \frac{\text{KW}}{\text{h}} / \text{año}$$

Para calcular el banco de acumuladores se considera dos días de calma sin viento.

$$B_{ACUM} = \frac{E_{AC} * (\text{Numeros de días})}{VNS} = \frac{(8980 \text{ wh}) * (2 \text{ días})}{24 \text{ V}} = 748,33 \text{ Ah}$$

Si se descargan el 70%, su capacidad debe ser:  $748,33 \text{ Ah} / 0,7 = 1069,04 \text{ Ah}$ . Aproximando a un valor comercial queda como 1100 Ah.

$$B_{ACUM} = 1100 \text{ Ah}$$

#### 4.8 Normas y reglamentos aplicables a los sistemas de energías renovables.

En la Tabla 9 se puede observar de manera resumida las leyes, decretos y resoluciones que se establecen en Colombia para la implementación de sistemas de energías renovables.

Tabla 9. leyes, decretos y resoluciones que se establecen en Colombia para la implementación de sistemas de energías renovables.

Leyes	Objeto	Alcance
Ley 1665 de 2013	Se aprueba el "estatuto de la agencia internacional de energías renovables (IRENA) Realizado en Bonn, Alemania.	Miembros de las naciones unidas y las organizaciones intergubernamentales regionales de integración económica en disposición y capacidad de actuar de conformidad con los objetivos del estatuto.
Ley 1715 de 2014	Por medio del cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional.	Todos los agentes públicos y privados que intervengan en la definición de políticas sectoriales en el aprovechamiento de las fuentes no convencionales de energía de carácter renovable.
Ley 697 de 2001	Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones.	Consumidores y todos los agentes públicos y privados.
Ley 142 de 1994	Por la cual se establece el régimen de los	
Ley 788 de 2002	Por la cual se expiden normas en materia tributaria y penal del orden nacional y territorial	Establece incentivos tributarios a determinados proyectos, actividades o bienes, que generen o estén destinados a generar reducciones certificadas. Exención de renta por venta de energía eléctrica generada a partir de biomasa, viento y residuos agrícolas.
Ley 697 de 2001	Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas	Le asigna al Uso Racional y Eficiente de Energía (URE) un carácter de interés general y de conveniencia nacional. Promueve la utilización de energías alternativas. Crea el Programa Uso Racional y Eficiente de la Energía y demás Formas de Energía No Convencionales (PROURE) estableciendo como entidad responsable de éste al MME Establece que el MME formulará los lineamientos de las políticas para el fomento y la promoción de las fuentes no convencionales de energía, con prelación en las zonas no interconectadas.

Ley 629 de 2000	Por medio de la cual se aprueba el "Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático", hecho en Kyoto el 11 de diciembre de 1997.	Aprobación del Protocolo de Kioto.
Ley 164 de 1994	Por medio de la cual se aprueba la "Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático", hecha en Nueva York el 9 de mayo de 1992.	Aprobación de la Convención Marco de Naciones Unidas.
Ley 143 de 1994	Por la cual se establece el régimen para la generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad en el territorio nacional, se conceden unas autorizaciones y se dictan otras disposiciones en materia energética.	Ley Eléctrica. Reestructuración del sector Eléctrico.
Ley 855 de 2003	Por la cual se definen las Zonas No Interconectadas.	Definición de las Zonas No Interconectadas.
Ley 1117 de 2006	Por la cual se expiden normas sobre normalización de redes eléctricas y de subsidios para estratos 1 y 2.	Establece que el MME definirá las condiciones y porcentajes bajo los cuales se otorgan los subsidios del sector eléctrico a los usuarios de las ZNI, teniendo en cuenta la capacidad de pago de los usuarios.
<b>Resolución</b>		
Resolución MME 180660 de 2009	Por la cual se modifican las Resoluciones 182138 de diciembre 26 de 2007 y 180648 de mayo 7 de 2008 y se adiciona a la Resolución 181891 de noviembre 04 de 2008.	Se establece la fórmula de cálculo del subsidio máximo otorgado a usuarios residenciales de las ZNI y se establece el monto de la energía (kWh/mes) que será sujeta de subsidio (a partir de enero de 2014, ningún consumo que supere el consumo de subsistencia).
Resolución MME 181891 de 2008	Por la cual se adopta un Procedimiento transitorio para otorgar subsidios del Sector Eléctrico en las Zonas No Interconectadas.	Se establecen condiciones para otorgar subsidios a las ZNI.
Resolución MME 180648 de 2008	Por la cual se expide el Procedimiento para otorgar subsidios del sector eléctrico en las Zonas No Interconectadas.	Modificada por la resolución 180660 del 2009. Se establece el desmonte de subsidios para los usuarios de las ZNI, por cuatro periodos de ajuste.
Resolución MME 182138 de 2007	Por la cual se expide el Procedimiento para otorgar subsidios del sector eléctrico en las Zonas No Interconectadas.	Se determinan las condiciones necesarias para el cálculo de los subsidios y el consumo subsidiable.

Resolución MME 180961 de 2004	Por la cual se fijan las fórmulas para el cálculo y asignación de los subsidios destinados a los usuarios pertenecientes a los estratos socioeconómicos 1, 2 y 3 ubicados, en las Zonas No Interconectadas y se delegan unas funciones al Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas, IPSE.	Establece la potencia requerida por usuario y las horas de prestación de servicio distinguiendo rangos, de acuerdo con el número de usuarios en cada localidad. Establece los porcentajes de subsidio que se otorga a los usuarios, de acuerdo con el número de usuarios en cada localidad.
Resolución CREG 074 de 2009	Por la cual se modifican las Resoluciones CREG 091 de 2007 y 161 de 2008.	Modifica la fórmula tarifaria para las áreas de servicio exclusivo.
Resolución CREG 057 de 2009	Por la cual se actualizan los costos de inversión de las actividades de generación y distribución de energía eléctrica en las Zonas No Interconectadas contenidos en la Resolución CREG 091 de 2007.	Actualiza la Resolución CREG 091 de 2007 Se actualiza los costos de inversión utilizados para remunerar las actividades de generación y distribución de energía eléctrica, a partir de generadores diésel, hídrico y sistemas fotovoltaicos.
Resolución CREG 161 de 2008	Por la cual se ordena hacer público un proyecto de resolución de carácter general que pretende expedir la CREG por la cual se modifica la Resolución CREG-091 de 2007.	Se establece la fórmula tarifaria para las áreas de servicio exclusivo.
Resolución CREG 091 de 2007	Por la cual se establecen las metodologías generales para remunerar las actividades de generación, distribución y comercialización de energía eléctrica, y las fórmulas tarifarias generales para establecer el costo unitario de prestación del servicio público de energía eléctrica en Zonas No Interconectadas.	Modificada por la Resolución 161 de 2008. Se definen las áreas de servicio exclusivo con sus respectivas reglas de conformación. Definiendo las la fórmulas tarifarias generales aplicables a áreas de servicio exclusivo. Se determinan los componente de remuneración de costos de inversión y mantenimiento, para tecnologías de generación diésel, PCHs y sistema fotovoltaico. Se definen fórmulas para la remuneración de actividades de generación (para generadores diésel, hidroeléctricas y sistemas fotovoltaicos).
Resolución CREG 017 de 1998	Por la cual se amplía el ámbito de aplicación de la Resolución CREG-077 del 11 de abril de 1997, se adicionan pautas para el cálculo del costo de prestación del servicio y se aclara la aplicación de los costos máximos	Aclara el ámbito de aplicación de los costos máximos de prestación de servicio fijados en la Resolución 082. Aclara el ámbito de aplicación de la Resolución 077 de 1997 y adiciona al Anexo 1 de la misma.

	establecidos en la Resolución CREG-082 de 1997.	
Resolución CREG 082 de 1997	Por la cual se aprueban los costos unitarios máximos de prestación del servicio de electricidad para establecer las tarifas aplicables a los usuarios finales en las Zonas No Interconectadas (ZNI) del territorio nacional.	Derogada por la Resolución 091 de 2007 Aclarada por la Resolución 017 de 1998. Se fijan los costos máximos de prestación de servicio para cada uno de los departamentos que conforman las ZNI.
Resolución CREG 077 de 1997	Por la cual se aprueba la fórmula general que permite determinar el costo de prestación del servicio y la fórmula tarifaria para establecer las tarifas aplicables a los usuarios del servicio de electricidad en las Zonas No Interconectadas (ZNI) del territorio nacional.	Ampliada por la Resolución 017 de 1998 Se establece la fórmula general de costos de prestación de servicio. Se establece la estructura y fórmulas tarifarias.
Resolución CREG 114 de 1996	Por la cual se establece la metodología para el cálculo del costo de prestación del servicio de energía eléctrica y se definen las fórmulas tarifarias para las Zonas No Interconectadas (ZNI) del territorio nacional.	Derogada por la resolución 007 de 1997. Establece la metodología para el cálculo del costo de prestación del servicio, la fórmula tarifaria, y el cargo o tarifa máxima de conexión.
Resolución MME 180919 de 2010	Por la cual se adopta el Plan de Acción Indicativo 2010-2015 para desarrollar el Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía y demás Formas de Energía No Convencionales, PROURE, se definen sus objetivos, subprogramas y se adoptan otras disposiciones al respecto.	Se definen los objetivos, subprogramas y metas del Plan de Acción.
<b>Decretos</b>		
Decreto 2688 de 2008	Por el cual se modifica el Decreto Reglamentario 3683 del 19 de diciembre de 2003 Modificar el artículo 6° "Integración. La Comisión Intersectorial Modificar el artículo 15 "Creación de la Condecoración al Uso Racional y Eficiente de la Energía y Fuentes No Convencionales. Modificar el artículo 16 del Decreto 3683 de 2003 "Requisitos para obtenerla distinción. Modificar el	Todos los agentes públicos y privados generadores de energía eléctrica.

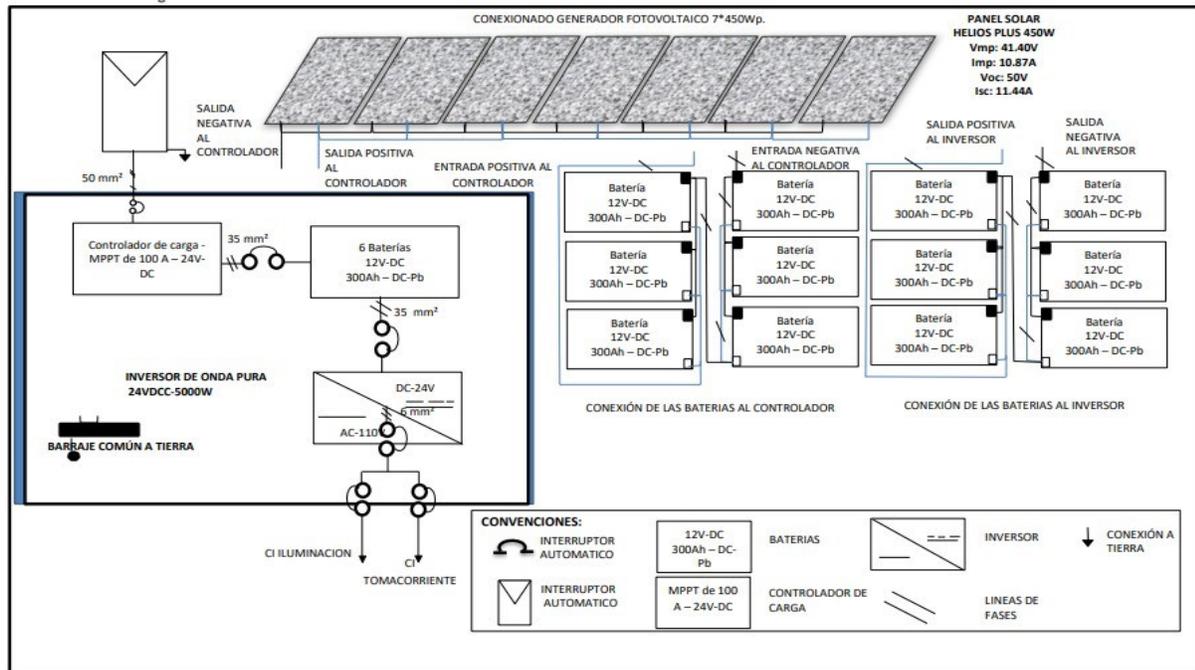
	artículo 17 "Procedimiento. Para el otorgamiento del título honorífico.	
Decreto 2331 de 2007	Por el cual se establece una medida tendiente al uso racional y eficiente de energía eléctrica.	Edificios cuyos usuarios sean entidades oficiales de cualquier orden, que implementen el cambio de las bombillas incandescentes por bombillas ahorradoras específicamente Lámparas Fluorescentes Compactas (LFC) de alta eficiencia.
Modificatorio del decreto 3683 de 2003-2005	Por el cual se reglamenta la Ley 697 de 2001 y se crea una Comisión Intersectorial.	Se crea la Comisión Intersectorial para el Uso Racional y Eficiente de Energía (CIURE), con el objetivo de articular las instituciones relacionadas con las políticas de URE.
Decreto 257 de 2004	Mediante la cual, se modifica la Estructura del Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas, IPSE.	Se establece que el IPSE es exclusivo para las ZNI y que procurará satisfacer las necesidades energéticas de dichas zonas. Se determina objeto y funciones del IPSE.
Decreto 1124 de 2008	Por el cual se reglamenta el Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas No Interconectadas – FAZNI.	Reglamenta la Ley 1099 del 2006. Faculta para asignar los recursos del FAZNI a los planes, programas y proyectos para la implementación de infraestructura requerida para la prestación del servicio de energía eléctrica en las ZNI. Establece la metodología de asignación de recursos del FANZI.
Decreto 3683 de 2003	Por el cual se reglamenta la Ley 697 de 2001 y se crea una Comisión Intersectorial.	Se crea la Comisión Intersectorial para el Uso Racional y Eficiente de Energía (CIURE), con el propósito de articular las instituciones relacionadas con las políticas de URE que faciliten la ejecución de dichas políticas. La CIURE debe realizar funciones asesoría, consultoría y apoyo de MME en actividades relacionadas a la políticas URE.

Fuente: (Carlos Julian & Fabian David, 2017).

#### 4.9 Diagrama unifilar del sistema

La Figura 27 muestra el diagrama unifilar del sistema fotovoltaico como la alternativa seleccionada para dar respuestas a las necesidades de la institución educativa.

Figura 27. Diagrama unifilar sistema solar fotovoltaico.



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.10 Presupuesto de los sistemas fotovoltaico y eólico

Después de realizar todos los cálculos de cada uno de los equipos que integran el sistema solar fotovoltaico y selección de cada uno de ellos según sus características técnicas, precios del mercado, se presenta en la Tabla 9 el presupuesto total, con sus descripciones, y las respectivas cantidades. Así mismo en la Tabla 10 se presenta el diagrama unifilar del sistema.

Tabla 10. Presupuesto sistema solar fotovoltaico autónomo .

ITEM	DESCRIPCION	CANT.	UNIDAD	VALOR UNIT.	VALOR TOTAL
1	Batería GEL 12V 300Ah Tensite	6	UN	\$ 1.785.129,00	\$ 10.710.774,00
2	Panel solar HELIOS PLUS 425-450 W / 144 Cells / 9 Bus Bars Monocrystalline Module EGE-425-450W-144M (M6).	7	UN	\$ 889.963,00	\$ 6.229.741,00
3	Controlador Carga MPPT 100A LCD 12/24/48V SRNE.	1	UN	\$ 2.061.273,00	\$ 2.061.273,00

4	Inversor Cargador Bifásico 5000W 24V MPPT 80A Must Solar.	1	UN	\$ 4.558.352,00	\$ 4.558.352,00
5	Cable Unifilar 50 mm2 POWERFLEX RV-K Negro.	40	UN	\$ 58.466,00	\$ 2.338.640,00
6	Cable Unifilar 35 mm2 POWERFLEX RV-K Verde.	12	UN	\$ 19.802,00	\$ 237.624,00
7	Cable Unifilar 6 mm2 SOLAR PV ZZ-F Rojo.	4	UN	\$ 9.408,00	\$ 37.632,00
8	Fusible 80A 250V DC Siemens.	3	UN	\$ 46.955,00	\$ 140.865,00
9	Fusible ANL 200A.	1	UN	\$ 213.248,00	\$ 140.865,00
10	Lámpara Led De Techo Deformable Industrial Garaje 60w E27.	40	UN	\$ 90.000,00	\$ 3.600.000,00
<b>TOTAL</b>					<b>\$ 30.128.149,00</b>

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 13 se muestra el presupuesto aproximado del sistema eólico.

Tabla 11. Presupuesto aproximado del sistema eólico.

ITEM	DESCRIPCION	CANT.	UNIDAD	COSTO UNIT.	COSTO TOTAL
1	Aerogenerador Bornay Wind 25.3 + 5000W.	1	UN	\$ 47.325.000,00	\$ 47.325.000,00
2	Batería Estacionaria BAE 24V 1160Ah. De 2V cada una.	12	UN	\$ 3.675.833,00	\$ 44.110.000,00
3	Torre de 10 m	1	UN	\$ 850.000,00	\$ 850.000,00
4	Regulador MPPT Wind+ 24 vdc. Intensidad	1	UN	\$ 1.200.000,00	\$ 1.200.000,00
6	Inversor 24Vcc/110Vca-5000W onda pura	1	UN	\$ 2.400.700,00	\$ 2.400.700,00
7	Tablero de control o convergencia eléctrico	1	UN	\$ 90.000,00	\$ 90.000,00
8	Elementos de protección (Fusibles, Interruptores )	3	UN	\$ 25.000,00	\$ 100.000,00
9	Varilla Polo A Tierra Cobre 14"x2.40 Metros + Conector	1	UN	\$ 100.000,00	\$ 100.000,00
10	Cableado	1	UN	\$ 85.000,00	\$ 85.000,00
Total sin instalación					\$ 96.150.700,00
Puesta en marcha y prueba final (20% de la inversión)					\$ 19.230.140,00
<b>TOTAL</b>					<b>\$115.380.840,00</b>

Fuente: Elaboración propia.

## 5. Analisis de resultados

La institución etnoeducativa integral rural internado indígena Camino Verde cuenta con una infraestructura bastante grande y compleja para realizar un dimensionamiento total de la misma, con un solo sistema de energía renovable, sin embargo, apuntándole a una prioridad de todas las actividades que se presentan en la institución, se decide realizar dimensionamiento del sistema de generación de energía para la sala de informática, puesto que actualmente la institución cuenta con el servicio de energía eléctrica por cinco horas de 07: AM– 12:00PM bastante deficiente, lo cual imposibilita el normal desarrollo de las actividades en esta aula es decir, permanentemente en ese tiempo es interrumpido el servicio. Según el análisis de los recursos, la radiación solar presenta tres rango comprendidos entre 4.5 - 6.0 Kwh/día y seis rango de velocidad del viento desde 4-10 m/s como se muestra en la Tabla 11.

Ambos recursos son muy bueno comparado con otros lugares que son menores e implementan estos tipos de sistemas de generación de energía renovable. Con estos recursos se obtuvo un sistema solar fotovoltaico de 3.15 Kw con un día de autonomía y 5 horas de sol pico generando 5670 Kwh/año y un sistema eólico de 5Kw a una velocidad de 4 m/s y dos días de autonomía generando aproximadamente 5000 Kwh/año. Los valores anuales de los dos sistemas son suficiente para atender el consumo 4368,6 Kwh/año que presenta la sala de informática. La anterior información de análisis comparativa su muestra en la Tabla 12. Sin embargo, cuando se realiza el presupuesto de ambos sistemas Tabla 10 y 11 el sistema fotovoltaico representa un menor costo con una diferencia de \$ 85.252.691,00

pesos colombianos, lo cual lleva a seleccionarlo como la alternativa para dar respuesta a las necesidades de la sala de informática. Con este sistema se busca independizar la sala del servicio de energía eléctrica deficiente que recibe la institución. Cabe señalar que el sistema se puede aprovecharse mucho más ya que los cálculos se hicieron con los equipos trabajando simultáneamente. Por ejemplo en el caso de los computadores portátil se pueden cargar dos horas y desconectar y así esa energía se puede aprovechar para otras actividades, considerando no exceder según los cálculos. Con esto se busca presentarle a la institución un sistema de suministro de energía eléctrica, pero que sobre todo contribuya a mejorar la formación, es decir, que esto conlleva un beneficio social que se puede indicar con los 420 estudiantes con los que cuenta la institución.

Tabla 12. Análisis comparativo sistema fotovoltaico y sistema eólico.

Consumo y potencias		Kwh/mes	kwh/año	Rangos de recursos	R. Solar	V. del viento
C.E. I.	250,415 Kwh/día				4,5-5,0 kwh/m <sup>2</sup> .	4-5 m/s. 5-6 m/s.
C.E.S.I	8,98 Kwh/día	269,4	3232,8		5,0-5,5 kwh/m <sup>2</sup> .	6-7 m/s. 7-8 m/s.
C.E.S.I.R.	12,135Kwh/día	364,05	4368,6		5,5-6,0 kwh/m <sup>2</sup> .	8-9 m/s. 9-10 m/s.
PTEI	56,43Kw					
PTESI	4,06Kw					
Valores mínimos utilizados para el dimensionamiento					5,0 kwh/m <sup>2</sup>	4 m/s
SISTEMA FOTOVOLTAICO				SISTEMA EOLICO		
Equipos principales		Cantidades	Equipos principales		Cantidades	
Panel solar monocristalino 450 W-24V.		7	Aerogenerador Bornay Wind 25.3 + 5000W.		1	
Controlador Carga MPPT 100A-24V.		1	Batería Estacionaria BAE 24V 1160Ah. De 2V c/u.		12	
Batería GEL 12V 300Ah.		6	Regulador MPPT Wind+ 24 vdc. Intensidad máxima 125Amp.		1	
Inversor 5000W 24V.		1	Inversor 24Vcc/110Vca-5000W de onda pura.		1	

Sistemas de generación de energía.	Potencias	Recursos	Energía Anual Aproximada Kwh.
Sistema fotovoltaico.	3,15Kw	5,0 kwh/m <sup>2</sup>	5670
Sistema eólico.	5Kw	4 m/s	17344

Fuente: Elaboración propia.

C.E.I: Consumo de energía del internado total.

C.E.S.I: Consumo de energía de la sala de informática del internado.

C.E.S.I.R: Consumo de energía de la sala de informática del internado con rendimiento global del sistema.

PTEI: Potencia total de los equipos del internado.

PTESI: Potencia total de los equipos de la sala de informática.

## 6. Conclusiones

Este proyecto ha demostrado que el uso de las energías limpias son soluciones a problemas de deficiencias que presentan las utilizadas hoy día. A través de la comparación de sistemas eólicos y fotovoltaicos con el fin de obtener el que se ajustara a las especificaciones que necesitábamos y representara un equilibrio entre precios y beneficios, se tomó como objeto de estudio, el Internado rural Camino Verde, la cual cuenta con una infraestructura bastante amplia y compleja que nos permite realizar un dimensionamiento total de la misma con un solo sistema de energía renovable.

Teniendo como prioridad las diferentes actividades que se presentan en la institución, se pudo plantear la sala de informática como insumo para el presente trabajo de grado. Luego de definir la infraestructura y con la respectiva información de consumo de 8980Wh/día y una potencia de los equipos simultáneos de 4060W así como el análisis de los recursos de radiación solar y velocidad del viento en la zona suministrados por los atlas interactivos del IDEAM, y los costos de cada una de las alternativas comparadas, se viabilizó la factibilidad para la realización de un dimensionamiento de un sistema solar fotovoltaico autónomo, utilizando el menor valor de rango de las horas sol pico (HSP) 5.0-5.5Kwh/m<sup>2</sup>.

Mediante el desarrollo del anterior estudio se llegó al resultado del dimensionamiento de 3150Wp con capacidad de autonomía de un día, mediante la información obtenida de cada uno de los equipos y sus respectivas fichas técnicas, cantidades y análisis de precios en el mercado presentándose una aproximación del presupuesto de 30.128.149 pesos colombianos y el diagrama unifilar fotovoltaico autónomo. Se llega a la conclusión de que el sistema más óptimo corresponde a un sistema fotovoltaico

que brinde un servicio de energía eficiente y estable que favorezcan la contribución de una formación de calidad para los estudiantes de la institución

## 7. Recomendaciones

- Se recomienda realizar los estudios para la estructura, aprovechando los tejados que presenta la institución educativa, además del estudio sobre la velocidad del viento, peso del generador fotovoltaico y obra civiles.
- Con respecto a la sostenibilidad y/o mantenimiento del sistema, se recomienda a la institución realizar la solicitud del programa de formación “MANTENIMIENTO E INSTALACION DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS” que ofrece el SENA en el departamento de la Guajira a través de un programa conocido como “ARTICULACIÓN CON LA MEDIA- DOBLE TITULACIÓN”.
- Un posible financiamiento se puede conseguir con las secretarías de educación departamental y/o municipal, consiguiendo integrarse con el programa que ofrece el SENA, nombrado anteriormente.

## Referencias Bibliográficas

- [1] Factorenergia, “Energía eólica. Qué es, cómo funciona, ventajas y desventajas,” [factorenergia.com/es/blog](https://www.factorenergia.com/es/blog/eficiencia-energetica/energia-eolica/), 2018. <https://www.factorenergia.com/es/blog/eficiencia-energetica/energia-eolica/>.
- [2] Factorenergia, “Energías renovables: características, tipos y nuevos retos,” [factorenergia](https://www.factorenergia.com/es/blog/noticias/energias-renovables-caracteristicas-tipos-nuevos-retos/), 2023. <https://www.factorenergia.com/es/blog/noticias/energias-renovables-caracteristicas-tipos-nuevos-retos/>.
- [3] Redacción el Tiempo, “La Guajira, todo un potencial energético,” [eltiempo](https://www.eltiempo.com/economia/sectores/la-guajira-todo-un-potencial-energetico-123500), 2017. <https://www.eltiempo.com/economia/sectores/la-guajira-todo-un-potencial-energetico-123500>.
- [4] F. L. Vargas and E. K. Maira GarcíaJaramillo, “Pre-feasibility of wind and solar systems for residential self-sufficiency in four urban locations of Colombia: Implication of new incentives included in Law 1715, Renewable Energy,” vol. 130, no. 0960–1481, pp. 1082–1091, 2019, [Online]. Available: [https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.06.087.%0A\(https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148118307390\)](https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.06.087.%0A(https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148118307390)).
- [5] J. M. Luna Rodríguez and J. L. Nieves García, Evaluación del recurso eólico para la generación de energía eléctrica en la vía al mar Cali-Buenaventura. 2019.
- [6] R. M. R. Ferreira, “LAS IMPLICACIONES AMBIENTALES DEL PROCESO DE IMPLANTACIÓN DE LOS PARQUES EÓLICOS: LA SITUACIÓN EN GALICIA ROSA,” *Rev. Galega Econ.*, vol. 20, no. 1, 2011.
- [7] J. C. T. E. S. M. V. CORREA, “ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE LA APLICACIÓN DE SISTEMAS EÓLICOS, SOLAR E HÍBRIDOS EN EL CENTRO EXPERIMENTAL CASA ASDOAS ESTUDIO,” 2013.
- [8] J. S. P. VEGA, “ANÁLISIS DE LA INTEGRACION DE AEROGENERADORES EN LA CENTRAL DE GENERACION HIBRIDA DE NAZARETH, PARA EL SUMINISTRO DE AGUA POTABLE EN LA COMUNIDAD DE NAZARETH Y PUERTO ESTRELLA – LA GUAJIRA.,” UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BUCARAMANGA, 2019.
- [9] O. Planas, “Energía fotovoltaica: tipos de sistemas fotovoltaicos,” [solar-energia.net](https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica), 2021. <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica>.
- [10] A. C. Sole, *Energías renovables* (2a. ed.), Cano Pina. Barcelona, 2014.
- [11] L. Jutglar Banyeres, *Generacion de Energia Solar Fotovoltaica*, Marcombo. Barcelona, 2012.
- [12] T. P. BENITO, *El universo de las energías renovables*, Marcombo,. gran vía de les corts catalanes, 59408007 Barcelona, 2015.
- [13] L. J. Rovira, *Las energías renovables*, Editorial. Barcelona, 2015.
- [14] M. C. Tobajas, *Energía solar fotovoltaica*, Cano Pina. Barcelona , España, 2019.
- [15] M. C. T. Vázquez, *Instalaciones solares fotovoltaicas*, Cano Pina. Barcelona, 2014.
- [16] R. G. Pérez, *Replanteo y funcionamiento de las instalaciones solares fotovoltaicas*, IC Editori. Antequera, Málaga, 2017.
- [17] J. M. de la C. Gómez, *Guía de mantenimiento en instalaciones fotovoltaicas*, Ediciones. Barcelona, 2015.
- [18] S. C. Pardillos, *Manual de energía eólica: desarrollo de proyectos e instalaciones.*, Editorial. Valencia:, 2017.
- [19] J. G. Velasco, *Energías renovables*, Editorial. Barcelona, 2015.
- [20] IDEAM, “Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia,” 2014. [Online]. Available: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>.

- [21] F. J. Hidalgo, “WEATHERSPARK – UNA COMPLETA PÁGINA DE PREVISIÓN METEOROLÓGICA,” [www.whatsnew.com](http://www.whatsnew.com), 2011. <https://www.whatsnew.com/2011/03/17/weatherspark-una-completa-pagina-del-tiempo/>.
- [22] weatherspark, “Energía solar,” [es.weatherspark.com](http://es.weatherspark.com), 2022. <https://es.weatherspark.com/s/25355/0/Tiempo-promedio-en-la-primavera-en-Uribia-Colombia#Figures-WindSpeed>.
- [23] IDEAM, “Atlas de Viento,” IDEAM, 2014. <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasVientos.html>.
- [24] J. C. Pinilla, “TEMA 3: APLICACIONES FOTOVOLTAICAS 3.1 Instalaciones Autónomas,” pp. 1–35.
- [25] F. D. F. HERNANDEZ, “DISEÑO DE UN AEROGENERADOR COMO FUENTE PRINCIPAL DE ENERGÍA PARA UN CLÚSTER DE EXTRACCIÓN PETROLERA EN RUBIALES DE PUERTO GAITÁN FABIAN,” FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA, 2020.
- [26] Bornay, “llevamos energía donde no la hay.”

## **Anexos**