

---

*MINISTERIO DE EDUCACION SUPERIOR  
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO  
Dr. Antonio Núñez Jiménez  
FACULTAD METALURGIA- ELECTROMECHANICA.  
DEPARTAMENTO MECANICA*

# *TRABAJO DE DIPLOMA*

**TITULO:** Diseño de un Generador Solar Fotovoltaico para el Nodo Central de la Red de la Empresa Mecánica del Níquel (EMNI).

**AUTOR:** Jorge Luís Espinosa Sollet

**TUTOR:** MSc. Gustavo Rodríguez Bárcenas

**Moa, 2012**



*El poder de la osadía, lleva ímpetu y sacrificios; la magia del conocimiento es haber soñado que puedes hacer algo; la virtud está en ser osado y hacerlo, pues en ello está la capacidad de crear; es ahí donde se refleja tu naturaleza inteligente.*

*GRB*

A decorative, ornate frame with intricate scrollwork and floral patterns. In the center of the frame, the word "DEDICATORIA" is written in a bold, serif, all-caps font.

## DEDICATORIA

*A DIOS y a todos los que de verdad me quieren, en especial a mi MADRE que es lo más grande que tengo en la vida, a mis HERMANAS (O) y a toda mi familia que de una y otra forma me brindan amor.*

*A mi esposa, por darme siempre su apoyo incondicional, por caminar junto a mí y ser la fuerza para lograr el triunfo.*

*A todos a quienes han confiado y confían en mis capacidades.*

*A todas las personas que me han sabido guiar por los caminos de la superación profesional, orientándome en la vida con su ejemplo, sacrificio y dedicación.*



## AGRADECIMIENTOS

- *A mi madre, por su confianza incondicional y porque siempre me alentó y dio fuerzas cada vez que la necesité.*
- *Agradezco muy especialmente, no solo por haberse consagrado completamente al éxito de la investigación realizada, sino también por su dedicación, paciencia y entrega al brindarme su apoyo incondicional en cualquier momento, a quien además de ser mi profesor y tutor, es mi amigo, MSc. Gustavo Rodríguez Bárcenas.*
- *A mi esposa Miladis, por su comprensión, compañía y amor.*
- *A todos los profesores del Departamento de Mecánica que han contribuido con el día a día a mi formación profesional.*
- *A toda mi familia por su apoyo y cariño en todo momento.*
- *Un agradecimiento bien grande y merecido lo tienen todos mis compañeros de aula, los cuales han compartido seis cursos y me han apoyado en todo momento.*
- *A todas las personas que de una forma u otra han contribuido al desarrollo de este trabajo.*

## RESUMEN

Este trabajo consiste en la realización de un estudio de proyecto para el montaje de un Generador Solar Fotovoltaico (GSF) que demanda el sistema de equipos informáticos del Nodo central de la Red en el Edificio Administrativo de la Empresa Mecánica del Níquel (EMNI). Se describe una estructura metodológica que permite determinar los principales parámetros de construcción del Generador Solar Fotovoltaico, determinando su costo de producción en 2463.01 CUC y de 301.252 CUP. Se pudo determinar que el GSF ahorra 10134.96 CUC al año por concepto de pago de energía eléctrica, lo que significa económicamente un ahorro de 3715.20 kWh por mes, evitando así emanar la cantidad de *877.13 kgCO<sub>2</sub>/año* por concepto de no utilizar energía eléctrica convencional, lo que demuestra la factibilidad de llevar a cabo proyectos de este tipo.

**PALABRAS CLAVES:** Energía Solar Fotovoltaica, Energía Eléctrica, Inversor, Regulador, Acumulador, baterías.

## ABSTRACT

This work consists on the realization of a project study for the assembly of a Photovoltaic Solar Generator (GSF) that demands the system of computer teams of the central Node of the Net in the Administrative Building of the Mechanical Company of the Nickel (EMNI). a methodological structure is described that allows to determine the main parameters of construction of the Photovoltaic Solar Generator, determining its cost of production in 2463.01 CUC and of 301.252 CUP. Could you determine that the GSF saves 10134.96 CUC a year for concept of electric power payment, what means a saving of 3715.20 kWh economically per month, avoiding this way to emanate the quantity of *877.13 kgCO<sub>2</sub>/year* for concept of not using conventional electric power, what demonstrates the feasibility of carrying out projects of this type.

**KEYWORD:** Photovoltaic Solar energy, Electric power, Investor, Regulator, Accumulator, batteries.

## ÍNDICE

<b>CAPITULO I: Marco teórico referente a los Generadores Solares Fotovoltaicos.....</b>	<b>7</b>
1.1. <i>Constante Solar.....</i>	7
1.1.1. Distribución espectral de la radiación solar.....	10
1.2. <i>Instrumentación para la observación del flujo solar.....</i>	10
1.3. <i>Tipos de radiación y sus relaciones geométricas.....</i>	12
1.4. <i>Aplicaciones de la energía solar.....</i>	14
1.5. <i>Principios de operación y características de la energía solar fotovoltaica.....</i>	18
1.5.1. Clasificación de las instalaciones solares fotovoltaicas.....	18
1.5.2. Efecto fotovoltaico.....	20
1.5.3. Elementos de un Generador Solar Fotovoltaico.....	21
1.5.3.1. La célula solar: características básicas.....	21
1.5.3.2. Parámetros fundamentales de la célula solar.....	22
1.5.3.3. El panel solar.....	22
1.5.3.4. El regulador.....	24
1.5.3.5. Acumuladores. Tipos de baterías.....	26
1.5.3.6. El inversor.....	29
1.6. <i>Usos y desarrollos actuales de la energía solar fotovoltaica.....</i>	30
1.6.1. Sistemas de protección Catódicos.....	31
1.6.2. Cercas Eléctricas.....	32
1.6.3. Sistemas de Iluminación.....	32
1.6.4. Usos frecuentes de la energía fotovoltaica en Cuba.....	32
1.6.4.1. Oportunidades.....	34
<b>Capítulo II: Materiales y Métodos.....</b>	<b>35</b>
2.1 <i>Metodología de investigación.....</i>	35
2.2 <i>Dimensionado del Generador Solar Fotovoltaico.....</i>	37
2.2.1 Tipo de instalación.....	38
2.2.2. Energía solar recibida por la instalación.....	39
2.2.3. Período anual de trabajo de la instalación.....	39

2.2.4. Autonomía mínima de la instalación. ....	40
2.2.5. Estimación de la energía consumida por la carga. ....	41
2.2.6. Dimensionado del generador. ....	42
2.2.6.1. Estimación de la energía demandada al generador. ....	42
2.2.6.2. Pérdidas en el generador. ....	43
2.2.6.2.1. Pérdidas por sombras. ....	43
2.2.6.2.2. Pérdidas por suciedad. ....	44
2.2.6.2.3. Pérdidas por incremento de la temperatura. ....	44
2.2.6.2.4. Pérdidas por tolerancia en los valores de potencia nominal. ....	44
2.2.6.2.5. Pérdidas por otros efectos. ....	45
2.2.6.2.6. Pérdidas por envejecimiento. ....	45
2.2.6.2.7. Pérdidas totales en el generador. ....	45
2.2.6.3. Determinación del tamaño del generador. ....	45
2.2.7. Dimensionado del acumulador. ....	47
2.2.8. Dimensionado del regulador. ....	49
2.2.9. Dimensionado del inversor. ....	51
2.2.10. Dimensionado del Cableado. ....	51
<i>2.3 Aspectos a considerar para el cálculo de resistencia de la estructura que soportará el GSF</i> .....	52
2.3.1 Dirección del viento .....	52
2.3.2 Presión del viento .....	52
2.3.3 Otros parámetros a tener en cuenta para el cálculo de resistencia de la estructura .....	53

### **Capítulo III: Resultados, valoración económica e impacto medio ambiental ..... 54**

<i>3.1 Dimensionado del Generador Solar Fotovoltaico</i> .....	54
3.1.1 Tipo de instalación .....	54
3.1.2. Energía solar recibida por la instalación. ....	55
3.1.3. Período anual de trabajo de la instalación. ....	56
3.1.4. Autonomía mínima de la instalación. ....	56
3.1.5. Dimensionado del generador. ....	56
3.1.5.1. Selección del número de paneles. ....	57
3.1.5.2. Pérdidas en el generador. ....	58
3.1.6. Dimensionado del acumulador. ....	59
3.1.7. Dimensionado del regulador. ....	60
3.1.8. Dimensionado del inversor. ....	60
3.1.9. Dimensionado del Cableado. ....	61

3.2. Dimensionado de la estructura que soportará en GSF .....	61
3.2.1. Comprobación a resistencia.....	64
3.2.2. Comprobación de flecha .....	64
3.3 Simulación con el ANSYS.....	65
3.4 Tecnología de maquinado y Soldadura.....	68
3.5 Representación gráfica en planos.....	68
3.6 Puesta en marcha y mantenimiento de la instalación.....	69
3.6.1 Consideraciones generales para la puesta en marcha de la instalación .....	69
3.6.2 Normas de seguridad .....	70
3.6.3 Mantenimiento del generador.....	73
3.7 Análisis económico-ambiental.....	73
3.7.1 Análisis ambiental .....	74
<b>Conclusiones .....</b>	<b>76</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>77</b>
<b>Referencias Bibliográficas.....</b>	<b>78</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>I</b>

## **INTRODUCCIÓN**

El progreso de la humanidad está estrechamente ligado al descubrimiento de nuevas formas energéticas. Esta le ha permitido liberarse de ciertos trabajos pesados que en un principio se realizaban con ayuda de animales. A lo largo del tiempo estamos utilizando la energía. De ahí la importancia de conocer bien las distintas formas que existen de obtenerla.

Debemos ser conscientes de que las principales formas de energía usadas actualmente se agotarán tarde o temprano. Por eso existen y se están desarrollando distintas tecnologías para aprovechar otras fuentes de energía que son inagotables, limpias y fomentan la independencia energética.

La energía es la base de la civilización industrial, sin ella, la vida moderna dejaría de existir. Durante la década de 1970 el mundo empezó a ser consciente de la vulnerabilidad de los recursos energéticos (conjunto de medios con los que los países del mundo intentan cubrir sus necesidades de energía). A largo plazo es posible que las prácticas de conservación de energía proporcionen el tiempo suficiente para explorar nuevas posibilidades tecnológicas. Mientras tanto el mundo seguirá siendo vulnerable a trastornos en el suministro de petróleo que después de la II Guerra Mundial se ha convertido en la principal fuente de energía.

La energía renovable es también llamada alternativa o blanda, y engloba una serie de fuentes energéticas que en teoría no se agotarían con el paso del tiempo. Estas fuentes serían una alternativa a otras tradicionales y producirían un impacto ambiental mínimo, pero que en el sentido estricto de la palabra. Existen diferentes tipos de energías renovables: la energía solar, la hidroeléctrica (que se genera haciendo pasar una corriente de agua a través de una turbina), la eólica (derivada de la solar, ya que se produce por un calentamiento diferencial del aire y de las irregularidades del relieve terrestre), la geotérmica (producida por el gradiente térmico entre la temperatura del centro de la tierra y la de la superficie) y la procedente de la biomasa (que se genera a partir del tratamiento de la materia orgánica). En este trabajo nos concentraremos en la energía solar fotovoltaica ya que

es muy prometedora con respecto a solucionar uno de los problemas que cuenta hoy en día la humanidad: el alto consumo de Energía Eléctrica.

Casi el 30% de la energía solar que alcanza el borde exterior de la atmósfera se consume en el ciclo del agua, que produce la lluvia y la energía potencial de las corrientes de montaña y de los ríos. La energía que generan esta agua en movimiento al pasar por las turbinas modernas se llama hidroeléctrica (Cuenca, 2004).

La energía solar es un término que abarca diversas tecnologías de energías renovables. Su característica común es que, al contrario que el petróleo, gas, carbón y las formas actuales de energía nuclear, es inagotable.

A continuación se citan otras fuentes de energía:

- Energía solar fotovoltaica.
- Energía solar térmica de baja, media y alta temperatura.
- Energía Eólica.
- Energía Hidráulica.
- Recurso sólido urbano.
- Biomasa
- Olas y mareas.
- Geotérmica.

En muchas empresas se han tomado las energías renovables como una alternativa para energizar algunas áreas, contribuyendo en gran medida al ahorro de energía eléctrica, y por consiguiente tiene una repercusión en la economía de estas empresas y del país.

La Empresa Mecánica del Níquel presenta altos índices de consumo energético y específicamente de electricidad, lo que afecta el proceso de producción, incidiendo en el cumplimiento del plan de producción de la misma.

En el presente trabajo se pretende hacer un estudio de proyecto para la propuesta de un Generador Fotovoltaico para el Edificio Administrativo de la Empresa Mecánica del Níquel “Cdmte. Gustavo Machin Hoed de Beche” (EMNI), la energía solar fotovoltaica es un tipo de energía renovable que es una solución potencial al futuro de la situación actual de esta empresa.

Por tal razón se plantea como **PROBLEMA** de la investigación:

El permanente funcionamiento de los equipos de cómputo en el departamento de informática de la Empresa Mecánica del Níquel provoca altos consumos de energía eléctrica, incidiendo negativamente en la planificación mensual energética, así como deficiencia en el proceso de producción, debido a la necesidad de mayor demanda en las áreas productivas.

Para dar solución al problema planteado se traza el siguiente **OBJETIVO GENERAL**:

Diseñar un Generador Solar Fotovoltaico para el suministro eléctrico de los equipos de cómputo del Nodo Central de la Red de la Empresa Mecánica del Níquel “Comandante Gustavo Machín Hoed de Beche” tal que permita el ahorro de energía, favoreciendo además la demanda de las áreas productivas en el cumplimiento de su plan.

Atendiendo a la problemática planteada y el objetivo a cumplir se proyecta como **HIPÓTESIS**:

Con el diseño de un Generador Solar Fotovoltaico para el suministro eléctrico del Nodo Central de la Red del departamento de informática en la Empresa Mecánica del Níquel “Comandante Gustavo Machín Hoed de Beche” es posible contribuir al ahorro de energía y a la demanda de las áreas productivas en el cumplimiento de su plan.

Centrándose en el **OBJETO DE ESTUDIO**:

La generación de electricidad a través de fuentes de energías renovables

Identificando como **CAMPO DE ACCIÓN**:

Los Generadores Solares Fotovoltaicos como fuentes de energía para los equipos de

Informática en la Empresa Mecánica del Níquel.

En aras de desarrollar una estructura lógica en la solución del problema planteado se plantean los siguientes **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**:

1. Determinar el estado del arte vinculado con los Generadores Solares Fotovoltaico que sirvan de base y fundamento teórico de la investigación.
2. Realizar un estudio de las cargas de consumo en equipos informáticos del Nodo Central de la Red en el Edificio Administrativo de la EMNI.
3. Realizar el diseño del Generador Solar Fotovoltaico, partiendo de la selección más óptima de los paneles solares a emplear y la estructura metálica que lo soportará.
4. Realizar valoración económica y análisis del impacto medio ambiental vinculado con Generador Solar Fotovoltaico propuesto en la investigación.

**Dentro de los métodos empleados se encuentran los métodos teórico, empíricos y estadísticos matemáticos.**

#### **Métodos teóricos**

**Histórico-lógico:** Para el análisis el desarrollo lógico e histórico de los principales postulados históricos sobre el problema objeto de estudio.

**Análisis-síntesis:** Posibilita analizar por partes los principales documentos y consideraciones que describen la génesis y evolución del tema que se desarrolla.

**Inductivo-deductivo:** Para diagnosticar cada uno de los temas que se abordan en la investigación.

**Sistémico-estructural:** Para abordar todos los procesos involucrados en las temáticas estudiadas, proporcionando una visión general integral del fenómeno objeto de estudio, sus componentes, estructura y relaciones fundamentales.

#### **Métodos Empíricos**

**Análisis documental clásico:** A partir de la revisión de la literatura y la documentación especializada, se localizaron los referentes teórico y conceptuales

que sustentan la investigación, la cual incluyó la revisión de artículos científicos, textos, artículos de Internet, pudiéndose determinar las ideas relevantes con vistas a la fundamentación teórica, lo cual permitió definir los conceptos básicos con la finalidad de sistematizar el marco teórico conceptual y referentes teóricos que permitió respaldar la ejecución de esta investigación.

El **Modelación-Simulación-Experimento**: Este método es la integración de tres enfoques en el estudio de un objeto o fenómeno. En primer lugar se obtiene para este objeto o fenómeno un modelo satisfactorio en el campo de acción de interés. Cualquiera sea este modelo, debe expresarse como un modelo físico o matemático que a su vez se convierte en un artefacto en un software que simula (reproduce) los aspectos esenciales que se estudian; el método sirvió para analizar las propiedades de la materia, la energía, el tiempo, el espacio y sus interacciones en el contexto de la energía solar y su aplicación para la obtención de energía eléctrica, por otro lado también efectuar los cálculos correspondientes a la propuesta del Generador Solar Fotovoltaico, siguiendo una estructura lógica de desarrollo análisis que engloban el cumplimiento del objetivo planteado.

## **ESTRUCTURA CAPITULAR**

### **Capítulo 1: Marco teórico referente a los Generadores Solares Fotovoltaicos.**

En este capítulo se tendrán en cuenta los aspectos teóricos y conceptuales relacionados con los Generadores Solares Fotovoltaicos; las características de este tipo de tecnología, ventajas, y funciones de los mismos, su desarrollo en distintas áreas económicas de nuestro país.

### **Capítulo 2: Materiales y métodos**

En este capítulo, se pretende realizar un estudio de las cargas de consumo en equipos informáticos del Edificio Administrativo de la EMNI que permita la obtención de los parámetros necesarios, así como enunciar la estructura lógica de cálculo para la propuesta del diseño del Generador Solar Fotovoltaico y la estructura metálica que lo soportará.

### **Capítulo 3: Análisis de los resultados, valoración económica e impacto medioambiental.**

Partiendo del análisis de los datos colectados, a través de las técnicas y métodos empleados, se determinan los elementos componentes del Generador Solar Fotovoltaico parte del diseño del mismo, así como la selección de estos componentes en el mercado, luego de todo ellos se realiza una valoración económica donde es determinado el costo económico y el ahorro que genera este tipo de tecnología en la EMNI, por último se analiza el impacto que producirá hacia el medio ambiente la implementación del Generador Solar Fotovoltaico en la EMNI.



## Capítulo I

### **CAPITULO I: Marco teórico referente a los Generadores Solares Fotovoltaicos.**

En este capítulo se plantearán los aspectos teóricos y conceptuales relacionados con los Generadores Solares Fotovoltaicos; las características de este tipo de tecnología, ventajas, y funciones de los mismos, su desarrollo en distintas áreas económicas de nuestro país.

#### **1.1. Constante Solar**

Desde el punto de vista energético, la masa solar que por segundo se irradia al espacio en forma de partículas de alta energía y de radiación electromagnética es aproximadamente de  $5,6 \times 10^{35}$  GeV y de élla, la Tierra recibe en el exterior de su atmósfera un total de  $1,73 \times 10^{14}$  kW, o sea  $1,353 \text{ kW/m}^2$ , que se conoce como constante solar y cuyo valor fluctúa en un  $\pm 3\%$  debido a la variación periódica de la distancia entre la Tierra y el Sol (Díez, 2003).

La atmósfera y la superficie terrestre se encuentran a temperaturas medias distintas y, por lo tanto, también radían energía; así, la longitud de onda de la radiación solar está comprendida entre,  $0,05 \mu\text{m}$  y  $4 \mu\text{m}$ , mientras que la radiación terrestre lo está entre  $3 \mu\text{m}$  y  $80 \mu\text{m}$ , es decir, se trata de emisiones de onda larga.

Los  $1,73 \times 10^{14}$  kW de energía solar que inciden sobre la Tierra, se reparten en la siguiente forma (Díez, 2003):

1. Energía solar reflejada por la atmósfera hacia el espacio exterior, 30%,  $0,52 \times 10^{14}$  kW.
2. Energía solar que se utiliza en calentar la atmósfera, 47%,  $0,80 \times 10^{14}$  kW.
3. Energía solar que se utiliza en la evaporación de los océanos, 23%,  $0,40 \times 10^{14}$  kW.
4. Energía solar que se utiliza en generar perturbaciones atmosféricas, como el

viento, (energía mecánica),  $0,0037 \times 10^{14}$  kW.

5. Energía solar utilizada en la fotosíntesis,  $0,0004 \times 10^{14}$  kW.

Díez, P. F. (2003) plantea que, sólo el 47% de la energía solar incidente alcanza la superficie terrestre, de forma que el 31% lo hace directamente y el otro 16% después de ser difundida por el polvo, vapor de agua y moléculas de aire. El 53% de la energía restante no alcanza la superficie de la Tierra, ya que un 2% es absorbida por la estratosfera, principalmente por el ozono, el 15% por la troposfera, (agua, ozono y nubes), en total  $2 + 15 = 17\%$  y por otra parte, un 23% es reflejada por las nubes, un 7% es reflejada por el suelo y el 6% restante corresponde a aquella energía difundida por la atmósfera que se dirige hacia el cielo (Díez, 2003), como se muestra en la Figura 1.

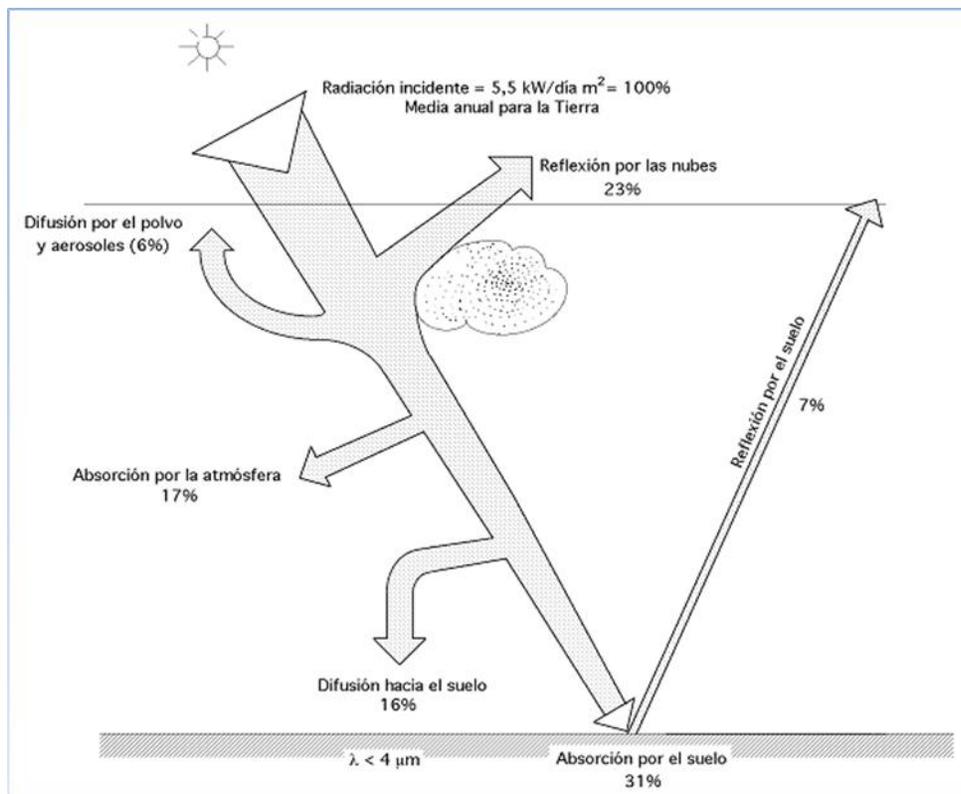


Fig. 1. Balance de radiación solar. Fuente: Díez, P. F. (2003).

La combinación de tres factores: la distancia Tierra-Sol, el diámetro solar y la temperatura del Sol, determinan un flujo luminoso, i.e., un flujo de energía que incide sobre la superficie de la Tierra. En esta y las próximas secciones, veremos cómo se

calcula ese flujo de energía bajo diversas condiciones. Se llama flujo de "algo" (materia, energía), la cantidad de ese "algo" que pasa a través de una superficie, por unidad de área y por unidad de tiempo. Por tanto, el flujo luminoso, que es un flujo de energía, tiene unidades de energía por unidad de área y por unidad de tiempo (Ayala, 1995).

La radiación emitida por el Sol, junto con sus condiciones geométricas respecto de la Tierra, dan por resultado que, sobre la atmósfera terrestre, incide una cantidad de radiación solar casi constante. Esto ha dado lugar a la definición de la llamada constante solar.

La constante solar,  $G_{sc}$ , es el flujo de energía proveniente del Sol, que incide sobre una superficie perpendicular a la dirección de propagación de la radiación solar, ubicada a la distancia media de la Tierra al Sol, fuera de toda atmósfera.

Es preciso aclarar algunos puntos de esta definición. Primero, es un flujo de energía, es decir, la constante solar se refiere a una cantidad de energía que incide, instantáneamente, sobre una superficie de área unitaria. Segundo, esta superficie hipotética es perpendicular o normal a la dirección de propagación de la luz, lo cual en lenguaje no técnico equivale a decir que "ve al Sol". Es obvio que una superficie en posición oblicua respecto de la dirección del Sol, recibiría un menor flujo de energía. Tercero, la superficie hipotética se encuentra situada a la distancia media de la Tierra al Sol. Aunque será demostrado más adelante, es claro que la distancia desde la fuente de radiación hasta el plano en cuestión, influye fuertemente en el flujo de energía (Anónimo, 2010a). Por todos es conocido que la intensidad de la radiación solar es mucho mayor en Mercurio que en la Tierra, y que en nuestro planeta es mucho mayor que en Plutón. Como la órbita que describe la Tierra alrededor del Sol no es circular, por lo tanto, la distancia Tierra-Sol no es constante, debe considerarse un valor promedio, para poder hablar de una constante. Por último, la superficie hipotética, debe estar colocada fuera de la atmósfera, para evitar la atenuación de la radiación causada por la diversidad de fenómenos físicos y químicos que se verifican en la atmósfera (Ayala, 1995; BUN-CA, 2002; Díez, 2003;

Cuenca, 2004).

El valor comúnmente aceptado para  $G_{sc}$  ha variado en los últimos años, según las técnicas de medición que se han empleado, lo cual no indica que haya variado en sí la magnitud de la energía que se recibe del Sol. La constante solar tiene el siguiente valor:

$G_{sc} = 1353 \text{ W m}^{-2}$  que, en otras unidades equivale a:

$G_{sc} = 1.940 \text{ cal/cm}^2\text{min} = 428 \text{ Btu/ft}^2\text{hr} = 4871 \text{ MJ/m}^2\text{hr}$

Estos valores fueron aceptados por la NASA (1971) y por la ASTM (Ayala, 1995).

### **1.1.1. Distribución espectral de la radiación solar.**

El Sol emite radiación en toda la gama del espectro electromagnético, desde los rayos gamma, hasta las ondas de radio. Sin embargo, para los fines del aprovechamiento de su energía, sólo es importante la llamada radiación térmica que incluye sólo el ultravioleta (UV), la radiación visible (VIS) y la infrarroja (IR)(Díez, 2003).

Todos los cuerpos emiten cierta cantidad de radiación en virtud de su temperatura. A mayor temperatura ocurren dos cambios en la radiación emitida:

1. La intensidad de la emisión es mayor, refiriéndose a, un mayor número de watts por metro cuadrado abandonan el cuerpo.
2. El color o tipo de radiación cambia hacia una menor longitud de onda, esto es, del IR al VIS y al UV, a medida que aumenta la temperatura

### **1.2. Instrumentación para la observación del flujo solar**

Los aparatos utilizados en la medición de la radiación solar, se descomponen en tres tipos principales, según sea la medida a realizar; a continuación se describen algunos de ellos.

**HELIÓGRAFOS.**- Los heliógrafos sirven para medir la duración de la luz solar, que se puede definir como el intervalo de tiempo durante el cual se ve el disco solar y determinan los períodos del día durante los cuales la intensidad de la radiación

directa es superior a un cierto umbral, que está reconocido a nivel mundial y vale  $120 \text{ W/m}^2$  como se muestra en la figura 2.

**PIRHELIÓMETROS.-** Los pirheliómetros (figura 3) sirven para medir la radiación solar directa. Tienen una abertura colimada y una cara de recepción que debe permanecer siempre normal a los rayos solares. El pirheliómetro recibe energía sólo del disco solar y de un estrecho anillo de cielo contiguo, a través de un tubo largo; este aparato está dotado de un dispositivo automático de seguimiento del Sol. El error provocado por una abertura excesiva, aumenta en proporción a la cantidad de radiación del cielo admitida.

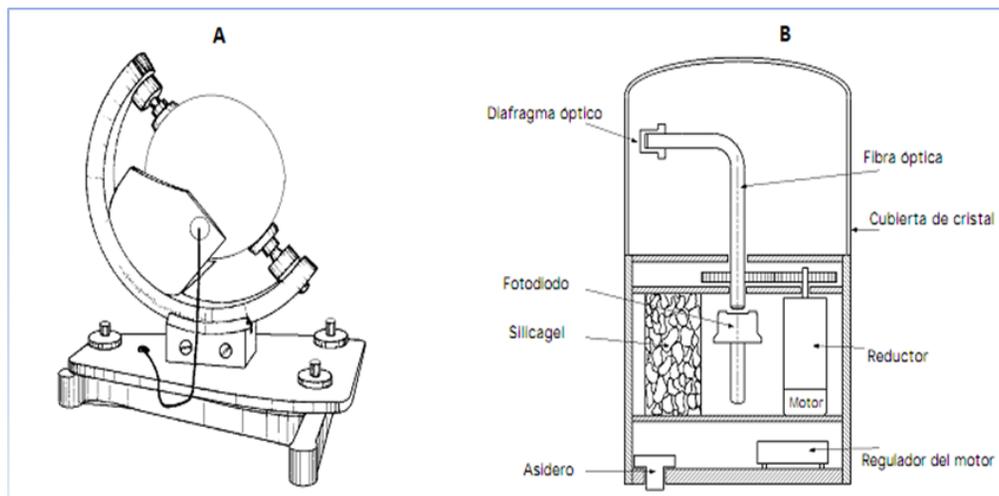


Fig. 2. Heliógrafo a) Campbell-Stokes b) Denis-Jordan. Fuente: Díez, P. F. (2003).

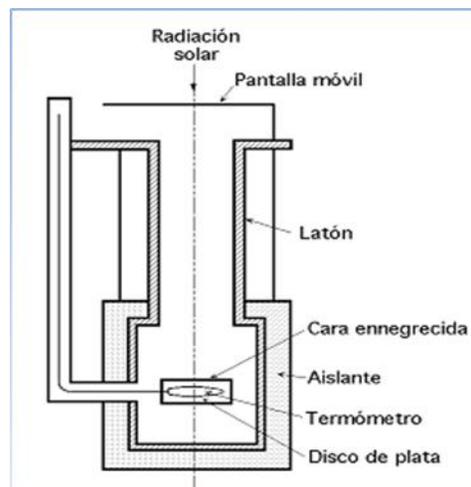


Fig. 3. Pirheliómetro de disco de plata de Abbot. Fuente: Díez, P. F. (2003).

**PIRANÓMETROS.-** Los piranómetros (figura 4) sirven para medir la radiación global,

directa y difusa, que se recibe en todas direcciones, por lo que el instrumento tiene que descansar sobre una base horizontal. La banda de frecuencias medida por el piranómetro está comprendida entre 0,3 mm y 3 mm; si está protegido de la radiación directa por un anillo protector desvanecedor, entonces mide sólo la radiación difusa.

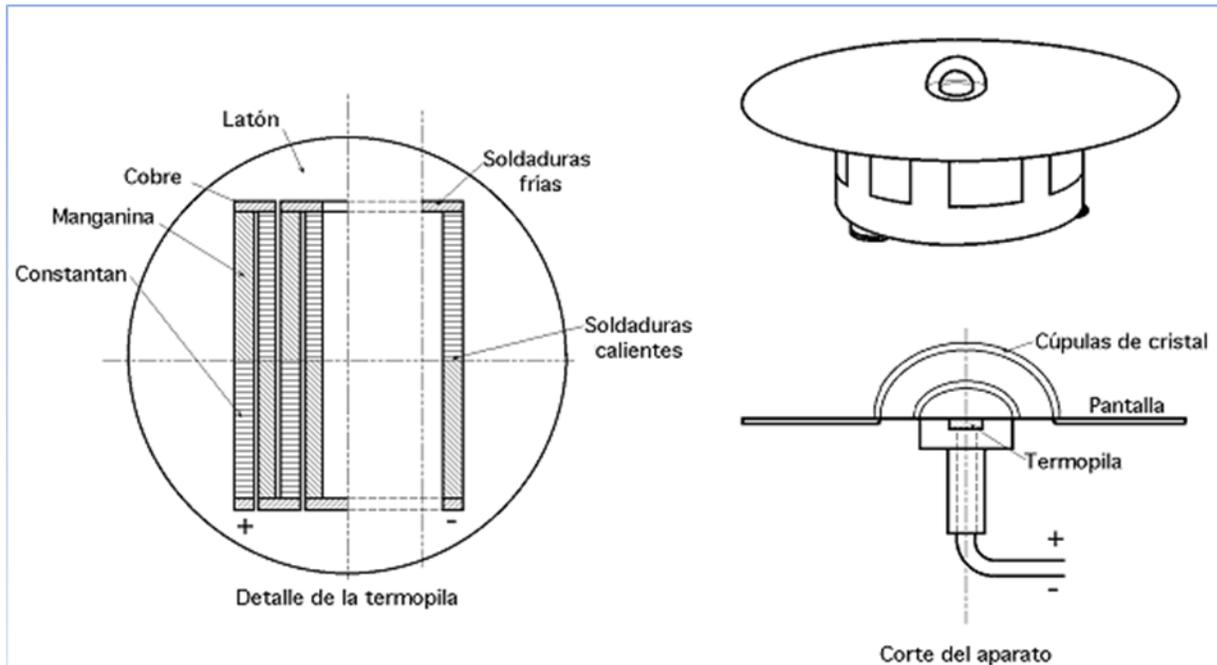


Fig. 4. Piranómetro de Kipp. Fuente: Díez, P. F. (2003).

### 1.3. Tipos de radiación y sus relaciones geométricas

La radiación solar sufre ciertas transformaciones al incidir sobre la atmósfera, de modo que es necesario manejar algunos conceptos específicos para los diversos tipos de radiación. Las siguientes definiciones ayudan a aclarar estos conceptos.

Se conoce como radiación directa, la que se recibe directamente del Sol, sin sufrir ninguna dispersión atmosférica. La radiación extraterrestre es, por tanto, radiación directa. Generalmente se usa el subíndice "b" para indicar radiación directa, por el término que se utiliza en inglés: beam (haz, rayo) (Ayala, 1995).

La radiación difusa es la que se recibe del Sol, después de ser desviada por dispersión atmosférica. Es radiación difusa la que se recibe a través de las nubes, así como la que proviene del cielo azul. De no haber radiación difusa, el cielo se

vería negro, aun de día, como sucede por ejemplo en la Luna. Suele utilizarse el subíndice "d" para la radiación difusa (Ayala, 1995).

Por otro lado, se conoce como radiación terrestre la que proviene de objetos terrestres, por ejemplo, la que refleja una pared blanca, un charco o un lago, etc.

Se conoce como radiación total, la suma de las radiaciones directa, difusa y terrestre que se reciben sobre una superficie. Por ejemplo, sobre una pared o una ventana, incide la radiación directa del Sol, la difundida por las nubes y por el cielo y, además, puede entrar la luz reflejada por algún otro objeto frente a la pared o ventana. Un caso particular, pero de mucho interés práctico en el estudio de la energía solar, es el medir la radiación total sobre una superficie horizontal "viendo" hacia arriba (Ayala, 1995). En este caso puede considerarse que no existe radiación terrestre y se conoce también como radiación global. Por tanto, la radiación global es la suma de la directa más la difusa.

Para expresar la potencia solar y en general, de cualquier radiación se utiliza el término irradiancia. La irradiancia,  $W m^{-2}$ , es la rapidez de incidencia de energía radiante sobre una superficie, por unidad de área. Generalmente se usa el símbolo G para la irradiancia, junto con los subíndices adecuados:  $G_o$ ,  $G_b$ ,  $G_d$ , para la irradiancia extraterrestre, directa, difusa, etc. Nótese que la irradiancia tiene la virtud de indicar muy claramente que la radiación es un fenómeno que transcurre en el tiempo, que "va de pasada", que no es estático. Es energía que incide instantáneamente sobre una superficie (Ayala, 1995).

Cuando incide la radiación sobre un plano, durante un tiempo determinado, puede hablarse entonces de que incidió una cierta cantidad de energía. La cantidad de energía, por unidad de área, que incide durante un período de tiempo dado, recibe el nombre de irradiación,  $J m^{-2}$  y no es otra cosa que la integral de la irradiancia durante el período en cuestión. Generalmente se usa el símbolo "I" para la insolación por hora, mientras que "H" se usa para la insolación en el período de un día. Se aplican los mismos subíndices, por ejemplo:  $H_o$  simboliza la irradiación extraterrestre en un día;  $I_d$  simboliza la irradiación difusa en una hora, etc. (BUN-CA, 2002; C.

Raichijk, R. Aristegui et al., 2007; Becerra, Barba-Ortega et al., 2010)

De acuerdo con lo anterior, la relación entre la irradiación y la irradiancia está dada por la expresión (Ayala, 1995):

$$I = \int_{t_1}^{t_2} G(t) dt$$

en donde la irradiación se está calculando desde el tiempo  $t_1$  hasta el tiempo  $t_2$  y la irradiancia se considera función del tiempo.

#### **1.4. Aplicaciones de la energía solar**

La energía del sol siempre ha estado presente para el desarrollo de todos los procesos del Sistema interplanetario en el que vivimos y desde mucho tiempo antes de que el hombre existiera en la Tierra.

Con la energía del sol se puede tener vida en muchas de las especies de animales y plantas que existieron y que existen en nuestro planeta y esperamos que existan siempre y cuando tratemos de mantener el equilibrio ecológico y cuidemos el medio ambiente.

Con el sol hace unos 70 millones de años se pudo tener la fotosíntesis de las plantas que comían los animales prehistóricos y que posteriormente por algún fenómeno climatológico dejaron de existir y se convirtieron con el tiempo en el combustible fósil o petróleo que ahora se estima se agote para la década de los años 2020-2030 debido a que se producen 80 billones de barriles cada día.

De acuerdo con los expertos en energía renovable de Europa, las energías renovables o limpias o verdes como son el uso del viento, la biomasa, el sol y el movimiento constante del océano y de las mareas entre otras pueden llegar a cubrir el 50% de los requerimientos de energía mundial para el año 2040.

Desafortunadamente el 80% de la energía eléctrica que se requiere actualmente en el mundo se produce en centrales termoeléctricas que queman diesel, gas o carbón para mover los generadores que producen la electricidad y el otro 20% se produce

en centrales geotérmicas (vapor de agua del subsuelo), hidroeléctricas (intercambio de energía potencial en energía cinética por la caída de agua en las presas), algo de energía eólica (viento) y algo de energía fotovoltaica (solar)

El sol por una parte es benéfico por la radiación que nos calienta durante el día y permite que las especies puedan vivir ya que sin su calor no podrían existir por la demanda de energía que requieren sus cuerpos y las plantas y animales que se consume. Además de mover las masas de aire que producen el viento y la evaporación de agua que forma nubes, etc.

Pero también el sol puede destruirnos con su radiación si no contamos con los filtros naturales que existen en la atmósfera en sus diferentes capas y principalmente la capa de ozono la cual cuenta actualmente con un agujero 2 veces mayor que la superficie de la Antártida (CEC, 2002; Díez, 2003; Cuenca, 2004).

Viendo este gran problema todos los países que pertenecen a la ONU se organizaron en una cumbre mundial sobre el cambio climático y en el año de 1997 se formuló el protocolo de Kioto en el cual los países que lo firmaron se comprometían a ir reduciendo sus emisiones de gases contaminantes en un determinado periodo de tiempo.

Es muy importante tratar de cambiar la forma de obtención de la energía actual lo más pronto posible y dejar de obtenerla a partir del consumo o combustión de combustibles fósiles (carbón o petróleo) los cuales emiten gases que destruyen la capa de ozono que nos protege de radiaciones dañinas del sol (Feudosiev, 1983; Durán y Godfrin, 2004; ECURED, 2011).

Una de las aplicaciones de la energía solar es directamente como luz solar, por ejemplo, para la iluminación de recintos. En este sentido, cualquier ventana es un colector solar. Otra aplicación directa, muy común, es el secado de ropa y algunos productos en procesos de producción con tecnología simple.

Térmica. Se denomina "térmica" la energía solar cuyo aprovechamiento se logra por medio del calentamiento de algún medio. La climatización de viviendas, calefacción,

refrigeración, secado, etc., son aplicaciones térmicas.

Fotovoltaica. Se llama "fotovoltaica" la energía solar aprovechada por medio de celdas fotoeléctricas, capaces de convertir la luz en un potencial eléctrico, sin pasar por un efecto térmico.

El hombre ha aprendido a obtener electricidad a partir de la energía solar mediante procesos fototérmicos y fotovoltaicos. Los primeros operan bajo principios semejantes a los de las centrales térmicas convencionales. Los denominados fotovoltaicos, presentan una importante simplificación respecto a los procesos energéticos convencionales, debido a que transforman una energía primaria, la solar, en electricidad de un modo directo, es decir, sin transformaciones intermedias en otras formas de energía. De lo anterior, podemos entonces decir que las células solares o celdas fotovoltaicas son dispositivos capaces de transformar la radiación solar en electricidad, de un modo directo. Estos dispositivos son estáticos y en absoluto semejantes a las generadores convencionales (López, Heredia et al., 2001; Plazas, Moreno et al., 2001; Prospero, 2005).

La electricidad es una de las formas de energía más versátiles y que mejor se adaptan a cada necesidad. Su utilización está tan extendida que difícilmente podría concebirse una sociedad tecnológicamente avanzada que no hiciese uso de ella. Hoy día existen miles de aparatos que, bien en forma de corriente continua o de corriente alterna, utilizan la electricidad como fuente de energía, y su uso ha provocado un gran aumento de la demanda de consumo eléctrico. Este hecho ha propiciado la búsqueda de nuevas fuentes de energía y nuevos sistemas de producción eléctrica, basados, fundamentalmente, en el uso de energías renovables.

Los sistemas tradicionales de producción de electricidad tienen una problemática asociada que hace necesario intentar desarrollar otro tipo de fuentes energéticas:

- Centrales hidráulicas: el efecto invernadero y el cambio climático hacen que cada vez las sequías sean más prolongadas y, por tanto, no se pueda asegurar la producción estable de electricidad a través de estas centrales.
- Centrales térmicas: tienen el problema de que los combustibles fósiles son un

recurso limitado en el tiempo. Además provocan una gran emisión de gases contaminantes perjudiciales para el efecto invernadero.

- Centrales nucleares: tienen el problema de la eliminación de los residuos generados, además del potencial riesgo de un accidente nuclear.

Como ya se ha comentado, la tendencia actual es la utilización de energías renovables. Es aquí donde cobra importancia la energía solar. Varias son las formas de aprovechar el sol para la producción de electricidad; se distingue entre:

- Métodos indirectos: el sol se aprovecha para calentar un fluido (que puede ser agua, sodio, sales fundidas...) y convertirlo en vapor, con el fin de producir electricidad mediante el movimiento de un alternador. La producción de la electricidad se realiza mediante un ciclo termodinámico<sup>1</sup> convencional, como se haría en una central térmica de combustible fósil. (Fig. 4) (Ramos, Camejo et al., 2003; Sera, Infante et al., 2003; Rodríguez, Cardeña et al., 2005).

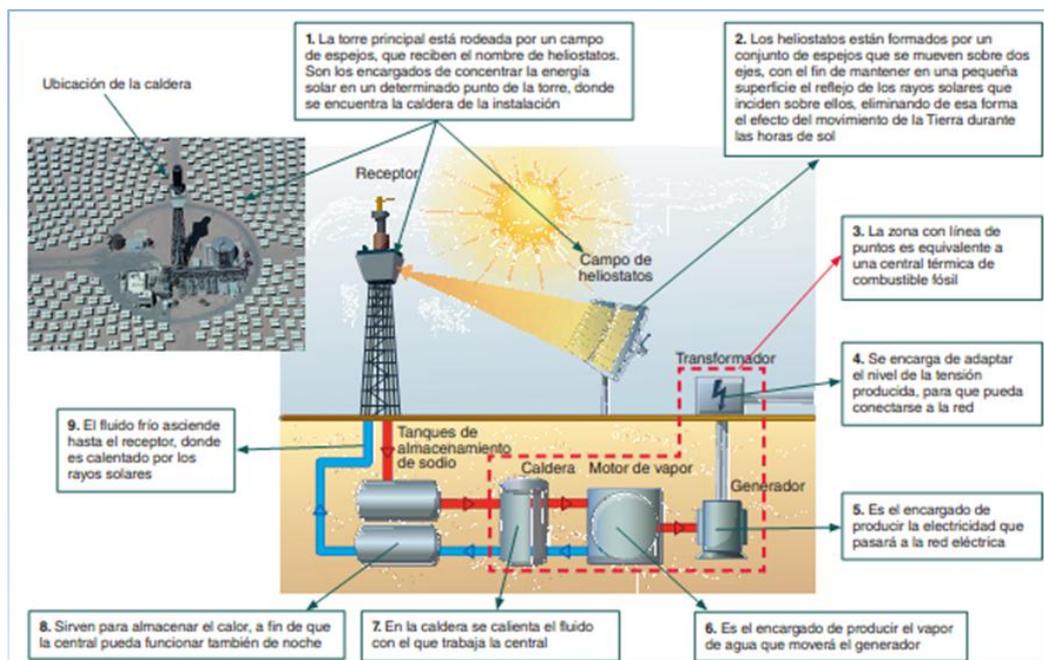


Figura 4. Esquema de la constitución de una central térmica solar de torre central. (Anónimo, 2010b).

<sup>1</sup> Ciclo termodinámico: proceso mediante el cual se transforma la energía térmica en otro tipo de energía, como puede ser la electricidad (el caso de las turbinas de las centrales eléctricas térmicas), movimiento (los motores de los coches, por ejemplo), etc.

En algunos países los edificios que tienen instalaciones solares conectadas a la red, la energía producida por ellas no es consumida directamente, sino vendida a la red eléctrica al precio fijado para tales instalaciones. Por eso en estas instalaciones siempre suelen aparecer dos contadores: uno para la energía producida, y otro para la energía que se consume en el edificio (SoListo, 2006).

- Métodos directos: en ellos la luz del sol es convertida directamente a electricidad mediante el uso de las células solares. Se distingue entre sistemas conectados a red y sistemas aislados (Fig. 5).

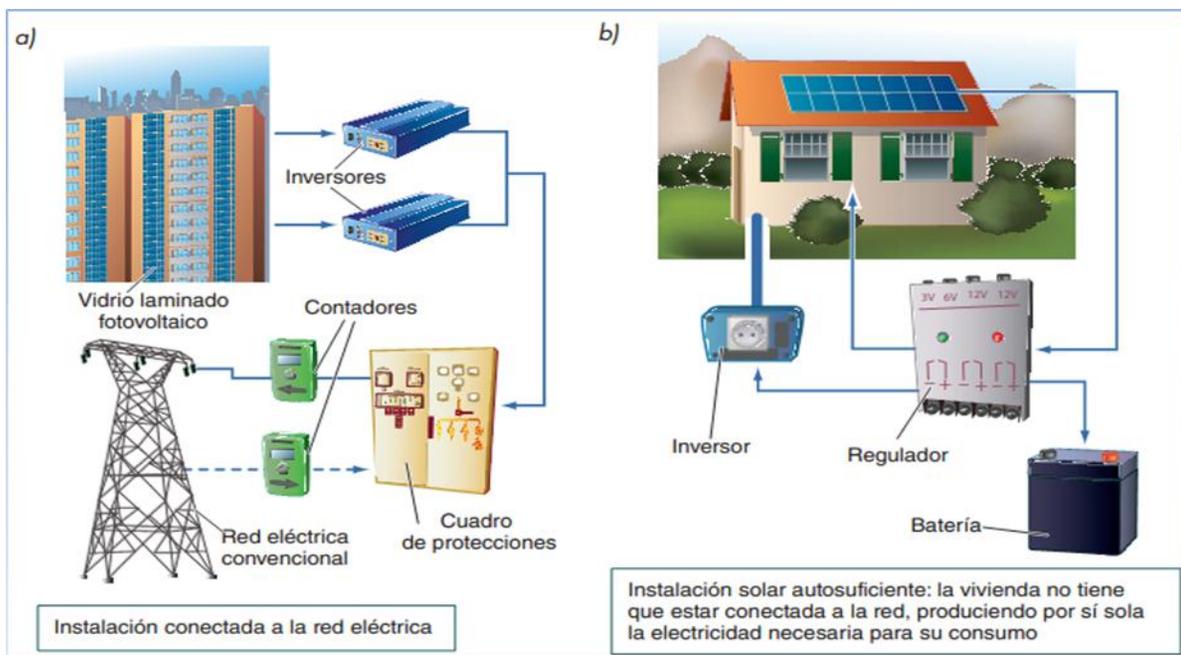


Figura 5. Sistema conectado a red (a) e instalación fotovoltaica autónoma (b).

## 1.5. Principios de operación y características de la energía solar fotovoltaica

### 1.5.1. Clasificación de las instalaciones solares fotovoltaicas

La clasificación de las instalaciones solares fotovoltaicas (ISF) la podemos realizar en función de la aplicación a la que están destinadas. Así, distinguiremos entre aplicaciones autónomas y aplicaciones conectadas a la red.

### Aplicaciones autónomas

Producen electricidad sin ningún tipo de conexión con la red eléctrica, a fin de dotar de este tipo de energía al lugar donde se encuentran ubicadas. Pueden distinguirse dos bloques:

- Aplicaciones espaciales: sirven para proporcionar energía eléctrica a elementos colocados por el ser humano en el espacio, tales como satélites de comunicaciones, la Estación Espacial Internacional, etc. La investigación en esta área propició el desarrollo de los equipos fotovoltaicos tal y como se conoce en la actualidad.
- Aplicaciones terrestres, entre las que cabe destacar las profesionales:
  - Telecomunicaciones: telefonía rural, vía radio; repetidores (de telefonía, televisión, etcétera).
  - Electrificación de zonas rurales y aisladas: estas instalaciones, que se pueden realizar en cualquier lugar, están pensadas para países y regiones en desarrollo y todas aquellas zonas en que no existe acceso a la red eléctrica comercial (en Europa hay cerca de un millón de personas sin acceso a esta red): viviendas aisladas, de ocupación permanente o periódica, refugios de montaña, etc. En ciertos países, como Cuba o Brasil, se emplean en locales comunitarios (consultorios médicos, escuelas) o para abastecer de electricidad a un determinado grupo de personas (un pueblo, una aldea, etc.).
  - Señalización: se aplica, por ejemplo, a señales de tráfico luminosas, formadas por diodos LED, alimentados por un panel solar y una batería.
  - Alumbrado público: se utiliza en zonas en las que resulta complicado llevar una línea eléctrica convencional.
  - Bombeo de agua: estas instalaciones están pensadas para lugares tales como granjas, ranchos, etc. Se pueden realizar en cualquier lugar. Su uso puede ser tanto para agua potable como para riego.

- Redes VSAT: redes privadas de comunicación (para una empresa, un organismo oficial, etc.) que actúan a través de satélite. La energía solar se utiliza para alimentar las estaciones de la red.
- Telemetría: permite realizar medidas sobre variables físicas y transmitir la información a una central (p. ej.: control de la pluviometría de la cuenca de un río o medición de la cantidad de lluvia en una región determinada).
- Otras aplicaciones: juguetes, alumbrado en jardines, divertimentos.

### **1.5.2. Efecto fotovoltaico**

Existen ciertos materiales que al absorber un determinado tipo de radiación electromagnética generan en su interior pares de cargas positivas y negativas. Si la radiación electromagnética es la solar y el material es un semiconductor tal como el silicio, Si, los pares de carga son electrones ( $e^-$ ) y huecos ( $h^+$ ) que una vez producidos se mueven aleatoriamente en el volumen del sólido. Si no hay ningún condicionante externo ni interno, las cargas de signos opuestos se recombinan neutralizándose mutuamente (Ayala, 1995). Por el contrario, si mediante algún procedimiento se crea en el interior del material un campo eléctrico permanente, las cargas positivas y negativas serán separadas por él. Esta separación conduce al establecimiento de una diferencia de potencial entre dos zonas del material que, si son conectadas entre sí mediante un circuito externo al mismo tiempo que la radiación electromagnética incide sobre el material, darán origen a una corriente eléctrica que recorrerá el circuito externo (BUN-CA, 2002). Este fenómeno se conoce como efecto fotovoltaico y es el fundamento en el que se basan las celdas fotovoltaicas (Cuenca, 2004).

El campo eléctrico interno local se crea siempre que se ponen en contacto un semiconductor tipo n con otro tipo p, es decir, donde existe una unión p-n. En la práctica dicha unión se logra mediante diferentes procedimientos, aunque los más convencionales son las técnicas de difusión de impurezas dentro del material (Díez, 2003).

### 1.5.3. Elementos de un Generador Solar Fotovoltaico

De manera general, un generador solar fotovoltaico (GSF) o también llamada en algunas bibliografías instalación solar fotovoltaica (ISF) se ajusta a un esquema como el mostrado en la Fig. 6.

#### 1.5.3.1. La célula solar: características básicas

El elemento principal de cualquier instalación de energía solar es el generador, que recibe el nombre de célula solar. Se caracteriza por convertir directamente en electricidad los fotones provenientes de la luz del sol. Su funcionamiento se basa en el efecto fotovoltaico<sup>2</sup>.

Una célula solar se comporta como un diodo: la parte expuesta a la radiación solar es la N, y la parte situada en la zona de oscuridad, la P. Los terminales de conexión de la célula se hallan sobre cada una de estas partes del diodo<sup>3</sup>: la cara correspondiente a la zona P se encuentra metalizada por completo (no tiene que recibir luz), mientras que en la zona N el metalizado tiene forma de peine, a fin de que la radiación solar llegue al semiconductor (Fig.7)

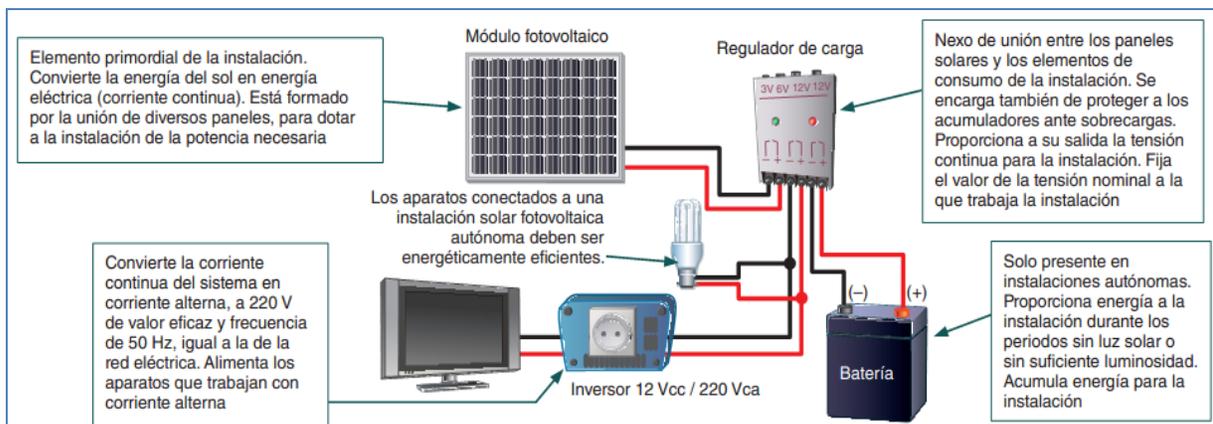


Figura 6. Componentes del GSF. Fuente: (Anónimo, 2010a).

<sup>2</sup> Efecto fotovoltaico: propiedad que tienen determinados materiales de producir una corriente eléctrica cuando incide una radiación lumínica sobre ellos.

<sup>3</sup> Diodo: componente electrónico fabricado con una unión P-N, que tiene la particularidad de conducir la corriente eléctrica solo en un sentido. Su símbolo es:  $\begin{array}{c} \text{Ánodo} \\ \blacktriangleright \\ \text{Cátodo} \end{array}$  Si está polarizado con directa.

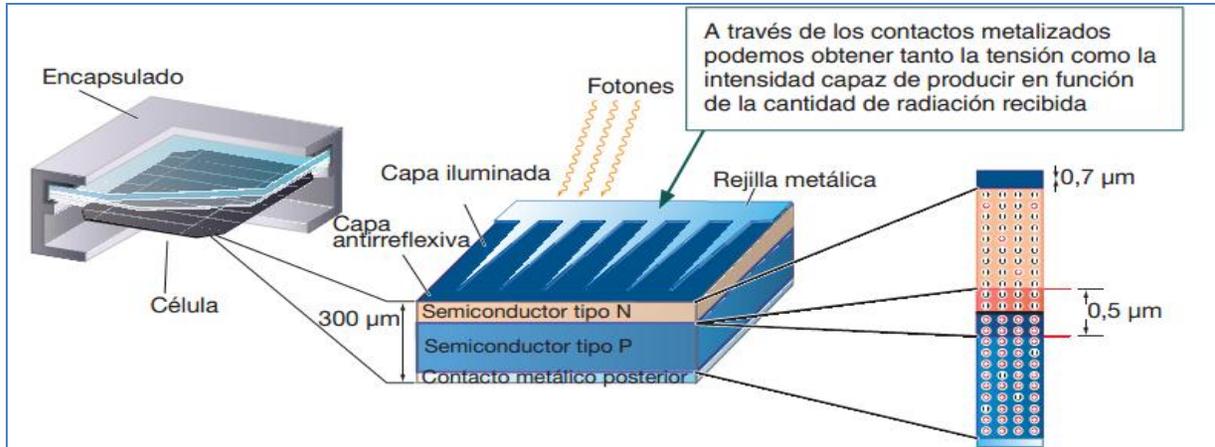


Figura 7. Estructura de la célula solar. Fuente: (Anónimo, 2010b).

### 1.5.3.2. Parámetros fundamentales de la célula solar

- Corriente de iluminación (IL): la corriente generada cuando incide la radiación solar sobre la célula.
- Corriente de oscuridad: es debida a la recombinación de los pares electrón-hueco que se produce en el interior del semiconductor.
- Tensión de circuito abierto (VOC): la máxima tensión que se obtiene en los extremos de la célula solar, que se da cuando no está conectada a ninguna carga. Es una característica del material con el que está construida la célula.
- Corriente de cortocircuito (ISC): máximo valor de corriente que puede circular por la célula solar. Se da cuando sus terminales están cortocircuitados.

Cuando la célula solar es conectada a una carga, los valores de tensión e intensidad varían. Existirán dos de ellos para los cuales la potencia entregada sea máxima:  $V_m$  (tensión máxima) e  $I_m$  (intensidad máxima), que siempre serán menores que  $V_{OC}$  e  $I_{SC}$ .

### 1.5.3.3. El panel solar

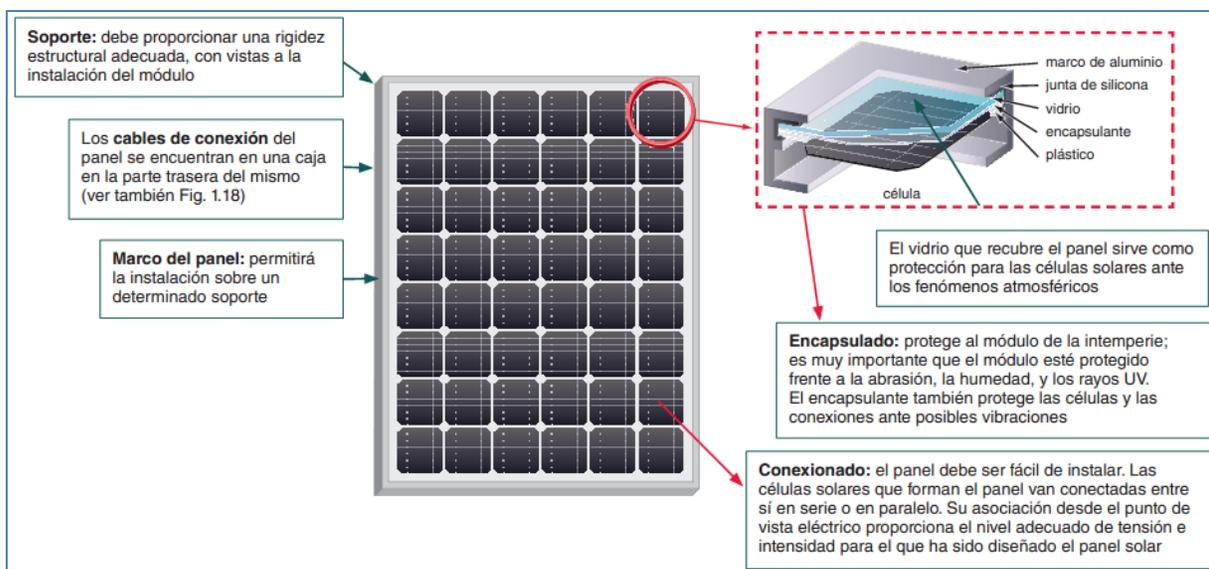
Un panel solar o módulo fotovoltaico está formado por un conjunto de células, conectadas eléctricamente, encapsuladas, y montadas sobre una estructura de soporte o marco. Proporciona en su salida de conexión una tensión continua, y se diseña para valores concretos de tensión (6 V, 12 V, 24 V...), que definirán la tensión a la que va a trabajar el sistema fotovoltaico.

En la Fig.8 se destacan las principales características de todo panel solar y puede verse un esquema típico de su construcción.

Los tipos de paneles solares vienen dados por la tecnología de fabricación de las células, y son fundamentalmente:

- Silicio cristalino (monocristalino y multicristalino).
- Silicio amorfo.

En la Tabla 1 podemos observar las diferencias que existen entre ellos.



**Figura 8. Constitución de un panel solar. Se destacan sus principales características. Fuente: (Anónimo, 2010b).**

**Tabla 1. Diferencias entre los paneles según la tecnología de fabricación.**

Células	Silicio	Rendimiento laboratorio	Rendimiento directo	Características	Fabricación
	Monocristalino	24 %	15 - 18 %	Son típicos los azules homogéneos y la conexión de las células individuales entre sí (Czochralski).	Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro.
	Policristalino	19 - 20 %	12 - 14 %	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules.	Igual que el del monocristalino, pero se disminuye el número de fases de cristalización.
	Amorfo	16 %	< 10 %	Tiene un color homogéneo (marrón), pero no existe conexión visible entre las células.	Tiene la ventaja de depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico.

Potencia de la célula sola:

La potencia que proporciona una célula de tamaño estándar (digamos de 10 X 10 cm) es muy pequeña (en torno a 1 o 2 W), por lo que generalmente será necesario tener que asociar varias de ellas con el fin de proporcionar la potencia necesaria al sistema fotovoltaico de la instalación. Es de este hecho de donde surge el concepto de panel solar o módulo fotovoltaico, cuyos elementos y características acabamos de ver.

Según la conexión eléctrica que hagamos de las células, nos podemos encontrar con diferentes posibilidades:

- La conexión en serie de las células permitirá aumentar la tensión final en los extremos de la célula equivalente.
- La conexión en paralelo permitirá aumentar la intensidad total del conjunto.

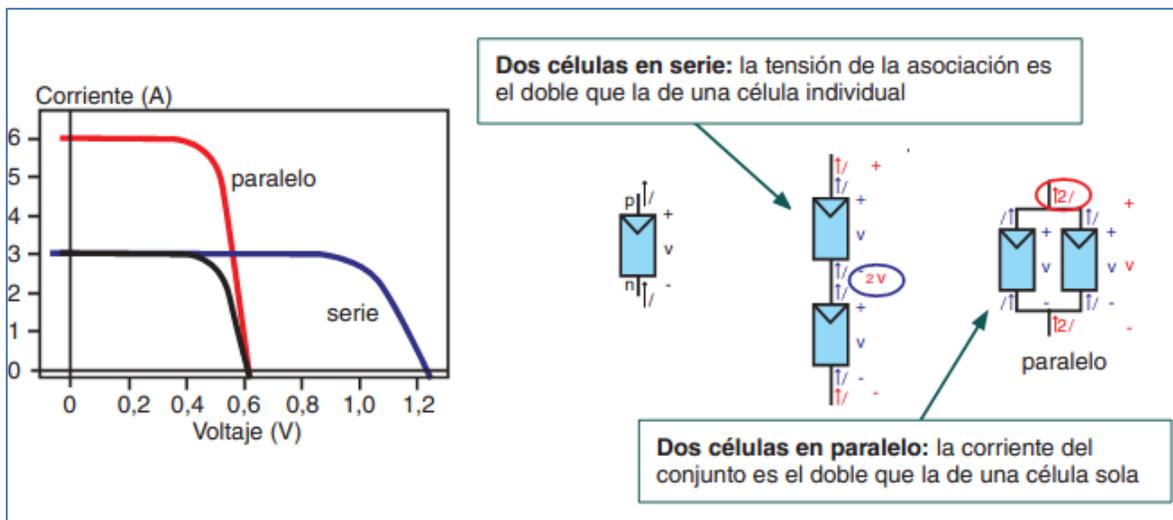


Figura 9. Asociación de células solares. Si se necesita aumentar la tensión, se une en serie; si lo que se desea es aumentar la corriente, la asociación es en paralelo.

#### 1.5.3.4. El regulador

Para un correcto funcionamiento de la instalación, hay que instalar un sistema de regulación de carga en la unión entre los paneles solares y las baterías. Este elemento recibe el nombre de regulador y tiene como misión evitar situaciones de carga y sobredescarga de la batería, con el fin de alargar su vida útil.

El regulador trabaja por tanto en las dos zonas. En la parte relacionada con la carga,

su misión es la de garantizar una carga suficiente al acumulador y evitar las situaciones de sobrecarga, y en la parte de descarga se ocupará de asegurar el suministro eléctrico diario suficiente y evitar la descarga excesiva de la batería. Dado que los módulos solares tienen una tensión nominal mayor que la de la batería, si no existiera regulador se podrían producir sobrecargas.

El motivo de que esta tensión nominal de los paneles sea así se debe fundamentalmente a dos razones:

- Atenuar posibles disminuciones de tensión por el aumento de la temperatura.
- Asegurar la carga correcta de la batería. Para ello la tensión VOC del panel deberá ser mayor que la tensión nominal de la batería.

El dimensionado de la instalación solar se realiza de manera que se asegure el suministro de energía en las peores condiciones de luminosidad del sol. Por ello se toman como referencia los valores de irradiación en invierno. Esto puede provocar que en verano la energía aportada por los módulos solares sea en ocasiones casi el doble de los cálculos estimados, por lo que, si no se conecta el regulador entre los paneles y las baterías, el exceso de corriente podría llegar incluso a hacer hervir el electrolito de los acumuladores, con el riesgo que ello conlleva.

Los fabricantes nos proporcionarán los valores de trabajo del regulador sobre una hoja de características. En estas hojas aparecerán:

- Características físicas del regulador: peso, dimensiones, material empleado en su construcción, etc.
- Características eléctricas.
- Normas de seguridad que cumple.

También hay que considerar otro tipo de aspectos, como pueden ser medidas de seguridad, etc. El regulador debe proteger tanto la instalación como a las personas que lo manejen, por lo que deberá llevar sistemas que proporcionen las medidas de seguridad adecuadas para cada uno de los casos. Los fabricantes nos proporcionan también este tipo de información.

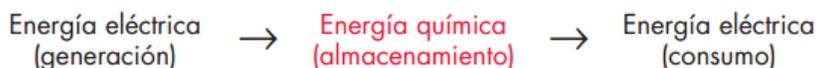
En los catálogos se nos indica el tipo de regulación que lleva (si es serie o paralelo), el tipo de batería que podemos conectar a la salida del equipo, así como todas las alarmas que proporciona ante un mal funcionamiento, y las protecciones que lleva. Como en todos los equipos, se hace mención de la temperatura a la que va a trabajar el aparato y la posible influencia que pueda tener esta sobre el correcto funcionamiento del mismo (no es igual realizar una instalación en una zona de frío extremo que en una zona cálida).

### 1.5.3.5. Acumuladores. Tipos de baterías

La llegada de la energía solar a los módulos fotovoltaicos no se produce de manera uniforme, sino que presenta variaciones por diferentes motivos. Algunas de estas variaciones son predecibles, como la duración de la noche o las estaciones del año, pero existen otras muchas causas que pueden producir alteraciones de manera aleatoria en la energía recibida, como puede ocurrir con un aumento de la nubosidad en un determinado instante.

Este hecho hace necesario utilizar algún sistema de almacenamiento de energía para aquellos momentos en que la radiación recibida sobre el generador fotovoltaico no sea capaz de hacer que la instalación funcione en los valores diseñados. Para ello se utilizarán las baterías o acumuladores.

Las baterías son dispositivos capaces de transformar la energía química en eléctrica. El funcionamiento en una instalación fotovoltaica será el siguiente:



Las baterías son recargadas desde la electricidad producida por los paneles solares, a través de un regulador de carga, y pueden entregar su energía a la salida de la instalación, donde será consumida.

Tres son las misiones que tienen las baterías en las instalaciones fotovoltaicas:

- Almacenar energía durante un determinado número de días.
- Proporcionar una potencia instantánea elevada.

- Fijar la tensión de trabajo de la instalación.

Uno de los parámetros más importantes que tener en cuenta a la hora de elegir un acumulador es la capacidad. Se define como la cantidad de electricidad que puede lograrse en una descarga completa del acumulador partiendo de un estado de carga total del mismo. Se mide en amperios hora (Ah), y se calcula como el producto de la intensidad de descarga del acumulador durante el tiempo en el que está actuando.

Además de la capacidad, debemos considerar otros parámetros en los acumuladores que vamos a utilizar en las instalaciones fotovoltaicas:

- Eficiencia de carga: relación entre la energía empleada para recargar la batería y la energía realmente almacenada. Interesa que sea un valor lo más alto posible (próximo al 100 %, lo que indicaría que toda la energía utilizada para la recarga es factible de ser empleada en la salida de la instalación). Si la eficiencia es baja, será necesario aumentar el número de paneles solares para obtener los resultados deseados.
- Autodescarga: proceso mediante el cual el acumulador, sin estar en uso, tiende a descargarse.
- Profundidad de descarga: cantidad de energía, en tanto por ciento, que se obtiene de la batería durante una determinada descarga, partiendo del acumulador totalmente cargado. Está relacionada con la duración o vida útil del acumulador. Si los ciclos de descargas son cortos (en torno al 20 %, por ejemplo), la duración del acumulador será mayor que si se le somete a descargas profundas (por ejemplo, del 80 %).

Además de los parámetros eléctricos, las características que serían deseables para las baterías a utilizar en las instalaciones solares son:

- Buena resistencia al ciclado (proceso de carga-descarga).
- Bajo mantenimiento.
- Buen funcionamiento con corrientes pequeñas.
- Amplia reserva de electrolito.
- Depósito para materiales desprendidos.

- Vasos transparentes.

Existen diferentes tecnologías en la fabricación de baterías, si bien unas son más adecuadas que otras para utilizarlas en las instalaciones solares.

#### Tipos de baterías

Las baterías se clasifican en función de la tecnología de fabricación y de los electrolitos utilizados. En la Tabla 2 podemos comparar los principales tipos de baterías que hay en el mercado, a través de sus características básicas.

**Tabla 2. Características de los principales tipos de baterías.**

Tipo de batería	Tensión por vaso (V)	Tiempo de recarga	Autodescarga por mes	N.º de ciclos	Capacidad (por tamaño)	Precio
Plomo-ácido	2	8-16 horas	< 5 %	Medio	30-50 Wh/kg	Bajo
Ni-Cd (níquel-cadmio)	1,2	1 hora	20 %	Elevado	50-80 Wh/kg	Medio
Ni-Mh (níquel-metal hydride)	1,2	2-4 horas	20 %	Medio	60-120 Wh/kg	Medio
Li ion (ión litio)	3,6	2-4 horas	6 %	Medio - bajo	110-160 Wh/kg	Alto

Las baterías más utilizadas en las instalaciones solares son las de plomo-ácido, por las características que presentan. Dentro de este tipo de baterías nos podemos encontrar diferentes modelos. Vamos a compararlos y analizar cuál es el más adecuado.

En aquellas instalaciones en las que se tienen descargas profundas, se recomienda el uso de baterías tubulares estacionarias, así como en las instalaciones en las que se necesitan una capacidad elevada. Es el caso que se da en las instalaciones autónomas.

Si la instalación solar es de pequeña dimensión, o de muy difícil mantenimiento, se deberán elegir baterías de gel, vigilando que no se produzcan ciclos de descargas profundos. Un ejemplo puede ser una instalación solar que alimenta un pequeño repetidor en lo alto de una elevación.

A la hora de elegir los acumuladores, es importante tener en cuenta el efecto de la temperatura sobre los mismos. La capacidad aumenta a medida que sube la temperatura, y al revés, disminuye cuando baja la temperatura del lugar donde se encuentra ubicado. Si prevemos la posibilidad de que existan temperaturas por

debajo de 0 °C en el lugar de la instalación, se deberá elegir un acumulador de capacidad mayor que la calculada en el dimensionado de la instalación, con el fin de que no haya problemas en su funcionamiento.

La construcción del acumulador se realiza conectando vasos individuales hasta obtener las condiciones de tensión y capacidad requeridas en la instalación que se pretenda, en el caso de la utilización de baterías tubulares estacionarias. En las baterías monoblock, se deberá elegir aquella que sea acorde con la tensión de trabajo de la instalación y la potencia que se va a consumir en la misma.

### **1.5.3.6. El inversor**

El inversor se encarga de convertir la corriente continua de la instalación en corriente alterna, igual a la utilizada en la red eléctrica.

Es un elemento imprescindible en las instalaciones conectadas a red, y estará presente en la mayoría de instalaciones autónomas, sobre todo en aquellas destinadas a la electrificación de viviendas o partes de edificaciones.

Las características deseables para un inversor DC-AC las podemos resumir de la siguiente manera:

- Alta eficiencia: debe funcionar bien para un amplio rango de potencias.
- Bajo consumo en vacío, es decir, cuando no hay cargas conectadas.
- Alta fiabilidad: resistencia a los picos de arranque.
- Protección contra cortocircuitos.
- Seguridad.
- Buena regulación de la tensión y frecuencia de salida, que como ya hemos comentado debe ser compatible con la red eléctrica.

La misión del inversor en las instalaciones autónomas es proporcionar una corriente alterna como la de la red eléctrica, con el fin de que se puedan conectar a los mismos electrodomésticos de los utilizados habitualmente en las viviendas. En este caso, las variaciones que pueda sufrir la corriente no tienen la importancia que en el caso de los inversores de las instalaciones conectadas a la red.

En el caso de las instalaciones conectadas a red, el inversor debe proporcionar una corriente alterna que sea de las mismas características de la red eléctrica a la que está conectado, tanto en forma (senoidal) como en valor eficaz (230 V) y sobre todo en la frecuencia (50 Hz) o 110 V y a una frecuencia de 60 Hz; no se permiten prácticamente variaciones, con el fin de evitar perturbaciones sobre la red eléctrica de distribución.

## **1.6 Usos y desarrollos actuales de la energía solar fotovoltaica**

Durante gran parte de los años ochenta y de principios de los años noventa el mayor mercado para los paneles solares estaba en las fuentes de alimentación para áreas remotas y algunos productos de consumo (relojes, juguetes y calculadoras). Sin embargo a mediados de los años noventa fue lanzado un importante esfuerzo para desarrollar paneles solares integrados en la construcción de edificios para ser conectados a la red. El tejado fotovoltaico actualmente está liderando el desarrollo del mercado en Japón, Europa y los EE.UU. Japón tiene programas que apuntan a construir numerosos hogares solares, con el cual para el año 2010 terminó con alrededor de unos 4.820 MW producidos por sistemas fotovoltaicos. En Europa, varios países están apoyando la construcción de hogares solares, con el Parlamento Europeo propuso para el 2010 un esquema de 1.000 MW. En los EE.UU., fueron enunciados desarrollo de programas de techos solares, que apuntó instalar paneles solares en un millón de azoteas en América antes de 2010.

En Australia y los E.E.U.U., la aparición de los esquemas de energía verde, que permiten que los clientes elijan opciones de energía renovable, ha agregado considerable impulso al crecimiento de la industria. Las granjas solares conectadas a la red se han construido en Australia, Japón, los E.E.U.U. y Grecia.

La industria fotovoltaica está experimentando un rápido crecimiento. Al final de 2008 la potencia fotovoltaica acumulada globalmente fue de 15,2 GW y una parte importante está conectada a la red. En Flandes, Bélgica, región con relativamente bajos niveles de irradiación solar, la cifra de sistemas fotovoltaicos conectados a la

red se duplicó de septiembre de 2008 a junio de 2009. Allí, un Generador Solar Fotovoltaico de 3,4 kWp (Kilowatt-pico) conectado a la red, se amortiza en ocho años y produce energía limpia y gratis durante otros 17 años como mínimo.

Según un reporte emitido por la firma consultora Solarbuzz, en 2008 se instalaron en el mundo 5,95 GW en paneles solares. El 91,3 por ciento se concentró en España, Alemania, los Estados Unidos de América, Corea del Sur, Italia y Japón. La industria fotovoltaica tuvo ganancias por 37,1 miles de millones de dólares y es fuente de empleo en todos los continentes. China y Taiwán producen el 44 por ciento de las celdas solares del mundo. El precio promedio mundial en ventas al detalle de paneles fotovoltaicos de las diferentes tecnologías, en agosto del 2009, es de 4,32 euros por watt-pico. Dado que la potencia entregada por un panel solar depende de la intensidad de la radiación incidente y de la temperatura, se ha convenido medirla en watt-pico; o sea, la potencia entregada bajo condiciones específicas de 1 000 W/m<sup>2</sup> de radiación solar y temperatura ambiente de 25 grados Celsius.

La mayor central fotovoltaica del mundo se encuentra en Portugal a un costo de 250 millones de euros. Está diseñada para sostener 350 mil paneles solares, una potencia de 62 MW y evitará la emisión de 60 mil toneladas de CO<sub>2</sub> al año.

### **1.6.1 Sistemas de protección Catódicos**

La protección catódica es un método de proteger las estructuras de metal contra la corrosión. Es aplicable a puentes, tuberías, edificios, estanques, perforaciones y líneas ferroviarias. Para alcanzar la protección catódica se aplica un pequeño voltaje negativo a la estructura de metal y éste evita que se oxide o aherrumbre. El terminal positivo de la fuente es conectado a un ánodo galvánico o de sacrificio que es generalmente un pedazo del metal de desecho, que es corroído en vez de la estructura que se desea proteger. Las celdas solares fotovoltaicas a menudo se utilizan en lugares remotos para proporcionar este voltaje (Anónimo, 2010a; ECURED, 2011).

### **1.6.2 Cercas Eléctricas**

Las cercas eléctricas se utilizan extensamente en agricultura para evitar que el ganado o los depredadores entren o deje un campo cerrado. Estas cercas tienen generalmente uno o dos alambres "vivos" que se mantienen con cerca de 500 voltios de Corriente Continua. Éstos dan una dolorosa descarga, pero inofensiva a cualquier animal que los toque. Esta descarga generalmente es suficiente para evitar que el ganado derribe los cercos. Estas cercas también se utilizan en recintos de la fauna y áreas protegidas. Requieren de un alto voltaje pero muy poca corriente y a menudo están situadas en áreas alejadas donde el costo de energía eléctrica es alto. Estas necesidades se pueden resolver mediante un sistema fotovoltaico compuesto de células solares, un acondicionador de energía y una batería.

### **1.6.3 Sistemas de Iluminación**

A menudo se requiere iluminación en lugares remotos donde el costo de emplear energía de la red es demasiado alto. Tales aplicaciones incluyen la iluminación de seguridad, ayudas a la navegación (ej. boyas y faros), señales iluminadas en los caminos, señales en cruces ferroviarios y la iluminación de aldeas. Las células solares pueden satisfacer tales usos, aunque siempre se requerirá de una batería de almacenaje. Estos sistemas generalmente consisten de un panel fotovoltaico más una batería de almacenaje, un acondicionador de energía y una lámpara fluorescente de baja tensión y alta eficiencia. Estos sistemas son muy populares en áreas remotas, especialmente en países en vías de desarrollo y es uno de los usos principales de células solares.

### **1.6.4 Usos frecuentes de la energía fotovoltaica en Cuba**

Los usos más comunes de los sistemas de electrificación fotovoltaica en Cuba son los siguientes. Energía eléctrica para círculos sociales y consultorios médicos en lugares de difícil acceso, fundamentalmente en zonas montañosas de la región oriental, sobre todo en la Sierra Maestra, se ha desarrollado además un programa de

creación de salas de videos en comunidades apartadas. Energía eléctrica para las escuelas rurales, se aplica en pequeñas escuelas rurales apartadas, para que puedan captar la señal de la televisión educativa, mediante los cuales se eleva la calidad del proceso docente educativo, más de 1944 escuelas han recibido este beneficio (ECURED, 2011).

Hoy se puede decir que la provincia Granma es una de las que más genera electricidad con los Sistemas Fotovoltaicos, cuenta con 82 paneles solares en viviendas rurales, 14 en Bayamo, 3 en Guisa, 11 en Río Cauto, 7 en Cauto Cristo, 4 Jiguaní y 43 en Bartolomé Masó (ECURED, 2011).

Miles son los objetivos sociales y económicos que a lo largo de toda la geografía cubana han sido electrificados con paneles solares entre los que destacamos, cooperativas, fincas, campismos populares, repetidores de televisión e instalaciones de telefonía no atendidas entre otros.

En los últimos años se recuperó la producción de módulos fotovoltaicos en el país y el combinado de Componentes Electrónicos de Pinar del Río debe alcanzar en los próximos años una capacidad elevada de producción, lo que permitirá satisfacer crecientes demandas del mercado nacional y la exportación.

El uso de programas de aprendizaje a distancia a través de un televisor y el uso de equipos de sonido para desarrollar las habilidades artísticas de los niños y niñas, son dos de los beneficios directos más evidentes de esta aplicación. También existen beneficios para los adultos; por ejemplo, programas de alfabetización nocturna, reuniones comunitarias nocturnas, puestos de salud, puestos de emergencia, puestos policiales, etc. Una ventaja importante de este tipo de aplicación es que la cantidad de beneficiarios es grande y los costos de este tipo de sistemas no son considerablemente mayores que los costos de un sistema individual para aplicaciones domésticas.

Generalmente se asocia a los sistemas fotovoltaicos con la iluminación eléctrica para

los interiores de las viviendas rurales, sin embargo, la iluminación de canchas de fútbol, espacios libres comunitarios, caminos, parques, calles y otros sitios públicos es otra aplicación extremadamente útil de los sistemas fotovoltaicos. El beneficio de la iluminación es mayor cuando el número de usuarios es grande. Además, los sistemas fotovoltaicos de iluminación pública pueden proveer suficiente energía para el entretenimiento de la comunidad a través de la utilización de televisores o equipos de sonido. Una ventaja importante de la iluminación fotovoltaica pública es que el costo de una luminaria fotovoltaica autónoma no es significativamente mayor que el costo de un sistema fotovoltaico doméstico; mientras que el número de usuarios y el número de beneficios del sistema fotovoltaico de iluminación pública es muchos más grande que en el caso del sistema doméstico de iluminación.

#### **1.6.4.1 Oportunidades**

A pesar de las barreras, el futuro de las energías renovables en el país tiene interesantes posibilidades de desarrollo. Se mencionan las oportunidades más relevantes:

- Existe mayor conciencia en la búsqueda de soluciones apropiadas a los problemas energéticos de algunas regiones del país.
- Se prevé una tendencia a mejorar el trabajo de coordinación, promoción y desarrollo de las energías renovables por parte de organismos locales y regionales.
- Existen Entidades interesadas en la formación técnica para instaladores fotovoltaicos y en capacitaciones relacionadas con aspectos socio-económicos de las energías renovables.
- Las principales universidades del país disponen de investigadores dedicados al desarrollo de proyectos de electrificación utilizando esta tecnología.



## Capítulo III

### **Capítulo II: Materiales y Métodos**

En este capítulo se mostrará la estructura metodológica seguida en la investigación para el diseño de Generadores Solares Fotovoltaicos, se tomarán en consideración los distintos aspectos teóricos presentados en el capítulo 1, a partir de la combinación de estos fundamentos teóricos, con los métodos de cálculos empleados se llega a la propuesta del sistema diseñado y además describir la metodología de investigación utilizada en el presente trabajo.

#### **2.1 Metodología de investigación**

Para el desarrollo de la investigación se siguieron una serie de etapas que se describen a continuación.

Estudio de antecedentes y tendencias: En un primer momento se realizó el análisis de la introducción de las Tecnologías de los Generadores Solares Fotovoltaicos (GSF) en varios contextos, o sea sus diferentes aplicaciones, dentro de ellos en la sociedad, también se constató que las tecnologías que describen a los GSF constituyen un medio de importante relevancia en la aplicación y uso de energías renovables, además responden a las exigencias actuales, donde hoy en día existen polos de fuerzas que su principal objetivo está centrado en la obtención de dominio de fuentes de energías y principalmente la que proporciona el combustible fósil. Ello constituyó una parte en la elaboración del marco teórico que se recoge en el Capítulo 1.

El proceso de investigación a pesar de que se tiene a consideración la combinación tanto de métodos cualitativos como cuantitativos, se enuncian principalmente en el enfoque que describe el modelo físico debido a que este enfoque lleva a determinar a través de los distintos procedimientos de cálculos para obtener los distintos parámetros que caracterizan a los GSF. En definitiva, el modelo físico según (Lobaina y Diéguez, 2008) estudia las propiedades de la materia, la energía, el

tiempo, el espacio y sus interacciones (fuerzas) lo cual significa que los sistemas físicos se caracterizan por tener una ubicación en el espacio-tiempo y un estado físico definido y estar sujetos a evolución temporal; asimismo están asociados con la magnitud física llamada energía. El modelo central de la Física es el llamado Cuadro Físico Científico del Mundo que enmarca la descripción de los objetos de la naturaleza mediante ciertos Principios (Causalidad, Simetría, Relatividad, Equivalencia, etc.) y Teorías Físicas que a su vez contienen Modelos Ideales que son descritos por Conceptos y Leyes que se describen generalmente mediante el lenguaje de la Matemática. Por ejemplo, la Mecánica Clásica estudia la Estática (investiga los cuerpos sobre los que actúan fuerzas y momentos cuyas resultantes son nulas, de forma que permanecen en reposo o en movimiento no acelerado); la Cinemática (que contempla el movimiento de cuerpos haciendo abstracción de las causas que lo producen); la Dinámica (que analiza el movimiento de los cuerpos teniendo en cuenta las fuerzas que los causan) y las Leyes de Conservación. Los modelos de la Mecánica Clásica son las partículas, los cuerpos rígidos, los cuerpos deformables, etc. (Lobaina y Diéguez, 2008).

Atendiendo lo anteriormente dicho se opta por el método de Modelación-Simulación-Experimento, ya que este método es la integración de tres enfoques en el estudio de un objeto o fenómeno. En primer lugar se obtiene para este objeto o fenómeno un modelo satisfactorio en el campo de acción de interés. Cualquiera sea este modelo, debe expresarse como un modelo físico o matemático que a su vez se convierte en un artefacto en un software que simula (reproduce) los aspectos esenciales que se estudian. En este momento, el estudio se realiza experimentalmente sobre la simulación como si este fuera un objeto real, en el caso de la presente investigación se determina los principales parámetros de diseño del GSF y se realiza la simulación del sistema para determinar el comportamiento estructural que soporta los paneles solares fotovoltaicos, en cuanto a deformación, desplazamientos, en esencia la resistencia ante la aplicación de cargas en este.

El trabajo se desarrolló en el Combinado Mecánico del Níquel, en el Departamento de Informática de esta empresa.

## 2.2 Dimensionado del Generador Solar Fotovoltaico

El concepto de diseño abarca las etapas de proyecto y montaje de Generadores Solares Fotovoltaicos, cada una de las cuales se desarrolla en varias fases. El diseño es un proceso que comienza con la concepción del sistema y termina con la verificación, de adecuación del modelo. La tarea central del diseño de un GSF es el dimensionado del panel fotovoltaico y de la batería de acumulación de energía, para lo cual hay que tomar en consideración, básicamente las características de insolación de la región donde se ubicara el GSF y la demanda energética de la carga.

Se denomina dimensionado de una instalación solar fotovoltaica a una serie de procesos de cálculo destinados a lograr optimizar el uso y la generación de la energía eléctrica de origen solar, alcanzando un balance adecuado entre ellos, desde los puntos de vista técnico y económico.

La idea fundamental a tener en cuenta en el diseño de un sistema fotovoltaico es la de llegar a obtener un balance equilibrado entre la energía generada y la consumida por la carga, más las pérdidas del sistema. Este equilibrio debe alcanzarse incluso en las condiciones de trabajo más desfavorable que se prevean.

Existen diferentes sistemas de cálculo, desde los más sencillos, realizados de forma manual, hasta los más sofisticados, realizados con ordenador, pero todos se basan en un procedimiento similar al siguiente:

1. Establecimiento del tipo de instalación y de los bloques funcionales que intervienen en ella.
2. Cálculo de la energía recibida en el lugar de instalación y establecimiento de los parámetros que influyen en la captación.
3. Establecimiento del periodo anual de trabajo de la instalación, para el que se deben dimensionar los diferentes elementos.
4. Establecimiento del periodo de autonomía de la instalación.
5. Cálculo de la energía consumida por las cargas a las que suministra energía la instalación.
6. Dimensionado de los diferentes elementos constructivos de la instalación:

generador, regulador, acumulador, inversor, etc.

### **2.2.1 Tipo de instalación.**

Se debe de realizar un análisis previo para obtener una completa definición de los elementos que forman parte de la instalación. Para ello debemos tener en cuenta, entre otros, los siguientes aspectos:

- El tipo de corriente eléctrica utilizada por nuestra aplicación, que puede ser corriente continua (CC), corriente alterna (CA) o ambas simultáneamente.
- El régimen diario de uso, es decir, si la energía se usa en un periodo diurno, nocturno, mixto o irregular.
- La rapidez del consumo, es decir la energía consumida por unidad de tiempo, o lo que es lo mismo, la potencia que debe suministrar el sistema.
- La potencia requerida determina el tamaño del generador y del sistema de acumulación.
- El tipo de carga a utilizar.

Tanto en las instalaciones aisladas, como en cualquier otro tipo de instalación, debemos analizar cada uno de los puntos anteriores deberemos ir rellenando una tabla como la siguiente:

Características de la instalación fotovoltaica.

- Tipo de instalación:
  - Aislada
  - Conectada a red
  - Bombeo
  - Otras
  - Mixtas
- El tipo de corriente eléctrica utilizada:
  - CC
  - CA
- Régimen diario de uso:

- Diurno
- Nocturno
- Mixto
- Irregular
- Periodo de consumo
  - Verano
  - Invierno
  - Todo el año
- Potencia a suministrar
  - Media diaria
  - Pico de consumo
- Bloques funcionales que intervienen
  - Inversor
  - Acumulador
  - Regulador

### **2.2.2. Energía solar recibida por la instalación.**

Tanto el cálculo de la energía solar recibida por la instalación, como el valor los parámetros que influyen en la captación de energía solar.

### **2.2.3. Período anual de trabajo de la instalación.**

Se establecerá un período de diseño para calcular el dimensionado del generador en función de las necesidades de consumo y la irradiación. Se indicará cuál es el período para el que se realiza el diseño y los motivos de la elección. Algunos ejemplos son:

- En escenarios de consumo constante a lo largo del año el criterio de “mes peor” corresponde con el de menor irradiación.
- En instalaciones de bombeo, dependiendo de la localidad y disponibilidad de agua, el “mes peor” corresponde a veces con el verano.
- Para maximizar la producción anual, el período de diseño es todo el año.

#### **2.2.4. Autonomía mínima de la instalación.**

Al periodo de días consecutivos sin Sol, en los cuales el sistema solar solo depende para su funcionamiento del banco de baterías, se le denomina autonomía mínima de la instalación.

La determinación correcta del número de días de autonomía (N) es muy importante, ya que incide directamente en el tamaño del acumulador y del generador, así como en la fiabilidad del sistema y en su costo.

Se debe tener en cuenta para que tipo de uso esté diseñado el sistema solar fotovoltaico, ya que, por ejemplo, no es lo mismo el número de días de autonomía para un sistema profesional de telecomunicaciones, que para la alimentación eléctrica de una vivienda aislada en una zona montañosa.

La autonomía mínima del sistema debe ser de 3 días, pero evidentemente no son los mismos 3 días de autonomía en Galicia que en Andalucía. Por ello se propone como sistema de cálculo de los días de autonomía, en una ubicación dada, el utilizar la media de días despejados mensuales medidos en la estación meteorológica más próxima y realizar el siguiente cálculo:

$$A = Dm / DD$$

Dónde: A son los días de autonomía de la instalación; Dm son los días del mes con menos días despejados del periodo en que utilizamos la instalación; y DD son los días despejados del mes más desfavorable, obtenidos de la tabla general de datos climatológicos.

Como se ha indicado A debe tener un valor mínimo de 3 días. El resultado (A) se puede multiplicar por un factor de seguridad, en función de lo crítica que sea la instalación o de las diferencias producidas por un microclima local con respecto a la estación de medida tomada como referencia.

Evidentemente este método es mucho más seguro que tomar un valor fijo de días de autonomía en cualquier circunstancia y ubicación, pero evidentemente implica sobredimensionar, y por tanto encarecer, las instalaciones que se realicen en las

zonas más desfavorecidas climatológicamente, cosa por otra parte totalmente lógica.

### **2.2.5. Estimación de la energía consumida por la carga.**

La mayor dificultad en el diseño de una instalación fotovoltaica es la determinación correcta del valor energético a generarse y acumularse, si existe un banco de baterías. Cuando estos valores son óptimos, el sistema resultante tendrá el menor costo y el mayor grado de fiabilidad posibles.

La estimación correcta de la energía consumida por el sistema fotovoltaico sólo es sencilla en aquellas aplicaciones en las que se conocen exactamente las características de la carga, como por ejemplo en sistemas de telecomunicación. Sin embargo, en otras aplicaciones, como puede ser la electrificación de viviendas, la tarea nunca resulta fácil ya que intervienen multitud de factores que afectan al consumo final de electricidad, como es el tamaño y composición de las familias (edad, formación, etc.), hábitos de los usuarios, capacidad para administrar la energía disponible, etc. etc.

Además el cálculo de la energía consumida debe incluir las pérdidas diarias de energía causadas por el autoconsumo de los equipos (regulador, inversor, convertidor, etc.) y sus rendimientos respectivos en los momentos en que intervienen en el proceso de suministrar energía eléctrica a la carga.

La energía diaria consumida ( $E_{con}$ ) se debe calcular de la forma más simple y eficiente posible. Para ello, en primer lugar calcularemos el consumo de energía de las cargas del sistema, para lo cual rellenaremos una tabla como la siguiente, con los datos del consumo diario.

Los equipos conectados a nuestra instalación autónoma pueden trabajar en corriente continua o alterna, el tratamiento de cada una de ellas es diferente, por lo que deberemos realizar una hoja de cargas en la que se indique el tipo de corriente, continua o alterna. En el caso de que se utilicen equipos que funcionen en corriente continua a distinto voltaje deberemos indicarlo en la hoja de cargas para darle un tratamiento específico.

### **2.2.6. Dimensionado del generador.**

El proceso de dimensionado del generador no es sencillo y conlleva una serie de pasos, que indicamos a continuación.

#### **2.2.6.1. Estimación de la energía demandada al generador.**

El cálculo de la energía diaria demandada al generador debe incluir también las pérdidas diarias de energía causadas por el autoconsumo de los equipos (regulador, inversor, etc.). Por lo tanto la energía demandada (ED) del generador será mayor que la energía consumida por la carga, ya que debe incluir los consumos correspondientes a los elementos indicados.

En función de los elementos que intervengan en el sistema podremos deducir la energía demandada al generador aplicando la ecuación:

$$ED = E_{Con} / (c \cdot inv \cdot ra \cdot o)$$

Dónde: ED es la energía demandada al generador en Wh/día; ECon es la energía consumida por la carga en Wh/día; con, inv, ra c y o son los rendimientos indicados de los elementos que intervienen en la instalación.

En el caso de que en la misma instalación intervinieran en unos casos unos elementos (convertidor, inversor, etc.) y en otros casos otros, entonces sería necesario hacer una estimación de la energía demandada para cada caso del generador y sumarlas posteriormente.

Los valores a utilizar para el cálculo del rendimiento total serán los indicados por los fabricantes de los diferentes componentes y del cálculo de las pérdidas en los conductores o, en caso de no disponer de ellos, los indicados como valores típicos.

Un tema muy importante en el diseño de una instalación es el de la máxima potencia necesaria en un momento dado, para mantener en funcionamiento sus diferentes elementos, sin sobrepasar la potencia que nos puede suministrar el sistema. En las instalaciones aisladas nunca se utilizan toda la potencia de consumo de los diferentes elementos de la carga de forma simultánea. Lo normal es que una vez utilicemos unos elementos y otras veces otros, de manera que la máxima potencia

que debemos suministrar es un factor que debemos estudiar detenidamente.

La potencia máxima que debe suministrar la instalación viene determinada por la suma de las potencias de los elementos que deben funcionar de forma simultánea imprescindiblemente, más un margen de seguridad y maniobra que suele fijarse en un 40% por encima de la cantidad anterior y que denominaremos potencia máxima necesaria (Pmn).

Fijar los elementos que deben funcionar de manera simultánea no es tarea fácil y depende de cada instalación. La forma más práctica de saberlo es analizar los equipos, prestaciones y necesidades de cada instalación en las peores condiciones de trabajo posibles. En la mayoría de los casos, para simplificar, tomamos la potencia máxima necesaria como la suma de la potencia total de los elementos de la instalación.

#### **2.2.6.2. Pérdidas en el generador.**

Pero, además de los rendimientos típicos de los diferentes elementos, hay otras pérdidas en el generador que obligan a aumentar el número de paneles que lo componen.

Estas pérdidas son básicamente las indicadas a continuación:

- Pérdidas en el generador:

<b>-Tipo de pérdida</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor típico</b>
-Sombras e inclinación	Pso	0%
-Suciedad	Psu	5%
-Incremento de la temperatura	Pt	10%
-Orientación	Po	0%
-Tolerancia en los valores de potencia nominal	Pn	10%
-Otros efectos	Pv	3%
-Envejecimiento:	Pe	20%

##### **2.2.6.2.1. Pérdidas por sombras.**

Si orientamos e inclinamos correctamente el panel, pero tenemos delante un obstáculo que proyecta su sombra sobre él, la eficacia del sistema puede llegar a ser nula. Por ello nos aseguraremos que sobre nuestros paneles no se proyecten

sombras (en la medida de lo posible).Aplicaremos para ello el siguiente criterio:

Pérdidas totales de captación admisibles.

<b>Caso</b>	<b>Orientación e inclinación</b>	<b>Sombras</b>	<b>Total</b>
General	10%	10%	15%
Superposición	20%	15%	30%
Integración arquitectónica	40%	20%	50%

La instalación del panel o paneles se realizará de forma que se asegure que al mediodía solar del día más desfavorable del año (solsticio de invierno) no haya más de un 10% de la superficie útil de captación en sombra para el caso general.

#### **2.2.6.2.2. Pérdidas por suciedad.**

Las pérdidas por suciedad se pueden evitar de forma relativamente fácil, pero son inevitables sino limpiamos con cierta frecuencia los paneles, especialmente en ubicaciones de difícil acceso o en climas en los que se deposite polvo o suciedad con facilidad. Para simplificar tomaremos como valor por defecto el 5%.

#### **2.2.6.2.3. Pérdidas por incremento de la temperatura.**

Normalmente esta es una información que indican los fabricantes en las características técnicas de sus módulos, en caso de no disponer de ella, para los cálculos prácticos, se toma un coeficiente de pérdida de la potencia de salida del 0,6% / °C, para cada grado por encima de los 25 °C. Para los cálculos prácticos, en el caso de que no podamos calcular la temperatura del módulo, tomaremos la temperatura de trabajo como 20 °C por encima de la temperatura ambiente según bibliografías consultadas.

#### **2.2.6.2.4. Pérdidas por tolerancia en los valores de potencia nominal.**

La tolerancia en los valores de potencia de los paneles solares fotovoltaicos oscila entre 0 y 10%. Para estar seguros de que consideramos estas pérdidas, independientemente del tipo de panel, tomaremos como pérdidas por tolerancia el

máximo especificado por el fabricante o, en caso de no hacerlo, un 10%.

#### **2.2.6.2.5. Pérdidas por otros efectos.**

Las pérdidas por otros efectos pueden ser, por ejemplo, las debidas a los elementos de protección y las caídas de tensión debidas a la interconexión de los módulos.

Estos efectos vienen a representar un mínimo del 3% de pérdidas en el generador.

#### **2.2.6.2.6. Pérdidas por envejecimiento.**

Las pérdidas por envejecimiento son muy importantes ya que obligan a incrementar el tamaño del generador en un 20 % para que dure 20 años. Como se explica a continuación no se aplicará este factor de corrección salvo en instalaciones muy críticas y de difícil acceso, ya que otros aspectos a considerar compensan el envejecimiento.

#### **2.2.6.2.7. Pérdidas totales en el generador.**

Las pérdidas totales en el generador vendrán dadas por la ecuación siguiente:

$$P_{\text{totales}} = P_{\text{so}} * P_{\text{su}} * P_{\text{t}} * P_{\text{n}} * P_{\text{v}}$$

Dónde:  $P_{\text{totales}}$  son las pérdidas totales y los demás factores son los indicados con anterioridad.

#### **2.2.6.3. Determinación del tamaño del generador.**

Una vez que conocemos:

- La demanda energética sobre el generador (ED) en kWh/día.
- Las pérdidas que se producen en el generador ( $P_{\text{totales}}$ ) en tantos por uno.
- El valor medio mensual de la irradiación solar media diaria captable ( $E_c$ ) en kWh/m<sup>2</sup>.día, que incide sobre el plano del generador, teniendo en cuenta sus variaciones con respecto a la variación óptima.
- El rendimiento de los paneles que componen el generador (P), habiendo descontado un 10% del factor de corrección medio (FCr) factor seducido experimentalmente. A este rendimiento lo llamaremos rendimiento de los

paneles corregido y se representará por PC. En muchos catálogos el rendimiento aparecerá como eficiencia.

Se puede determinar el tamaño del generador solar fotovoltaico aplicando la siguiente ecuación:

$$ST = ED / (Ec * P_{\text{totales}} * PC)$$

El resultado nos dará una superficie total útil de generador en m<sup>2</sup>.

Evidentemente, en función del modelo de panel obtendremos la cantidad de paneles necesarios para cubrir nuestras necesidades. Podemos realizar el cálculo para diversos modelos de panel y optar por el que resulte más adecuado a nuestros propósitos.

La cantidad será diferente en función de los meses del año, dado que la irradiación o energía captable varía según ellos, por lo que se procede a realizar el cálculo para el mes más desfavorecido del periodo de utilización de la instalación.

Hay que tener en cuenta en el dimensionado del generador un factor muy importante, no es necesario considerar los días de autonomía de la instalación, ya que al ser el valor de la irradiación incidente un promedio de la irradiación durante todos los días del mes, están incluidos en el valor de la irradiación que recibe diariamente de promedio.

Durante el resto de los días no despejados, el generador seguirá captando ciertos niveles de energía, lo que supondrá un sobredimensionamiento de la instalación.

Pero esto es positivo ya que servirá para compensar el envejecimiento de los paneles, el polvo y suciedad, el fallo en las conexiones eléctricas del cableado y los fallos de los accesorios eléctricos.

En función de la superficie útil del panel (Sup) podremos conocer el número total de paneles necesarios (NT), aplicando una sencilla ecuación:

$$NT = ST / Sup$$

Conociendo el número total de paneles (NT) es fácil de saber cuántos deberemos

poner en serie y cuantos en paralelo. El número de paneles en serie, en cada línea de paneles del generador, vendrá determinado por el voltaje nominal necesario y será:

$$NPS = V_{nomG} / V_{nomPI}$$

Dónde: NPS es el número de paneles en serie;  $V_{nomG}$  es el voltaje nominal del generador;  $V_{nomPI}$  es el voltaje nominal de cada panel según las especificaciones del fabricante.

Los voltajes reales serán ligeramente superiores, pero esto es necesario para realizar una correcta carga de las baterías.

El número de líneas de paneles en paralelo (NPP) del generador vendrá dado por:

$$NPP = NT / NPS$$

Para terminar de establecer el tamaño de nuestro generador deberemos tener en cuentas las siguientes consideraciones:

- En el caso de que el número de paneles en serie tenga una cifra decimal, siempre se redondeará al número entero de paneles más próximo.
- En el caso de que el número de ramas de paneles tenga una cifra decimal, siempre se redondeará al número entero de ramas más próximo.
- Además se debe considerar que las diferentes ramas en paralelo deben tener igual número de paneles.

### **2.2.7. Dimensionado del acumulador.**

Para dimensionar el acumulador, se debe calcular primeramente el consumo medio diario en Ah/día. La ecuación a utilizar para determinarlo es la siguiente:

$$LD = ED / V_{nom}$$

Dónde: LD es la cantidad de Ah que debe guardar el acumulador para un día de consumo; ED es la energía diaria demandada en Wh/día; y  $V_{nom}$  es la tensión nominal del acumulador en voltios.

En función de los elementos que intervengan en el sistema podremos deducir la

energía demandada al acumulador aplicando la ecuación:

$$ED = E_{Con} / (\text{con} * \text{inv} * \text{ra} * \text{c} * \text{o})$$

La energía demandada al acumulador es prácticamente la misma que al generador, salvo que no es necesario considerar el rendimiento del cableado entre el generador y el acumulador. Como su valor es pequeño, en torno al 3%, consideraremos ambas como iguales.

La ecuación que nos establece el tamaño del acumulador, teniendo en cuenta los días de autonomía fijados en el apartado correspondiente, es la siguiente:

$$C_{20} = (A * LD) / PD_{max}$$

Dónde:  $C_{20}$  es la capacidad del acumulador en Ah para cubrir los días de autonomía de la instalación; A es la autonomía del sistema en días; LD es el consumo diario medio de la carga en Ah.;  $PD_{max}$  es la profundidad de descarga máxima.

El régimen de carga (o descarga) es un parámetro que relaciona la capacidad nominal de la batería y el valor de la corriente a la cual se realiza la carga (o la descarga). Se expresa normalmente en horas y se representa como un subíndice en el símbolo de la capacidad y de la corriente a la cual se realiza la carga (o la descarga).

Por ejemplo, si una batería de 100 Ah se descarga en 20 horas a una corriente de 5 A, se dice que el régimen de descarga es 20 horas ( $C_{20} = 100 \text{ Ah}$ ) y la corriente se expresa como  $I_{20} = 5 \text{ A}$ .

La utilización de  $C_{20}$  en vez de la  $C_{100}$ , que es un tiempo de descarga más razonable, lleva a sobredimensionar el acumulador un 25 %, pero que se compensan con la pérdida de capacidad producida con el tiempo.

Para asegurar una adecuada recarga de las baterías, la capacidad nominal del acumulador (en Ah) no excederá en 25 veces la corriente de cortocircuito ( $CcG$ ) del generador fotovoltaico (en A).

Para establecer el número de baterías o vasos en serie en el acumulador, es importante conocer cuál debe ser el voltaje nominal del acumulador. Este se fijará en

función del voltaje necesario de salida del acumulador, el cual viene condicionado por las características de nuestro inversor y de nuestro regulador. Los valores más habituales de tensión del acumulador son 12, 24, 36 y 48 voltios.

Cada celda o vaso de plomo-ácido tiene un potencial de nominal de 2 voltios, colocando diversas celdas en serie alcanzamos el voltaje necesario, por ejemplo, con 12 celdas en serie tendremos 24 voltios de salida en nuestro acumulador. Al conjunto de celdas o vasos en serie le llamaremos rama o línea de celdas. Esta rama tendrá el voltaje nominal del acumulador y una capacidad como ya se ha indicado.

Con esto tendremos una capacidad en Ah determinada, si deseamos aumentar la capacidad del acumulador deberemos colocar sucesivas ramas de celdas en paralelo con la primera, lo que no modificara el voltaje de salida del acumulador, pero sí su capacidad.

En el caso de utilizar baterías compactas, la forma de actuar es idéntica a sí lo hacemos con vasos o celdas independientes, salvo que en vez de trabajar con valores de 2 voltios por unidad, trabajamos normalmente con 12 voltios por batería.

Para terminar de establecer el tamaño de nuestro acumulador deberemos tener en cuentas las siguientes consideraciones:

- En el caso de que el número de celdas en serie tenga una cifra decimal, siempre se redondeará al número entero de celdas superior más próximo.
- En el caso de que el número de ramas de celdas tenga una cifra decimal, siempre se redondeará al número entero de ramas superior más próximo.
- Además se debe considerar que las diferentes ramas en paralelo deben tener igual número de celdas.

### **2.2.8. Dimensionado del regulador.**

Para dimensionar el regulador debemos calcular la corriente máxima que circula por la instalación, ya sea la producida por el generador o la demandada por la carga.

Esta corriente máxima es la que debe manejar el regulador. En función de esta corriente se deberá elegir un regulador capaz de manejar los niveles de corriente y

tensión requeridos.

La intensidad máxima que puede producir el generador viene dada por la ecuación:

$$I_{mpp} = P_{mpp} / V_{mpp}$$

Dónde:  $I_{mpp}$  es la intensidad pico del generador en amperios (A);  $P_{mpp}$  es la potencia pico del generador en vatios-pico (Wp);  $V_{mpp}$  es la tensión del punto de máxima potencia en voltios (V).

La intensidad que consume la carga se puede calcular considerando que todos los consumos se producen al mismo tiempo. Por lo tanto, utilizaremos la potencia total consumida por la carga:

$$I_{maxC} = P_{maxC} / V_{nomC}$$

Dónde:  $I_{maxC}$  es la intensidad máxima que puede absorber la carga, cuando todos los elementos de consumo funcionan simultáneamente;  $P_{maxC}$  es la potencia máxima que puede disipar la carga cuando todos los elementos de consumo funcionan simultáneamente;  $V_{nomC}$  es el voltaje al que funcionan los elementos de la carga.

Si en la instalación hubiera equipos que funcionan a diferentes voltajes habría que realizar el cálculo para cada grupo de equipos que funcionan a un voltaje determinado y sumar todas las intensidades.

Puede que haya instalaciones en las que establezcamos un limitador de corriente, en tal caso esa corriente será la que tomaremos como corriente máxima de carga.

De las dos corrientes estimadas del generador ( $I_{mpp}$  e  $I_{maxC}$ ), la máxima de ambas será la que el regulador deberá soportar, y será la que se utilizaremos para su elección.

También deberemos tener en cuenta los voltajes de trabajo de las baterías, del generador y de la carga, para establecer los voltajes de trabajo del generador.

### **2.2.9. Dimensionado del inversor.**

Como ya indicamos, las características de funcionamiento de un inversor son:

- La potencia nominal, que debe cubrir la demanda de la carga.
- La tensión nominal de entrada, que no será siempre constante, por lo que el inversor debe ser capaz de transformar distintas tensiones continuas de entrada dentro de un determinado margen.
- La tensión nominal de Salida, que puede ser fija o no, según el inversor actúe como fuente de tensión o como fuente de corriente. No obstante, lo más común es que el inversor actúe como fuente de tensión.

La frecuencia de operación, que debe ser muy estable para evitar funcionamientos incorrectos de los equipos.

Para dimensionar el inversor debemos tener en cuenta la máxima potencia que puede demandar la carga. De manera que elegiremos un inversor cuya potencia nominal sea algo superior a esta potencia máxima demandada por la carga.

No obstante, se debe evitar el sobredimensionamiento del inversor para hacerlo trabajar en la zona donde tiene mayores rendimientos. Para ello no conviene considerar toda la potencia que puede consumir la carga, sino solamente toda la potencia que puede consumir simultáneamente la carga, aunque, como ya se ha indicado, esto puede resultar problemático.

Se puede dar el caso de que la carga, que está compuesta por diversos equipos no esté siempre en condiciones de absorber el máximo de potencia, ya que cuando funcionan unos equipos otros no lo deben de hacer. En estas circunstancias elegiremos un inversor con una potencia de trabajo que cubra solo la potencia máxima consumida simultáneamente.

### **2.2.10. Dimensionado del Cableado.**

El dimensionado del cableado debe realizarse teniendo en cuenta los valores máximos admisibles de caída de tensión en cada parte de la instalación. El no considerar correctamente esta cuestión puede suponer importantes pérdidas de

energía en el sistema y averías en los equipos.

### **2.3 Aspectos a considerar para el cálculo de resistencia de la estructura que soportará el GSF**

Los principales cálculos que se realizarán en este acápite y atendiendo que el GSF estará sometido a cargas generadas por los vientos sobre la estructura, se toma como referencia la Norma Cubana para carga de viento y el método de cálculo que establece la misma.

Esta norma cubana establece el método de cálculo para determinar la carga de viento que debe utilizarse en los cálculos estáticos y dinámicos de los edificios y obras de ingeniería, o de sus partes y elementos, para los cuales el viento resulta ser una sobrecarga de uso. Se aplicará a todas las construcciones terrestres y marítimas, con excepción de edificaciones e instalaciones de forma no usual y no consideradas en la presente norma (NC, 2003).

#### **2.3.1 Dirección del viento**

Se supondrá, salvo condiciones excepcionales, que el viento actúa horizontalmente y en cualquier dirección. De estas direcciones se considerará fundamentalmente el efecto del viento, según las direcciones principales de la estructura. En las estructuras especialmente expuestas al viento, tales como faros, torres y otras, se investigará también su acción en la dirección de las diagonales de dichas estructuras.

#### **2.3.2 Presión del viento**

Cuando se tengan observaciones directas de las velocidades básicas del viento, se podrán calcular las presiones básicas características del viento (en lo adelante “presión básica”) en una superficie normal a su dirección, mediante la fórmula:

$$q_{10} = \frac{V_{10}^2}{1,6 \times 10^3} \quad [\text{kN/m}^2]$$

Dónde:

$q_{10}$  presión básica característica del viento correspondiente a velocidades del aire en terrenos llanos y abiertos a una altura de 10 m sobre el terreno, (kN / m<sup>2</sup>)

$V_{10}$  velocidad característica del viento para un período básico de recurrencia y a una altura de 10 m sobre el terreno, (m/s),

1,6 factor empírico

### 2.3.3 Otros parámetros a tener en cuenta para el cálculo de resistencia de la estructura

*Tabla 3: Cargas verticales.*

No.	Nombre	Masa kg	Peso kg m/s <sup>2</sup>	Separación entre correa (m)	Cant.	Carga (q) N/m
1	Correa	7,4	72,59		3	72,59 * 3=217,78
2	Panel Solar	15	147,15	0,475	3	147,15 * 0,475 * 3=209,69
3	Elementos de sujeción	2,1	20,6	0,475	30	20,6 * 0,475 * 30=239,55
4	Total					721,02 N/m



### Capítulo III: Resultados, valoración económica e impacto medio ambiental

En el presente capítulo se mostrarán los resultados de la aplicación de los métodos explicados en el capítulo 2, quedarán determinados los distintos parámetros que constituyen datos fundamentales para el dimensionamiento del Generador Solar Fotovoltaico, por otro lado también será presentada la valoración económica y el impacto medio ambiental que provoca el sistema diseñado.

#### 3.1 Dimensionado del Generador Solar Fotovoltaico

En el presente acápite se realizará los análisis correspondientes, vistos en el capítulo 2, aunque hay que destacar que no todos los niveles planteados en el capítulo cumplen objetivo determinarlos, debido a que en el capítulo 2 se hace alusión de manera general y para distintas aplicaciones de los GSF.

##### 3.1.1 Tipo de instalación

Para el diseño del GSF se consideraron los siguientes aspectos:

- El tipo de corriente eléctrica: corriente alterna (CA).
- El régimen diario de uso: el GSF será utilizado en período diurno, con 8 horas de trabajo diariamente.
- La rapidez del consumo, o lo que es lo mismo, la potencia que debe suministrar el sistema: la potencia que debe suministrar el GSF será de 2.92 kWh.

**Tabla 4: Cargas del Nodo Central de la Red de la EMNI.**

Área o Dpto.	Tipo de Equipo y Componentes	Cant.	Alimentación		Datos Nominales			
			1Φ	3Φ	V	I	kW	Total kW
Informática	Servidores	6	x		110	9.09	1	7
	Impresoras	1	x		110	1.80	0.198	1.198
	Lámparas	6	x		220	1.82	0.4	6.4
	Consolas	1	x		220	17.05	3.75	4.75
	<b>Subtotal</b>							<b>5.348</b>

### Características de la instalación fotovoltaica.

- Tipo de instalación: Aislada
- El tipo de corriente eléctrica utilizada: CA
- Régimen diario de uso: 8 hrs/Día. Diurno.
- Periodo de consumo: Todo el año
- Potencia a suministrar en el día:  $2.92 \text{ kWh} * 8\text{h} = 23.36 \text{ kW}$ .
- Bloques funcionales que intervienen (Fig. 10):
  - Paneles Solares
  - Regulador
  - Acumulador
  - Inversor

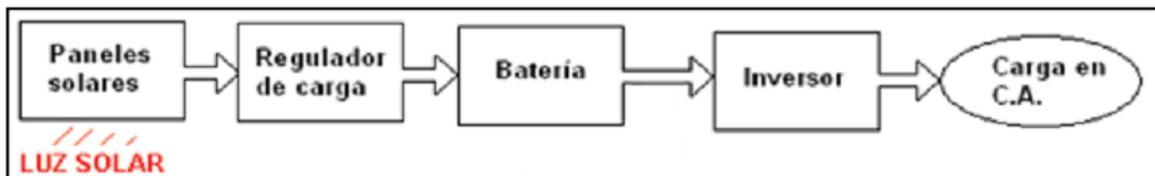


Figura 10. Diagrama del proceso fotovoltaico

Otros datos para el sistema:

Tensión nominal del sistema: 110 V

Localización geográfica del sistema (EMNI, Moa, Cuba)

Autonomía prevista: 3 días.

### 3.1.2. Energía solar recibida por la instalación.

El gráfico 1 muestra la radiación solar que recibirá el GSF, la fuente de los datos, fue suministrada por el Aeropuerto "Orestes Acosta", se puede apreciar que el mes de mayor radiación en el año 2010 fue el mes de agosto.

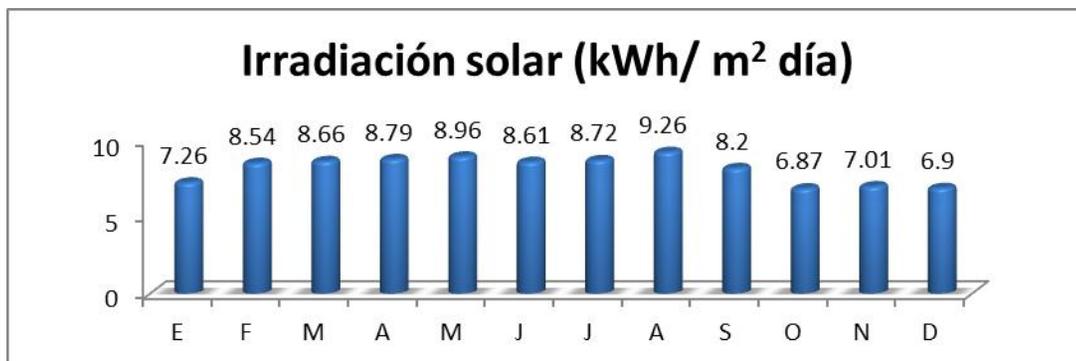


Gráfico 1. Irradiación solar de Moa. Fuente de los datos: (Aeropuerto "Oreste Acosta", año 2010).

### 3.1.3. Período anual de trabajo de la instalación.

Para el caso del presente trabajo se toma como referencia los meses de menor irradiación los meses de octubre, noviembre y diciembre, por coincidir también que son históricamente los meses de temporada ciclónica y tener alto índice de precipitación y por tal motivo menor radiación solar.

Los meses de mayor radiación lo constituyen los meses de febrero a agosto, según gráfico 1, obtenido del análisis de radiación solar en el año 2010.

### 3.1.4. Autonomía mínima de la instalación.

La autonomía del sistema estará dada por 3 días de reserva ( $C_2$ ), las bibliografías consultadas establecen que es el valor mínimo que se puede asignar a un GSF es de 3 días de trabajo sin radiación solar.

### 3.1.5. Dimensionado del generador.

El proceso de dimensionado conlleva una serie de pasos, que indicamos en los acápite siguientes.

A partir del consumo energético teórico 19.35 kWh, se calcula el consumo energético real  $E$  (W-h), necesario para hacer frente a los múltiples factores de pérdidas que van a existir en la instalación fotovoltaica (Augustin, 2010):

$$E = \frac{E_T}{R} \quad (3.1)$$

Donde  $R$  es el parámetro de rendimiento global de la instalación fotovoltaica, definido como (Augustin, 2010):

$$R = (1 - k_b - k_c - k_v) * \left(1 - \frac{k_a * N}{P_d}\right) \quad (3.2)$$

Dónde:

$k_b$ : Coeficiente de pérdidas por rendimiento del acumulador: 0,05 en sistemas que no demanden descargas intensas y 0,1 en sistemas con descargas profundas.

$k_c$ : Coeficiente de pérdidas en el convertidor: 0,05 para convertidores sinusoidales

puros, trabajando en régimen óptimo y 0,1 en otras condiciones de trabajo, lejos del óptimo.

$k_v$ : Coeficiente de pérdidas varias: Agrupa otras pérdidas como (rendimiento de red, efecto joule, etc.) se toma 0,05- 0,15 como valores de referencia.

$k_a$ : Coeficiente de auto descarga diario: 0,002 para baterías de baja autodescarga (Ni- Cd), 0,005 para baterías estacionaria de Pb-acido (lo más habituales) y 0,012 para baterías de alta autodescarga.

N: Número de días autonomía de la instalación: Serán los días que la instalación deba operar bajo una irradiación mínima (días nublado continuos), en los cuales se va a consumir más energía de la que el sistema fotovoltaico va a ser capaz de generar. 4 - 10 días como valores de referencia.

$P_d$ : 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 y descarga muy profundos.

$$R = (1 - 0.05 - 0.05 - 0.07) * \left(1 - \frac{0.005 * 3}{0.8}\right) = 0.814$$

Sustituyendo los parámetros de la ecuación 3.1, el consumo energético real E, es:

$$E = \frac{19.35}{0.814} = 23.77 \text{ kWh}$$

Una vez definida la utilidad energética real E, se obtiene la capacidad del banco de baterías C (A-h) necesario, del siguiente modo:

$$C = \frac{E * N}{V * P_d} = \frac{2377.1 * 3}{12 * 0.8} = 742.84 \text{ Ah} \quad (3.3)$$

Donde V es la tensión nominal del acumulador, 12 v.

### 3.1.5.1. Selección del número de paneles.

En el mercado hay paneles de diversas potencias y calidades, según las celdas cristalinas de silicio semiconductor de las que están formados. En este caso se

dispone de paneles fotovoltaicos DSM-135, de potencia máxima 135 W, tensión nominal 12 V y corriente de cortocircuito 7.9 A.

El número de paneles solares NP necesarios se calcula del siguiente modo:

$$Np = \frac{E}{0.9 * Wp * HPS} \quad (3.4)$$

$$Np = \frac{2377.1}{0.9 * 135 * 8} = 2.751 \approx 3$$

Dónde:

*NP*: (Número de Panel Fotovoltaico): El número de paneles

*E*: (Energía Demandada)

*0.9*: (Coeficiente)

*Wp*: (Potencia del Panel Fotovoltaico)

*HPS*: (Hora solar pico)

Son necesarios 3 paneles solares fotovoltaicos.

### **3.1.5.2. Pérdidas en el generador.**

Pérdidas por sombras:

Estas pérdidas no serán tomadas en cuenta en el GSF, debido a que alrededor del sistema no se encuentran obstáculos que pudieran intervenir en la generación, pues su ubicación estará en la azotea del edificio administrativo de la EMNI, como se muestra en la figura 16.

Pérdidas por suciedad:

Este tipo de pérdida será tratado a partir del proceso de mantenimiento que se le realizará frecuentemente al GSF, debido a que Moa es una zona industrial de procesamiento de mineral laterítico y obtención del níquel, estas industrias emanan gran cantidad de polvo y contaminación al medio, lo cual tendrá una repercusión en el GSF con partículas de polvo y suciedad, de manera que a partir del mantenimiento quedará solucionado el problema.

Pérdidas por incremento de la temperatura:

Si tomamos como referencia que nuestro país es un país tropical y que las temperaturas en casi todo el año oscilan entre 20 °C y 34 °C, si se toma como promedio 29°C de temperatura del medio ambiente y 20°C la temperatura de trabajo del módulo solar, la pérdida por incremento de temperatura sería:

Temperatura de trabajo (Tw):

$$T_w = 29^{\circ}\text{C} + 20^{\circ}\text{C} = 49^{\circ}\text{C}$$

$$P_p = 0.06\text{W}/^{\circ}\text{C} * (49^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C})$$

$$P_p = 1.44\text{ W}$$

Donde Pp es la pérdida de potencia por incremento de temperatura

### 3.1.6. Dimensionado del acumulador.

Conociendo que:

La tensión nominal del acumulador es de 12 v.

La capacidad del banco de baterías C = **742.84 Ah**

C<sub>c</sub> Capacidad corregida del banco de baterías

$$C_c = \frac{C}{P_d} \quad (3.5)$$

$$C_c = \frac{742.84\text{ Ah}}{0.8} = 928.55\text{ Ah}$$

C<sub>6</sub> - Capacidad nominal de batería (según especificaciones del fabricante) 120 A/h

$$C_6 = 120\text{A}/h$$

C<sub>7</sub> - Número de baterías

$$C_7 = \frac{C_c}{C_6}$$

$$C_7 = \frac{928.55\text{Ah}}{120\text{A}}$$

$$C_7 = 7.738\text{B}$$

C8 = Número de baterías (redondear C7) a  $\approx 8$ ; 12v; 120A.

Con estos datos se selecciona a partir de la oferta de Baterías fabricadas en la XX Aniversario ubicada en el municipio de Manzanillo, única de su tipo en Cuba, la batería TAINO, de 12 y 120 A, es una baterías de plomo-ácido, este tipo de baterías están conformadas por dos electrodos de plomo, y suele utilizarse también en los automóviles.

### 3.1.7. Dimensionado del regulador.

Corriente de cortocircuito de la Celda Fotovoltaica 7.9 A.

Corriente de máxima Potencia de un panel es de  $M_p = 7.3$  A.

$$M_p = 7.3A * 3 = 21.9A / \text{hdías}$$

$$Reg = \frac{M_p}{30A} = \frac{21.9A}{30A} = 0.73 = 1 \quad \text{Regulador}$$

Para este Generador Fotovoltaico necesita un Regulador de 30 A

Se seleccionó el regulador modelo Mastervolt SMC-40; 12/24 V; 30 A.

### 3.1.8. Dimensionado del inversor.

$P_{inv}$  va hacer igual a la suma de la potencia de la cargas alterna ( $P_{AC} = 2.92$  kW) por el Margen de Seguridad (20%)

$$P_{inv} = 1.2 * P_{AC}$$

$$P_{inv} = 1.2 * 2.92$$

$$P_{inv} = 3.504 \text{ KW}$$

El inversor seleccionado debe cubrir al menos 3.504 kW

Teniendo en cuenta lo anterior, se decide seleccionar el inversor modelo LD900-24, el cual garantiza una potencia máxima suponiendo que todos los equipos estén conectados a la vez (5.348 kW), un voltaje de entrada 12 V, voltaje de salida 110 V y frecuencia 60 Hz.

### 3.1.9. Dimensionado del Cableado.

El cálculo del diámetro de los conductores que transmitirán la energía eléctrica desde la instalación de los paneles solares, hasta los equipos del Nodo Central de la Red de la EMNI, se realiza utilizando la fórmula de potencia activa.

$$P = V \cdot I \cdot \cos\varphi$$

Dónde: P es la potencia máxima demandada por los equipos del Nodo Central de la Red (W); v la tensión de trabajo (V);  $\cos\varphi$  el factor de potencia media de los equipos (p.u) e (I) la corriente demandada por los equipos (A).

Despejando y considerando un factor de potencia medio de 0.6

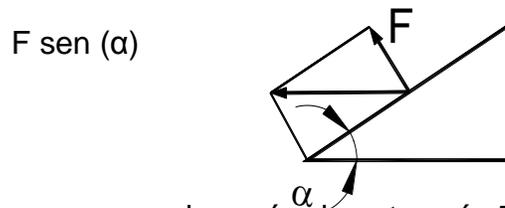
$$I = \frac{P}{V \cdot \cos\varphi} = \frac{5348 \text{ W}}{110 \text{ V} \cdot 0.6} = 81.03 \text{ A}$$

A partir de esta corriente se selecciona un conductor de cobre  $1\emptyset$ , Nro. 14 AWG, 16 mm<sup>2</sup>, 100 A con cualquier tipo de aislamiento, según normas canadiense “Power Unleasher of Canadian Standards Association” (CEC, 2002).

**Tabla 5. Resumen de los equipos y materiales necesarios.**

Equipos y materiales	Cantidad
Conductor de cobre $1\emptyset$ , Nro. 14 AWG, 16 mm <sup>2</sup> , 100 A	300 m
Inversor LD900-24	1
Regulador Mastervolt SMC-40 12/24 V 30A	1
Acumulador TAINO 12, 120 A.	8
Paneles fotovoltaicos DSM-135, de 135 W de potencia máxima y 12 V nominales de tensión	1

### 3.2. Dimensionado de la estructura que soportará en GSF.



Según plantea que para un huracán de categoría 5 en la escala de Zafiro-Simpson la velocidad del viento es de 69,4 a 72 m/s para  $V = 72 \text{ m/s}$  la presión del viento será:

$$P = 3169 \text{ N/m}^2$$

La fuerza ejercida por el viento se determina a través de la expresión matemática:

$$F = P * S * \text{Sen}(\alpha); \quad [\text{N}]$$

Donde:

S: Es el área de la superficie sobre la cual el viento ejerce su presión, ( $\text{m}^2$ )

$$F = 3169 \text{ N/m}^2 * 3.84\text{m}^2 * \text{Sen}(30^\circ)$$

$$F = 6084.48 \text{ N}$$

$$S = a * b; (\text{m}^2)$$

Dónde:

a- longitud, (m)

b- ancho, (m)

$$S = 2.428 \text{ m} * 1.58 \text{ m}$$

$$S = 3,84 \text{ m}^2$$

Otra forma para determinar la presión del viento (P) según la norma NC 285 del 2003 es:

Para una altura de 10 m sobre el nivel del mar y velocidad del viento  $V = 72 \text{ m/s}$ , la presión del viento está dada por la siguiente ecuación matemática:

$$q_{10} = \frac{V_{10}^2}{1,6 * 10^3}; \left[ \frac{\text{KN}}{\text{m}^2} \right]$$

$$q_{10} = \frac{72 \text{ m/s}}{1,6 * 10^3} = 3,24 \text{ KN/m}^2$$

$$q_{10} = 3240 \text{ N/m}^2$$

Tomando como referencia la tabla 3 sobre las Cargas verticales y debido a que en el diseño se emplean 4 pórticos la carga  $q = 721,02 \text{ N/m}$  se divide entre 4 y se realiza el cálculo para un solo Pórtico.

$$q_1 = \frac{q}{4} = \frac{721,02 \text{ N/m}}{4}$$

$$q_1 = 180,26 \text{ N/m}$$

*Carga en el plano Y – Y de la correa:*

$$q_y = q_1 \cdot \cos(\alpha) = 180,26 \cdot \cos(30^\circ)$$

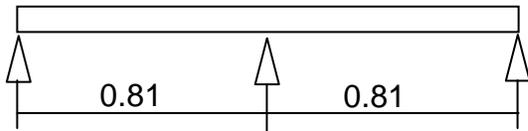
$$q_y = 155,02 \text{ N/m}$$

*Carga en el plano X – X de la correa:*

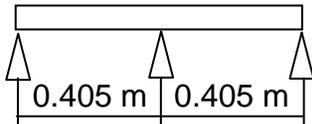
$$q_x = q_1 \cdot \sin(\alpha) = 180,26 \cdot \sin(30^\circ)$$

$$q_x = 90,13 \text{ N/m}$$

$$q_y = 155,02 \text{ N/m}$$



$$q_x = 90,13 \text{ N/m}$$



$$M_x = \frac{1}{8} q_y \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 155 \text{ N/m} \cdot (0,81 \text{ m})^2$$

$$M_x = 12,71 \text{ N/M}$$

$$M_y = \frac{1}{8} q_x \cdot l^2 = 90,13 \text{ N/m} \cdot (0,405)$$

$$M_y = 1,85 \text{ N/m}$$

### 3.2.1. Comprobación a resistencia

$$\hat{\lambda} \leq [\hat{\lambda}]$$

$$[\hat{\lambda}] = 295 \text{ N/m}^2$$

Para material A36 por Norma ASTM

$$\hat{\lambda} = \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y}$$

$$\hat{\lambda} = \frac{12,71}{0,19} + \frac{1,85}{0,19}$$

$$\hat{\lambda} = 76,63 \text{ N/m} < 295 \text{ N/m}^2$$

Para perfil No. 5 L 50\*5  $W_x = W_y = 3,12 \text{ cm}^3$  Este valor para este perfil se determina por la Tabla 119 pág. 487 del Libro Resistencia de los Materiales del Autor Feudosiev, Г., 1983. (Feudosiev, 1983).

### 3.2.2. Comprobación de flecha

$$F \text{ adm} = \frac{l}{250} \frac{810 \text{ mm}}{250}$$

$$F \text{ adm} = 3,24 \text{ mm}$$

De manera orientativa, tomando a  $\hat{\lambda}$  como  $\frac{M_x}{M_x}$ , podemos utilizar la expresión simplificada que proporciona la NBE – EA95.

$$F = \alpha * \frac{\hat{\lambda} * l_2}{h} = 0,52 * \frac{66,89 * (0,475)^2}{10}$$

$$F = 0,78 \text{ mm}$$

Por tanto, como  $f < F \text{ adm}$ , el perfil elegido (L 50 \* 5 No. 5) es admisible a resistencia y deformación.

### 3.3 Simulación con el ANSYS

Para comprobación de los resultados fue realizada la simulación de la estructura que soporta el GSF, a través de la herramienta CAD ANSYS, para llevar a cabo este cálculo por el Método de Elementos Finito (MEF), se emplearon para la simulación 12164 nodos distribuidos en 5463 elementos.

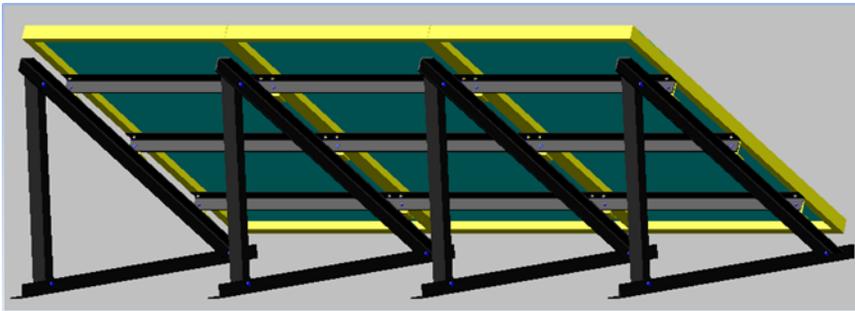


Figura 10. Paneles solares y estructura del GSF.

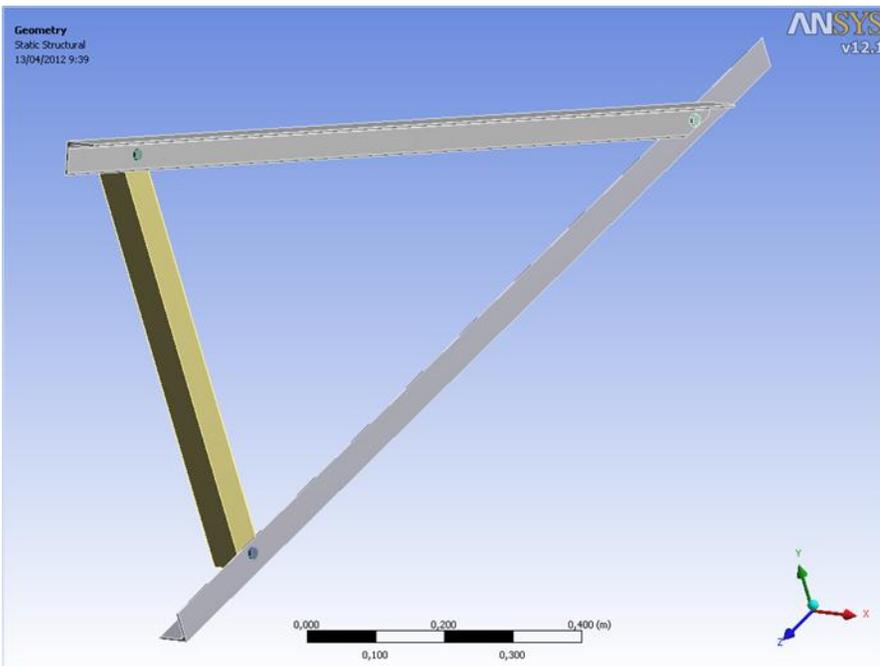
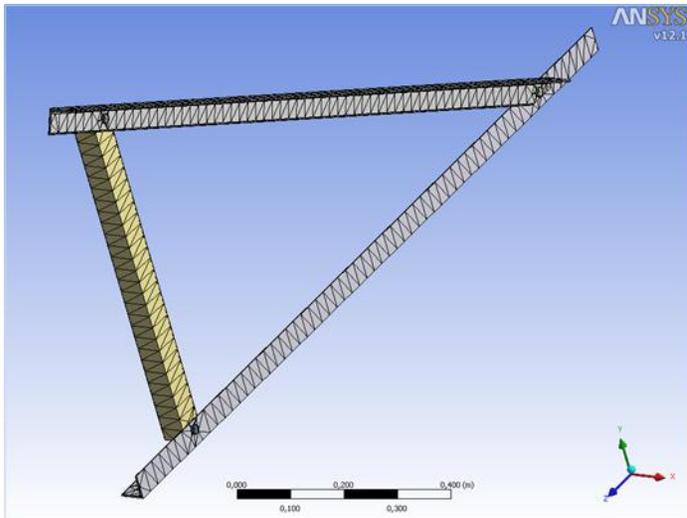


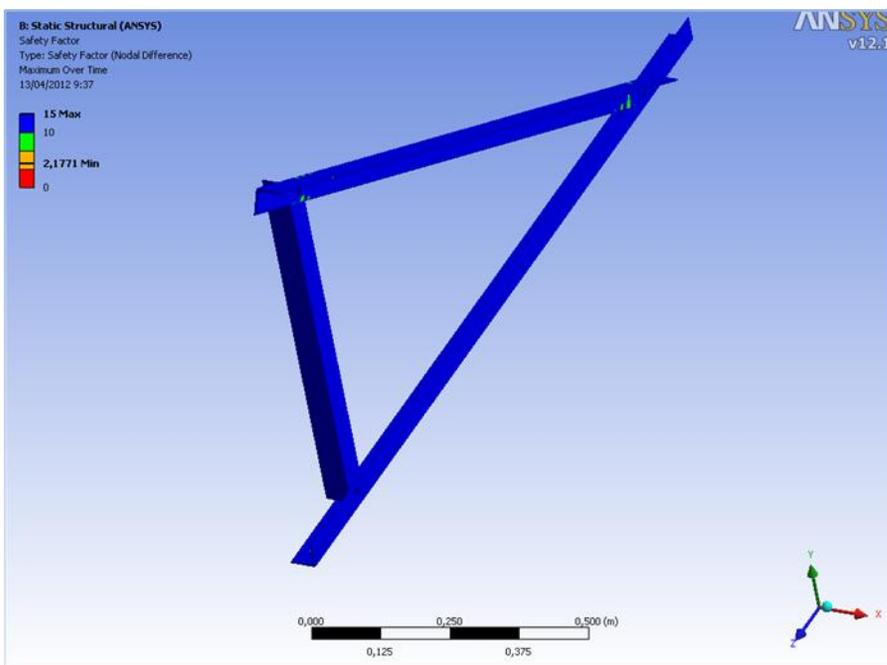
Figura 11. Modelo geométrico de una sesión de la estructura.

En la figura 10 y 11 se muestra la estructura y los paneles del Generador Solar Fotovoltaico, el modelo geométrico fue generado con AutoCAD 2010, y para la simulación, como se ha referido anteriormente fue realizado con ANSYS V. 12.1.



**Figura 12. Enmallado de la estructura.**

En la figura 12 se muestra el enmalla de la estructura, como ya se ha hecho referencia, fueron determinados 12164 nodos distribuidos en 5463 elementos.



**Figura 13. Factor de Seguridad.**

En las figuras 13 y 14 se visualiza el factor de seguridad y la tensión respectivamente, con sus valores mínimos y máximos, así como la deformación en la figura 15.

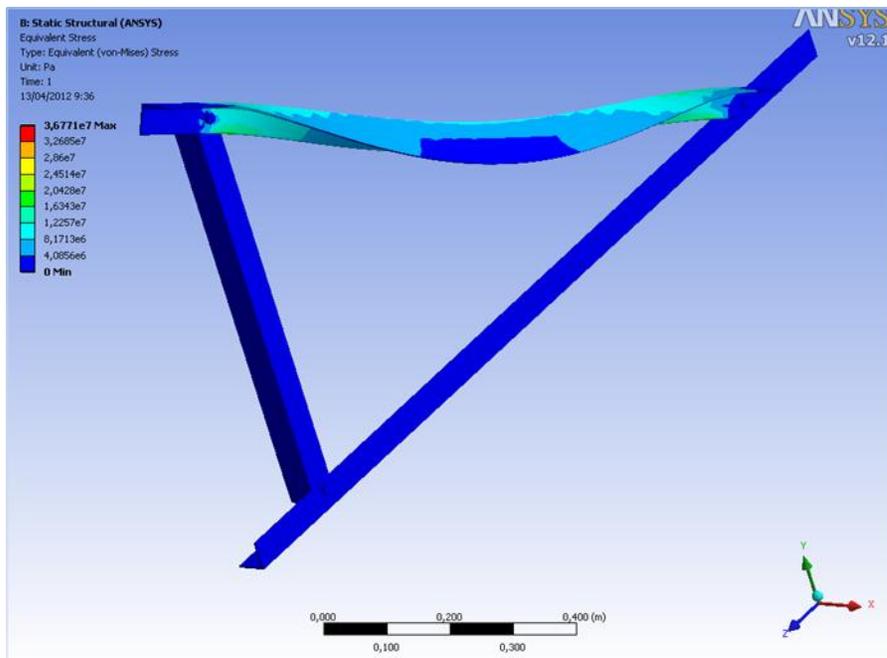


Figura 14. Tensión.

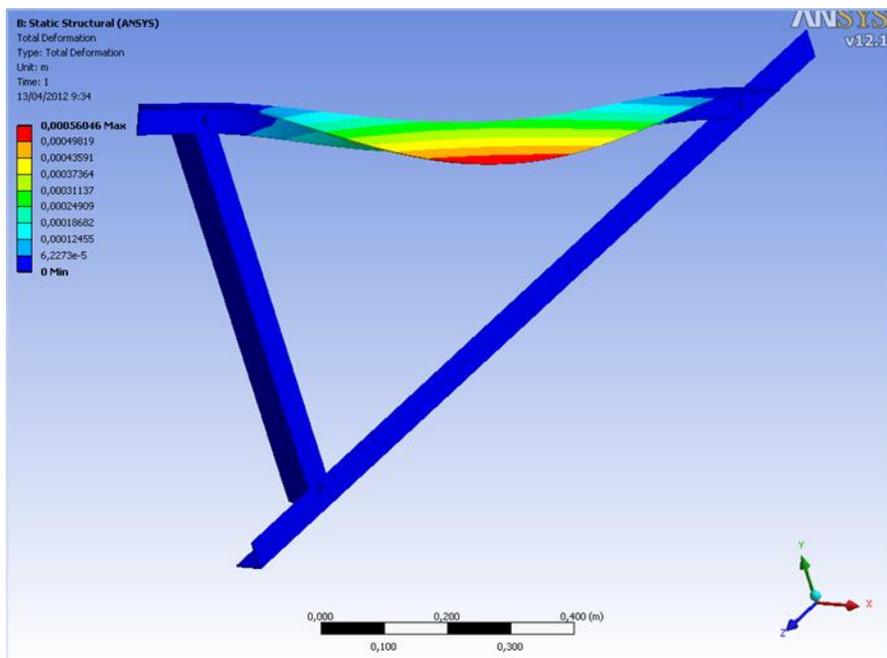


Figura 15. Deformación de la estructura.

Como se observa en la figura 15, se muestra la deformación de la estructura, la zona más crítica representada por el color rojo, es aquella donde más peligro existe, aunque ya ha sido demostrado que los perfiles seleccionados y los componentes de esta pueden soportar los embates del viento hasta 72 m/s.

### 3.4 Tecnología de maquinado y Soldadura

En los anexos 2, 3, 4 y 5 se recogen todos los procedimientos vinculados con las tecnologías de maquinado y de soldadura de la estructura que soportará el GSF, como se aprecia, quedan sentados los elementos fundamentales que constituyen constructos del GSF.

### 3.5 Representación gráfica en planos

En el anexo 6 se muestran los planos de ingeniería del Generador Solar Fotovoltaico, este se encontrará como ya se ha hecho referencia en la azotea del edificio administrativo de la Empresa Mecánica del Níquel, los paneles solares estarán anclado a la estructura de soporte mediante tornillos, como se especifican en el plano.

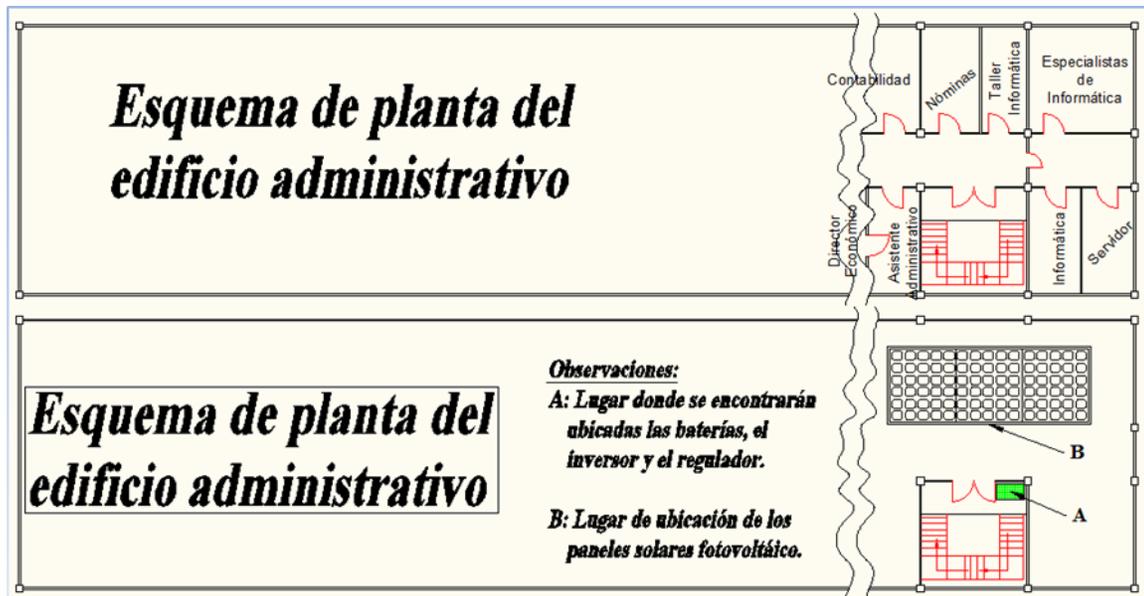


Figura 16. Esquema de Planta donde se ubicarán los paneles y demás dispositivos del GSF.

En la figura 16 se muestra la ubicación en la azotea del edificio administrativo, donde serán ubicados los distintos elementos constructivos del GSF, como son el inversor, el regulador, el banco de baterías y los paneles solares fotovoltaico con la estructura metálica que lo soportará. Se ha considerado que los paneles se dispongan en orientación Sur y a 30° de inclinación con respecto a la horizontal.

En el anexo 10 se muestran fotos que fueron realizadas en visitas a lugares del

territorio donde se usa la energía solar fotovoltaica para alimentar varios equipos electrodomésticos, principalmente en escuelas primarias rurales, también se muestra uno de los paneles que componen el GSF diseñado para los equipos que se encuentran en el Nodo Central de la Red de la EMNI.

En el anexo 7 son presentadas las siguientes consideraciones tecnológicas siguientes:

- Nómina de materiales.
- Listado de materiales con sus normas de consumo.
- Norma de tiempo.
- Registro de inspección dimensional.

Todas estas consideraciones tecnológicas son necesarias para determinar el costo total de la estructura metálica que servirá de soporte al Generador Solar Fotovoltaico, cada una de estas consideraciones recoge en detalle los procedimientos establecidos para su fabricación.

### **3.6 Puesta en marcha y mantenimiento de la instalación**

Este acápite presenta algunos aspectos generales de los trabajos a realizar para llevar a cabo la puesta en marcha del GSF, así como para que resulte más fácil y económico su montaje y mantenimiento

#### **3.6.1 Consideraciones generales para la puesta en marcha de la instalación**

Desde un punto de vista práctico es imposible prever la gran variedad de condiciones que se pueden encontrar a la hora de diseñar y poner en marcha el GSF. Pero tanto en el diseño como en el proceso de instalación se deben tener en cuenta las recomendaciones, que se mencionan a continuación, que permitan elegir en todo momento la solución más sencilla, práctica y económica posible. Las recomendaciones son las siguientes:

Hasta el momento de la instalación mantener todo el material en sus cajas y embalajes originales para evitar deterioros, prestando especial atención a las

indicaciones de fragilidad.

- Se debe tener cuidado de no exponer a la intemperie aquellos elementos que no están preparados para ello.
- Leer detenidamente la información proporcionada por el fabricante de cualquiera de los equipos utilizados, antes de instalarlos. El conocimiento de las limitaciones de un producto o la secuencia a seguir durante su montaje o conexión no sólo facilitará su instalación, también evitará problemas y costes adicionales.
- Seguir siempre las normas básicas de seguridad.
- Diseñar e instalar el sistema pensando que, en algún momento, deberá ser mantenido, reparado o ampliado. Esto implica que todos los componentes en la instalación deben tener un acceso fácil y un diseño modular.
- Recordar que la temperatura y humedad ambientes, ya sean muy elevadas o muy bajas, afectan al funcionamiento y la vida útil de todos los componentes del sistema, especialmente a las baterías, reguladores e inversores.
- Realizar las operaciones de montaje de forma lógica y ordenada para evitar, accidentes, daños de materiales o dificultades adicionales en el montaje de la instalación.
- Actuar con sentido común y planteamiento práctico, teniendo en cuenta que el conocimiento técnico es fundamental, ya que no lo sabemos todo y que preguntar es un signo de inteligencia y no hace daño a nadie.

### **3.6.2 Normas de seguridad**

Es fundamental que las tareas de instalación y mantenimiento se realicen teniendo en cuenta las normas de seguridad básicas destinadas a proteger a quien las lleva a cabo. En cualquier caso, se deben instalar las señales indicativas normalizadas, que avisen de los posibles accidentes o de las acciones de peligro que se deben evitar, en todos los lugares de la instalación que sean necesarias.

Para realizar el mantenimiento del acumulador debemos tener en cuenta las normas de seguridad establecidas por los organismos competentes o de la empresa. Algunas

de las más básicas son expuestas a continuación:

- Las herramientas a usarse (pinzas, destornilladores, etc.) pueden, accidentalmente, producir un cortocircuito en las baterías al tocar simultáneamente los dos terminales o conductores. Para minimizar esta posibilidad se recomienda utilizar herramientas con protecciones aislantes en las superficies metálicas que no son utilizadas.
- Antes de utilizar las sondas de un polímetro en los bornes de las baterías, hay que asegurarse de que el polímetro ha sido colocado correctamente para medir tensiones. Dado que de no hacerse correctamente se pueden producir daños en el polímetro o provocar un arco eléctrico, que puede causar una explosión.
- Todas las operaciones con baterías se deben realizar habiendo desconectado el acumulador del resto de la instalación. Además, antes de realizar cualquier operación con una batería, que ha sido cargada, es recomendable dejarla como mínimo una hora con los tapones retirados.
- No se deben usar anillos, cadenas, relojes y pulseras mientras trabaja con las baterías, para evitar cortocircuitos accidentales.
- En cualquier trabajo con baterías se deben utilizar vestimentas adecuadas que cubran la totalidad del cuerpo, además se deben utilizar botas, guantes y gafas de protección, así como mascarillas para evitar la inhalación de gases y delantal de goma para trabajar con baterías de plomo-ácido.
- Se debe disponer de agua abundante y de bicarbonato sódico para neutralizar el ácido del electrolito en el caso de que salte a la piel o a los ojos.
- No se debe fumar ni utilizar soldadores, sopletes o cualquier otra fuente de calor intenso en la sala de baterías.
- Se debe evitar, la sujeción de las baterías por los bornes y que los elementos metálicos de elevación se enganchen con los bornes y produzcan un cortocircuito. Además el aparejo de elevación debe disponer de protección de seguridad para atmósferas inflamables.
- No se deben realizar esfuerzos físicos excesivos para mover o colocar las

baterías en sus estantes, ya que se pueden producir lesiones traumáticas graves. Además en las instalaciones fotovoltaicas deben adoptarse las mismas medidas de seguridad personal que en cualquier otra instalación eléctrica, establecidas por los organismos competentes. Algunas de las más básicas son expuestas a continuación:

- Tomar las medidas necesarias para evitar las descargas eléctricas debidas a contactos directos o indirectos accidentales con las líneas de corriente.
- Asegurarse de que todas las cajas de conexiones se encuentran cerradas y aisladas convenientemente.
- No manipular cables o conexiones sin haberse asegurado de las tensiones de trabajo.
- No manipular un conductor activo mientras el otro conductor activo pueda ser tocado accidentalmente.
- Tener mucho cuidado al manipular instalaciones eléctricas en locales con humedad o en presencia de ambientes potencialmente inflamables.

El montaje de una instalación fotovoltaica implica que el personal técnico se vea en situaciones de trabajo con peligro personal. Por lo que deben adoptarse las mismas medidas de seguridad personal que en cualquier otra instalación a la intemperie, establecidas por los organismos competentes. Algunas de las más básicas son expuestas a continuación:

- Evitar el trabajo en condiciones de fuerte insolación para evitar que pudieran producirse accidentes por agotamiento o pérdida de conciencia.
- Utilizar casco, guantes y botas de protección, para evitar posibles golpes provocados durante la manipulación de material.
- Utilizar gafas de sol adecuadas, para evitar pérdida momentánea de visión que puedan provocar accidentes.
- Utilizar siempre que sea necesario cuerdas, arneses, cinturones de seguridad redes. No confiarse al realizar trabajos a tal altura.
- Asegurarse de que las superficies de la azotea sean suficientemente resistentes y están en condiciones adecuadas para desplazarse por ellas y no

hacerlo nunca sin asegurarse.

- Asegurarse de la correcta colocación, equilibrio y fijación de los andamios y escaleras.
- Mover el material con cuidado y utilizando grúas y sistemas de sujeción que impidan posibles daños al trabajador, por pérdidas de equilibrio o esfuerzos excesivos, o que puedan provocar daños por golpes o caídas al material.
- Se debe recordar que la tensión del inversor conectado a las baterías ya no es tan baja y esta si puede provocar la muerte por electrocución del operario.

### 3.6.3 Mantenimiento del generador.

El correcto funcionamiento del generador es un aspecto fundamental del funcionamiento de la instalación en su conjunto. Para garantizar el correcto funcionamiento del generador, su vida útil y el rendimiento de la instalación es necesario realizar una serie de operaciones que se recogen en el anexo 9.

## 3.7 Análisis económico-ambiental

En la tabla 6 es recogido el costo de cada uno de los componentes del Generador Solar Fotovoltaico.

**Tabla 6. Costo total del GSF.**

Concepto	Unidades	Costo unitario (CUC)	Costo Total (CUC)
Paneles solares	3	135.00	405
Estructura metálica	1	156.51	156.51
Inversor	1	950.00	950.00
Regulador	1	200.00	200.00
Batería	8	47.00	376.00
Cableado	300 m	1.20	360.00
Tomacorriente	4	1.50	6.00
Interruptor	1	1.50	1.50
Breaker o disyuntor	1	8.00	8.00
Total			2463.01

Como resultado del análisis económico se aprecia que el costo de producción del GSF es de 2463.01 CUC y 276.95 CUP, también como se aprecia en el anexo 8 el costo de la fuerza de trabajo es de 24.302 CUP, o sea de manera general se incurre en un costo de 301.252 CUP.

Para la potencia instalada de 19.35 kW y la tarifa de 0.22733 CUC/kWh, tenemos que:

$$19.35 \text{ kW} * 8 \text{ h/días} * 24 \text{ días/mes} * 0.22733 \text{ CUC/kWh} = 844.58 \text{ CUC/mes}$$

Como resultado se obtiene que el sistema trabajando 8 horas por día laborables, ahorraría 844.58 CUC por mes, lo que demuestra que podría ser amortizado en solo tres meses, despreciando estos tres meses ahorraría a la empresa un total de 7601.19 CUC en el primer año de su instalación.

Otro dato importante a destacar serían los 3715.20 kWh al mes que se ahorrarían a la empresa por concepto de la instalación del GSF en el nodo Central de la Red del Edificio Administrativo en la EMNI, el cual podría ser usado en los demás procesos de la producción de esta empresa.

### 3.7.1 Análisis ambiental

La energía solar fotovoltaica es, al igual que el resto de energías renovables, inagotable, limpia, respetuosa con el medio ambiente y sentando las bases de un autoabastecimiento. Al igual que el resto de las energías limpias, contribuye a la reducción de emisión de gases de efecto invernadero y especialmente de CO<sub>2</sub>, ayudando a cumplir los compromisos adquiridos a proteger nuestro planeta del cambio climático.

Ventajas medio ambientales:

- Al no producirse ningún tipo de combustión, no se generan contaminantes atmosféricos en el punto de utilización, ni se producen efectos como la lluvia ácida, efecto invernadero por CO<sub>2</sub>, etc.
- El Silicio, elemento base para la fabricación de las células fotovoltaicas, es muy abundante, no siendo necesario explotar yacimientos de forma intensiva.
- Al ser una energía fundamentalmente de ámbito local, evita pistas, cables, postes, no se requieren grandes tendidos eléctricos, y su impacto visual es reducido. Tampoco tiene unos requerimientos de suelo necesario excesivamente grandes (1kWp puede ocupar aproximadamente entre 10 y 15 m<sup>2</sup>).

- Prácticamente se produce la energía con ausencia total de ruidos.
- Además, no precisa ningún suministro exterior (combustible) ni presencia relevante de otros tipos de recursos (agua, viento).
- Es inagotable.

La ganancia en el efecto indirecto (Ei) por el uso de la instalación a través de los paneles solares se calcula teniendo en cuenta que la potencia suministrada por los paneles es de 0.405 kWh. Si se considera que el uso de la instalación es de 8 horas diarias por 24 días-mes y 12 meses al año, el suministro de energía será de 933.12 kWh al año.

A partir de lo anterior, y teniendo en cuenta referencias internacionales de que por cada kWh que se consume a partir de la generación de electricidad con combustibles fósiles se emanan al medio ambiente 0,94 kg de CO<sub>2</sub> (Ayala, 1995; BUN-CA, 2002; CEC, 2002; Cuenca, 2004; Augustin, 2010), entonces en este caso se dejará de emitir al medio ambiente:

$$Ei = 933.12 \text{ kWh/año} * 0.94 \text{ kgCO}_2/\text{kWh} = 877.13 \text{ kgCO}_2/\text{año}$$

Lo que demuestra que también habría una disminución considerable de emanación del CO<sub>2</sub> al medio ambiente por el concepto de uso del GSF objeto de estudio.



## Conclusiones

### Conclusiones

Luego de los análisis correspondientes se concluye que:

1. A partir de la base teórica y los estudios de antecedentes que sustenta la investigación, se pudo constatar que el uso de la energía solar fotovoltaica actualmente en nuestro país es aún deficiente.
2. El análisis realizado para los diferentes elementos constructivos del Generador Solar Fotovoltaico evidencian una estructura metodológica, centrada en una serie de procesos de cálculos destinados a lograr optimizar el uso y la generación de la electricidad con energía solar.
3. Siguiendo las políticas económicas de nuestro país vinculado con la sustitución de importaciones, y atendiendo a las especificaciones determinadas por cálculo, son seleccionados 3 módulos solares fotovoltaicos DSM -135 y 8 baterías de plomo-ácido marca "TAINO", ambos elementos de producción nacional.
4. Teniendo como referencia la carga que ejercen los vientos en huracanes de categoría 5 en la escala de Zafiro-Simpson, y la presión que se produce está entre  $3169 - 3240 \text{ N/m}^2$ , para estas condiciones el perfil seleccionado (L 50 \* 5 No. 5) es admisible a resistencia y deformación, lo cual fue corroborado por el resultado de la simulación con el ANSYS.
5. Como resultado del análisis económico se aprecia que el costo de producción del GSF es de 2463.01 CUC y de 301.252 CUP.
6. Como resultado se obtiene que el sistema trabajando 8 horas por día laborables, ahorraría 844.58 CUC por mes, lo que constituiría un ahorro de 10134.96 CUC al año por concepto de pago de energía eléctrica, brindando la posibilidad de amortizar el GSF en 3 meses aproximadamente.
7. El ahorro de 3715.20 kWh por mes, a partir de la ejecución del proyecto del GSF para energizar al Nodo Central de la Red de la EMNI, posibilitará su uso para cubrir parte de las demandas energéticas en las demás áreas productivas de la empresa.
8. La ejecución del proyecto de GSF para el Nodo Central de la Red en la EMNI, evitará emanar al ambiente la cantidad de  $877.13 \text{ kgCO}_2/\text{año}$  por concepto de no utilizar energía eléctrica convencional.



## Recomendaciones

Se recomienda que:

1. Ejecutar el proyecto acorde a los resultados expuestos en este trabajo.
2. Hacer más extensivo el uso de la energía solar en la EMNI, de manera que permita contribuir a la disminución del consumo de portadores energéticos en la empresa, así como las demás organizaciones del grupo empresarial CUBANIQUEL y del territorio.
3. Promover el uso eficiente de la energía solar en todas sus formas y aplicaciones, haciendo énfasis particular en el desarrollo de las tecnologías para el suministro de energía en la EMNI, así como las demás organizaciones del grupo empresarial CUBANIQUEL y del territorio.
4. Llevar a cabo el cumplimiento de las normas de seguridad y mantenimiento planteadas en la memoria escrita de la investigación para el GSF.



## Bibliografía

### Referencias Bibliográficas

- Anónimo. (2010a). "Ingeniería Energética." Consultado 12/01/2012, Disponible <http://personales.ya.com/universal/TermoWeb/EnergiasAlternativas/index.html>.
- Anónimo. (2010b). "Componentes de una instalación solar fotovoltaica." Cursos sobre Energías Alternativa Consultado 03/02/2012.
- Augustin, C. (2010). "Cálculo de una instalación solar térmica y fotovoltaica." Revista REIMEE, Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez 1(2).
- Ayala, D. G. (1995). Energía Solar. ITESO. M. M. Ramírez. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente.
- Becerra, A., J. Barba-Ortega, et al. (2010). "Construcción y evaluación de un colector solar con tubos de calor y efecto doble ventana." Revista de la Facultad de Ciencias Básicas 8(1).
- BUN-CA (2002). "Manuales sobre energía renovable: Solar Fotovoltaica / Biomass." Fortalecimiento de la Capacidad en Energía Renovable para America Central.
- C. Raichijk, R. Aristegui, et al. (2007). "Aproximación alternativa a la evaluación del recurso solar en Brasil en base a datos de tierra." Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente 11.
- CEC (2002). 2002 CE Code Seminars – through the CSA Learning Centre. 178 Rexdale Boulevard, Toronto, Ontario, Canada M9W 1R3.
- Cuenca, G. A. C. (2004). Diseño y cálculo de un sistema de climatización de una casa de habitación a base de hidroseguidores solares. Ingeniería Electromecánica. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
- Díez, P. F. (2003). Procesos Termosolares en Baja, Media y Alta Temperatura. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética, Universidad de Cantabria.
- Durán, J. C. y E. M. Godfrin (2004). Aprovechamiento de la Energía Solar en la Argentina y en el Mundo. Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Serie Publicaciones Científicas N° 1.
- ECURED. (2011). "La energía Solar Fotovoltaica en Cuba." Consultado 12/01/2012, Disponible <http://www.ecured.cu>.
- Feudosiev (1983). "Resistencia de los Materiales." **Tabla 119**: p. 487.
- Lobaina, A. A. L. y O. R. S. Diéguez (2008). La Investigación Científica: Conceptos y Reflexiones. Moa.
- López, J. D., R. R. Heredia, et al. (2001). Manual de instalación, operación,

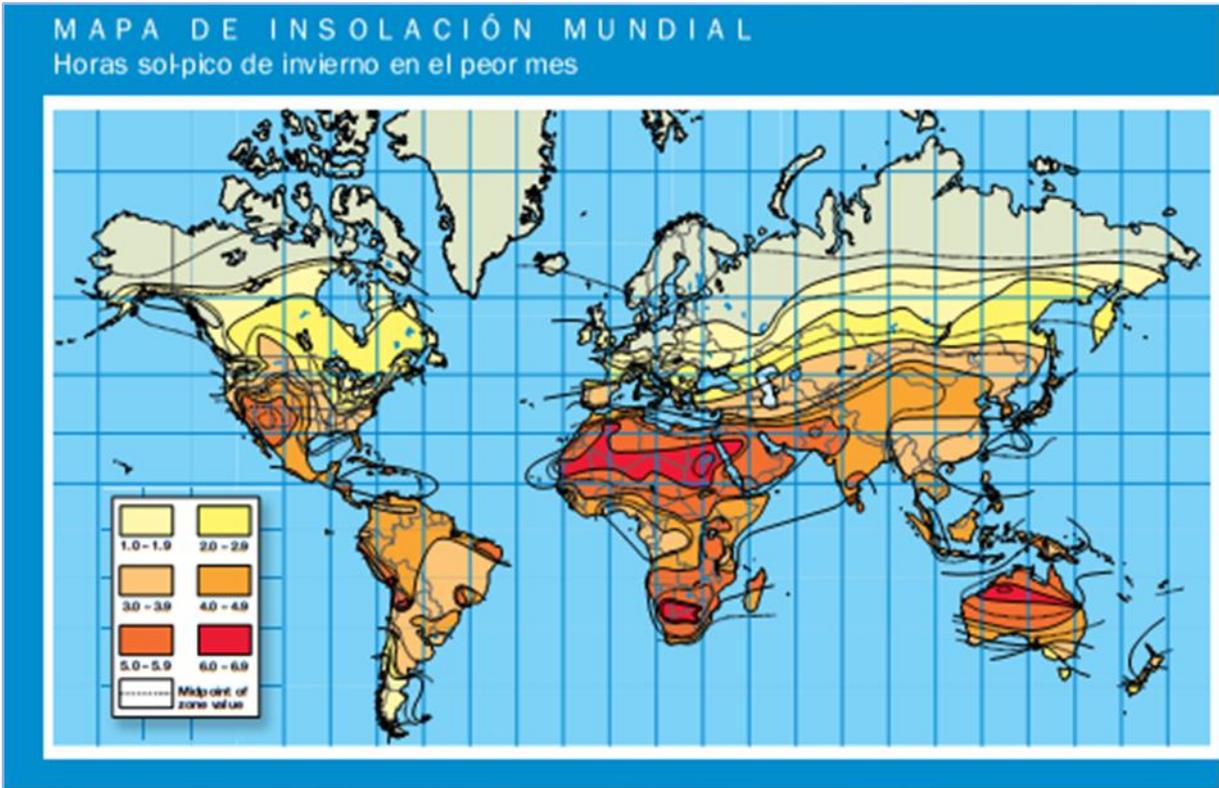
mantenimiento y reparación de sistemas solares fotovoltaico autónomos. Universidad de Oriente, Facultad de Ingeniería Mecánica, Departamento de Física Aplicada.

- NC (2003). Carga de viento. Método de cálculo. Normas Cubana. Habana, Oficina Nacional de Normalización.
- Plazas, C., N. Moreno, et al. (2001). "Diseño, construcción y evaluación de un colector solar de placa plana con parámetros de rendimiento modificables." Revista Colombiana de Física **33**(2).
- Proserpi, M. (2005). "Energía Solar Fotovoltaica Proyecto RES & RUE Dissemination." Consultado 12/02/2012, Disponible <http://www.cecua.es/temas%20interes/medio%20ambiente/res&rue/htm/dossier/2%20fotovoltaica.htm>.
- Ramos, R., J. e. Camejo, et al. (2003). Manual Básico de Mantenimiento de Sistemas Solares Fotovoltaico. Departamento de Fotovoltaica del Centro de Investigaciones de Energía Solar. CUBASOLAR, Santiago de Cuba.
- Rodríguez, L. E. S., M. A. C. Cardeña, et al. (2005). "Diseño y operación de una estufa solar para secar madera." Ingeniería: pp. 35-48.
- Sera, A. S., D. G. Infante, et al. (2003). "Aplicación de la energía solar y la luz ultravioleta en la potabilización del agua en escuelas primarias." Energética **14**(1).
- SoListo. (2006). "Soluciones de energía confiables, continuas y costeables." Consultado 25/03/2012, Disponible [www.solisto.com](http://www.solisto.com).

---

# **Anexos**

Anexo 1. Mapa de insolación mundial



## Anexo 2. Carta de Operaciones Tecnológica.

 Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa			<b>CARTA DE OPERACIONES TECNOLÓGICAS</b>			Denominación de la Pieza			Orden de Trabajo					
						Celda fotovoltaica DSM - 135			000 – A501					
						No. de Plano			Etapas de		1	2	--	--
						220068			elaboración					
Número			Denominación de la operación tecnológica			Denominación y grado del material		Masa de la pieza		Pieza en bruto				
Taller	Secc.	Opera- ción								Perfil y dimensiones			Dure- za	Masa
Maq.						A 36		72, 97		50 x 50 x 5			130 HB	80,0
Cantidad de Piezas				Equipos tecnológicos (marca, denominación)			Utillaje tecnológico					Refrigerante		
				Taladro 2H150								Taladrina		
No. Paso Tecn.	Contenido del paso tecnológico			Herrmts y medios (código, denominación, No. Invent)			Dimens. Calculada		Régimen de corte			TP h	TCP h	
														Auxiliar
<b>1</b>	<b>Trazo</b>													
	Enmascarar con CaCO <sub>3</sub> , Manteniendo pasos e intervalos, trazar y marcar con testigos las coordenadas de cada uno de los orificios S/P de diseño.			Dispositivos e instr. de trazado	---	Pie de Rey Cinta métrica								
<b>2</b>	<b>Taladrado</b>													
	Instalar en mesa, alinear, nivelar, basificar con elementos de fijación mecánica y taladrar 104 orificios de Ø10 mm.			Broca helic HSS Ø10	Pie de Rey Cinta métrica	Ø10	5	5	1	0,053	460	15	1,5	0,5

### Anexo 3. Tecnología de soldadura.

No: <u>220068</u>		Denominación: <u>Celda fotovoltaica DSM - 135</u>	
OT: <u>000 – A501</u>		Destino: <u>Área tecnología de la información</u>	
Proceso de soldadura: <u>SMAW</u>		Tipo: _____	
Elaborado por: <u>Jorge L. Espinosa Sollet</u>		Revisado por: _____	
Fecha: <u>29/5/2012</u>		Fecha: <u>29/5/2012</u>	
<b>Metal Base:</b> Especificación SFA No: <u>Ti – 6Al – 4V</u> Análisis quím (%) y prop: <u>0,26 C; 0,4 Si; 0,04 P; 0,05 S; 0,2 Cu y resto Fe</u> Otros: _____		<b>Croquis:</b>  	
Clasificación AWS:	<u>E 7018 - 1</u>		
Dimensión del electrodo:	<u>Ø 3,2 ; L = 350 mm</u>		
Espesor del depósito:	<u>3 mm</u>		
Preparación:	<u>Mecánica</u>		
Fundente del eléct. (clase)	<u>Básico</u>		
Nombre comercial del fundente	<u>---</u>		
Otros:			
<b>Posición:</b> Posición de la ranura: <u>Ortogonal</u> Progresión de soldadura: Ascend. _____ Descend. _____ Plana: <u>X</u>		<b>Pre calentamiento:</b> Temp. mín. de precal: <u>---</u> °C Temp. máx. de interpasos: <u>90 – 100</u> °C Temp. de Post: <u>----</u> °C Otros TT: <u>---</u>	
<b>Tratamiento Térmico Post – Soldadura:</b> Rango de temp: <u>---</u> Tiempo de permanencia: <u>--</u> Enfriamiento: <u>---</u> Tiempo de permanencia: <u>---</u> Enfriamiento: <u>---</u>		<b>Gas:</b> <u>---</u> <b>Composición %:</b> Gas: <u>----</u> Mezcla: <u>---</u> Flujo: <u>---</u> <b>Protección:</b> <u>---</u>	
<b>Características Eléctricas:</b> Corriente: <u>CD</u> Polaridad: <u>Directa</u> Voltaje (rango) <u>27 - 35</u> (Volts) Amperaje: <u>110</u> (Amp:) _____ (Amp:) _____ Electrodo de tungsteno: <u>-----</u> (Tungsteno puro, toriado 2 %) Transferencia del metal (GTAW): <u>-----</u> (Spray, corto circuito) Velocidad de alimentación del electrodo: <u>0,006</u> (m/s)			
<b>Técnica:</b> Dimensiones de la boquilla: _____ Método de ranurado posterior de la raíz: _____ Mov del electrodo: Recto <u>X</u> Oscilatorio _____ Distancia boquilla superficie de trabajo: <u>1,6 mm</u> Pases sencillos o múltiples (por lados): _____ Electrodos: Sencillos <u>X</u> Múltiples _____ Velocidad de ejecución (rango): <u>0,006</u> m/s. Martillado: _____		<b>Valoración Económica:</b> Precio del material: \$/ kg <u>0.429618</u> Gasto de material: kg <u>0,25</u> Importe del material \$/ kg <u>0.11</u> Tarifa \$/h: <u>2.94</u> Gasto de mano de obra: h <u>0.33</u> Importe mano de obra \$/h: <u>0.97</u> Costo de fabricación \$/h: <u>1.08</u>	

Otros: _____									
No. Cordón	Proc	Metal de aporte		Corriente		Voltaje		Vel de ejec (m/s)	Otros
		Clase	Diám	AC/CD	AMP	Mín	Máx		
4	SMAW	E 7018 - 1	3,2	CD	110	27	35	0,006	---

### - Técnica de reparación o mantenimiento preventivo

Tipo de limpieza inicial y entre pases:

Cepillo  Solventes \_\_\_\_\_ Abrasivos \_\_\_\_\_ Calor \_\_\_\_\_ Otros \_\_\_\_\_

Preparación:

- Maquinar la superficie a recuperar.
- Eliminar residuos de óxidos e impurezas del material base.
- Limpiar con acetona u otro líquido la superficie a soldar.

### Factores del paro de trabajo

❖ Desgaste por:

\_\_\_ Impacto  Presión / Fricción \_\_\_ Abrasión  Corrosión \_\_\_ Calor \_\_\_ Cavitación \_\_\_  
\_\_\_ Erosión

❖ Rotura por:

\_\_\_ Accidente \_\_\_ Fatiga \_\_\_ Choque \_\_\_ Sobrecarga \_\_\_ Temperatura

### 4. Otros

\_\_\_ Defectos de fundición \_\_\_\_\_ Defectos por maquinado

### Técnicas de aplicación

- Utilizar electrodo E-7018 Ø3.2. Con los parámetros establecidos anteriormente.
- Depositar cordones continuos y resistentes.
- No se admiten defectos de soldadura.
- Garantizar el control de los parámetros de calidad de la soldadura.
- Precalear los electrodos en el horno hasta 100 °C, luego colocarlo en estufas.

### Anexo 4. Carta del Proceso Tecnológico Pailería – Soldadura

	EMPRESA MECANICA DEL NIQUEL Cmdte. Gustavo Machín Hoed de Beche TALLER DE CONSTRUCCIONES METALICAS		CARTA DEL PROCESO TECNOLOGICO PAILERIA – SOLDADURA R-02/ST- P-001	
	No. de plano: 220068	Denominación: Estructura Soporte de Celda		Masa: 81.23 Kg
Orden de fabricación: 000-B404	Destino: EMNi	Solicitada por: EMNi	Fecha: 07/05/2012	
Operación  PREPARACIÓN	<b>Realizar Junta Técnica.</b> <b>Controlar la trazabilidad y estado físico de los materiales.</b> <b>Trazar todas las piezas según N/M y croquis.</b> <b>Cortar con disco según línea de trazo.</b> <b>Limpiar superficie de corte y eliminar filos cortantes con disco abrasivo.</b> <b>Controlar dimensiones.</b>			
Operación  ENSAMBLE	Controlar dimensiones de todas las Piezas antes de ensamblar. Taladrar 30 agujeros D=10 mm según línea de trazo. Ensamblar todas las piezas garantizando las dimensiones del plano. Controlar dimensiones.			
Operación  Soldadura	Utilizar electrodos E-7018 Ø 3.2 mm. Según tecnología. Depositar cordones continuos y resistentes. No se admiten defectos de soldadura. Garantizar el control de los parámetros de calidad de la soldadura. Precalentar los electrodos a una temperatura de 100 °C, luego colocarlo en estufa. Limpiar zona afectada por soldadura con disco abrasivo Ø180x6. Realizar inspección visual al 100% de la soldadura.			
Operación  Sandblasting y Pintura	Aplicar sandblasting con arena a toda la superficie hasta alcanzar el gris comercial SP-6. Aplicar una mano de pintura ferroprotector azul y esperar secar para trasladar. Controlar todo el proceso (humedad relativa < 70%, temperatura ambiente >3 punto de rocío).			
Confeccionado por: Jorge Luis Espinosa Sollet	Revisado por: Antonio Pérez Feria	Tecnología No.	Hoja No . <u> 1 </u> de: <u> 1 </u>	

## Anexo 5. Pautas de inspección de la estructura soporte del GSF.

Pauta de Inspección. No _____							R-01/AC-P-002		
Orden de Trabajo: 000-B404			Denominación: Estructura Soporte de Celda						
Número de plano: 220068			Fecha: 5/05/2012			Hoja 1 de 1			
No. Cons. del Objeto de la Insp.	Objeto de la inspección	Punto de inspección	Documento	Informe/ Registro	Pto de P/A	Certifica			Observación
						Produc	Ciente	Calidad	
1	Trazabilidad del material	PREPAR.	N/M, Plano, C.P.T y 06-P-010	R-02/AC-P-002		J' Brig.		T/O	
2	Dimensiones de preparación	PREPAR.	N/M, Plano, C.P.T y 06-P-004, NEIB-1	R-02/AC-P-002		J' Brig.		T/O	
3	Limpieza	PREPAR.	C.P.T y 06-P-004	R-02/AC-P-002		J' Brig.		T/O	
4	Dimensiones de Ensamble	ENSAMBLE	N/M, Plano, C.P.T y 06-P-005	R-02/AC-P-002		J' Brig.		T/O	
5	Material de Aporte	SOLDAD.	N/M, C.P.T, 06-P-001, 06-NCM-00	R-04/06-P-001		J' Brig.		T/O	
6	Estado Físico el Material de Aporte.	SOLDAD.	06-P-001	R-02/AC-P-002		J' Brig.		T/O	
7	Correcto cateto o cordón de soldadura	SOLDAD.	Plano, C.P.T, 06-P-001	R-01/06-P-001		J' Brig.		T/O	
8	Defectos	SOLDAD.	06-P-001	R-01/06-P-001		J' Brig.		T/O	
9	Deformaciones	SOLDAD.	06-P-001	R-01/AC-P-002		J' Brig.		T/O	
10	Limpieza	SOLDAD.	06-P-001	R-02/AC-P-002		J' Brig.		T/O	
11	Cumple con los procedimientos	SOLDAD.	06-P-001	R-04/06-P-001		J' Brig.		T/O	
12	Limpieza	Sandbl. y Pint	Plano, C.P.T	R-02/AC-P-002		J' Brig.		T/O	
13	Tipo de anticorrosivo	Sandbl. y Pint	N/M, Plano, C.P.T y 06-P-008	R-02/AC-P-002		J' Brig.		T/O	
14	Capas de anticorrosivo	Sandbl. y Pint	N/M, Plano, C.P.T, 06-P-008	R-02/AC-P-002		J' Brig.		T/O	
15	Pintura de Acabado	Sandbl. y Pint	N/M, Plano, C.P.T y 06-P-008	R-02/AC-P-002		J' Brig.		T/O	
16	Capas de Acabado	Sandbl. y Pint	N/M, Plano, C.P.T, 06-P-008	R-02/AC-P-002		J' Brig.		T/O	

Elaborado Por: Jorge Luís Espinosa Sollet Firma: \_\_\_\_\_ Aprobado Por: Antonio Pérez Feria Firma: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ Tecnólogo J' Tecnología

---

Anexo 6. Plano de la estructura que soportará los paneles solares fotovoltaicos.

## Anexo 7. Parámetros tecnológicos para el GSF.

R - 14 / ST - P - 001														
Empresa Mecánica del Níquel "Cmdte Gustavo Machín Hoed de B" Departamento de Ingeniería				NOMINA DE MATERIALES									OT: 000-B404	
No	CÓDIGO	DENOMINACIÓN	Cant.	U/M	Masa de la pieza	Marca del Material	PIEZA EN BRUTO PRIMARIO				Norma Constr.		Ruta por los talleres	
							Perfil	Dimensiones	Cant.	Masa	Por Artic. F.P	Por Artic. L.M		
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
2	220068	Estructura Soporte de Celda	1	Kg	81.23								06	
3														
4		Piezas												
5	Pos.1	Angular	4	Kg	5.34	A-36	L50x5	L= 1580	1	5.34	21.47	21.47	06	
6	Pos.2	Angular	4	Kg	5.34	A-36	L50x5	L= 1580	1	5.34	21.47	21.47	06	
7	Pos.3	Angular	4	Kg	2.48	A-36	L50x5	L= 735	1	2.48	10.05	10.05	06	
8	Pos.4	Angular	8	Kg	0.17	A-36	L50x5	L= 50	1	0.17	1.57	1.57	06	
9	Pos.5	Angular	8	Kg	0.32	A-36	L50x5	L= 96	1	0.32	2.81	2.81	06	
10	Pos.6	Angular	3	Kg	8.21	A-36	L50x5	L= 2428	1	8.21	24.70	24.70	06	
11		Electrodo E-7018 Ø3,2	0.25	Kg										
12	Pos.7	Arandela Ø20	4	U									06	
13	Pos.8	Tornillo M8x20	30	U									06	
14	Pos.9	Tuerca M8	30	U									06	
15	Pos.10	Arandela Ø8	30	U									06	
16		Disco de Corte Ø400x4	1	U									06	
17		Disco Abrasivo Ø180x6	1	U									06	
18		ÁREA		m <sup>2</sup>	0.24									
19		Pintura Ferroprotector Azul		Lt	0.10									
20		Diluyente Universal		Lt	0.03									
21		Arena		Kg	2.1									
No de Tecn:									Firma	Fecha	Cant. Hoja	HojaNo		
		Elaboró:	Jorge Luís Espinosa Sollet						07/05/2012	1	1			
		Aprobó:	Antonio Pérez Feria						07/05/2012	1	1			

LISTADO DE MATERIALES					R-09/ST-P-001	
O/T: 000-B404			Denominación: Estructura Soporte de Celda		No. Plano 220068	Tecn. No.
No	Denominación	Material	Perfil	U/M	Norma de Consumo	
1	Angular		L50x5	Kg	82.07	
2	Electrodo E-7018 Ø3,2			Kg	0.25	
3	Arandela Ø20			U	4.00	
4	Tornillo M8x20			U	30.00	
5	Tuerca M8			U	30.00	
6	Arandela Ø8			U	30.00	

7	Disco de Corte Ø400x4		U	1.00		
8	Disco Abrasivo Ø180x6		U	1.00		
9	ÁREA		m2	0.24		
10	Pintura Ferroprotector Azul		Lt	0.10		
11	Diluyente Universal		Lt	0.03		
12	Arena		Kg	2.12		
Elaborado por: Jorge Luís Espinosa Sollet			Firma	Fecha 07/05/2012	Cant. Hojas 1	Hoja No. 1
Aprobado por: Antonio Pérez Feria			Firma	Fecha 07/05/2012		

NORMA DE TIEMPO							
No tecn:						R - 04 / ST - P - 001	
O/T:	000-B404	Denom:	Estructura Soporte de Celda		No de Plano:	220068	
	Tiempo (hrs.)		Tiempo (hrs.)		Tiempo (hrs.)		Tiempo (hrs.)
Preparac.	3.85	Ensamble	2.95	Soldadura.	0.25	Sand. Pint.	0.50
Pail. VIII	3.00	Pail. VIII	0.45	Sold. VII	0.25	Pulidor III	0.25
Pail. VI	-	Pail. VI	-	Sold. V	-	Pintor IV	0.25
OMCC. IV	0.85	Sold. IV	-	Pulidor II	-	Aydte II	-
OMH VI	-	OMCC. IV	-	Grúa IV	-	Grúa III	-
Sold. IV	-	OMH IV	2.50	J" Brig. X	0.05	J" Brig. VI	0.10
Pulidor II	0.50	Pulidor II	0.45				
Grúa IV	0.25	Grúa IV	0.10				
OMCCP. IV	-	J" Brig. XI	0.10				
J" Brig. XI	0.25		-				
Elaborado por: Jorge Luís Espinosa Sollet		Firma: _____		Fecha: 07/05/2012			
Aprobado por: Antonio Pérez Feria		Firma: _____		Fecha: 07/05/2012			

EMNI

Código : 06 - R - 052  
Revisión : 0.0  
Fecha de Inicio 02/11/10

REGISTRO DE INSPECCIÓN DIMENSIONAL (RID)

No de Tecn:													
Denominación:					Fabricante Local: UEB Const. Met.					Fecha: 07/05/2012			
Estructura Soporte de Celda					No de Plano: 220068					Orden de trabajo: 000-B404			
Marca	Pos.	Cant.	Denominación Nominal	Desviación	Real	Ejecutó Chapa	Marca	Pos.	Cant.	Denominación Nominal	Desviación	Real	Ejecutó Chapa
Preparación													
	1	4	1580					5	8	Ø10			
			1190					6	8	Ø10			
			190				Ensamble						
			34							787			
			100							810			
			25							2434			

	2	4	1580							2838			
			55							690			
			20							375			
			25							1190			
			165							635			
			1375							1580			
	3	4	735										
			690										
			30							Δ5			
			15										
	4	8	32										
			25										
	5	8	46										
			96										
			25										
	6	3	2428										
			764										
			46										
			25										
			32										
	<b>Taladrado</b>												
	1	4	Ø10										
	2	4	Ø10										
	3	4	Ø10										
	4	8	Ø10										
Preparación revisado por:				Inspeccionado por:				Revisado por:					
Ensamble revisado por:				Inspeccionado por:				Revisado por:					
Soldadura revisado por:				Inspeccionado por:				Revisado por:					

## Anexo 8. Análisis de elementos de gasto.

Análisis de Elementos de Gastos		
Orden de Producción:	000-B404	Denominación: ESTRUCTURA SOPORTE DE CELDA
Plano:	220068	Peso Unitario: 81.20
Taller: CONSTRUCCIONES METALICAS		Fecha de Elaboración: 8/6/2012
Conceptos de Gastos	Total	Cuc
<b>Materias Prima y Materiales</b>	<b>156.35</b>	<b>140.88</b>
...Materiales	145.70	130.23
...Combustibles y lubricantes	0.12	0.12
...Energía eléctrica	1.35	1.35
...Utiles y Herramientas	4.49	4.49
...Agua	4.69	4.69
...Piezas Método de Gasto General	0.00	0.00
Sub total (Gastos de Elaboración)	120.61	15.63
Otros Gastos directos	16.49	0.47
...Depreciación	12.59	0.00
...Arrendamiento de equipos	3.90	0.47
...Ropa y calzado (trab. Directos)	0.00	0.00
Gastos de fuerza de trabajo	38.96	2.11
...Salarios	24.30	0.00
...Vacaciones	2.21	0.00
...Contribución Seg.Social, Impuesto/Fza trabajo	10.34	0.00
...Estimulación en Divisas	2.11	2.11
Gastos indirectos de producción	37.89	8.22
...Depreciación	0.82	0.00
...Mantenimiento y reparación	37.07	8.22
Gastos generales y de administración	12.62	1.24
...Combustibles y lubricantes	0.14	0.14
...Energía eléctrica	0.11	0.11
...Depreciación	0.45	0.00
...Ropa y Calzado	0.00	0.00
...Alimentos	0.00	0.00
...Otros	11.93	1.00
Gastos de distribución y ventas	0.00	0.00
...Combustibles y lubricantes	0.00	0.00
...Energía eléctrica	0.00	0.00
...Depreciación	0.00	0.00
...Ropa y Calzado	0.00	0.00
...Otros	0.00	0.00
...Gastos de circulación interna	0.00	0.00
Gastos Bancarios	14.64	3.59
...Gastos Bancarios	14.64	3.59
<b>Costo de Producción</b>	<b>276.95</b>	<b>156.51</b>
Margen de utilidad S/ Base Autorizada	24.12	0.00
Precio establecido por el MFP	301.07	0.00
% Sobre los gastos en divisa	0.00	0.00
Componente en pesos convertibles	0.00	156.51

**Nómina de materiales:**

Código	Producto	Cantidad	UM	Precio Total	Precio Cuc	Importe Total	Importe Cuc
27236000500000	ANGULAR AC RST 50X50X5X6	0.082070	T	1,422.076066	1,270.903174	116.709783	104.303023
30314548160000	ARANDELA PLANA D.20 MM	4.000000	U	0.054659	0.049624	0.218636	0.198496
30310394240000	TORNILLO MAQ. C/HEX M8 X 20	30.000000	U	0.039135	0.037165	1.174050	1.114950
30340111140000	TUERCA M 8	30.000000	U	0.037517	0.037517	1.125510	1.125510
30343010080000	ARANDELA PLANA M8	30.000000	U	0.005623	0.005112	0.168690	0.153360
65420110130000	DISCO ABRASIVO DE CORTE DE 400X4X32	1.000000	U	21.964559	19.405651	21.964559	19.405651
65430117190000	DISCO DE C/ DEP 180X6X22.2	1.000000	U	2.654310	2.654310	2.654310	2.654310
35013002230000	FERROPROTECTOR AZUL	0.100000	LT	3.249474	2.604737	0.324947	0.260474
34850110010000	DILUENTE UNIVERSAL	0.030000	U	9.772560	7.833560	0.293177	0.235007
24940200120000	ARENA SILICE	0.002120	T	133.373132	49.750337	0.282751	0.105471
31611280220000	AWS-E-7018-D-3.2MM	0.250000	KG	3.140308	2.710690	0.785077	0.677673
Total:						145.701490	Cuc: 130.233925

**Fuerza de Trabajo:**

Operación	Tiempo	Tarifa	Importe	Área
TRAZADO	3.00	2.710000	8.130000	06
CORTE MECANIZADO	0.85	2.470000	2.099500	06
LIMPIEZA	0.95	2.360000	2.242000	06
OP. GRUA VIAJERA	0.35	2.470000	0.864500	06
SUPERVISADO	0.35	3.260000	1.141000	06
ENSAMBLE	0.45	2.710000	1.219500	06
SANDBLASTE	0.25	2.400000	0.600000	06
PINTADO	0.25	2.470000	0.617500	06
SUPERVISADO	0.10	2.640000	0.264000	06
TALADRADO	2.50	2.470000	6.175000	06
SOLDADURA	0.25	3.199115	0.799779	06
SUPERVISADO	0.05	2.990000	0.149500	06
Total:				24.302279

---

## **Anexo 9. Operaciones de mantenimiento a realizar por el personal de mantenimiento.**

### Operación de mantenimiento GU1

- Objetivo: Comprobar visualmente del correcto funcionamiento del generador.
- Operaciones a realizar: El personal de mantenimiento observará los sistemas de monitorización de la instalación para comprobar que no existen anomalías en su funcionamiento.
- Elementos a utilizar: No son necesarios.
- Periodicidad: Semanalmente como mínimo.
- Realiza la operación: El propio personal de mantenimiento de la empresa.

### Operación de mantenimiento GU2

- Objetivo: Limpiar la superficie de los módulos del generador.
- Operaciones a realizar: Limpiar la superficie de los módulos de polvo y restos adheridos de suciedad. Utilizar materiales no abrasivos como trapos de algodón y agua, y jabón neutro, para evitar rayar la superficie de cristal de los módulos. En caso de suciedad resistente utilizar trapos humedecidos en alcohol para disolverla.
- Elementos a utilizar: Agua, trapos, productos de limpieza no abrasivos y alcohol.
- Periodicidad: Mensualmente y en casos de tormentas de polvo o similares.
- Realiza la operación: El propio personal de mantenimiento de la empresa.

### Operación de mantenimiento GU3

- Objetivo: Comprobar visualmente el estado general del generador.
- Operaciones a realizar: Comprobar que no aparecen sombreados imprevistos de los módulos debido al crecimiento de la vegetación, restos de suciedad movidos por el viento u objetos imprevistos próximos a los módulos. En caso de detectarse alguno en estos hechos el personal deberá aplicar las medidas correctoras apropiadas. Comprobar que no existen daños apreciables en los módulos, cableado eléctrico, cajas de conexiones, estructuras de soporte de

---

los paneles, fijación de los paneles, etc. Comprobar que no se han producido nidos de insectos en las cajas de conexiones o en algún rincón de los paneles. En caso de detectarse alguno de estos hechos se deberá aplicar las medidas correctoras apropiadas. Comprobar que no se aprecian daños en los conductores aéreos de los paneles a suelo por ataques de roedores.

- Elementos a utilizar: Los adecuados a cada tipo de incidencia.
- Periodicidad: Debe realizarse una vez cada tres meses como mínimo.
- Realiza la operación: El propio personal de mantenimiento de la empresa.

#### Operación de mantenimiento GU4

- Objetivo: Comprobar visualmente el estado de la estructura de soporte de los paneles.
- Operaciones a realizar Comprobar que los paneles se encuentran en su posición correcta y no has sufrido movimientos por efecto del viento. Comprobar que los paneles están bien fijados a sus estructuras de soporte, no se encuentran sueltos por falta de apriete de los tornillos de sujeción o por falta de tornillos perdidos a causa de la vibración. Comprobar la estructura no presenta deformaciones anómalas. Comprobar que no aparecen puntos de corrosión en la estructura de soporte ni en los puntos de puesta a tierra.
- Comprobar la base de soporte de la estructura de los paneles no presenta grietas o roturas, que puedan provocar el desmoronamiento de la estructura de soporte.
- Elementos a utilizar: No son necesarios
- Periodicidad: Debe realizarse una vez cada tres meses como mínimo.
- Realiza la: El propio personal de mantenimiento de la empresa

Anexo 10. Fotos tomadas de lugares visitados donde usan la energía solar fotovoltaica como energía para 2 PC, un TV, 3 Lámparas 20, (Escuela Primaria Enma Rosa Chuí – Callo Chiquito).

