



**PREFACTIBILIDAD DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA USO  
ALTERNATIVO DE ENERGIZACION EN LA SUBREGION ALTA DEL  
DEPARTAMENTO DE LA GUAJIRA**

**Yorvis de Jesús Mejía de la Hoz**  
21131611178  
**Keiner Ángel Barrios Pérez**  
21131618790

**Universidad Antonio Nariño**  
Programa Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica  
Riohacha, Colombia

2021

**PREFACTIBILIDAD DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA USO  
ALTERNATIVO DE ENERGIZACION EN LA SUBREGION ALTA DEL  
DEPARTAMENTO DE LA GUAJIRA**

**Yorvis de Jesús Mejía de la Hoz  
Keiner Ángel Barrios Pérez**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Ingeniero electromecánico**

Director (a):

Ing. Lina Marcela Alvarado Ramos

Línea de Investigación:

Energías renovables y alternativas

**Universidad Antonio Nariño**

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Riohacha, Colombia

2021

## NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado  
Prefactibilidad de un Sistema Solar Fotovoltaica para uso Alternativo de Energización en  
la Subregión Alta del Departamento de la Guajira

Cumple con los requisitos para optar  
Al título de Ingeniero Electromecánico

---

Firma del Tutor

---

Firma Jurado

---

Firma Jurado

Riohacha, 15 11 2021.

## Contenido

	Pág.
Lista de Figuras.....	XIII
Lista de tablas.....	XIV
Preliminares.....	XVI
Resumen .....	1
Abstract.....	2
Introducción .....	3
1. Antecedentes .....	7
2. Objetivos.....	9
2.1 Objetivo general .....	9
2.2 Objetivos específicos.....	9
3. Justificación.....	10
4. Marco teórico.....	11
4.1 Introducción a los sistemas fotovoltaicos .....	11
4.2 Ventajas y desventajas que ofrece la energía fotovoltaica.....	11
4.2.1 <i>Ventajas</i> .....	11
4.2.2 <i>Desventajas</i> .....	12
4.3 Unidades de medidas.....	12
4.4 Irradiación .....	12
4.5 Insolación.....	13
4.6 Tipos de sistemas fotovoltaicos.....	14
4.6.1 <i>Sistemas autónomos</i> .....	14
4.6.2 <i>Sistemas conectados a red</i> .....	15
4.7 Principales componentes de un sistema fotovoltaico.....	16

4.7.1	<i>Baterías</i> .....	16
4.7.2	<i>Tipos de baterías</i> .....	16
4.7.3	<i>Capacidad de la batería</i> .....	19
4.8	Controlador.....	19
4.8.1	<i>Regulador serie</i> .....	20
4.8.2	<i>Regulador paralelo</i> .....	20
4.8.3	<i>Regulador/seguidor del punto de máxima potencia</i> .....	21
4.9	Inversor .....	22
4.9.1	<i>Voltaje, corriente y potencia</i> .....	22
4.9.2	<i>Tipos de inversor</i> .....	23
4.10	Panel solar.....	25
4.10.1	<i>Características físicas</i> .....	26
4.10.2	<i>Características eléctricas</i> .....	27
4.11	Plantas eléctricas .....	29
4.11.1	<i>Plantas eléctricas diésel</i> .....	29
4.11.2	<i>Principales elementos de una planta eléctrica</i> .....	29
4.12	Plantas eléctricas a utilizar.....	30
4.12.1	<i>Consideraciones al momento de instalar una planta</i> .....	30
4.13	El estudio de factibilidad del proyecto.....	31
<b>5.</b>	<b>Diseño metodológico</b> .....	<b>32</b>
5.1	<b>Fase 1: Necesidades de consumo y diagnóstico de radiación solar</b> .....	<b>32</b>
5.2	<b>Fase 2: Normatividad en energía alternativas y resultado de prefactibilidad.</b> .....	<b>33</b>
<b>6.</b>	<b>Resultados y analisis de resultado</b> .....	<b>34</b>
6.1	Consumo básico de subsistencia .....	34
6.1.1	<i>Análisis de subsistencia</i> .....	35
6.2	Diagnóstico de las condiciones de radiación solar .....	36
6.2.1	<i>Subregión Alta Guajira</i> .....	38
6.3	Políticas y normatividad .....	39
6.4	Alternativas tecnológicas a través de comparaciones y estudio económico-financiero de los sistemas.....	44
6.4.1	<i>Dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico autónomo</i> .....	44
<b>7.</b>	<b>Conclusiones</b> .....	<b>61</b>
7.1	Recomendaciones.....	62
	<b>Referencias Bibliográficas</b> .....	<b>63</b>
	<b>Anexo 1. Equipos principales</b> .....	<b>66</b>

## Lista de Figuras

	<b>Pág.</b>
Figura 1-1: Mapa de Colombia con la identificación de las dos zonas .....	4
Figura 4-1. Irradiación durante un día despejado .....	13
Figura 4-2. Irradiación y horas solares pico (insolación).....	14
Figura 4-6. Configuración básica de una instalación aislada con suministro de corriente continúa y alterna.....	15
Figura 4-7. Configuración básica de un sistema fotovoltaico desde la generación al centro de transformación .....	15
Figura 4-8. Batería de Plomo – Acido.....	17
Figura 4-9. Batería Tipo Gel.....	18
Figura 4-14. Regulador tipo serie .....	20
Figura 4-15. Regulador paralelo .....	21
Figura 4-16. Regulador/seguidor del punto de máxima potencia .....	21
Figura 4-17. Onda cuadrada.....	24
Figura 4-18. Aproximación a la onda sinusoidal.....	24
Figura 4-19. Instalación autónoma y conectada a la red .....	25
Figura 4-20. Detalles del panel solar.....	26
Figura 6-1: participación por electrodoméstico en la Guajira.....	
Figura 6-2: Consumo básico de subsistencia para la Guajira. ....	
Figura 6-3: Irradiación global horizontal media diaria anual.....	37
Figura 6-4: Irradiación global horizontal media diaria anual subregión alta .....	38
Figura 6-6. VAN vs tasa de descuento sistema solar fotovoltaico zona alta Guajira .....	59

## Lista de tablas

	<b>Pág.</b>
Tabla 3-1. Actividades, métodos e instrumentos de la fase 1.....	32
Tabla 3-2. Actividades, métodos e instrumentos de la fase 1.....	33
Tabla 6-1: Consumo básico de subsistencia para alta Guajira.....	35
Tabla 6-5: Potencial de radiación solar por región.....	36

## Lista de Símbolos y Abreviaturas

### Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
<b><math>I_p</math></b>	Corrientes Pico	A	Corriente a máxima potencia.
<b><math>V_p</math></b>	Voltage Pico	V	Tensión a máxima potencia.
<b><math>W_p</math></b>	Potencia pico	W	Potencia de pico que puede suministrar el módulo.
<b><math>V_{oc}</math></b>	Voltaje de circuito abierto	V	Tensión máxima en extremos de la célula en condiciones de corriente nula.
<b><math>I_{oc}-I_{sc}</math></b>	Corriente de Corto circuito	A	Corriente en circulación por las células cuando la tensión es nula.
<b><math>C_n</math></b>	Capacidad nominal	Ah	Capacidad de la Batería.
<b>FF</b>	Factor de forma	-	Representa la forma que describe la curva de las células
<b><math>P_n</math></b>	Potencia nominal	W	Potencia del arreglo fotovoltaico
<b><math>F_c</math></b>	Factor de Capacidad	-	Relación entre la energía efectivamente generada en un tiempo dado.
<b><math>E_G</math></b>	Energía Generada	Wh	Energía del arreglo solar fotovoltaico
<b>HSP</b>	Horas Sol Pico	-	Radiación solar diaria promedio.
<b>ZNI</b>	Zonas no Interconectadas	-	Municipios, corregimientos, localidades, y caseríos no interconectados al SIN.
<b>FV</b>	Fotovoltaico	-	Referirse al sistema fotovoltaico.
<b><math>P_d</math></b>	Profundidad de descarga	Ah	Porcentaje de descarga de la batería.
<b><math>N_P</math></b>	Numero de paneles solares	-	Cantidad de panel solar en una instalación FV.
<b>S</b>	Sección de los conductores	mm <sup>2</sup>	Sección de los conductores.
<b>TIR</b>	Tasa interna de retorno	-	Tasa de interés o rentabilidad que ofrece una inversión
<b>VAR</b>	Valor actual neto	-	Valor presente de los flujos de caja netos
<b>CD</b>	Corriente Directa	A	No varia en el tiempo.
<b>CA</b>	Corriente Alterna	A	Variante en el tiempo.
<b>MPPT</b>	Seguidor de Punto Máximo	-	Tipo de regulador.

## **Preliminares**

## *Dedicatoria*

A nuestros padres quienes con su infinito amor y paciencia nos han permitido culminar con éxitos unos de los logros más importantes de la vida, nos contagiaron cada día con su esfuerzo y valentía para salir victoriosos ante todas las adversidades y dificultades que enfrentamos.

A nuestros hermanos y hermanas por sus palabras, por compartir momentos significativos en el proceso de grado y a toda la familia por contribuir con este objetivo para edificar un mejor ser humano.

## **Agradecimientos**

A lo largo del proyecto, siempre estuvimos con la guía de nuestro Padre Celestial, proporcionando amor y sabiduría para lograr finalmente su culminación, de igual manera extendemos los más grandes agradecimientos por su apoyo, amor y comprensión a nuestros padres. Gracias por ser los principales promotores de nuestros sueños y por cada día confiar y creer en nuestras capacidades y expectativas. Gracias a nuestras madres por estar dispuestas a acompañarnos en cada larga y agotadora noche de estudio, en las que su compañía y la llegada de sus cafés era para mí como agua en el desierto; gracias a nuestros padres por desear y anhelar siempre lo mejor para nuestras vidas, gracias por cada consejo y por cada una de sus palabras que guiaron nuestro camino para ser un hombre de bien durante la vida.

Gracias a nuestros maestros en los que siempre encontramos una orientación del conocimiento que fueron formando y moldeando nuestro intelecto y sus consejos calaron en nuestra mente para formar nuestro carácter, gracias por su paciencia, por sus oportunidades. Gracias a los familiares y amigos por enriquecer nuestras vivencias, anécdotas y gratos momentos que permanecerán en cada uno de nosotros a lo largo de la vida, gracias muchas gracias.

## Resumen

Este trabajo de grado habla de la prefactibilidad de un sistema solar fotovoltaica para uso alternativo de energización en la subregión alta del departamento de la guajira, que sirva a los procesos de desarrollo de las comunidades. Esta prefactibilidad se analiza con respecto a la alternativa que más utilizan en la zona, como las plantas diésel. El proyecto reconoce el consumo básico de subsistencia, las condiciones de irradiancia solar, las políticas de energías alternativas en Colombia y el estudio financiero del sistema fotovoltaico. La investigación se llevó a cabo bajo la modalidad de diseño cualitativo y cuantitativo. Como resultado se obtuvo dos módulos solares policristalino de 280W - 24V, regulador solar de 20A - 24V, dos acumuladores de 12V – 150Ah e inversor de onda pura 1000W - 110VAC - 24V y se obtuvieron los estudios financieros VAN de \$ 9.945.296,69 y TIR a 5 años del 7% , sistema favorable.

Palabras clave: Sistema fotovoltaico, radiación solar, prefactibilidad, generación diésel.

## **Abstract**

This degree project talks about the pre-feasibility of a photovoltaic solar system for alternative energy use in the upper subregion of the department of La Guajira, which serves the development processes of the communities. This pre-feasibility is analyzed with respect to the alternative most used in the area, such as diesel plants. The project recognizes basic subsistence consumption, solar irradiance conditions, alternative energy policies in Colombia and the financial study of the photovoltaic system. The research was carried out under the modality of qualitative and quantitative design. As a result, two polycrystalline solar modules of 280W - 24V, a solar regulator of 20A - 24V, two accumulators of 12V - 150Ah and a pure wave inverter 1000W - 110VAC - 24V were obtained and the financial studies VAN of \$ 9.945.296,69 were obtained. and a 5-year IRR of 7%, a photovoltaic solar system is favorable.

**Keywords:** Photovoltaic system, solar radiation, pre-feasibility, diesel generation.

## Introducción

Durante los últimos años, precisamente pensando en el futuro agotamiento de las fuentes de energía fósiles, en la gran dependencia exterior de muchos países de estas, en el progresivo incremento de su coste y en los problemas medioambientales derivados de su explotación, transporte y consumo, se está produciendo un renacer de las energías renovables [1]. “Las energías renovables son aquellas que se producen de manera continua y son inagotables a escala humana, Además, tienen la ventaja adicional de poder complementarse entre sí, favoreciendo la integración entre ellas” [1]. “Son respetuosas con el medio ambiente, y aunque ocasionen efectos negativos sobre el entorno, son mucho menores que los impactos ambientales de las energías convencionales como combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón), energía nuclear, etc.” [1].

El escenario eléctrico en Colombia se encuentra caracterizado por dos zonas: Las zonas interconectadas integrada por el sistema interconectado nacional SIN y las zonas no interconectadas ZNI. El primero “es el sistema compuesto por los siguientes elementos conectados entre sí: las plantas y los equipos de generación, la red de interconexión, las redes regionales e interregionales de transmisión, las redes de distribución, y las cargas eléctricas de los usuarios” [2]. En el segundo caso “para todos los efectos relacionados con la prestación del servicio público de energía eléctrica se entiende por ZNI a los municipios, corregimientos, localidades, y caseríos no interconectados al SIN – Sistema Interconectado Nacional” [2]. En la Figura 1-1 se muestra el mapa de Colombia con las dos zonas.

Figura 1-1: Mapa de Colombia con la identificación de las dos zonas.



**ZONA ZNI**

**ZONA SIN**

Fuente: [2].

“Las ZNI comprenden alrededor del 66% del área territorio Nacional; incluyen 17 departamentos, 5 capitales departamentales, 54 cabeceras municipales y 1.262 localidades” [3]. La caracterización del servicio de energía eléctrica para el Departamento de la Guajira reporta que en la subregión alta Guajira el 73% de las viviendas no cuentan con el servicio de energía eléctrica, el 15% está conectado al sistema

interconectado Nacional (SIN), el 7% cuenta con el servicio de energía eléctrica por medio de planta propia, el 4% por planta municipal y el 2 % por planta compartida. Debido al distanciamiento de las viviendas y el difícil acceso del transporte se hace costoso llevar la energía a cada una de estas por el sistema convencional, al igual que las plantas diésel. A esta situación también se le suma las pocas alternativas de generación local, la cual conlleva que el servicio energético en la ZNI sea escaso, deficiente y de alto costo.

En la zona alta del Departamento de la Guajira se sigue optando por la implementación de sistemas de generación eléctricas utilizando combustibles fósiles, como las plantas diésel y gasolina, sin tener en cuenta los costos a mediano y largo plazo que ello conlleva, así como el gran impacto ambiental en las etapas de transporte, generación, y su impacto social que estos acarrear. Esta situación de alguna manera también tiene un impacto sobre la situación de contrabando del combustible, ya que se puede adquirir a precios muy bajo.

A partir de esta situación se requiere realizar la prefactibilidad de un sistema solar fotovoltaico, para uso alternativo de energización en la subregión alta del Departamento de la Guajira. Esta prefactibilidad se analiza con respecto a la alternativa que actualmente más utilizan en la zona, como lo es el uso de plantas propias de combustible diésel. Con el estudio de prefactibilidad, se busca brindarle a la población de la zona, otra fuente de generación de energía eléctrica, amable con el medio ambiente y que pueda aprovechar el potencial de radiación solar de la zona. De igual manera se busca presentarle a la comunidad, una alternativa que le preste una mejor relación beneficio-costos.

Contar con un sistema de generación de energía eléctrica alternativa fotovoltaica para las zonas no interconectadas y rurales del Departamento de la Guajira, a partir de un estudio de prefactibilidad, facilita la planeación energética de las ZNI. Adicionalmente, la propuesta promueve el desarrollo de proyectos de energización a partir de energías

renovables; y de esta manera, posibilita mejorar la calidad de vida de los habitantes de la zona, fomentar el desarrollo autónomo, sostenible de esta región, diversificar la canasta energética nacional, contribuir al cuidado de los recursos naturales y a la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero; en contribución a un desarrollo social que tiene muy en cuenta el medio ambiente.

El objetivo general es identificar un sistema de generación de energía eléctrica alternativa fotovoltaica para la subregión alta zona no interconectadas del Departamento de la Guajira a partir de un estudio de prefactibilidad. En el proyecto se reconoce la necesidad de consumo de energía eléctrica de subsistencia de un hogar de la subregión alta del Departamento de la Guajira, el diagnóstico de las condiciones de radiación solar de la zona, una revisión de la política, normativas actuales en energías alternativas en Colombia y el estudio financiero del sistema fotovoltaico vs planta diésel. La investigación se llevó a cabo bajo la modalidad de diseño cualitativo y en parte cuantitativa, donde se busca describir y explicar la realidad, desde una aproximación a su dinámica natural.

El desarrollo de este proyecto está estructurado en 7 capítulos; el primer capítulo comprende todo lo concerniente a los antecedentes, el capítulo dos habla del marco conceptual de los sistemas solares fotovoltaico, su composición y principios de funcionamientos. El capítulo tres se plasma diseño metodológico del proyecto. El capítulo cuatro muestra los resultados determinados con base a cada uno de los objetivos específicos propuestos. El capítulo cinco las conclusiones generales. La consecución de los capítulos es tratada sistemáticamente, de tal manera que la información del primero es fundamental para seguir desarrollando el siguiente.

## 1. Antecedentes

A continuación, se presentan algunos trabajos similares que se han realizado o están relacionados con el tema, de tal manera que se pueda distinguir el proyecto actual de otras contribuciones.

León Vargas en su artículo “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” tuvo como objetivo analizar las implicaciones de los incentivos incluidos en la Ley 1715 para la prefactibilidad de un sistema eólico de pequeña escala y un sistema solar fotovoltaico (FV) para la autosuficiencia energética de un promedio hogar en cuatro localidades urbanas de Colombia. Para desarrollar el trabajo implementaron una estación meteorológica en la Universidad Antonio Nariño para obtener mediciones que incluyen radiación solar global, velocidad del viento y viento dirección [4].

Para el 2014, Catalina Francisca Figueroa Márquez, Nelly Angélica Parra y Luna Cristian Hernaldo Rodríguez Méndez. En su trabajo de grado “evaluación de la factibilidad técnica y económica de la instalación de paneles solares fotovoltaicos en hogares de familias de escasos recursos de la comuna de san Nicolás. En el cual estudia la forma de funcionamiento de los paneles solares fotovoltaicos, identifican las principales ventajas y desventajas de las instalaciones solares fotovoltaica y evalúan los ahorros potenciales de las familias de escasos recursos utilizando sistemas solares fotovoltaico.

Para el 2017, Diana Alejandra Garzón Suárez y Juan Sebastián Martínez Salamanca. En su trabajo de grado “estudio de factibilidad para la implementación de energía solar fotovoltaica en la zona preescolar del colegio agustiniano suba” universidad distrital francisco José de caldas. El cual comprende un diagnóstico inicial del lugar en cuanto a consumos energéticos durante un periodo de un año; A continuación, se elaboró

una alternativa que permita reducir los consumos energéticos de la Zona de Preescolar del Colegio Agustiniiano Suba y con base en ella, se elaboró una propuesta de red eléctrica alimentada con Energía Solar Fotovoltaica, donde se llevó a cabo el cálculo del sistema mediante un simulador On-line y una guía especial en el cálculo de instalaciones fotovoltaicas, y posteriormente se realizó su comparación.

Para el 2015, Rafael Acosta, Edwin Martínez & Jerson Riveros. Presentaron su tesis de trabajo de postgrado “Estudio de factibilidad técnica de una solución eléctrica de uso residencial con paneles solares en el municipio Sahagún departamento de Córdoba de la costa norte colombiana”. En este trabajo determinan la mejor alternativa para implementar un sistema solar fotovoltaico en una casa unifamiliar del municipio de Sahagún y se estimaron los costos para la alternativa de implementación del sistema fotovoltaico dentro del ambiente escogido.

## 2. Objetivos

### 2.1 Objetivo general

Realizar la prefactibilidad de un sistema solar fotovoltaica para uso alternativo de energización en la subregión alta del Departamento de la Guajira, que sirva a los procesos de desarrollo de las comunidades.

### 2.2 Objetivos específicos

- Reconocer la necesidad de consumo de subsistencia de energía eléctrica de un hogar de la zona alta, a través del plan de energización rural del Departamento de la Guajira, que sirva como insumo para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico.
- Elaborar un diagnóstico de las condiciones de radiación solar de la zona, mediante fuentes secundarias, como atlas de Colombia y el IDEAN, que sirva como insumo para dimensionar el sistema fotovoltaico.
- Revisar la actual política y normatividad en energías alternativas en Colombia a partir de programas e instituciones involucradas, que permita elaborar una matriz sucinta de las mismas.
- Determinar la prefactibilidad del sistema solar fotovoltaica mediante el estudio financiero, que permita identificar el costo - beneficio del proyecto.

### 3. Justificación

En la actualidad las energías alternativas se están implementando de diversas formas, como una solución única para el abastecimiento energético del mundo. La Guajira no es la excepción. Las condiciones con las que cuenta esta región para implementar las tecnologías de producción de energía eléctrica a partir de energía solar y eólica son idóneas, por su ubicación estratégica geográfica y política. Aprovechando el avance tecnológico que existe en la actualidad se busca abanderar la producción de energía eléctrica limpia basada en sistemas fotovoltaicos. Lo anterior estimando las alternativas de generación solar en las zonas no interconectadas ZNI, considerando estos sistemas pertinentes debido a que han permitido obtener resultados altamente eficientes a costos asequibles.

Contar con un sistema de generación de energía eléctrica alternativa, fotovoltaica para las zonas no interconectadas y rurales de la zona alta del Departamento de la Guajira, a partir de un estudio de prefactibilidad, posibilita mejorar la calidad de vida de los habitantes de la zona, fomenta el desarrollo autónomo y sostenible de esta subregión, diversifica la canasta energética nacional y contribuye al cuidado de los recursos naturales y a la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero.

## 4. Marco teórico

### 4.1 Introducción a los sistemas fotovoltaicos

El sistema de aprovechamiento de la energía del sol para producir energía eléctrica se denomina conversión fotovoltaica. La energía eléctrica no está presente en la naturaleza como fuente de energía primaria y, en consecuencia, solo puede disponerse de ella si se obtiene por transformación de alguna otra forma de energía. Es posible obtener electricidad mediante dispositivos especiales llamados “paneles solares” que transforman la energía solar en electricidad de modo directo, es decir, sin transformaciones intermedias en otras formas de energía.

### 4.2 Ventajas y desventajas que ofrece la energía fotovoltaica

#### 4.2.1 *Ventajas*

- Se trata de una energía que supone un costo considerable pero que con el tiempo se recupera.
- La energía solar fotovoltaica tiene la particularidad de ser la única fuente de energía renovable que puede instalarse de forma masiva en el centro de zonas urbanas.
- Cualquier usuario puede obtener su propia energía de forma independiente, con el apoyo de programas viables y flexibles.
- La seguridad, el silencio, la sencillez, el mínimo mantenimiento.
- La energía que se recibe del sol en la tierra en 30 minutos es equivalente a toda la energía eléctrica consumida por la humanidad en un año. “No habrá ningún otro tipo de energía que tenga tan poco impacto en el medio ambiente que la energía solar pasiva” [5].

### 4.2.2 Desventajas

Lo que verdaderamente frena el desarrollo de la energía solar es la técnica aún insuficiente (almacenamiento de la energía, calidad y eficiencia de materiales) también los altos costos de instalación y la baja financiación en investigación.

### 4.3 Unidades de medidas

El valor de la radiación solar se puede determinar en varias unidades de medidas.

En los sistemas solares fotovoltaico se utiliza el kilowatt hora por metro cuadrado (KWh/m<sup>2</sup>). “Otro tipo de unidades son el Mega joule por metro cuadrado (MJ/m<sup>2</sup>), calorías por metro cuadrado (cal/m<sup>2</sup>) o BTU/ft<sup>2</sup>” [5].

$$1\text{KWh/m}^2 = 3.62\text{MJ/m}^2$$

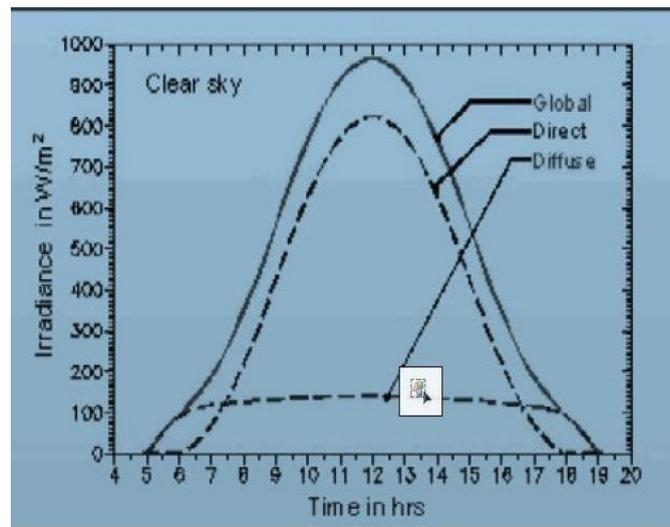
$$1\text{KWh/m}^2 = 860\text{Cal/m}^2 = 317.02\text{BTU/ft}^2$$

### 4.4 Irradiación

Es importante conocer el concepto de irradiación, así como sus unidades de medidas.

La potencia de la radiación solar, que se recibe en un instante dado sobre un captador de una superficie determinada, se le conoce como irradiación y se mide en unidades de W/m<sup>2</sup>. Se sabe que la atmósfera terrestre está constituida por gases, nubes, vapor de agua, partículas contaminantes y sólidos en suspensión, que constituye lo que se conoce comúnmente masa de aire (AM). Bajo condiciones de atmósfera limpia, sin ningún proceso óptico y estando el sol en el cenit, la irradiación máxima que un captador podría recibir es de 1,000 W/m<sup>2</sup> como un valor promedio normalizado [6]. Tal como se ilustra en la Figura 4-1.

Figura 4-1. Irradiación durante un día despejado.



Fuente: [6].

Es habitual encontrar situaciones estándar en la industria FV, los fabricantes de modulo solar han adoptado una unidad llamada SOL. Conocida como la máxima potencia eléctrica de salida de un panel fotovoltaico (ver Ecuación 1).

$$1SOL = \frac{1KW}{m^2} = \frac{100mW}{cm^2} \quad 1$$

Es importante señalar que con la formula anterior, se puede determinar la máxima potencia de salida de un módulo fotovoltaico, el cual es de gran utilidad para comparar módulos solares de diferentes marcas.

#### 4.5 Insolación

Existe otro concepto muy importante relacionado con la radiación solar el cual corresponde:

Al valor acumulado de la irradiación en un tiempo dado. Si el tiempo se mide en horas (h), la insolación tendrá unidades de watts-hora por metro cuadrado ( $W \cdot h/m^2$ ). Generalmente, se reporta este valor como una acumulación de energía que

puede ser horaria, diaria, estacional o anual. La insolación también se expresa en términos de horas solar pico (HSP). Una hora solar pico es equivalente a la energía recibida durante una hora, a una irradiación promedio de  $1,000\text{W}/\text{m}^2$  [6]. Tal como se ilustra en la Figura 4-2. La energía que genera un módulo solar fotovoltaico es directamente proporcional a la insolación.

Figura 4-2. Irradiación y horas solares pico (insolación).



Fuente: [6].

## 4.6 Tipos de sistemas fotovoltaicos

### 4.6.1 *Sistemas 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 determinados momentos consumos superiores a los de la energía captada en tiempo real, o bien para mantener el servicio durante la noche [7]. 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 [7] , como se ilustra en la Figura 4-3.

Figura 4-3. Configuración básica de una instalación aislada con suministro de corriente continua y alterna.

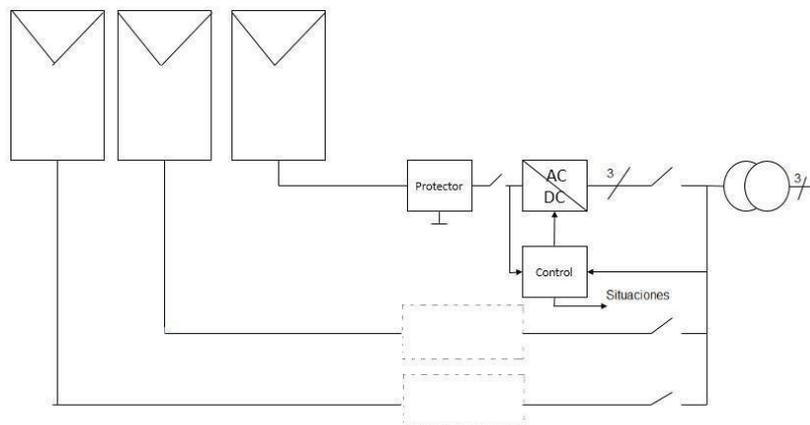


Fuente: [7].

#### 4.6.2 *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 [7]. En la Figura 4-4 se ilustra una instalación para este tipo de aplicación.

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



Fuente: [7].

## 4.7 Principales componentes de un sistema fotovoltaico

### 4.7.1 Baterías

Una batería se define como un dispositivo que almacena energía y que convierte la energía almacenada en energía eléctrica por medio de una reacción química. La reacción dentro de la celda ocurre así, después de lo cual se debe desechar, ejemplo de este tipo de celdas son: las de carbón-zinc, las baterías alcalinas y de litio; esto hace que las baterías primarias no sean usadas en los sistemas fotovoltaico, y como la carga y la recarga está obligada todos los días, la única opción son las baterías recargables para los sistemas fotovoltaico [8].

### 4.7.2 Tipos de baterías

- **Baterías Plomo-Acido**

La batería plomo-acido está construida de dos placas denominas:

Placa de plomo (negativo) y placa de plomo cubierta con dióxido de plomo (placa positiva) con 35% de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) y 65% de solución de agua. La esta reacción, que ocurre en el proceso de descarga de la celda, se puede invertir y

restaurar así la carga, aplicando corriente directa en la dirección opuesta al flujo de corriente en la descarga [8]. En la Figura 4-5 se ilustra una batería de plomo – ácido.

Figura 4-5. Batería de Plomo – Acido.



Fuente: <https://autosolar.es/baterias-de-plomo-abierto-6v/bateria-yuasa-pro-spec-dcb605-6v-210ah>.

- Batería plomo ácido con válvula regulada

De acuerdo a Harper estas baterías son la variación de las baterías de plomo-ácido que operan con un electrolito que se tiende a morir en los cuales la cantidad de electrolito está limitada a una cantidad que puede ser absorbida por las placas o humedece las fibras en el separador.

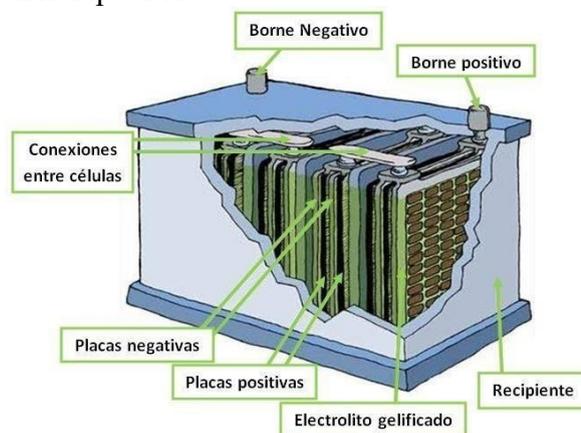
En el sistema resultante el electrolito está inmobilizado y los gases producidos durante la sobrecarga se recombina para formar agua dentro de la batería, estas baterías están selladas y no se requiere agregar agua. Para prevenir la caja de batería de una ruptura por una sobrecarga se usa una válvula que mantiene a la

batería con una presión baja, la principal desventaja de estas baterías es su ciclo de vida bajo [8].

- Baterías tipo gel

Según Harper en este tipo de celda, se forma una delgada capa de gel mezclando el electrolito con un agente gelicida (como el fluoruro de silica) tienen la ventaja de estar completamente sellado y pueden operar en cualquier posición, aun del lado o boca arriba, no tiene fuga de ácido o gas. Las baterías tipo gel son muy robustas y pueden tomar más calor y carga que las baterías plomo-acido. Para su uso en sistemas fotovoltaicos son prácticamente hechas al tamaño, más caras comparadas con las de plomo-acido, pero más fácilmente transportables [8]. En la Figura 4-6 se ilustra una batería tipo gel.

Figura 4-6. Batería Tipo Gel.



Fuente: <https://www.generatuluz.com/tu-propia-instalacion-aislada/tipos-de-baterias-y-sus-caracteristicas/baterias-de-gel/>.

- Batería de ciclo solar profundo

Este tipo de baterías están diseñadas específicamente para los sistemas fotovoltaicos con mayores índices carga/descarga, su electrolito puede ser líquido o tipo gel, tienen placas grandes y delgadas con cajas transparentes para su inspección. Pueden soportar ciclos profundos de descarga y sobrevivir cientos y aun miles del 80% en ciclos de descarga [8].

### 4.7.3 *Capacidad de la batería*

La capacidad de almacenamiento se define como la cantidad de corriente que una batería podrá entregar por un número dado de hora a su voltaje normal y a una temperatura de 25°C. Generalmente se designa en amperes-hora (Ah), y es el producto de la corriente en amperes y el tiempo en horas.

Los ampere-hora totales que una batería es capaz de entregar empezando por el estado totalmente cargado y terminando; cuando está completamente descargado se le llama la capacidad en Ah, debido a que es prácticamente imposible para las baterías plomo-acido estar completamente descargada, el fabricante usualmente especifica un voltaje elevado mínimo de celdas, el cual está basado sobre la condición de completamente descargado para prevenir un daño en la batería [8].

## 4.8 Controlador

Un regulador funciona generalmente por control de la tensión (relacionada con el estado de carga) en los terminales de la batería. “Existen otros reguladores que utilizan diferentes estrategias de regulación atendiendo a otros parámetros como, por ejemplo, el estado de carga del acumulador. En cualquier caso, debe asegurarse una protección equivalente del acumulador contra sobrecargas y sobre descargas” [9].

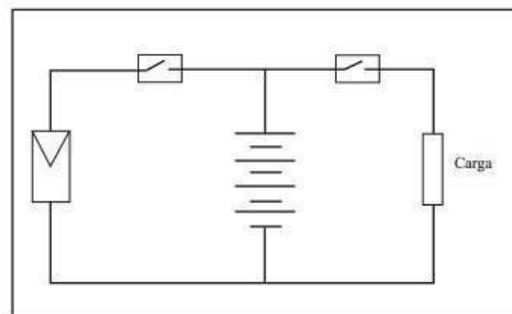
El regulador debe ser configurado específicamente en función del tipo de batería, aplicación y condiciones climáticas. Sus principales características son: Tensión nominal:

igual a la del sistema, usualmente 12, 24 o 48 V. Intensidad máxima que permite que circule a través de él: debe ser al menos un 25% mayor a la máxima corriente del generador fotovoltaico, puesto que en ocasiones la irradiancia puede llegar a superar los 1.250 W/m<sup>2</sup>. Otras características son los valores de tensión de corte por alta (sobrecarga) y tensión de corte por baja (sobre descarga) [9].

#### 4.8.1 Regulador serie

Los reguladores son elementos fundamentales en un sistema solar fotovoltaico autónomo ya que ayudan a proteger el banco de acumuladores: Son de utilización generalizada, la mayoría de los sistemas fotovoltaicos autónomos incorporan un regulador del tipo serie. Estos reguladores se caracterizan por un elemento interruptor que es conectado en serie entre el módulo fotovoltaico y la batería, y otro entre la batería y el consumo [9]. Tal como se ilustra en la Figura 4-7.

Figura 4-7. Regulador tipo serie.



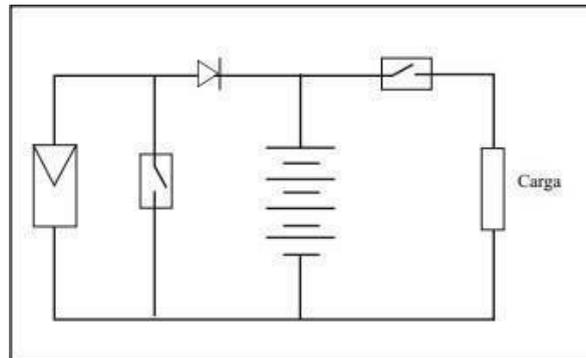
Fuente: [9].

#### 4.8.2 Regulador paralelo

Los reguladores son elementos fundamentales en un sistema solar fotovoltaico autónomo ya que ayudan a proteger el banco de acumuladores: En esta configuración, la integración de un diodo de bloqueo es obligatoria ya que, de otra manera, la batería quedaría en cortocircuito. Así el paso de corriente es posible únicamente en un sentido. Con este diodo se evita que los paneles se puedan comportar como cargas nocturnas que consuman potencia de la batería, sin embargo, los diodos de bloqueo consumen potencia (presentan caída de

tensión) cuando se carga la batería, y genera una caída de tensión [9]. En la Figura 4-8 se muestra un ejemplo simplificado de un regulador tipo paralelo internamente.

Figura 4-8. Regulador paralelo.

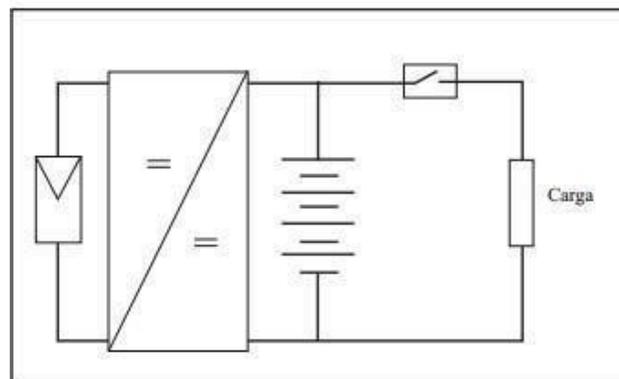


Fuente: [9].

#### 4.8.3 Regulador/seguidor del punto de máxima potencia

“El elemento central de un regulador MPPT es un convertidor DC-DC que transforma la tensión de salida del módulo a la tensión requerida para cargar las baterías” [9]. Para posteriormente darle alimentación a las cargas de corriente continua, como se ilustra en la Figura 4-9.

Figura 4-9. Regulador/seguidor del punto de máxima potencia.



Fuente: [9].

## 4.9 Inversor

El inversor o convertidor es elementos del sistema solar fotovoltaico encargado de entregar el voltaje y la corriente alterna, previa conexión de los mismo a la batería o modulo solar. El convertidor, también llamado inversor, es un dispositivo electrónico que permite enlazar la

generación con la demanda, no teniendo ambas las mismas características. Aquellas instalaciones que solo demandan energía eléctrica en forma de corriente continua, normalmente no necesitan convertidor, pero todas las demás instalaciones, sí lo necesitan. Para simplificar la instalación, en el mercado existen modelos en los que el regulador y convertidor están incorporados en un único aparato [10].

#### **4.9.1 Voltaje, corriente y potencia**

El voltaje de alimentación al inversor en C.D. debe corresponder al voltaje de las baterías (12V, 24V, 48V) por lo general los inversores de menos de 1000VA son de 12V, 24V o 48V en C.D. el voltaje de salida es de 120V en C.A. 60Hz o en algunos países 50 Hz y también 220V. Técnicamente la capacidad de salida de un inversor se expresa en volts-ampères (VA) y no en watts, pero cuando se alimentan aparatos electrónicos, la capacidad en watts es prácticamente la capacidad en VA. Por lo general, se dan dos especificaciones para la capacidad de salida: La capacidad continua y la capacidad de arranque; la llamada capacidad continua debe ser suficiente para operar todas las cargas de C.A en forma simultánea [8].

#### **4.9.2 Tipos de inversor**

En función de las características de la energía de entrada y salida, los convertidores se clasifican en: Convertidor continuo-alterno (DC/AC). Son los más usados en instalaciones fotovoltaicas, su finalidad es convertir la corriente continua generada por los paneles FV o almacenada en los acumuladores, en corriente alterna para alimentar aparatos de la propia instalación o verterla a la red nacional de distribución de energía eléctrica [10].

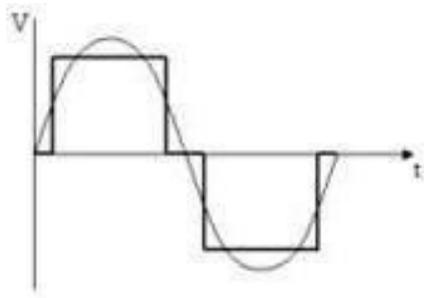
Convertidor alterno-continuo (AC/DC). Su finalidad es convertir la corriente alterna en continua, se les suele llamar rectificadores y su aplicación, como tales, a sistemas FV es prácticamente nula. Convertidor alterno-alterno (AC/AC). Estos

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 [10]. En función de la forma de onda de la corriente alterna de salida, existen dos tipos extremos:

Onda cuadrada, también llamada onda sinusoidal modificada (MSW). La corriente de salida presenta una señal de salida en forma de onda cuadrada. la tensión (y la intensidad) tiene un comportamiento periódico que pasa bruscamente de cero a un valor máximo positivo, vuelve a anularse, alcanza un valor máximo negativo y vuelve a cero, cerrando el ciclo [10].

En la Figura 4-10 se ilustra la gráfica de una onda cuadrada, en trazo grueso, sobre una onda sinusoidal pura, en trazo fino.

Figura 4-10. Onda cuadrada.

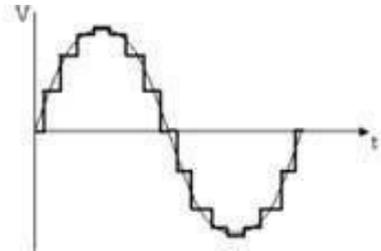


Fuente: [10].

Una corriente que responde a una onda cuadrada es una corriente alterna y puede utilizarse para alimentar muchos electrodomésticos, pero no es la adecuada para alimentar aparatos electrónicos construidos para ser conectados a corriente alterna (televisores, ordenadores, etc.) y tampoco puede ser vertida a la red pública. A fin de solventar este problema, existen conversores que generan una corriente de salida que divide el ciclo en intervalos de tiempo más pequeños, acercándose más a la sinusoide pura [10]. En la Figura 4-11 se muestra un ejemplo de la forma gráfica de

salida de un inversor de onda sinusoidal.

Figura 4-11. Aproximación a la onda sinusoidal.



Fuente: [10].

En función del tipo de instalación FV, como se ilustra en la Figura 4-12. El convertidor se clasifica en dos categorías: Instalación autónoma. Existen electrodomésticos (neveras, lavadoras, etc.) preparados para funcionar con corriente continua, pero son más caros que los convencionales de alterna y la gama de modelos y marcas, disponible en el mercado, es muy reducida. Por esta razón algunas instalaciones autónomas se diseñan con dos redes diferenciadas, una para alimentar a los aparatos que funcionan con continua y otra para aquellos que funcionan con alterna [10], instalación conectada a la red.

Figura 4-12. Instalación autónoma y conectada a la red.



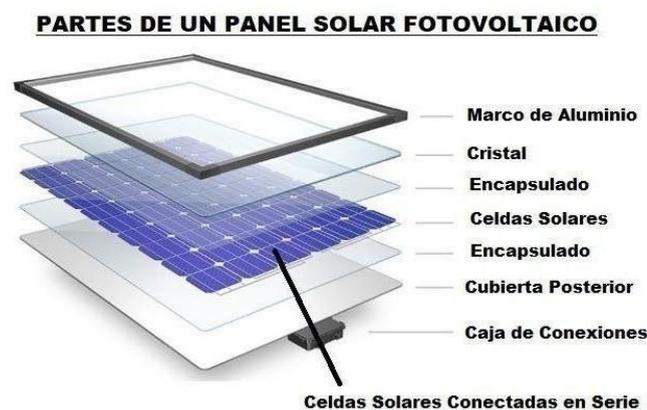
Fuente: [10].

#### 4.10 Panel solar

Un panel solar, es un conjunto de celdas interconectadas eléctricamente y protegida contra la intemperie. Generalmente, tienen una cubierta frontal de vidrio templado y un marco de aluminio que facilita su transporte e instalación. Como los paneles no tienen partes móviles son muy confiables y duraderos, algunos fabricantes los garantizan hasta

por 25 años contra defectos de fábrica y reducción de rendimiento, además requieren de un mínimo mantenimiento. Las principales causas de fallas de los módulos solares son la rotura de las celdas, daños en laminación del encapsulado que permite el ingreso de la humedad y la rotura de las interconexiones de las celdas. Los paneles pueden ser monocristalinos, policristalinos y amorfo, dependiendo del material con que se fabrique la célula tal como se ilustra en la Figura 4-13.

Figura 4-13. Detalles del panel solar.



Fuente: <https://www.areatecnologia.com/electricidad/paneles-solares.html>.

Los paneles solares se definen según: sus características físicas, eléctricas y efectos de factores externos:

#### 4.10.1 Características físicas

- Material de las celdas y estructura del material.

El material de las celdas son materiales semiconductores, el más utilizado por los fabricantes de celdas solares es el silicio (c-Si). Las celdas también pueden ser de otros minerales diferentes al silicio como son el Arseniuro de Galio (GaAr), Cobre (Cu), Indio (In) Selenio (Se) y Tolueno de Cadmio.

- Geometría del panel.

Los fabricantes de panel tienen una variedad de producirlo, dependiendo las ofertas y las necesidades del mercado, por esa razón manejan panel de forma circular, cuadrada, que pueden ser colocados en una ventana con esas mismas medidas.

- Dimensiones del panel.

Los fabricantes ofrecen paneles de diferentes tamaños o de potencia nominal, los paneles cristalinos de 50Wp tienen una superficie de aproximadamente 0,5 m<sup>2</sup>, con áreas de 0,5m x 1m, los cuales también dependen de su geometría.

- Peso.

Los paneles generalmente manejan un peso maderable, son bastante livianos los cristalinos suelen pesar menos de 10 Kg.

- Tipo de cubiertas (vidrio templado, plástico, etc.).

Se busca otorgarle al panel rigidez en su estructura, aislamiento eléctrico y resistencia a los agentes climáticos. Por esto, las celdas conectadas en serie son encapsuladas en un plástico elástico (Etilvinilacelato) que hace las veces de aislante eléctrico, un vidrio templado de bajo contenido de hierro, en la cara que mira al sol, y una lámina plástica multicapa (Poliéster) en la cara posterior.

#### **4.10.2 Características eléctricas**

Los módulos fotovoltaicos se definen por un conjunto de características que se expresan en sus documentos técnicos en dos posibles formas referidas a las condiciones de la irradiancia solar incidente y a la temperatura. Estas son: STC: condiciones de prueba estándar recogidas por la norma ICE 60904. Son las siguientes:

Irradiación: 1.000W/m<sup>2</sup>

Temperatura de las células: 25°C

Masa de aire: AM = 1,5

Velocidad del viento: 1m/s

NTC: es referido a la temperatura normal de operación de las células. Se diferencia de la anterior en los valores de irradiancia y temperatura.

Irradiación: 800W/m<sup>2</sup>

Temperatura de las células: 20°C

Masa de aire: AM = 1,5

Velocidad del viento: 1m/s

Los fabricantes pueden indicar las características de sus módulos fotovoltaicos en uno de los modos o en los dos. Independientemente de la forma, señalan mediante parámetros eléctricos su relación con la luz solar. Representan los parámetros básicos de potencia, corriente y tensión en las condiciones especificadas anteriormente.

- Potencia máxima, Pmax

Corresponde a la potencia de pico Wp que puede suministrar el módulo. Tiene asociado una corriente y una tensión (ver Ecuación 2).

$$P_{max} = V_{max} \times I_{max} \quad 2$$

- Corriente de cortocircuito, Isc

Representa la corriente en circulación por las células cuando la tensión es nula.

Corresponde, en consecuencia, a la corriente máxima que pueden suministrar las células.

Se mide intercalando el instrumento de medida directamente en sus bornes de conexión.

- Tensión de circuito abierto Voc

Representa la tensión máxima en extremos de la célula en condiciones de corriente nula, sin carga.

- Factor de forma FF

Representa la forma que describe la curva de las células. Matemáticamente se calcula con la siguiente fórmula (ver Ecuación 3).

$$FF = \frac{V_{max} \cdot I_{max}}{V_{co} \cdot I_{sc}} = \frac{P_{max}}{V_{co} \cdot I_{sc}} \quad 3$$

- Rendimiento

Representa el índice de aprovechamiento de la conversión de luz a corriente eléctrica, por ejemplo 15% (ver Ecuación 4).

$$\eta = \frac{P_m}{P_I} \quad 4$$

- Corriente máxima ( $I_p$ ), voltaje máximo ( $V_p$ ).

Corriente a máxima potencia ( $I_p$ ). Es la corriente que suministra el módulo solar o panel solar cuando está conectado al regulador. Se utiliza como corriente nominal del mismo. Tensión a máxima potencia ( $V_p$ ), tensión que suministra el módulo solar o panel solar cuando está conectado al regulador. Se utiliza como voltaje nominal del mismo.

#### 4.11 Plantas eléctricas

Una planta eléctrica es una máquina que mueve un generador de electricidad a través de un motor de combustión interna. Es comúnmente utilizada cuando hay déficit en la generación de energía eléctrica, o en caso de cortes en el suministro eléctrico y garantiza la continuidad del trabajo en de las operaciones de producción.

Una de las utilidades más comunes es la de generar electricidad en aquellos lugares donde no hay suministro eléctrico o es intermitente [11].

##### 4.11.1 *Plantas eléctricas diésel*

Son por lo general utilizadas en bases militares y en otros lugares de mayor consumo, como en los hospitales. Este tipo de planta eléctrica funciona a través del consumo de combustible, el cual es quemado por un sistema de combustión interna, tal y como lo utilizan los motores de vehículos y motocicletas [11].

##### 4.11.2 *Principales elementos de una planta eléctrica*

- Motor.

“Es una de las dos piezas más importantes de la planta eléctrica, encargada de producir la potencia necesaria para mover el alternador que generará energía eléctrica. Su

dimensión deberá ajustarse a las necesidades específicas, potencia necesaria dada por el motor” [12].

- Alternador.

“Es el componente más importante de la planta eléctrica, encargado de transformar la energía mecánica del motor en energía eléctrica. Va unido al volante del motor, transmite el movimiento del volante del motor al rotor del alternador” [12].

- Cuadro de control.

“Es el elemento que permite controlar el equipo y su funcionamiento. Este componente de la planta varía según las exigencias de cada aplicación, se diferencia cuadro de control automático y eléctrico” [12].

- Bancada de apoyo.

“Este elemento sirve de base de sujeción al conjunto de motor y alternador, su forma y construcción es variable según sea la función o características específicas la planta eléctrica” [12].

#### 4.12 Plantas eléctricas a utilizar

“El tipo de planta eléctrica que necesita dependerá de sus exigencias energéticas, del lugar donde se ubicará y de si funcionará de forma continua o bien solo cuando haya interrupciones de suministro eléctrico” [11].

##### 4.12.1 Consideraciones al momento de instalar una planta

- Ubicación:

“El lugar de ubicación debe de cumplir con ciertas recomendaciones para evitar daños a terceras personas, donde la planta eléctrica pueda ser accesible a mantenimiento.

Estar en un espacio amplio, libre de relieves, iluminado para facilitar las operaciones de mantenimiento” [12].

#### 4.13 El estudio de factibilidad del proyecto

“Un estudio de factibilidad se usa para proveer mucha más información y generar una mayor comprensión sobre si vale la pena llevar a cabo el proyecto o no” [13].

- En la evaluación técnica se analizan los tópicos referentes al comportamiento del mercado, la tecnología disponible, los aspectos legales y la posible estructura organizacional [14].
  
- La evaluación ambiental hace referencia a los resultados del estudio de impacto ambiental que se debe realizar para cuantificar y cualificar la injerencia que el proyecto causará al insertarlo en un medio biótico y abiótico; y puede ser que el impacto sea positivo o negativo [14].

## 5. Diseño metodológico

El procedimiento y desarrollo de esta investigación empieza con la determinación y ubicación de un problema que de manera general trata los altos porcentajes de viviendas de las zonas rurales y no interconectadas sin energía eléctrica de la población objeto de estudio, denominada subregión Alta del Departamento de la Guajira. Esta investigación se plantea realizar bajo la modalidad de diseño cualitativa y en parte cuantitativa, donde se busca describir y explicar la realidad, desde una aproximación a su dinámica natural. El desarrollo de esta investigación se encuentra enmarcada en dos fases las cuales son consecutiva y tratadas sistemáticamente. De tal manera que se requieren realizar un trabajo ordenadamente, siguiendo un método o sistema. Las fases se llevan a cabo de la siguiente manera:

### 5.1 Fase 1: Necesidades de consumo y diagnóstico de radiación solar.

En la Tabla 3-1 se muestra las actividades, métodos, instrumentos de medición y técnicas de análisis utilizadas para desarrollo de la fase 1 del trabajo de grado.

Tabla 5-1. Actividades, métodos e instrumentos de la fase 1.

Ítem	Actividades
1	Reconocer la necesidad de consumo de subsistencia de energía eléctrica de un hogar de la zona alta, a través del plan de energización rural del Departamento de la Guajira.
2	Elaborar un diagnóstico de las condiciones de radiación solar de la zona.
Método	
1	Para determinar la necesidad de consumo eléctrico de subsistencia del hogar de la subregión alta del Departamento de la Guajira, se realiza la búsqueda de fuentes secundarias referentes, la cual se analizan para extraer los datos de consumo de energía eléctrica básica.
2	Para la recolección de datos de radiación solar, se realizan búsqueda de información histórica y actualizadas de fuentes secundarias sobre estos recursos, en instituciones nacionales, internacionales, regionales, departamentales y programas mundiales.
Instrumentos de medición y técnicas de análisis	

1	Se utiliza la información secundaria reposada en el plan de energización rural del departamento de la Guajira, específicamente en el documento "demanda energética en el departamento de la Guajira". Línea base PERS Guajira 2014. Con toda la información recolectada se procede a realizar el procedimiento de análisis de contenido para poder identificar el consumo básico de subsistencia de un hogar promedio de la subregión alta del Departamento de la Guajira.
2	Se utilizan bases de datos localizados en Software de análisis de proyectos de energía limpia RETScreen, líder mundial de las herramientas informáticas utilizadas para la toma de decisiones en energías limpias. En entidades públicas y privadas dedicadas a recoger todos los datos de estos recursos, atlas de radiación solar de Colombia, (IDEAM), UPME, (IPSE), etc. Con toda la información recolectada se procede a realizar el procedimiento de análisis de contenido para poder identificar el potencial energético en energía solar fotovoltaica en la subregión alta del Departamento de la Guajira.

Fuente: Elaboración propia.

## 5.2 Fase 2: Normatividad en energía alternativas y resultado de prefactibilidad.

En la Tabla 3-2 se muestra las actividades, métodos, instrumentos de medición y técnicas de análisis utilizadas para desarrollo de la fase 2 del trabajo de grado.

Tabla 5-2. Actividades, métodos e instrumentos de la fase 1.

Ítem	Actividades
1	Revisar la actual política y normatividad en energías alternativas en Colombia.
2	Determinar la prefactibilidad del sistema solar fotovoltaica mediante el estudio financiero.
<b>Método</b>	
1	Se realiza levantamiento, revisión y análisis de la información secundaria referente a política y normatividad nacional, concerniente a la energización en las ZNI, resoluciones, leyes y decretos. Así como programas e instituciones involucradas en el sector de las energías alternativas solar fotovoltaica y eólica.
2	Se revisan fuentes de información secundarias sobre estudios de evaluación de alternativas de energización en zonas no interconectadas. De igual forma se toman algunos resultados obtenidos en la fase anterior para estudiar la alternativa de solución energéticas utilizando energía solar. Para evaluar la alternativa se diseña un método de comparación entre los costos de generación de sistemas solar fotovoltaica, y los costos actuales de prestación de servicio con sistema diésel.
<b>Instrumentos de medición y técnicas de análisis</b>	
1	Se utiliza la información secundaria encontradas en diferentes entidades y programas del estado nacional, regional y departamental, dentro de estas agregamos la UPME (Unidad Administrativa Especial del orden Nacional, de carácter técnico, adscrita al Ministerio de Minas y Energía, CREG. Con el procedimiento de análisis de contenido se realiza una matriz de manera sucinta con todos los resultados obtenidos.
2	Se utilizaron fuentes secundarias y fases previas. Con el enfoque de análisis de contenido se determinan los resultados.

Fuente: Elaboración propia.

## 6. Resultados y análisis de resultado

### 6.1 Consumo básico de subsistencia.

“Es la cantidad mínima de energía eléctrica utilizada en un mes por un usuario típico para satisfacer necesidades básicas que puedan ser satisfechas eficiente y económicamente, mediante esta forma de energía final” [15]. En este punto es pertinente manifestar que el consumo básico de subsistencia se puede determinar de diferentes maneras, entre ellas como lo manifiesta la CREG en la resolución 077 de 1997 del 11 de abril y la que presenta el PERS – GUAJIRA. Para el cálculo y desarrollo de este trabajo se considera esta última, por lo cual se hace necesario definir el PERS, sus objetivos y productos.

El PERS es una herramienta interinstitucional, que permite el levantamiento de información primaria y secundaria socioeconómica y energética, así como la identificación de iniciativas de desarrollo en las regiones rurales del país, permitiendo con el análisis de estos elementos, la construcción de documentos en las temáticas de: oferta y demanda energética, socioeconómico, proyectos y de lineamientos de política energética, este último componente brinda las herramientas a la región en cuanto a su horizonte energético. Esta información es base para la planeación energética regional y para la toma de decisiones de inversionistas privados [16]. Su objetivo es identificar las necesidades de energía en las localidades rurales del departamento o región considerando opciones de desarrollo local, establecer la demanda y el suministro actual de energía, identificar las fuentes locales aprovechables para suministrar los requerimientos de energía identificados, caracterizar la demanda de energía rural y estructurar una línea de base, estructurar y elaborar proyectos integrales y sostenibles en el corto, mediano y largo plazo, para un horizonte de 15 años [17]. Dentro de algunos de sus

productos se encuentra: “la caracterización energética y productiva del departamento con fuentes de información y recursos actuales y conocimiento de las zonas rurales mediante la recolección de información primaria en tiempo real (encuestas)” [17].

### 6.1.1 *Análisis de subsistencia*

Como se mencionó en el apartado anterior, a partir del documento de demanda energética presentado por el PERS – GUAJIRA, en la Tabla 6-1 se muestran con detalles los electrodomésticos básicos que se usan en las viviendas de la subregión alta, y con ellas su respectiva potencia (W), además de las horas y la frecuencia de uso de cada uno de ellos para efectuar el cálculo del consumo básico de subsistencia.

Tabla 6-1: Consumo básico de subsistencia para la alta Guajira.

<b>EQUIPOS</b>	<b>Capacidad (W)</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Horas/día</b>	<b>Uso días/semana</b>	<b>Consumo Kwh/día</b>	<b>Consumo Kwh/mes</b>
BOMBILLOS INCANDESCENTES	100	2	4	7	0,8	23,52
TELEVISOR	139	1	4	7	0,556	16,35
LICUADORA	350	1	0,16	7	0,056	1,65
CARGADOR DE CELULAR	50	1	6	7	0,3	8,82
<b>TOTAL</b>					<b>1.712</b>	<b>50,33</b>

Fuente: [18].

En la Tabla 6-1 se observa que la subregión Alta Guajira presenta un consumo de 50,33 kWh/mes. Según el PERS – GUAJIRA este consumo se presenta por las características actuales de la oferta del servicio de energía eléctrica en esa zona, además de las condiciones económicas que impiden la adquisición de aparatos necesarios para adecuación de ambiente o para mantener conservados sus alimentos [18].

Para el cálculo del sistema solar fotovoltaico autónomo en los apartados posteriores se tiene en consideración el consumo básico de subsistencia diario equivalente a 1.712 Kwh/día o 1712 Wh/día. Cabe señalar que no se ingresan otros equipos de consumo como refrigerador y abanico en la tabla, porque no se cuenta con esta información de la población, es decir, según el PERS – GUAJIRA en la zona alta de la Guajira esos electrodomésticos son pocos utilizados o no los utilizan.

## 6.2 Diagnóstico de las condiciones de radiación solar

El Atlas de Radiación Solar de Colombia brinda un acercamiento al potencial y disponibilidad del recurso energético solar. Colombia tiene un potencial energético solar a lo largo de todo el territorio nacional, con un promedio diario multianual cercano a 4,5 kWh/m<sup>2</sup>. En las regiones costeras atlántica y pacífica, específicamente en la región noreste de la costa atlántica en la Guajira, de acuerdo con los resultados de la evaluación del recurso solar del país, muestran un potencial solar promedio multianual diario entre 4,0 y 7,0 kWh/m<sup>2</sup>, el mayor del país [19].

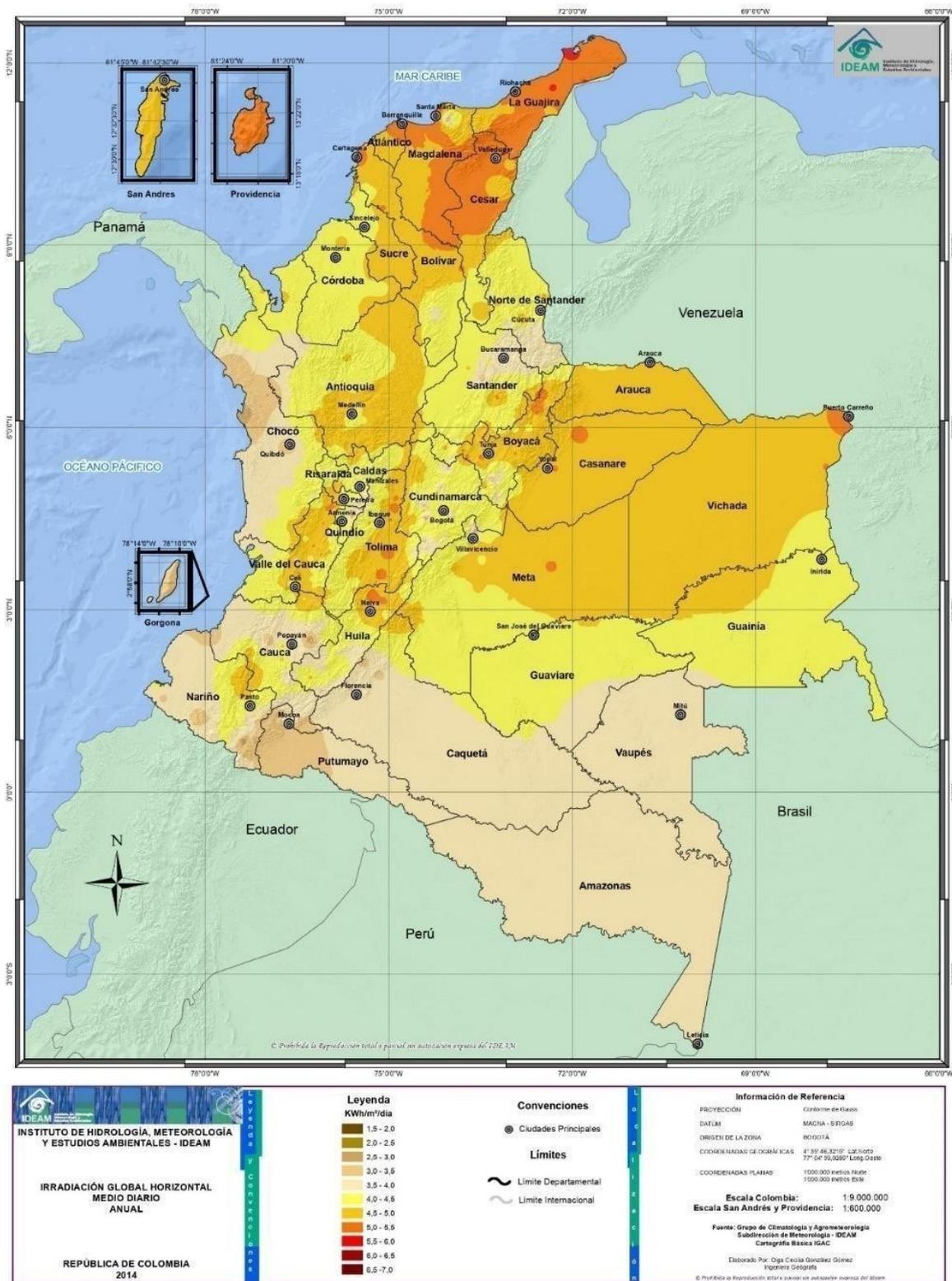
Ver la Figura 6-3, en la Tabla 6-3 se muestra el potencial de radiación solar por regiones de Colombia donde se resalta la Guajira como privilegiada. “Si se tiene en cuenta que el máximo mundial es de aproximadamente 2.500 kWh/m<sup>2</sup>/año, el potencial en Colombia en relación con este máximo, equivale al 58 % en la Costa Pacífico y un 94 % en la Guajira” [20].

Tabla 6-2: Potencial radiación solar por región.

Región	Radiación solar (kwh/m <sup>2</sup> /año)
Guajira	1.980 – 2.340
Costa Atlántica	1.260 – 2.340
Orinoquia	1.440 – 2.160
Amazonia	1.440 – 1.800
Andina	1.080 – 1.620
Costa Pacífica	1.080 – 1.440

Fuente: Elaboración propia con datos de la UPME.

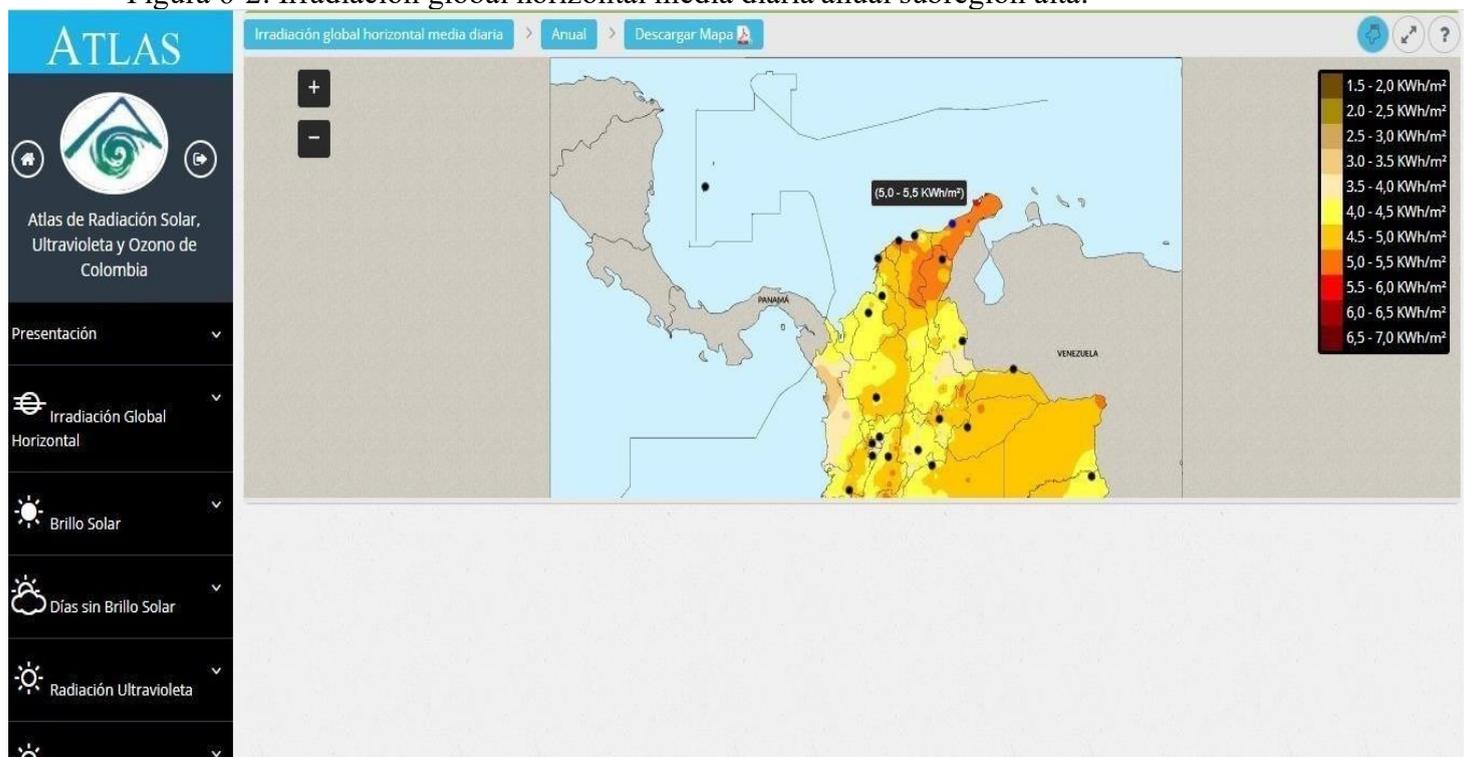
Figura 6-1: Irradiación global horizontal media diaria anual.



Fuente: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html..>

De acuerdo con la información que brinda el atlas de radiación solar interactivo del IDEAM se puede realizar una zonificación para obtener información particular de cada subregión de la Guajira. Es decir, se puede estimar el comportamiento de este recurso en la subregión alta. Los valores que suministra el atlas interactivo se pueden considerar a la hora de dimensionar y diseñar un sistema de conversión térmica o fotovoltaica. En el caso de la subregión alta de la Guajira, es fácil identificar en el mapa el rango de irradiación global horizontal media diaria, ya que solo se manejan dos colores rojo y naranja, este último con mayor presencia. A partir de lo anterior se define la franja mínima de 5,0 Kwh/m<sup>2</sup> y máxima de 6,0 Kwh/m<sup>2</sup>. Tal como se muestra en la Figura 6-4.

Figura 6-2: Irradiación global horizontal media diaria anual subregión alta.



Fuente: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>.

### 6.2.1 Subregión Alta Guajira

Ubicada en el extremo peninsular. Se caracteriza por ser una región plana de tipo semidesértico donde se encuentran algunos cerros y serranías como La Teta, Cojoro,

Carpintero, Cocinas, Jarara y Macuira siendo el viento el principal agente de moldeado. Posee recursos mineros como el yeso, barita y talco. Pertenecen a esta los municipios de Uribí y Manaure. Se encuentran en esta Puerto Bolívar, como puerto Carbonífero, el proyecto de generación de energía eólica JEPİRACHI, y otras empresas como ISAGEN-WAYUU ESP, JUPTIME, IPSE, EPSA, JEMEIWAKAI y EMGESA las cuales están realizando estudios de los recursos naturales y los puertos naturales de Bahía Portete y Bahía Honda. La población está conformada en un 95% por la etnia wayuu, los cuales se dedican principalmente a la actividad pastoril ovino-caprina, explotación de la sal, las 12 artesanías, la agricultura y la pesca.

### **6.3 Políticas y normatividad**

Para el desarrollo de este apartado se hizo levantamiento, revisión y análisis de la información secundaria referente a políticas y normatividad (RESOLUCIONES, LEYES Y DECRETOS) en energía alternativas en Colombia concerniente a la energización en las ZNI, encontradas en diferentes entidades y programas del estado nacional, regional y departamental, como Ministerio de Minas y Energía (MME), Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas (IPSE), Comisión Intersectorial CIURE, Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas No Interconectadas (FAZNI) y el Fondo Nacional de Regalías (FNR).

Esta información, permitió elaborar una matriz sucinta de las mismas, tal como se observa en la Tabla 6-6, así como reconocer los incentivos tributarios, arancelarios o contables y demás mecanismo que estimulan el desarrollo de estas fuentes de energía y que son utilizados para el análisis de las alternativas planteadas.

Tabla 6-6. Matriz política y normatividad en energías alternativas en Colombia.

Leyes	Objeto	Alcance
Ley 1665 de 2013	Por medio del cual se aprueba el "estatuto de la agencia internacional de energías renovables (IRENA)" [21].	Miembros de las naciones unidas y a 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" [22].	"Todos los agentes públicos y privados que intervengan en la definición de políticas sectoriales en el desarrollo y el aprovechamiento de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable" (REPÚBLICA, 2014).
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" [23].	Consumidores y todos los agentes públicos y privados.
Ley 142 de 1994	"Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones" [24].	Empresas que prestan servicios públicos domiciliarios.
Ley 788 de 2002	"Por la cual se expiden normas en materia tributaria y penal del orden nacional y territorial; y se dictan otras disposiciones" [25].	"Establece incentivos tributarios 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" (E. C. DE COLOMBIA, 2002) .
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 [26].	"Se aprueba el Protocolo de Kioto" (E. C. DE COLOMBIA, 2000).
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 [27].	"Se aprueba la Convención Marco de Naciones Unidas" (EL CONGRESO DE COLOMBIA, 1994b).
Ley 143 de 1994	"Por la cual se establece el régimen para la generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad en el territorio	"Ley Eléctrica. Restructuración del sector Eléctrico" (EL CONGRESO DE COLOMBIA, 1994a).

	nacional, se conceden unas autorizaciones y se dictan otras disposiciones en materia energética” [28].	
Ley 855 de 2003	“Por la cual se definen las Zonas No Interconectadas” [29].	“Definición de las Zonas No Interconectadas” (E. C. DE COLOMBIA, 2003).
Ley 1117 de 2006	“Por la cual se expiden normas sobre normalización de redes eléctricas y de subsidios para estratos 1 y 2” [30].	“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” (REPÚBLICA, 2006).
Resolución		
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” [31].	“Se establece la fórmula de cálculo del subsidio máximo otorgado a usuarios residenciales de las ZNI. Establece el monto de la energía (kWh/mes) sujeta de subsidio (a partir de enero de 2014, ningún consumo que supere el consumo de subsistencia)” (Ministerio de Minas y Energía-MME, 2009).
Resolución MME 181891 de 2008	“Por la cual se adopta un Procedimiento transitorio para otorgar subsidios del Sector Eléctrico en las Zonas No Interconectadas” [32].	“Se establecen condiciones para otorgar subsidios a las ZNI” (Ministerio de Minas y Energía-MME, 2008).
Resolución MME 180648 de 2008	“Por la cual se adiciona la resolución 182138 de diciembre 26 de 2007, por la cual se expide el Procedimiento para otorgar subsidios del sector eléctrico en las Zonas No Interconectadas” [33].	“Modificada por la resolución 180660 del 2009. Se establece el desmonte de subsidios para los usuarios de las ZNI, por cuatro periodos de ajuste” (Ministerio de Minas y Energía – MME, 2008).
Resolución MME 182138 de 2007	“Por la cual se expide el Procedimiento para otorgar subsidios del sector eléctrico en las Zonas No Interconectadas” (Ministerio de Minas y Energía – MME).	“Modificada por la resolución 180660 del 2009. Se determinan las condiciones para el cálculo de los subsidios y el consumo subsidiable” (Ministerio de Minas y Energía – MME, 2007).
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 Zonas No Interconectadas y se delegan unas funciones al IPSE.	“Establece la potencia requerida y porcentajes de subsidio por usuario y las horas de prestación de servicio diferenciando rangos, de acuerdo con el número de usuarios en cada localidad”(ENERGÍA, 2004).
Resolución CREG 074 de 2009	“Por la cual se modifican las Resoluciones CREG 091 de 2007 y 161 de 2008” [34].	“Modifica la fórmula tarifaria para las áreas de servicio exclusivo” (CREG, 2009b).

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” [35].	“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” (CREG, 2009a).
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” [36].	“Modifica la Resolución 091 del 2007. Modifica en lo relacionado con Procesos Competitivos. Se establece la formula tarifaria para las áreas de servicio exclusivo”(CREG, 2008b).
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 ZNI” [37].	“Modificada por la Resolución 161 de 2008. Se determina la componente de remuneración de costos de inversión y mantenimiento, para tecnologías diésel, PCHs y sistema fotovoltaico. Se definen fórmulas para remuneración de actividades: generación (diésel, hidroeléctricas y sistemas fotovoltaicos)” (Comisión de Regulación de Energía y Gas - CREG, 2007).
Resolución CREG 017 de 1998	“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 establecidos en la Resolución CREG-082 de 1997” (Comisión de Regulación de Energía y Gas – CREG, 1998).	“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” (Comisión de Regulación de Energía y Gas – CREG, 1998).
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” (Comisión de Regulación de Energía y Gas – CREG).	“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” (Comisión de Regulación de Energía y Gas – CREG, 1997).
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 aplicables a los usuarios del servicio de electricidad en las Zonas No Interconectadas (ZNI) del territorio nacional” (Comisión de Regulación de Energía y Gas – CREG).	“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” (Comisión de Regulación de Energía y Gas – CREG, 1998).

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” (Comisión de Regulación de Energía y Gas – CREG, 1996).	“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” (Comisión de Regulación de Energía y Gas – CREG, 1996).
Resolución MME 180919 de 2010	“Por la cual se adopta el Plan de Acción Indicativo 2010-2015 desarrollar el Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía, Formas de Energía No Convencionales, PROURE, se definen sus objetivos, subprogramas y se adoptan otras disposiciones al respecto” (Comisión de Regulación de Energía y Gas – CREG, 2010).	“Se definen los objetivos, subprogramas y metas del Plan de Acción” (Comisión de Regulación de Energía y Gas – CREG, 2010).
Decretos		
Decreto 2688 de 2008	“La Comisión Intersectorial Modificar el artículo 15 "Creación de la Condecoración al Uso Racional y Eficiente de la Energía Fuentes No Convencionales. Modificar el artículo 16 del Decreto 3683 de 2003 "Requisitos para obtenerla distinción. Modificar el artículo 17 "Procedimiento” (E. P. D. L. R. DE COLOMBIA, 2008).	“Todos los agentes públicos y privados generadores de energía eléctrica” (E. P. D. L. R. DE COLOMBIA, 2008).
Decreto 2331 de 2007	“Por el cual se establece una medida tendiente al uso racional y eficiente de energía eléctrica” (E. P. D. L. R. DE COLOMBIA, 2007).	“Edificios cuyos usuarios sean entidades oficiales de cualquier orden, de todas las bombillas incandescentes por bombillas ahorradoras específicamente Lámparas Fluorescentes Compactas (LFC) de alta eficiencia” (E. P. D. L. R. DE COLOMBIA, 2007).
Modificatorio del decreto 3683 de 2003-2005	“Por el cual se reglamenta la Ley 697 de 2001 y se crea una Comisión Intersectorial” (Ministerio de Minas y Energía-MME, 2003).	“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 para facilitar la ejecución de dichas políticas” (Ministerio de Minas y Energía-MME, 2003).

Fuente: Elaboración propia.

## 6.4 Alternativas tecnológicas a través de comparaciones y estudio económico-financiero de los sistemas

### 6.4.1 Dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico autónomo

Para el dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico se sigue los siguientes 11 pasos que muestra la Tabla 6-3:

Tabla 6-3: Pasos para dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico autónomo.

1. Analizar elementos de consumo, potencias y utilización de los mismos.
2. Cálculo de la energía total requerida diariamente.
3. Cálculo de las Horas Sol Pico (HSP).
4. Determinar el factor global de rendimiento de la instalación.
5. Cálculo de la energía que debe recibir el acumulador.
6. Cálculo de la capacidad del acumulador.
7. Cálculo de la potencia del generador fotovoltaico.
8. Cálculo del regulador.
9. Cálculo del inversor.
10. Cálculo de la sección de los conductores.
11. Cálculo de los elementos de protección.

- Analizar elementos de consumo, potencias y utilización de los mismos

Esta información se toma del análisis de subsistencia determinado en el apartado

#### 6.1.1.

- Cálculo de la energía total requerida diariamente

El consumo diario es de 1712 wh/día. Para el cálculo de la energía total ( $E_T$ ) los consumos en la instalación fotovoltaica pueden clasificarse en tres grupos:

Solo en corriente continua (CC):  $E_T = E_{CC}$

Solo corriente alterna (CA):  $E_T = E_{CA}$

Mixto (CC + CA) =  $E = E_{CC} + \frac{E_{CA}}{\eta_{Inv}}$

Donde:

$\eta_{Inv}$  = Rendimiento del inversor.

En el caso de que solo sean consumos en CC, o en CA, el rendimiento  $\eta_{Inv}$  se aplicará en el momento de calcular el rendimiento total de la instalación R. Este valor oscilará entre 1 para consumos en CC y hasta 0,8 para consumos en CA. Para este proyecto no se considera consumo en corriente continua (CC). Entonces la energía total equivale a:

$$E_T = E_{CA}$$

$$E_T = 1712 \text{wh/dia}$$

- Cálculo de las Horas Sol Pico (HSP).

Definida la demanda energética, queda analizar la potencia recibida del Sol para calcular el número de módulos fotovoltaicos necesarios. Este concepto de Hora Sol Pico es necesario para poder realizar el cálculo del número de módulos FV. Como los datos técnicos de los módulos FV están referidos a una irradiancia de  $1.000 \text{ W/m}^2$ , se necesita saber a cuántas horas de una irradiancia constante (de  $1.000 \text{ W/m}^2$ ) corresponde la irradiación diaria en  $\text{kWh/m}^2$ . En el apartado 6.2 se determinó la irradiación global horizontal media diaria anual de la subregión alta, mínima de  $5,0 \text{ Kwh/m}^2$  y máxima de  $6,0 \text{ Kwh/m}^2$ . En este caso se utiliza el valor mínimo que se presenta. Entonces:

$$(1000 \text{ w/m}^2 = 1 \text{ Kw/m}^2)$$

$$(5 \text{ Kwh/m}^2)/(1 \text{ Kw/m}^2) = 5 \text{ HSP}$$

- Determinar el factor global de rendimiento de la instalación.

R es el parámetro de rendimiento global de la instalación fotovoltaica, definido como:

$$R = (1 - K_B - K_C - K_V) * (1 - K_A * N/P_D)$$

Donde la Tabla 6-4 muestra los valores de los coeficientes que conforman el parámetro de rendimiento global.

Tabla 6-4: Coeficientes que conforman el parámetro de rendimiento global.

Kb: coeficiente de pérdidas por rendimiento del regulador.	0,05: en sistema que no demanden descargas intensas.
	0,01: en sistemas con descargas profundas.
Kc: Coeficiente de pérdidas en el convertidor.	0,05 para convertidores senoidales puros, trabajando en régimen óptimo.
	0,1 en otras condiciones de trabajos, lejos del óptimo.
Kv: Coeficiente de pérdidas varias.	Agrupar otras pérdidas como (rendimiento de red, efecto joule, etc.).
	0,05-0,15 como valores de referencia.
Ka: Coeficiente de auto descarga diario	0,002 para batería de baja auto descarga Ni-Cd.
	0,005 para baterías estacionarias de Pb-acido (las más habituales).
	0,012 para baterías de alta auto descarga (arranque de automóviles).
N: Número de días de autonomía de la instalación.	Serán los días que la instalación deba operar bajo una irradiación mínima (días nublados continuos), en los cuales se va consumir más energía de la que el sistema fotovoltaico va ser capaz de generar: 4-10 días como valores de referencia.
Pd: Profundidad de descarga diaria de la batería.	Esta profundidad de descarga no excederá el 80% (referida a la capacidad nominal del acumulador) ya que la eficiencia de este decrece en gran medida con ciclos de carga-descarga muy profundo.

Entonces:

$$R = (1 - K_B - K_C - K_V) * (1 - K_A * N / P_D)$$

$$R = (1 - 0.1 - 0.05 - 0.1) * (1 - 0.005 * 1 / 0.7)$$

$$R = 0.74$$

- Cálculo de la energía que debe recibir el acumulador

Fijado el factor de rendimiento de la instalación y conocida la energía total teórica requerida en 24 horas, se obtiene la energía real necesaria (E) que debe recibir el acumulador instalado.

$$E = \left( \frac{E}{R} \right) = \left( \frac{1712wh}{0.74} \right) = 2313.5 wh$$

- Cálculo de la capacidad del acumulador

Como primera medida se calcula la capacidad útil del acumulador:

$$C_u = \left( \frac{E * N}{V_{NS}} \right)$$

$C_U$  = Capacidad útil

$E$  = Energía que debe recibir el acumulador diariamente

$N$  = Número de días de autonomía

$V_{NS}$  = Voltaje nominal de la instalación

$$C_u = \left( \frac{2313.5 \text{ wh} * 1}{24V} \right) = 96.395Ah$$

Ahora bien, la capacidad del acumulador está dada por:

$$C = \left( \frac{C_u}{P_d * K_T} \right) = \left( \frac{96.395Ah}{0.7 * 0.94} \right) = 146.496Ah$$

Donde:

$C$  = Capacidad total

$C_U$  = Capacidad útil disponible

$P_D$  = porcentaje de capacidad disponible

$K_T$  = Factor de corrección portemperatura.

$K_T = 1 - (\Delta T / 160)$ . Donde  $\Delta T$  la diferencia de  $T^a$  entre  $20^0$  y la mínima  $T^a$  de trabajo ( $10^0$ ).

El número de acumuladores en serie  $A_s$  se determina en función de la tensión nominal del sistema  $V_{NS}$  y de la tensión nominal del acumulador elegido  $V_{NA}$

$$A_s = \left( \frac{V_{NS}}{V_{NA}} \right) = \frac{24V}{12V} = 2 \text{ elemento}$$

Se ha seleccionado un voltaje nominal del acumulador de 12 voltio, el cual trabaja muy bien con sistemas monoblock y la capacidad calculada.

El número de grupos de acumuladores en paralelo, se determina como:

$$A_p = \left( \frac{C}{C_{NA}} \right) = \frac{146.496Ah}{150Ah} = 0.9766 \text{ elemento en paralelo}$$

En este cálculo se busca un valor de capacidad nominal de la batería, divisor de la capacidad, para que arroje los mínimos elementos en paralelo. El número total de acumuladores viene dado por la siguiente ecuación:

$$A_T = A_s * A_p = 2 * 0.9766 = 1.953$$

Se ha considerado a efecto de diseño, un banco de batería de 150 Ah. A partir de esta capacidad calculada, características eléctricas y catálogos se ha seleccionado el equipo comercial más próximo en prestaciones, dentro de la categoría de Plomo-Acido el KBL121500 12V 150Ah (10hr) (Ver anexo 1).

- Cálculo de la potencia del generador fotovoltaico

Partiendo de la energía diaria que debe recibir el acumulador, se procede al cálculo de la energía diaria que debe suministrar el generador fotovoltaico. Se debe tener en cuenta que entre el generador fotovoltaico y el acumulador está situado el regulador, por lo que se tiene en cuenta el rendimiento del mismo.

$$E_G = E / \eta_R = 2313.5 \text{ Wh} / 0.9 = 2570.55 \text{ Wh}$$

Donde:

$E_G$  = energía diaria que debe producir el generador FV

$E$  = energía diaria que debe recibir el acumulador

$\eta_R$  = rendimiento del regulador. En este caso tomamos 0,9

La potencia nominal necesaria en el generador fotovoltaico es la potencia (en  $W_P$ ) que se debe instalar como mínimo para que, en función de las HSP disponibles, proporcione la energía diaria que se requiere. Para este cálculo se tiene en cuenta el rendimiento de los módulos fotovoltaico, que por suciedad de la cara activa, pérdidas por reflexión en incidencias muy oblicuas y por tolerancias difícilmente valorables se puede considerar de 0,8 a 0,9.

$$P_N = \frac{E_G}{HSP * \eta_G} = 2570.55 \frac{\text{Wh}}{5 * 0.9} = 571.23 \text{ W}$$

Donde:

$E_G$  = energía diaria que debe producir el generador FV

$\eta_G$  = rendimiento del generador FV

El número de módulos en serie del generador fotovoltaico se determina en función de la tensión nominal de la instalación y la tensión nominal del módulo elegido y viene dado por la siguiente ecuación:

$$M_S = V_{NS}/V_{NM} = 24V/24V = 1 \text{ Modulo}$$

Donde:

$M_S$  = Número de módulos fotovoltaico conectados en serie

$V_{NS}$  = Tensión nominal del sistema

$V_{NM}$  = Tensión nominal del módulo elegido, en este caso del ASTRALX280-P60.

En el momento de realizar este cálculo se elegirá el módulo a utilizar.

El número de ramas en paralelo del generador fotovoltaico se calcula en función de la potencia nominal del generador, el número de módulos en serie y la potencia pico del módulo elegido.

$$M = \frac{PN}{P} = 571.23 \frac{W}{1*280W} = 2 \text{ ramas}$$

Donde:

$M_P$  = Número de módulos FV conectados en paralelo

$P_N$  = Potencia nominal del generador FV

$M_S$  = Número de módulos conectados en serie por rama

$P_P$  = Potencia pico del módulo utilizado, en este caso del ASTRALX280-P60, 280

W.

El número total de modulo y potencia pico instalada viene determinado por:

$$M_T = M_S * M_P = 1 * 2 = 2 \text{ módulos ASTRALX280 - P60, 280 W - 24V}$$

Donde:

$M_S$  = Número de módulos conectados en serie por rama

$M_P$  = Número de ramas conectadas en paralelo

Y la potencia pico instalada ( $P_{NI}$ ) es:

$$P_{NI} = M_T * P_P = 2 * 280W = 560 W_P$$

Se ha considerado a efecto de diseño, un número de paneles de 2. En este caso según calidad, precios, características eléctricas y apoyo en catálogos se escogió el módulo solar policristalino ASTRALX280 de 280 W - 24V (Ver anexo 1). Para evitar que el grupo generador fotovoltaico sea muy pequeño con respecto al banco de acumuladores calculados, la intensidad de corto circuito del generador fotovoltaico debe ser mayor o igual que la capacidad del acumulador dividida por 25.

$$I_{SCG} = I_{SC} * M_P = 9.23A * 2 = 18.46A$$

$$C/25 = 146.496 Ah / 25 = 5.895A$$

Donde:

$I_{SCG}$ : Corriente de corto circuito del generador

$I_{SC}$ : Corriente de cortocircuito del módulo

$C$ : Capacidad del acumulador

$M_P$ : Módulos en paralelos

- Cálculo del regulador

Para determinar las características eléctricas del regulador se debe conocer los siguientes parámetros:

$I_P$ : Corriente pico del generador fotovoltaico

$I_C$ : Intensidad total de consumo en corriente continua (No se considera en el cuadro de carga).

Con base a los parámetros anteriores se calcula el regulador con la siguiente fórmula:

$$I_{PG} = M_P * I_P = 2 * 8.77A = 17.54 A$$

Es conveniente sobredimensionarlo aproximadamente un 25% para un mejor funcionamiento, es decir,

$$I_R = I_{PG} * 1.25 = 17.54 A * 1.25 = 21.9A - 24V$$

$I_R$ : Intensidad de entrada del regulador

Se ha considerado a efecto de diseño un regulador de 20 A. A partir de la capacidad calculada, características eléctricas y catálogos. Se optó por el regulador solar PC1500B-10-20 de 20A - 24V (Ver anexo 1).

- Cálculo del inversor

Para el cálculo del inversor es importante definir los siguientes parámetros:

Tensión nominal de entrada: En este caso 24 V.

Tensión nominal de salida: 110 V / 60 Hz (onda senoidal).

Rendimiento:  $\eta = 0,8 \div 0,9$  (en función del modelo elegido).

Potencia nominal: Potencia de salida /  $\eta$

Para determinar la potencia nominal del inversor, se debe tener en cuenta la capacidad en potencia y cantidad de los equipos mostrado en el cuadro de carga de subsistencia. Esa potencia equivale a 739W, ver apartado 6.1.1. Con el dato anterior, la potencia nominal del inversor se calcula con la siguiente formula:

$$P_{NI} = \frac{P_S}{\eta} = \frac{739W}{0,9} = 821,11 \text{ W}$$

Se ha considerado a efecto de diseño un inversor de 1000W. A partir de la capacidad calculada, características eléctricas y catálogos. Se opto por el inversor de onda pura NV - P1000, de 1000W - 110VAC - 24V (Ver anexo 1).

- Cálculo de la sección de los conductores y elementos de protección

Tramo 1. Generador - Regulador:

Datos:

$$l = 20 \text{ m}$$

$$I_{PG} = 17.54 \text{ A}$$

$$\Delta V = 3 \% \rightarrow 24 \text{ V} \cdot 0,03 = 0,72 \text{ V}$$

Conductores de cobre:  $\delta = 56$

$$S = 2 * I_{PG} * \frac{l}{\delta} * \Delta V = 2 * 17.54 \text{ A} * \frac{20\text{m}}{56} * 0.72\text{V} = 17.4 \text{ mm}^2$$

Se debe aproximar a un valor comercial, en este caso  $20 \text{ mm}^2$ . Los elementos de protección para esta línea será un fusible de 17.54 A, se aproxima a un valor comercial de 20 A.

Tramo 2. Regulador - Acumulador:

Datos:

$$l = 3 \text{ m}$$

$$I_{PG} = 17.54 \text{ A}$$

$$\Delta V = 1 \% \rightarrow 24 \text{ V} \cdot 0.01 = 0.24 \text{ V}$$

Conductores de cobre:  $\delta = 56$

$$S = 2 * I_{PG} * \frac{l}{\delta} * \Delta V = 2 * 17.54 A * \frac{3m}{56} * 0.24V = 7.83 mm^2$$

Se debe aproximar a un valor comercial, en este caso  $10 mm^2$ . Los elementos de protección para esta línea será un fusible rápido de 17.54 A, se aproxima a un valor comercial de 20 A.

Tramo 3. Acumulador - Inversor:

Datos:

$$l = 3 m$$

$$I_{CC} = 34.21 A, I_{CC} = P_{INV} / V_{NS} = 821.11 W / 24V = 34.21 A$$

$$\Delta V = 3 \% \rightarrow 24 V \cdot 0.03 = 0.72 V$$

Conductores de cobre:  $\delta = 56$

$$S = 2 * I_{PG} * \frac{l}{\delta} * \Delta V = 2 * 34.21 A * \frac{3m}{56} * 0.72V = 5.090 mm^2$$

Se debe aproximar a un valor comercial, en este caso  $5.090 mm^2$ . Los elementos de protección para esta línea pequeño interruptor automático de 34.21 A, se aproxima a un valor comercial de 40 A.

Tramo 4. Inversor – Cuadro CA (cargas en CA):

Datos:

$$l = 2 m$$

$$I_{CA} = 7.46 A, I_{CA} = P_{INV} / V_{NS} = 821.11 W / 110V = 7.46 A$$

$$\Delta V = 3 \% \rightarrow 110 V \cdot 0.03 = 3.3 V$$

Conductores de cobre:  $\delta = 56$

$$S = 2 * I_{PG} * \frac{l}{\delta} * \Delta V = 2 * 7.46 A * \frac{2m}{56} * 3.3V = 0.242 mm^2$$

Se debe aproximar a un valor comercial, en este caso  $0.242 mm^2$ . Los elementos de protección para esta línea son: Interruptor general automático de 10A e interruptor diferencial de 10A / 20 A.

- Protecciones complementarias

Será necesario crear un conductor de protección o toma de tierra, que partiendo del mismo inversor (borna creada a tal efecto), recorrerá todos los circuitos de consumo en CA. Será necesario poner a tierra todas las estructuras metálicas, soportes del generador, etc., mediante la pertinente pica, situada lo más cerca del elemento a proteger. En zonas

sometidas a frecuentes descargas de rayos: Es conveniente colocar unos descargadores de sobretensión para evitar daños en los aparatos receptores. También, si la acometida desde el generador FV es subterránea, de una gran distancia y a la intemperie, se debería realizar en una canalización metálica puesta a tierra. A partir de la información obtenida con el procedimiento anteriormente especificado se identificaron los componentes según calidad, precios, características eléctricas y apoyadas en catálogos, para luego realizar el presupuesto del sistema, tal como se observa en la Tabla 6-8.

Tabla 6-8. Presupuesto aproximado del sistema de energía fotovoltaico alta Guajira.

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Unitario \$</b>	<b>Costo Total \$</b>
Panel solar policristalino 280 W_P de 24V	2	427.000,00	854.000,00
Batería de ciclo profundo 12V - 150 Ah	2	1.060.800,00	2.121.600,00
Regulador de carga 24V – 20 A	1	160.500,00	160.500,00
Inversor de onda pura NV - P1000, de 1000W - 110VAC - 24V	1	674.000,00	674.000,00
Tablero de control o convergencia eléctrico	1	90.000,00	90.000,00
Elementos de protección (Fusibles, Interruptores )	4	25.000,00	100.000,00
Varilla Polo A Tierra Cobre 14"x2.40 Metros + Conector	1	100.000,00	100.000,00
Cableado	60	1.500,00	90.000,00
Total sin instalación			4.190.100,00
Importe aproximado instalación (10%)			419.010,00
Total de la Inversión, sin componente de remuneración de inversión (\$)			4.609.110,00
componente de remuneración de inversión \$ 439,75 /Wp-mes, (2x280Wp)			246.260,00
Total con componente de remuneración de inversión			4.362.850,00
Ingreso ahorro energía eléctrica			1.516.174,28

Fuente: Elaboración propia.

Las estructuras de soporte deben ser capaces de resistir, como mínimo, 10 años de exposición a la intemperie sin corrosión o fatiga apreciables. Las estructuras de soporte deben soportar vientos de 120 km/h, como mínimo. Existen estructuras de soporte

estáticas, y de seguimiento, aunque las primeras son generalmente preferibles a las de seguimiento. Se pueden utilizar diferentes tipos de materiales para las estructuras de soporte, entre ellos acero inoxidable, aluminio, hierro galvanizado, madera tratada, etc. Se considera la ubicación de los módulos solar en el techo de la vivienda, lo cual es importante definir los mismo según la zona.

Para el análisis comparativo, con presupuestos definidos se prosiguió hacer los estados económicos con el flujo de caja y los principales indicadores de rentabilidad que facilitan la toma de decisiones al evaluar proyectos, VAN y TIR. Para determinar la potencia del generador, se debe tener en cuenta la capacidad en potencia y cantidad de los equipos mostrado en el cuadro de carga de subsistencia. Esa potencia equivale a 739W, con un margen de 1.25 se tiene 923.75 W se requiere un generador de aproximadamente 1kw. Se parte del hecho que si la zona obtuviera la electricidad con un generador diésel de rendimiento de 0,4, como 1 kWh equivale a la energía de 0,09524 litros de gasoil, el costo sería de:

$$\text{Ahorro gas - oil} = \left( \frac{0.09524 * \$ 2168,59}{0.4} \right) * 128.16 \text{kWh} +$$

\$ 1.450.000,00 ( Amortizacion y mantenimiento = \$ 1.516.174,59 /año, que es el ahorro obtenido por año en la energía eléctrica a generar para el consumo para la zona alta de la Guajira. En la Tabla 6-9 se muestran los cálculos con la información específica considerada para la planta diésel. En la Tabla 5.25 se observa el estado económico y en la Figura 6-5 se ilustran los indicadores del VAN y TIR.

Tabla 6-9: parámetros considerados para la pequeña planta diésel.

<b>Costo total del combustible \$/gal sin transporte</b>	<b>galón</b>	<b>litros</b>	<b>un cuarto de galón cada 200 – 250 horas</b>	<b>horas al mes 30 días</b>	<b>45 días trabaja 270 horas</b>		56,78115	\$	1.308.405,20	\$	10.467.241,60
	1	3,78541	0,9463525	180	8 veces al año				454,2492	\$	10.467.241,60
				\$ 5.760,74	\$ 46.085,90			\$	86.411,06		
	<b>Costo Total Lubricante incluido transporte</b>	<b>Costo Total Combustible incluido transporte</b>	<b>Costo transporte \$/Galón</b>	<b>costo del litro lubricante incluido transporte</b>	<b>costo del litro combustible incluido transporte</b>	<b>capacidad del tanque litro</b>	<b>capacidad del tanque galones</b>				
\$ 7.346,22	\$ 23.042,95	\$ 12.299,22	\$ 4.953	\$ 6.087,31	\$ 3.249,11	15	3,96258				
\$ 8.209,00	\$ 2.168,59	<b>costo del litro de combustible incluido el transporte</b>						<b>tasa de descuento i</b>	<b>tasa inflación</b>	<b>incremento de costo de Mat. Sistema solar</b>	<b>mantenimiento del sistema 2% de la inversión</b>
<b>Capacidad de la planta Kwh</b>	<b>costo total incluyendo Mant-Amortización</b>	\$ 3.249,11	<b>costo amortización sin costo de mantenimiento</b>	<b>equivalencia de energía en litros de gasoil</b>	<b>Costo de mantenimiento</b>			0,1	0,05	0,06	0,02
1	\$ 1.516.174,28	\$ 516,34	\$ 66.174,28	0,09524	\$ 1.450.000,00						

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6-5: estado económico sistema solar fotovoltaico zona alta Guajira.

Inversion inicial	\$ 6.672.850,00										
Ahorro gas-oil	\$ 1.516.174,28										
Mantenimiento (2% Inversion)	\$ 133.457,00										
AÑO	Inv. Inicial	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos		1.516.174,28	1.591.982,99	1.671.582,14	1.755.161,25	1.842.919,31	1.935.065,28	2.031.818,54	2.133.409,47	2.240.079,94	2.352.083,94
Mantenimiento (2% Inversion)		-133.457,00	-141.464,42	-149.952,29	-158.949,42	-168.486,39	-178.595,57	-189.311,31	-200.669,98	-212.710,18	-225.472,79
Inversión	-6.672.850,00										
cash-flow	-6.672.850,00	1.382.717,28	1.450.518,57	1.521.629,86	1.596.211,83	1.674.432,93	1.756.469,71	1.842.507,24	1.932.739,49	2.027.369,76	2.126.611,15
Pay-back	-6.672.850,00	-5.290.132,72	-3.839.614,15	-2.317.984,29	-721.772,46	952.660,47	2.709.130,18	4.551.637,41	4.256.696,00	6.284.065,76	7.360.676,91
Pay-back = 3 años											
AÑO		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Ingreso		2.469.688,14	2.593.172,54	2.722.831,17	2.858.972,73	3.001.921,37	3.152.017,44	3.309.618,31	3.475.099,22	3.648.854,18	3.831.296,89
Mantenimiento		-239.001,16	-253.341,23	-268.541,70	-284.654,21	-301.733,46	-319.837,47	-339.027,71	-359.369,38	-380.931,54	-403.787,43
cash-flow		2.230.686,98	2.339.831,31	2.454.289,47	2.574.318,52	2.700.187,91	2.832.179,97	2.970.590,59	3.115.729,85	3.267.922,64	3.427.509,46
Pay-back		9.591.363,89	11.931.195,20	14.385.484,67	16.959.803,19	19.659.991,10	22.492.171,07	25.462.761,66	28.578.491,51	31.846.414,15	35.273.923,61
VAN	\$ 9.945.296,69										
TIR 20 años	27%		TIR 5 años	7%		TIR 10 años	22%		TIR 15 años	26%	

Fuente: Elaboración propia.



- Síntesis del análisis económico

El sistema solar fotovoltaico contempla una inversión inicial de \$ 4.362.850,00, y la planta diésel un Ahorro gas-oil \$ 1.516.174,28. Se considera que el ciclo de vida de las instalaciones solar fotovoltaica es de 20-25 años, el incremento estipulado de costo (incremento de costos de 6% anual en mantenimiento y un aumento de ingresos anual de 5%. Según el flujo de caja el proyecto tiene un VAN de \$ 9.945.296,69 y una TIR de 7% a 5 año. Lo anterior indica que es factible la implementación de este tipo de sistema de energía renovable.

Incluso haciendo el análisis del banco de acumuladores que presentan una vida útil con su respectivo mantenimiento, de 8 años. Es decir, en esa fecha se cuenta con más del 50% de la inversión inicial. Con esta proyección considerar el panel con su baja eficiencia, aun así se cuenta un margen muy favorable.

En el sistema el banco de baterías se proyecta con una vida útil de 8 años, según el fabricante y un adecuado mantenimiento de la misma. A partir de lo anterior el flujo en el año ocho sufre una modificación, considerando que el valor de las baterías en su inicio es de \$2.121.600,00 y considerando una variación de la inflación según el DANE, para efecto de cálculos del 5% el nuevo costo quedaría en \$ 2.227.680. Considerando la nueva inversión, se observa que el valor del Pay-Back pasaría a \$4.256.696,00. En el sistema la estructura se proyecta con una vida útil de 10 años, según el fabricante y un adecuado mantenimiento de la misma. A partir de lo anterior el flujo en el año 10 sufre una modificación, considerando que el valor de la estructura en su inicio es de \$1.000.000,00 y considerando una variación de la inflación según el DANE, para efecto de cálculos del 5% el nuevo costo quedaría en \$ 1.050.000,00 Considerando la nueva inversión, se observa que el valor del Pay-Back pasaría a \$7.360.676,91. Los dos anteriores procesos se repiten para los años 16 y 20.

## 7. Conclusiones

Como resultado de este trabajo se identificó un sistema solar fotovoltaico a través de la comparación con un generador diésel de 1KW. Luego de tener los dimensionamientos se realizaron los estudios financieros, presupuesto, flujos de caja y valor actual neto. Se observa que el sistema solar fotovoltaico es favorable para aplicarlo en la subregión alta departamento de la Guajira según los valores positivos del VAN 7%. La recuperación de la inversión se obtiene en 5 años. La importancia de reconocer las necesidades del consumo de energía eléctrica, a través del análisis de consumo básico de subsistencia, para estimar el consumo de energía promedio mensual la zona del Departamento de la Guajira, asumiendo medidas de ahorro y uso eficiente, estas medidas tienen que ver con la sustitución total de algunos electrodomésticos por unos de mejor tecnología y más ahorradores.

Estos consumos promovidos por el PERS- Guajira son un importante referente para unificar criterios de proyección en los sistemas de energías alternativas. Se obtuvo el diagnóstico de radiación solar gracias a la información secundaria encontrada en la (UPME), IDEAM y atlas de radiación solar. Este diagnóstico también muestra el interesante potencial que tiene el departamento de la Guajira en irradiación solar. Este potencial marca una diferencia muy grande con respecto a las otras zonas del país, es decir, no hay excusa para que haya viviendas sin el servicio de energía eléctrica utilizando sistemas solares fotovoltaicos. En Colombia se cuenta con un marco jurídico para la implementación de estos tipos de sistemas bastante amplio, donde se promueve e incentiva la implementación de los mismos. Entre ellos el componente de remuneración de la inversión en sistemas solares fotovoltaicos.

## 7.1 Recomendaciones

- Se recomienda analizar con más detalles la ley 1715 y la resolución 030 del 2018, para la autogeneración y distribución del exceso de energía y la venta de la misma.

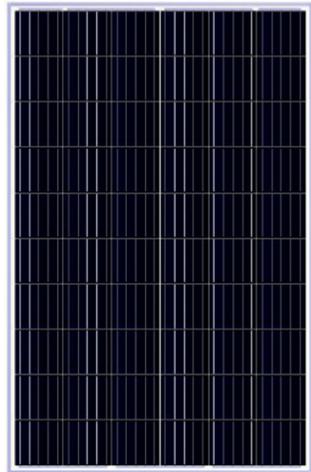
## Referencias Bibliográficas

- [1] Méndez Muñiz, J. M., Cuervo García, R., & BUREAU VERITAS FORMACIÓN. (2011).
- [2] IPSE. (2014). *SOLUCIONES ENERGÉTICAS PARA LAS ZONAS NO INTERCONECTADAS DE COLOMBIA*.
- [3] Instituto de Planeación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas (IPSE), (agosto 2010). Presentación Oficial IPSE. Disponible en: [http://ipse.gov.co/index.php?option=com\\_content&view=article&id=86&Itemid=521&lang=es](http://ipse.gov.co/index.php?option=com_content&view=article&id=86&Itemid=521&lang=es), recuperado: 3 de marzo de 2011.
- [4] León Vargas, F., García Jaramillo, M., & Krejci, E. (2019). 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*, 130, 1082–1091. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.06.087>
- [5] Aguilera J, Hontoria L, Fundamentos, dimensionado y aplicaciones de la Energía solar fotovoltaica. Dimensionado de sistemas fotovoltaicos Autónomos. Volumen II. 2004. Ed. Ciemat.
- [6] Vela N. Comportamiento y durabilidad de baterías de plomo-ácido en Sistemas fotovoltaicos autónomos. 2006. Tesis doctoral.
- [7] Perales Benito, Tomás el Universo de las Energías Renovables, gran vía de les corts catalanes, 59408007 Barcelona, 2014, Marcombo, s.a. (reimp. julio de 2015).
- [8] Harper, Gilberto Enríquez el ABC de las instalaciones eléctricas en sistemas eólicos y Fotovoltaico, México, 2012, Limusa.
- [9] Bayod Rújula, Ángel Antonio, sistemas fotovoltaicos: energías renovables, Zaragoza, España, 2009, Prensas Universitarias de Zaragoza.
- [10] Jutglar Banyeres, Lluís, generación de energía solar fotovoltaica, Barcelona, España, 2012, Marcombo.
- [11] Botella, M. (2017). Las plantas eléctricas, un gran respaldo. *Efecto de La Salinidad Sobre Las Plantas*, 2. <http://www.oupe.es/es/mas-areas-educacion/secundaria/ciencias-de-la->
- [12] Blandino Alemán, J. de los A., & Zúniga Gómez, M. M. (2011). *Diseño de sistema eléctrico con planta eléctrica de emergencia controlado por PLC en los laboratorios de computación pabellón 11 y electrónica pabellón 21 de la facultad de ciencias e ingenierías de la UNAN-MANAGUA*. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA 1.
- [13] C. Eduardo, “El Estudio de Factibilidad del Proyecto,” *proyectum*, 2010. <https://www.proyectum.com/sistema/blog/el-estudio-de-factibilidad-del-proyecto/>.
- [14] Darío, B. C. H. (2020). *¿Un proyecto factible es un proyecto viable? Evaluaciones para determinarlo*.
- [15] CREG. (2008a). *Resolución 077 de 1997*. 1–14. <http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/Indice01/Resolución-1997-CRG77-97#Art:10?OpenDocument>
- [16] UPME. (n.d.). *SISTEMA DE INFORMACION DE PERS - SIPERS*. <https://sig.upme.gov.co/SIPERS>
- [17] Ministerio de Minas y Energía, *Guía Para Elaboración De Un Plan*. 2015.
- [19] Upme. (2010). Plan de energía nacional; Análisis y revisión de los objetivos de política energética colombiana de largo plazo y actualización de sus estrategias de desarrollo. In *Unidad de Planeacion Minero Energetica*.
- [20] CONSORCIO ENERGÉTICO CORPOEMA. (2010). DIAGNÓSTICO DE LAS FNCE EN COLOMBIA. *Diciembre 30*, 2.
- [21] CONGRESO DE LA REPÚBLICA, “LEY 1665 DE 2013,” no. 51, 2013.
- [22] C. D. LA REPÚBLICA, “LEY 1715 DE 2014,” no. 51, pp. 1–18, 2014.
- [23] E. C. de Colombia, “LEY 697 DE 2001,” vol. 7, no. 51, p. 6, 2001.
- [24] E. C. DE COLOMBIA, “LEY 142 DE 1994 (julio,” no. 51, pp. 1–23, 2021.
- [25] E. C. DE COLOMBIA, “LEY 788 DE 2002 (diciembre,” no. 51, pp. 1–26, 2002.
- [26] E. C. DE COLOMBIA, “LEY 629 DE 2000,” *Pap. Knowl. . Towar. a Media Hist. Doc.*, no. 51, pp. 1–20, 2000.
- [27] EL CONGRESO DE COLOMBIA, “LEY 164 DE 1994,” no. 51, pp. 1–20, 1994.

- [28] EL CONGRESO DE COLOMBIA, “LEY 143 DE 1994 (julio,” no. 51, pp. 1–15, 1994.
- [29] E. C. DE COLOMBIA, “LEY 855 DE 2003,” *Angew. Chemie Int. Ed.* 6(11), 951–952., no. 51, pp. 5–24, 2003.
- [30] C. D. LA REPÚBLICA, “LEY 1117 DE 2006,” *Pap. Knowl. . Towar. a Media Hist. Doc.*, no. 51, pp. 21–24, 2006.
- [31] Ministerio de Minas y Energía-MME, “Resolución 180660 de 2009,” vol. 2, no. 5, p. 255, 2009.
- [32] Ministerio de Minas y Energía-MME, “Resolución MME 181891 de 2008.” 2008.
- [33] M. D. M. Y. ENERGÍA, “RESOLUCION 180961 DE 2004,” vol. 2004, no. 45, p. 55, 2004, [Online]. Available: <http://eprints.uanl.mx/5481/1/1020149995.PDF>.
- [34] CREG, “Resolución CREG 074 de 1996.” 2009.
- [35] CREG, “Resolución Creg 0572009.” 2009.
- [36] CREG, “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.” 2008, [Online]. Available: [http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/2b8fb06f012cc9c245256b7b00789b0c/734deec84e462430525785a007a70f3/\\$FILE/Creg161-2008.pdf](http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/2b8fb06f012cc9c245256b7b00789b0c/734deec84e462430525785a007a70f3/$FILE/Creg161-2008.pdf).
- [37] Comisión de Regulación de Energía y Gas - CREG, “CREG 091 de 2007 - Formula tarifaria y costo unitario de prestación del servicio en ZNI.” p. 38, 2007, [Online]. Available

## **Anexo 1. Equipos principales**

ASTRALX280~285



EN POTENCIA DE SALIDA LINEAL

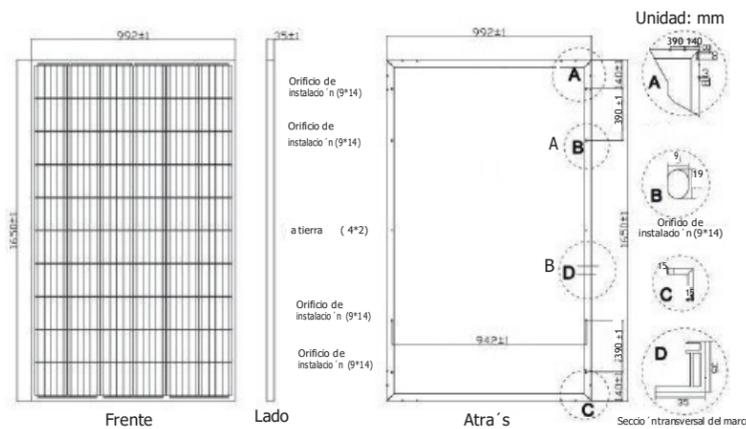


CONTRA DEFECTOS DE FABRICACIÓN

## CALIDAD CONFIABLE

- \* Tolerancia positiva(0~+3w)
- \* Ensamblado con los más estrictos controles de calidad

## DIMENSIONES

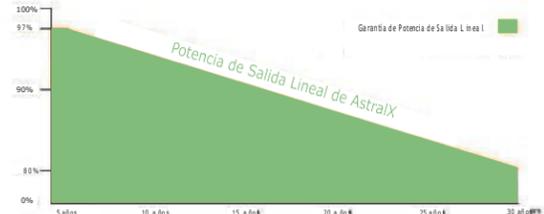


## VENTAJAS:

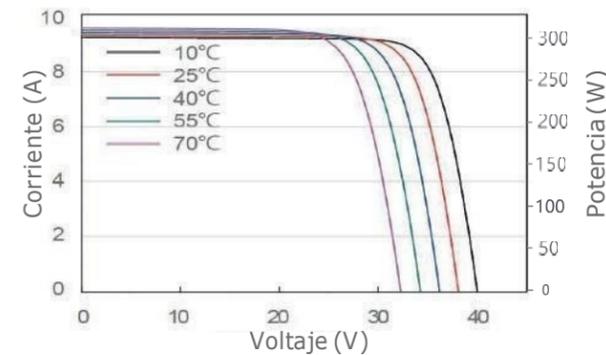
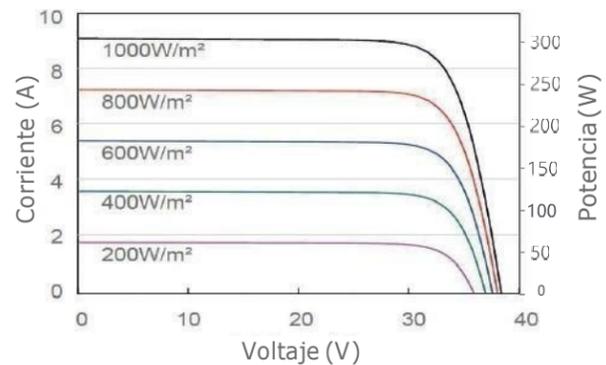
- Alta fiabilidad.
- Vidrio anti-reflejante que mejora la absorción de la luz y hace más fácil que se limpie con el agua de lluvia.
- Marco altamente resistente para resistir vientos de hasta 2,400Pa (130 km/h) y cargas de nieve de 5,400Pa (551 kg/m).
- Excelente rendimiento de potencia incluso en condiciones de poca luz.
- Excelente desempeño en las pruebas de corrosión de ambiente salino y amoniac.
- Excelente resistencia contra PID (degradación por potencia inducida, por sus siglas en inglés).
- Clasificación de células por corriente, esto permite reducir las pérdidas hasta en un 2%.
- Células con capacidad de recolección de corriente más uniforme, con esto se reduce la pérdida interna de corriente.

## GARANTÍA:

- 12 años contra defecto de fábrica
- 30 años de potencia de salida lineal



## CURVAS DE OPERACIÓN



## CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS STC

(Standard test conditions)

CÓDIGO	ASTRALX280-P60	ASTRALX285-P60
Potencia nominal (P <sub>máx</sub> )	280 W	285 W
Voltaje de circuito abierto (V <sub>oc</sub> )	39.13 V	39.24 V
Voltaje en P <sub>máx</sub> (V <sub>mp</sub> )	31.94 V	32.03 V
Corriente en cortocircuito (I <sub>sc</sub> )	9.23 A	9.37 A
Corriente en P <sub>máx</sub> (I <sub>mp</sub> )	8.77 A	8.90 A
Eficiencia	17.10%	17.41%
Tolerancia de potencia	0~+3%	
Coefficiente de temperatura de I <sub>sc</sub>	+0.060%/°C	
Coefficiente de temperatura de V <sub>oc</sub>	-0.300%/°C	
Coefficiente de temperatura de P <sub>máx</sub>	-0.400%/°C	
Especificaciones eléctricas STC	1000 W/m2 irradiancia, 25°C Tmódulo, AM 1.5, distribución espectral	

## CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS NOCT

(Nominal operating cell temperature)

CÓDIGO	ASTRALX280-P60	ASTRALX285-P60
Potencia nominal (P <sub>máx</sub> )	208 W	212 W
Voltaje de circuito abierto (V <sub>oc</sub> )	36.21 V	36.29 V
Voltaje en P <sub>máx</sub> (V <sub>mp</sub> )	29.39 V	29.46 V
Corriente en cortocircuito (I <sub>sc</sub> )	7.50 A	7.63 A
Corriente en P <sub>máx</sub> (I <sub>mp</sub> )	7.08 A	7.20 A
Especificaciones eléctricas NOCT	800 W/m2 irradiancia, 20°C Temperatura ambiente, velocidad del viento de 1 m/s	

## ESPECIFICACIONES MECÁNICAS

Tipo de células	Policristalina 156.75 x 156.75 mm
Peso (kg)	18.4 Kg
Dimensiones	1650 x 992 x 35 mm
Células en serie	60 (6 x 10)
Vidrio frontal	Vidrio templado 3.2 mm
	Aluminio anodizado

## CONDICIONES DE OPERACIÓN

Máximo voltaje del sistema	1500 Vcc
Rango de temperatura de operación	-40°C a 85°C
Valor máximo del fusible en serie	20 A
Máxima carga estática frontal (nieve)	5400 Pa (kg/m <sup>2</sup> )
Máxima carga estática posterior (viento)	2400 Pa (130 km/h)
Temperatura de funcionamiento nominal (NOCT)	45°C ± 2°C
Nivel de aplicación	Clase A



Modelo: PC1500B-60DU

## PC1500B Series PWM - Regulador carg solar

### Características:

- En intensidades 10A 20A 30A 40A 50A 60A.
- Pantalla LCD de fácil lectura.
- Operación sencilla por botones.
- Detección automática de voltaje del sistema.
- Algoritmo carga inteligente PWM.
- Protección ajustable carga-descarga.
- Compensación automática por temperatura.
- Selección de tecnología de batería.
- Protección de corriente inversa de batería.
- Desconexión de batería por bajo voltaje (LVD).
- Protección polaridad invertida en batería.
- Protección por sobre-voltaje.
- Puertos para carga USB en modelos hasta 40A.

### Introducción:

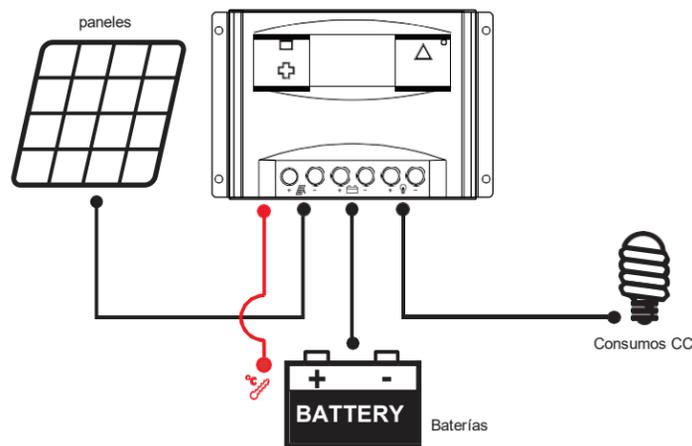
Este regulador solar de carga y descarga inteligente tiene una interfaz sencilla y visual gracias a su pantalla LCD de grandes dimensiones. Muchos parámetros de control se pueden ajustar con gran flexibilidad en función de nuestros requisitos.

### LCD Información Display

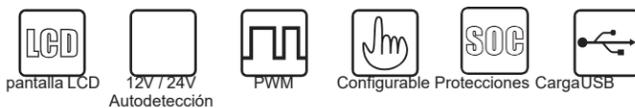


1. Terminal positivo fotovoltaico
2. Terminal negativo fotovoltaico
3. Terminal positivo batería
4. Terminal negativo batería
5. Terminal carga CC positivo
6. Terminal carga CC negativo
7. Pantalla LCD

### Conexión al sistema solar:



### Funciones:

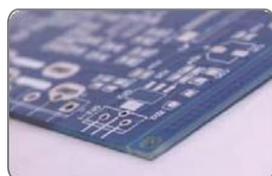


Nº	Pulsación	Función
5.	Corta	Siguiente visualización; Incremento mientras está en ajustes
	Larga ( ≥3 s)	Incremento continuo mientras está en ajustes
6.	Corta	Visualización previa; Decremento mientras está en ajustes
	Larga ( ≥3 s)	Decremento continuo mientras está en ajustes
7.	Corta	Interruptor consumos CC; Entrar configuración / guardar
	Larga ( ≥3 s)	Entrar/salir menú secundario

### Detallesinternos



Estabilidad, gran eficiencia, integración



Diseño de circuitería optimizado



SCM Diseño robusto y fiable



Materiales de gran calidad

### PC1500B SERIES Controladores



Modelos: PC1500B-10 y 20A



Voltaje trabajo: 12-24V Auto-detección  
Corriente carga: 10A y 20A  
Puertos USB: 5V, 1A x 2  
Tamaño LCD: 2.2"



Modelos: PC1500B-30 y 40A



Voltaje trabajo: 12-24V Auto-detección  
Corriente carga: 30A y 40A  
Puertos USB: 5V, 1A x 2  
Tamaño LCD: 2.2"



Modelos: PC1500B-50D / 5048D

Voltaje: 12-24V Auto-detección y modelo 48V  
Corriente carga: 50A  
Tamaño LCD: 2.6"



Modelos: PC1500B-60D / 6048D

Voltaje: 12-24V Auto-detección y modelo 48V  
Corriente carga: 60A  
Tamaño LCD: 2.6"

### Aplicación



Sistemas portátiles, embarcaciones & recreo



Aislada sistema solar casero



Granja solar de generación

Modelo		PC1500B-10-20		PC1500B-30-40		PC1500B-50-60		PC1500B-6048D		
Entrada	Voltaje FV	≤50V								
	Intensidad nominal	10A	20A	30A	40A	50A	60A	50A	60A	
Salida	Voltaje sistema	12/24V Auto								
	Desconexión por alto voltaje	16.00V x 1/ x 2/ x 3/ x 4 ( 0.5V )								
	Intensidad descarga nominal	10A	20A	30A	40A	50A	60A	50A	60A	
	Autoconsumo	≤13mA								
	Caída de tensión circuito carga	≤0.24V								
	Caída de tensión circuito descarga	≤0.10V								
	Modo de carga	PWM 4-etapas carga, absorción, flotación, equalización								
	Voltaje Carga Flotación	13.8V (13V~15V ) x 1/ x 2/ x 3/ x 4								
	Voltaje Carga Absorción	2 horas duración	14.4V (13V~15V ) x 1/ x 2/ x 3/ x 4							
	Voltaje Carga Equalización		14.6V (13V~15.5V ) x 1/ x 2/ x 3/ x 4							
Protección Bajo Voltaje	10.7V (10V~14V ) x 1/ x 2/ x 3/ x 4									
Reconexión Bajo Voltaje	12.6V (10V~14V ) x 1/ x 2/ x 3/ x 4									
Salida USB	5V, 1A x2				No tiene					
Características físicas	Sección cableado	≤6mm <sup>2</sup>	≤16mm <sup>2</sup>	≤16mm <sup>2</sup>	≤16mm <sup>2</sup>					
	Temperatura trabajo	-20°C~55°C								
	Tamaño (L x W x H)	188 x 95 x 46.5mm				196 x 111 x 54mm				
	Peso neto	355g				407g				



## KBL121500 12V 150Ah(10hr) - LONG LIFE

The rechargeable batteries are lead-lead dioxide systems. The dilute sulfuric acid electrolyte is absorbed by separators and plates and thus immobilized. Should the battery be accidentally overcharged producing hydrogen and oxygen, special one-way valves allow the gases to escape thus avoiding excessive pressure build-up. Otherwise, the battery is completely sealed and is, therefore, maintenance-free, leak proof and usable in any position.



### Battery Construction

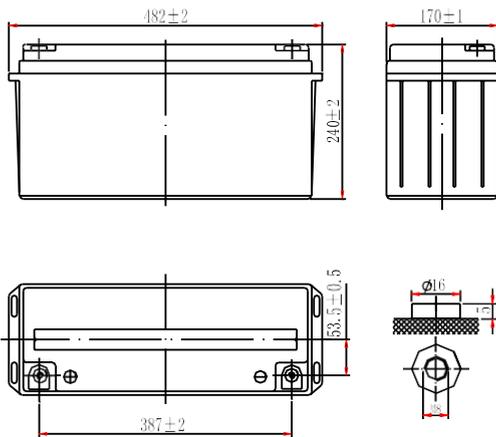
Component	Positive plate	Negative plate	Container	Cover	Safety valve	Terminal	Separator	Electrolyte
Raw material	Lead dioxide	Lead	ABS	ABS	Rubber	Copper	Fiberglass	Sulfuric acid

### General Features

- Absorbent Glass Mat (AGM) technology for efficient gas recombination of up to 99% and freedom from electrolyte maintenance or water adding.
- Not restricted for air transport-complies with IATA/ICAO Special Provision A67.
- UL-recognized component.
- Can be mounted in any orientation.
- Computer designed lead, calcium tin alloy grid for high power density.
- Long service life, float or cyclic applications.
- Maintenance-free operation.
- Low self discharge.

### Dimensions and Weight

Length(mm / inch)	482 / 19.0
Width(mm / inch)	170 / 6.69
Height(mm / inch)	240 / 9.45
Total Height(mm / inch)	240 / 9.45
Approx. Weight(Kg / lbs)	44.8 / 98.8



### Performance Characteristics

Nominal Voltage	12V
Number of cell	6
Design Life	10 years
Nominal Capacity 77°F(25°C)	
10 hour rate (15.0A, 10.8V)	150Ah
5 hour rate (24.5A, 10.5V)	122.5Ah
1 hour rate (103A, 9.6V)	103Ah
Internal Resistance	
Fully Charged battery 77°F(25°C)	3.1mOhms
Self-Discharge	
3% of capacity declined per month at 20°C(average)	
Operating Temperature Range	
Discharge	-20~60°C
Charge	-10~60°C
Storage	-20~60°C
Max. Discharge Current 77°F(25°C)	970A(5s)
Short Circuit Current	2800A
Charge Methods: Constant Voltage Charge 77°F(25°C)	
Cycle use	2.30-2.35VPC
Maximum charging current	40A
Temperature compensation	-30mV/°C
Standby use	2.23-2.27VPC
Temperature compensation	-20mV/°C

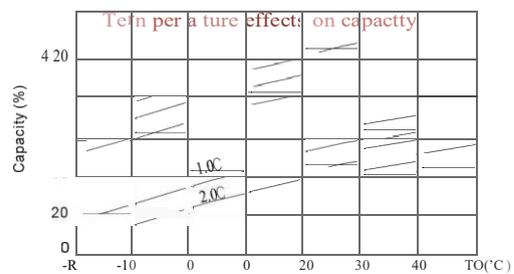
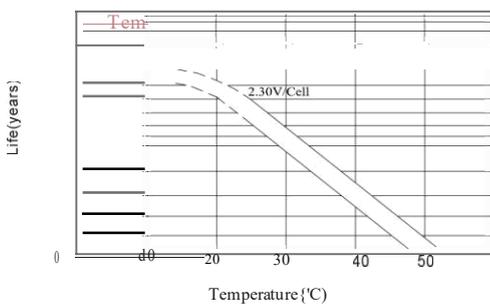
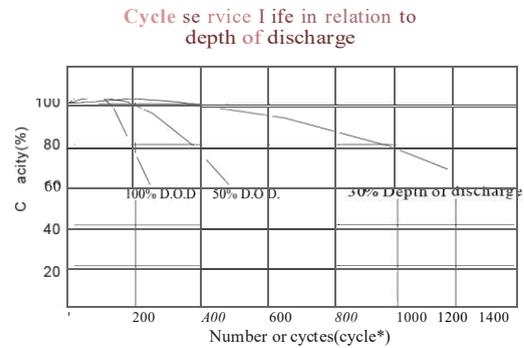
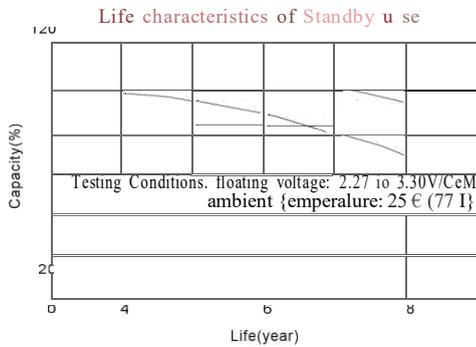
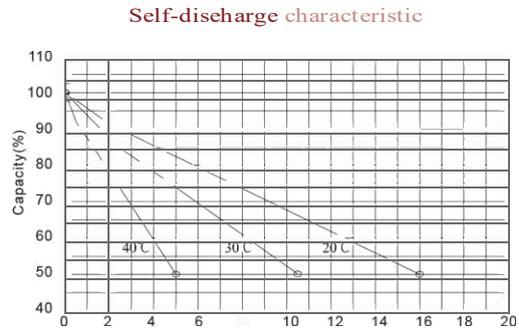
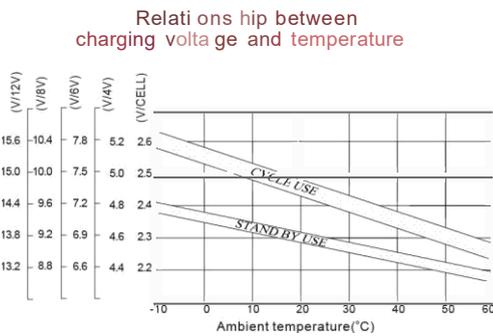
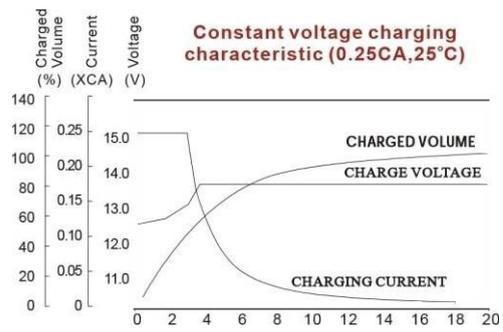
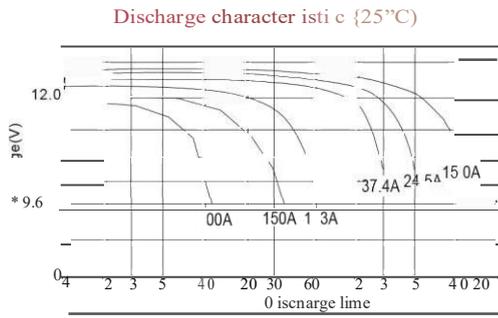
### Discharge Constant Current (Amperes at 68°F20°C)

End Point Volts/Cell	10min	15min	30min	1h	3h	5h	10h	20h
1.60V	340	283	186	103	42.9	27.6	15.4	8.0
1.65V	322	268	177	98.7	41.1	26.4	15.3	8.0
1.70V	303	254	167	94.1	39.3	25.3	15.2	7.9
1.75V	285	239	158	89.2	37.4	24.5	15.1	7.93
1.80V	274	230	153	87.2	36.7	23.7	15.0	7.88

### Discharge Constant Power (Watts at 68°F20°C)

End Point Volts/Cell	10min	15min	30min	45min	1h	2h	3h	5h
1.60V	605	505	329	241	186	109	79.2	53.7
1.65V	583	487	318	234	182	107	77.2	52.4
1.70V	560	470	308	227	178	104	75.2	51.0
1.75V	537	452	297	220	174	101	73.3	50.0
1.80V	515	435	286	212	170	97.6	71.3	48.8

(Note)The above characteristics data are average values obtained within three charge/discharge cycles not the minimum values.





Salida De Onda		Onda Pura				
Modelo		NV-P300	NV-P600	NV-P1000	NV-P2000	NV-P3000
Salida	Salida de Voltaje (W)	300	600	1000	2000	3000
	Energia Pico	600	1200	2000	4000	6000
	Frecuencia	60Hz				
	Carga de No Corriente	<0.5A, <0.3A	<0.7A, <0.4A	<0.9A, <0.4A	<3.2A, <1.4A	<3.5A, <2.1A
	Voltaje de Trabajo DC	12V / 24V	12V / 24V	12V / 24V	12V / 24V	12V / 24V / 48V
	Rango del Voltaje	10-15V 20-30V	10-15V 20-30V	10-15V 20-30V	10-15V 20-30V	10-15V, 20- 30V, 40-60V
Entrada	Alarma de Bajo Voltaje	11V, 21V	11V, 21V	11V, 21V	11V, 21V	11V, 21, 42V
	Proteccion de Voltaje	10V, 20V	10V, 20V	10V, 20V	10V, 20V	10V, 30V, 40V
	Proteccion Sobre-Voltaje	15V, 30V	15V, 30V	15V, 30V	15V, 30V	15V, 30V, 60V
	Eficiencia Maxima	94'				
Dimensiones Del Producto (mm)		172x150x58	262x150x76	367x150x76	454x180x142	529x180x142
Peso (gr)		940	1710	2730	3750	6020