

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES**

**FACULTAD TÉCNICA**

**CARRERA ELECTROMECAÁNICA**



**PROYECTO DE GRADO**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SOLAR  
FOTOVOLTAICO PARA EL CENTRO DE SALUD DE LA  
LOCALIDAD DE CHARAZANI DE LA PROVINCIA  
BAUTISTA SAAVEDRA**

**POR: WINDSOR LIMA COCHI**

**TUTOR: LIC. CESAR MENDOZA CARVAJAL**

**LA PAZ – BOLIVIA**

**Diciembre, 2013**

## DEDICATORIA

A mí querida familia por haberme brindado Su apoyo incondicional

En todo momento

## AGRADECIMIENTOS

Mi eterno agradecimiento a mi querida familia quienes me brindaron su apoyo en todo momento y con ello hacer de mi un hombre de provecho para la sociedad. Mis sinceros agradecimientos a la Facultad Técnica de la Universidad Mayor de San Andrés y a la carrera de Electromecánica por su continuo apoyo y solidaridad. Finalmente a los docentes de la carrera de Electromecánica por haber colaborado en mi formación profesional y guiarme por el buen camino y que por ellos es posible la realización de este trabajo.

## RESUMEN

La información plasmada en este documento, consiste en la viabilidad de contar con energía eléctrica como medio de emergencia con Sistema Solar Fotovoltaico, para el Centro de Salud de la Localidad de Charazani que actualmente cuenta con el suministro de energía eléctrica el cual presenta deficiencias en el servicio. El Centro de Salud se encuentra a una altitud de 3250 m.s.n.m. capital de la Provincia Bautista Saavedra. La generación de la energía eléctrica con sistemas solar fotovoltaica es la más conveniente, consiste en los paneles solares fotovoltaicos que convierten la radiación provenientes del sol, en energía eléctrica proporcionando corriente continua, la intensidad de energía solar disponible en un punto determinado de la tierra depende del día, año, hora, latitud y de la orientación del dispositivo receptor, todo esto, inicialmente requiere de mayores inversiones económicas para su implementación. Los componentes del sistema solar son: Panel solar. Regulador de tensión, Acumulador o Batería. Dispositivos de protección del sistema. Con la implementación de un sistema solar del Centro de Salud, se estará atendiendo las necesidades sociales básicas de la salud de los pobladores cuando el suministro de energía eléctrica de la red presente deficiencias o exista cortes del servicio. De igual manera, se está cumpliendo el objetivo científico de ésta investigación, que consiste en el diseño de un sistema fotovoltaico para alimentar la iluminación de salas que necesitan energía eléctrica ininterrumpida, cubriendo la necesidad básica de salud mejorando la calidad de vida de los pobladores, igualmente, ampliar la tecnología nacional sobre el uso de Paneles solares atenuando la contaminación del medio ambiente.

# ÍNDICE

<b>CAPITULO 1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>PÁGINA</b>
1.1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.2	IDENTIFICACION DEL PROBLEMA.....	2
1.3	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.4	OBJETIVOS.....	3
1.4.1	OBJETIVO GENERAL.....	3
1.4.2	OBJETIVO ESPECIFICO.....	3
1.5	JUSTIFICACIÓN.....	4
1.6	ALCANCE DEL PROYECTO.....	4
<b>CAPITULO 2</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b>	
2.1	RADIACION SOLAR.....	5
2.2	LA CONSTANTE SOLAR.....	6
2.1.2	MOVIMIENTO APARENTE DEL SOL.....	8
2.1.3	MEDICION DE LA RADIACION SOLAR.....	10
2.2	RADIACION SOLAR EN BOLIVIA Y SU APROVECHAMIENTO.....	12
2.3	CAPTACION DE LA ENERGIA SOLAR.....	15
2.4	EFFECTO FOTOELECTRICO.....	21

2.5 CELDAS MODULOS Y SUS ARREGLOS.....	22
2.5.1 LA CELULA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	22
2.5.2 EL SILICIO.....	23
2.5.3 LA UNION P-N.....	24
2.5.4 DIVISION DE LAS CELDAS FOTOVOLTAICAS.....	27
2.5.4.1 CELULA DE SILICIO MONOCRISTALINO.....	27
2.5.4.2 CELULA DE SILICIO MULTICRILTALINO.....	28
2.5.4.3 CELULA DE SILICIO AMORFO.....	29
2.6 RENDIMIENTO DE LACELULA FOTOVOLTAICA.....	30
2.7 EL MODULO FOTOVOLTAICO.....	32
2.8 EL PANEL SOLAR.....	35
2.8.1 COMPOSICION TIPICA DE UN PANEL SOLAR FOTOVOLTAICO.....	36
2.8.2 CARA ACTIVA O CUBIERTA EXTERIOR.....	36
2.8.3 ENCAPSULANTE.....	36
2.8.4 PROTECCION POSTERIOR.....	37
2.8.5 BASTIDOR O MARCO SOPORTE.....	37
2.8.6 CONTACTOS ELECTRICOS DE SALIDA.....	38
2.8.7 DIODOS.....	38
2.8.8 CARACTERISTICAS ELECTRICAS.....	39

2.8.9 INTENSIDAD DE CORTO CIRCUITO Y TENSION CIRCUITO ABIERTO.....	41
2.8.10 POTENCIA PICO O POTENCIA MAXIMA.....	41
2.8.11 INTENSIDAD Y VOLTAJE EN EL PUNTO DE MAXIMA POTENCIA.....	42
2.9 DEFINICION DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	43
2.9.1 TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	44
2.9.2 SISTEMAS CON CARGADOR DE BATERIAS INTEGRADO.....	44
2.9.3 SISTEMAS DE USO DIURNO.....	45
2.9.4 SISTEMAS DE CORRIENTE DIRECTA CON BATERIAS DE ALMACENAMIENTO.....	45
2.9.5 SISTEMAS DE CORRIENTE DIRECTA QUE ALIMENTAN CARGAS DE CORRIENTE ALTERNA.....	47
2.9.6 SISTEMAS HIBRIDOS.....	47
2.9.7 SISTEMAS INTERCONECTADOS A LA RED DE SERVICIOS.....	48
2.10 COMPONENTES DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	49
2.10.1 GENERADOR FOTOVOLTAICO.....	49
2.10.2 INCLINACION Y ORIENTACION.....	51
2.10.3 REGULADOR O CONTROLADOR.....	52
2.10.4 TIPOS DE REGULADORES.....	54

2.10.4.1 EL REGULADOR PARALELO.....	54
2.10.4.2 EL REGULADOR SERIE.....	55
2.10.4.3 CARACTERISTICAS DE LOS REGULADORES.....	56
2.11 INVERSORES.....	58
2.11.1 CARACTERISTICAS PARA LA ELECCION E INSTALACION DE.....	59
INVERSORES	
2.11.2 TIPOS DE INVERSORES.....	60
2.11.2.1 INVERSORES CON UNA TENSION EN FORMA	
RECTANGULAR.....	61
2.11.2.2 INVERSORES CON UNA TENSION EN FORMA RECTANGULAR	
MODIFICADA.....	61
2.11.2.3 INVERSORES DE CORRIENTE ALTERNA DE FORMA	
SINUSOIDE.....	62
2.12 ACUMULADORES.....	63
2.12.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UN ACUMULADOR	
DE PLOMO.....	64
2.12.2 COMPOSICION DE UN ACUMULADOR.....	66
2.12.3 INCONVENIENTES.....	67
2.12.4 ESPECIFICACIONES TECNICAS.....	69

2.12.5 CLASIFICACION.....	69
2.12.5.1 BATERIA PRIMARIA.....	69
2.12.5.2 BATERIA SECUNDARIA.....	70
2.12.6 CARACTERISTICAS FUNDAMENTALES.....	70
2.12.7 LA CAPACIDAD.....	72
2.12.8 PROFUNDIDAD DE DESCARGA.....	74
2.12.9 CONTROL DE CARGA DEL ACUMULADOR.....	75

**CAPITULO 3                      INGENIERÍA DEL PROYECTO**

3.1 CARACTERISTICAS TECNICAS DE LA INSTALACION.....	77
3.2 ANALISIS DE LAS CARGAS ELECTRICAS.....	79
3.2.1 ESTUDIO DE LA DEMANDA.....	79
3.2.2 POTENCIA INSTALADA.....	80
3.2.3 CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA DIARIO.....	80
3.2.4 PLANO DEL CENTRO DE SALUD PLANTA BAJA.....	81
3.2.5 PLANO DEL CENTRO DE SALUD PLANTA ALTA.....	82
3.2.6 PLANO DEL SISTEMA DE ILUMINACION INSTALADA PLANTA BAJA.....	83
3.2.7 PLANO DEL SISTEMA DE ILUMINACION INSTALADA PLANTA ALTA.....	84.

3.2.8 PLANO DEL SISTEMA DE ILUMINACION FOTOVOLTAICO PLANTA BAJA.....	85
3.2.9 PLANO DE SISTEMA DE ILUMINACION FOTOVOLTAICO PLANTA ALTA.....	86
3.2.10 ESQUEMA UNIFILAR.....	87
3.3 CALCULO DE LAS CARGAS ELECTRICAS PARA EL SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	88
3.3.1 CALCULO DE LAS CARGAS ELECTRICAS PARA EL SISTEMA FOTOVOLTAICO DE LA ZONA CRÍTICA.....	89
3.3.2 POTENCIA INSTALADA PARA LA ZONA CRÍTICA.....	89
3.3.3 CONSUMO DE ENERGIA DIARIA DE LA ZONA CRÍTICA.....	90
3.4 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTONOMO.....	90
3.4.1 CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA DIARIO.....	90
3.4.2 CORRECCION DEL CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA DIARIO..	91
3.4.3 DIMENSIONAMIENTO DEL GENERADOR SOLAR.....	91
3.4.4 TIEMPO DE POTENCIA NOMINAL (HORAS PICO).....	92
3.4.5 CORRIENTE NOMINAL DEL GENERADOR.....	93
3.4.6 CALCULO DEL NUMERO DE PANELES.....	93
3.4.7 PRODUCCION DE ENERGIA ELECTRICA DEL PANER FOTOVOLTAICO.....	95

3.4.8 VERIFICACION DEL NUMERO DE PANELES.....	95
3.4.9 DIMENSIONAMIENTO DE LOS ACUMULADORES.....	96
3.4.10 CAPACIDAD DE LOS ACUMULADORES DEL SISTEMA SOLAR.....	97
3.4.11 NUMERO DE ACUMULADORES.....	97
3.4.12 CÁLCULO Y SELECCIÓN DEL REGULADOR.....	98
3.4.13 CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO MAXIMO.....	98
3.5 MONTAJE DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	99
3.5.1 TIPOS DE MONTAJES DE LOS SISTEMAS.....	100
3.5.1.1 MONTAJES EN SOPORTES O ANAQUELES.....	100
3.5.1.2 MONTAJE EN POSTE.....	101
3.5.1.3 MONTAJE EN TIERRA.....	101
3.5.1.4 MONTAJE EN TECHO.....	102
3.6 CABLEADO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	103
3.7 CONEXIONES.....	105
3.8 ENCHUFES.....	106
3.9 CONEXIÓN A TIERRA.....	107
3.10 FUSIBLES.....	108
3.11 MANTENIMIENTO Y SOLUCION DE PROBLEMAS.....	109

3.11.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....109

3.11.2 MANTENIMIENTO CORRECTIVO.....110

**CAPITULO 4 COSTOS**

4.1 COSTOS DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA.....111

4.2 COSTOS DE MANO DE OBRA.....112

4.3 COSTOS INDIRECTOS.....112

4.4 OTROS COSTOS.....113

4.5 OTROS COSTOS.....113

**CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1 CONCLUSIONES.....114

5.2 RECOMENDACIONES.....114

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

## **CAPITULO I**

### **GENERALIDADES**

#### **1.1 Introduction**

La energía eléctrica ha sido la herramienta fundamental en el desarrollo de la humanidad, específicamente para la producción de bienes y servicios que tienen por objeto el mejoramiento de la calidad de vida de las sociedades.

La utilización milenaria de combustibles naturales, le ha permitido al hombre aprovechar tales recursos para generar energía, principalmente a partir de petróleo y carbón.

En los dos últimos siglos el aumento continuo de la población mundial y con ello de sus necesidades, la demanda energética ha tenido un aumento acelerado, especialmente en las concentraciones poblacionales de tipo urbano, situación que a su vez lleva a la explotación de los recursos energéticos no renovables, ocasionando alteraciones considerables a los ecosistemas desde su exploración y explotación, hasta su consumo.

Los Sistemas Solares Fotovoltaicos son la aplicación predominante en la obtención de energía eléctrica mediante la utilización de celdas de silicio en su generalidad.

Los sistemas fotovoltaicos producen energía limpia y confiable sin consumir combustibles fósiles y pueden ser utilizados en una amplia variedad de aplicaciones. Una aplicación común de la tecnología fotovoltaica es el suministro de energía para relojes y radios. En una escala mayor muchas redes de servicios públicos que son arreglos o matrices de paneles fotovoltaicos para abastecer a los consumidores con electricidad de generación solar o como respaldo para equipos críticos.

Las aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos se expanden enormemente, las que incluyen; comunicaciones, refrigeración para los servicios médicos, riego de cultivos, purificación de aguas, iluminación, vigilancia ambiental, navegación aérea y marítima, redes de servicios públicos de electricidad, y otras aplicaciones residenciales y comerciales.

La energía solar puede ser verdaderamente competitiva y en el futuro reemplazar a las fuentes de energía convencionales si se superan las limitaciones que representan los paneles solares.

## **1.2 Identificación del Problema**

La localidad de Charazani hasta antes del 2010 no contaba con el suministro de energía eléctrica de la red, poseía un generador eléctrico que abastecía a todo el pueblo; que por causas naturales dejó de funcionar.

Hoy en día esta localidad cuenta con electrificación que fue instalada por Emprepez, la cual demandó a la prefectura y al gobierno municipal de Charazani sumas considerables de dinero; ello implica que el servicio de electricidad sea costoso, debido que la población no es muy numerosa.

El centro de salud Charazani con su nueva estructura es catalogado como centro de salud de segundo nivel, el cual brinda servicios médicos de especialidad; por lo tanto este centro requiere un suministro de energía eléctrica ininterrumpida.

Este proyecto está enfocado a ver cuán conveniente puede ser la implementación de la electrificación fotovoltaica, para el Centro de Salud. El proyecto busca el máximo aprovechamiento de esta fuente de energía y el ahorro a largo plazo.

### **1.3 Planteamiento del Problema**

La implementación de un sistema solar fotovoltaico permitirá mejorar la atención de los servicios médicos del centro de salud

### **1.4 Objetivos**

#### **1.4.1 Objetivo General**

Es la implementación de un sistema solar fotovoltaico para el centro de salud de la localidad de Charazani de la provincia Bautista Saavedra, con el cual se brindara el suministro de energía eléctrica de manera ininterrumpida para que con ello pueda brindar sus servicios médicos y los pobladores gocen de calidad de vida

#### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Fomentar el uso de energías alternativa como lo es la solar
- Aplicar conocimiento teóricos sobre radiación solar
- Aplicar conocimientos sobre energías alternativas
- Analizar la eficiencia que podría tener un sistema fotovoltaico
- Analizar cuan productivo y económico puede resultar la implementación del sistema fotovoltaico

## 1.5 Justificación

Este proyecto busca satisfacer la necesidad de energía eléctrica ininterrumpida que requiere el centro de salud, ya que atiende a pobladores de las poblaciones próximas a Charazani como: Chojaya, Inca Roca, Huata Huata, Conlaya, Sipiplaya, Jatichulaya, Quiabaya, Chijuico, Sucanaco Alto y Bajo y otros.

El proyecto busca el máximo aprovechamiento de las fuentes de energías renovables.

Las aplicaciones energéticas del sol se remontan a principios de la humanidad cobrando en la actualidad gran importancia por las siguientes características:

- Es una energía abundante
- Fuente energética limpia y ecológica
- Tecnología accesible al medio
- Energía renovable
- Sin costos de generación
- Gratuita

## 1.6 Alcance del proyecto

El alcance del proyecto consiste en realizar un análisis de un Sistema Solar Fotovoltaico aplicado al centro de salud de Charazani de la provincia Bautista Saavedra: con la implementación de sistemas solares para la obtención de energía eléctrica: se permitira mejorar la calidad de vida de los habitantes de la capital de la provinciay poblaciones aledañas, que podrán acceder a las nuevas tecnologías de salud y comunicación y el ahorro a largo plazo

## CAPITULO II

### MARCO TEORICO

Para disponer de la máxima cantidad de energía solar incidente sobre una superficie de captación de una instalación solar en un punto fijo de la tierra, es necesario orientarla correctamente, y para ello se necesita conocer el movimiento aparente del Sol; el entender el movimiento aparente del sol es imprescindible para cualquier tipo de aplicación solar, sean sistemas solares, sistemas fotovoltaicos o para el aprovechamiento pasivo de la radiación solar en construcciones.

De la misma forma, se puede utilizar estos conocimientos para protegerse del Sol, como puede ser en los climas cálidos, donde se requiere disponer de lugares frescos, que pueden lograrse con una arquitectura inteligente. El conocimiento de la geometría solar es aun más importante cuando se trata de sistemas de concentración, dado que estos dispositivos aprovechan solamente la componente directa de la radiación solar y que necesitan variar su orientación a lo largo del año o a lo largo de un día siguiendo la trayectoria del sol. El conocimiento de la posición del Sol ha servido también para la navegación como en las tablas astronómicas.

#### 2.1 Radiación Solar

La energía solar, como recurso energético terrestre, está constituida simplemente por la porción de luz que emite el Sol y que es interceptada por la Tierra.

La intensidad de la radiación solar en el borde exterior de la atmósfera, considerando la distancia promedio entre la Tierra y el Sol, se llama

constante solar, y su valor medio es  $1353 \text{ W/m}^2$ , la cual varía en un 0,2% en un período de 30 años.

La intensidad de energía real disponible en la superficie terrestre es menor que la constante solar, siendo alrededor de  $1000 \text{ W/m}^2$ , debido a la absorción y a la dispersión de la radiación que origina la interacción de los fotones con la atmósfera. Esta porción de energía se conoce como radiación directa. Otra parte de la energía solar que llega a la superficie de la tierra se denomina radiación difusa que es aquella energía solar reflejada por la atmósfera terrestre, en especial por las nubes

Además, a nivel del suelo se tiene la radiación reflejada que es parte de la energía reflejada por los objetos terrestres. Por ejemplo, la proveniente de una pared blanca, un charco de agua o un lago, etc.

Radiación total es la suma de las radiaciones directa, difusa y reflejada que se reciben sobre una superficie.

Por otra parte, en el diseño de sistemas solares, la radiación que interesa es la que llega a la parte superior de la superficie horizontal del colector solar. En este caso, se puede considerar la falta de radiación reflejada y por lo tanto, la energía que recibe el colector solar se le denomina como radiación global.

Por tanto, la radiación global es la suma de la directa más la difusa, esta radiación global es la que se aprovecha en colectores planos.

### **2.1.1 La constante Solar**

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.

Por lo tanto el flujo luminoso, que es un flujo de energía, tiene unidades de energía por unidades de área y por unidades de tiempo.

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 propagada de la radiación solar, ubicada a la distancia media de la Tierra al Sol fuera de toda atmósfera.

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 si la magnitud de la energía que se recibe del sol, los valores son:

$$G_{sc} = 1353 \text{ W/m}^2,$$

$$G_{sc} = 1.940 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$$

$$G_{sc} = 428 \text{ Btu/ft}^2 \cdot \text{hr}$$

$$G_{sc} = 4871 \text{ Mj/m}^2 \cdot \text{hr}$$

Estos valores fueron aceptados por la NASA (1971) y por la ASTM

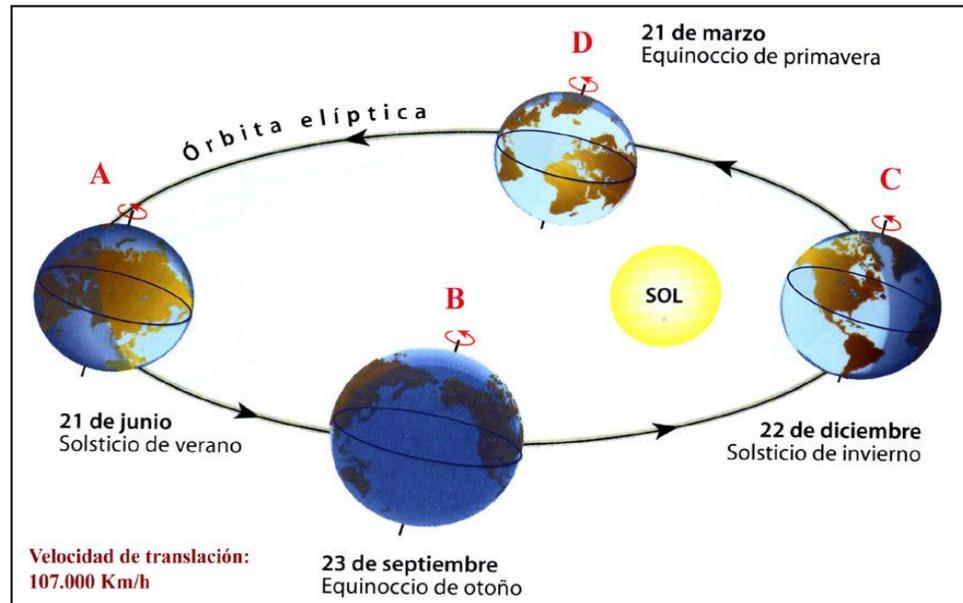
## 2.1.2 Movimiento aparente del Sol

La tierra da vueltas alrededor del sol describiendo una orbita elíptica en la que el Sol ocupa uno de los focos de la elipse, la distancia Tierra – Sol varia de  $147.1 \times 10^9$  metros a  $152.1 \times 10^9$  metros el plano que contiene esta orbita se llama plano de la elíptica y el tiempo que la tierra tarda en recorrerla define un año. El movimiento de la Tierra alrededor del Sol, o dicho de otra manera, el movimiento de la Tierra con respecto al Sol. Cuatro puntos en esta trayectoria tienen particular importancia, son los dos equinoccios y los dos solsticios.

La tierra da vueltas ella misma sobre su eje en el mismo sentido que el sentido de rotación alrededor del Sol. Este eje se denomina eje polar. El ángulo entre el eje de la rotación de la Tierra (o eje polar) y el eje de la elíptica (plano en el que la Tierra realiza su orbita alrededor del Sol) es constante y tiene un valor de  $23^{\circ}27'$ .

Sin embargo, para las aplicaciones terrestres, es el movimiento del Sol con respecto a la tierra que nos interesa, es decir, el movimiento del Sol visto desde un punto fijo de la Tierra, se habla entonces de movimiento aparente del Sol, como sabemos el movimiento de nuestro astro tal como lo percibimos a lo largo de una jornada, es debido a que la Tierra gira sobre si misma, efectuando un revolución cada 24 horas.

Fig.1: Movimiento de la Tierra alrededor del Sol



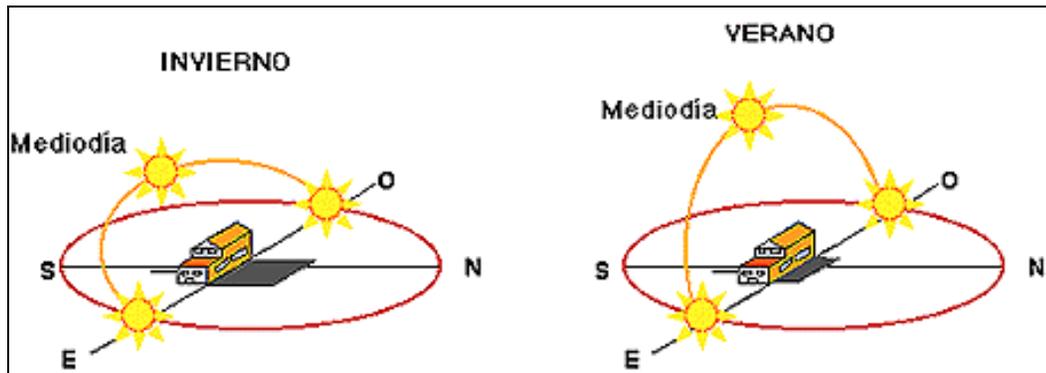
Fuente : Internet - ucm.es

Para los efectos prácticos que nos interesan sobre sistemas solares, da lo mismo suponer que la Tierra permanece inmóvil mientras que el Sol gira a su alrededor, es por eso que una forma clásica de representación del cielo consiste en imaginar una esfera con la Tierra fija en su centro. Esta esfera se conoce con el nombre de esfera celeste. Su intersección con el plano del ecuador define el ecuador celeste.

De esta forma podemos describir el movimiento del sol alrededor de la Tierra siguiendo el círculo que corresponde a la intersección del plano de la eclíptica con la esfera celeste.

El Sol recorre este círculo una vez al año y la esfera celeste gira alrededor de la tierra (que permanece fija), una vez por día. Así, el sol describe diariamente alrededor de la Tierra, un círculo cuyo diámetro varía durante el año, y que es máximo en los equinoccios y mínimo en los solsticios

Fig.2: Movimiento de la Tierra alrededor del Sol



Fuente:Internet -planetariumperu.blogspot.

### 2.1.3 Medición de la Radiación Solar

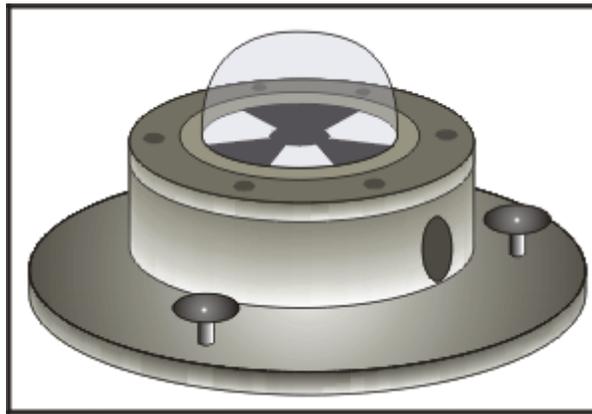
Para muchas aplicaciones prácticas, no basta con calcular la radiación teórica que incide sobre un lugar o sobre un equipo solar determinado. Es necesario hacer las mediciones, para tener los valores efectivos de energía disponible o incidente sobre un colector.

Existen varios métodos para medir la radiación solar, ya sea en forma de irradiancia o de irradiación. El método más aceptado comúnmente es el uso de un piranómetro. Un Piranómetro es un instrumento para medir la irradiancia global (directa más difusa) usualmente sobre una superficie horizontal.

El tipo más común de piranómetros, consiste en dos sensores de temperatura, uno de ellos expuesto a la radiación solar y ennegrecido y el otro, protegido de la radiación. Si los dos sensores se encuentran en condiciones similares en todo, menos en el hecho de estar expuestos ambos a la radiación, habrá una diferencia de temperatura entre ellos. La hipótesis de trabajo de un piranómetro es que, la irradiancia es directamente proporcional a la diferencia de temperaturas de ambos sensores.

Para evitar ruido en las lecturas, causado por el viento y por otros factores meteorológicos, el sensor expuesto a la radiación (y a veces también el otro) suelen estar protegidos por un hemisferio de vidrio, este hemisferio de características ópticas adecuadas permiten el paso de la radiación, pero evita el enfriamiento por el viento lo cual alteraría la lectura

Fig. 3:Piranómetro



Fuente : Internet- [bvsde.paho.org](http://bvsde.paho.org)

Los piranómetros usados para medir la radiación incidente (solar) se deben colocar en áreas abiertas con una amplia vista del cielo hacia todas las direcciones y durante todas las estaciones. Deben localizarse en puntos donde no se produzcan obstrucciones que proyecten una sombra sobre el sensor en cualquier momento. Además, se debe evitar colocarlos cerca de paredes de colores claros y fuentes artificiales de radiación. La altura del sensor no es un factor determinante para los piranómetros. Una ubicación recomendable es sobre una plataforma elevada.

## 2.2 Radiación solar en Bolivia y su aprovechamiento

Un estudio difundido por la Plataforma Energética del Centro de Estudios para el Desarrollo Laboral y Agrario (Cedla) revela que el 97 por ciento del territorio nacional es apto para la utilización de la energía solar, gracias a los altos niveles de radiación solar en gran parte del territorio boliviano.

Se puede concluir que la utilización de la energía solar a nivel de todo el territorio nacional es factible, a excepción de algunas zonas que constituyen menos del 3 por ciento del territorio nacional, señala el estudio denominado "Rol e impacto socioeconómicos de las energías renovables del área rural de Bolivia".

La investigación desarrollada por Miguel Fernández Fuentes identificó que el único espacio "impracticable" para la utilización de la energía solar son las zonas de formación de nubes ubicadas en las fajas orientales de la Cordillera de Los Andes, por la baja tasa de radiación solar.

Los altos valores de radiación solar en Bolivia, según el estudio publicado en 2011, se deben a la posición geográfica que tiene el territorio, el cual se encuentra en la zona tropical del sur, entre los paralelos 11° y 22°. Por ello, la tasa de radiación entre la época de invierno y verano no representa diferencias que sobrepasen el 25 por ciento.

Bolivia tiene la ventaja de ser uno de los países en el mundo de recibir grandes cantidades de energía solar, por encontrarse cerca al desierto de Atacama, que es el centro de radiación solar para la América Latina. Esta es una razón para el aprovechamiento y la aplicación de la energía solar

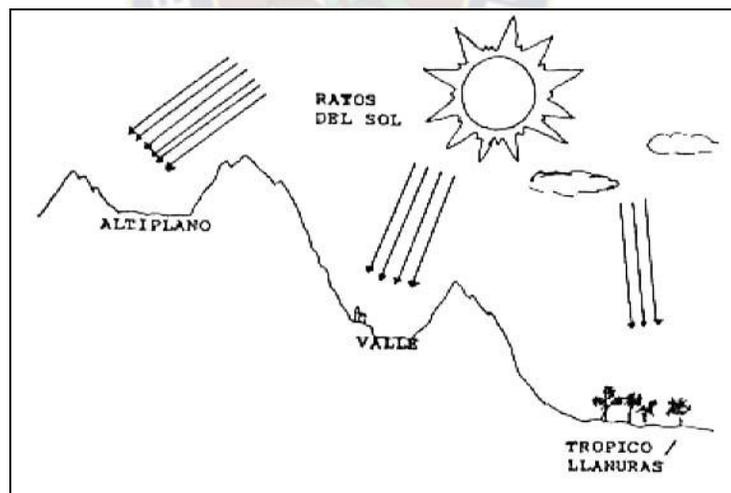
El sol envía energía en forma de rayos solares, llamada también radiación solar. Esta radiación no siempre es igual, se sabe que en el verano hace más

calor que en invierno. Hay días cuando el sol tiene menor intensidad, porque el cielo está nublado.

Antes de llegar los rayos del sol a los lugares donde están instalados los paneles solares, la radiación debe pasar por una capa de aire, la atmósfera, que es el aire que se respira y donde se encuentran las nubes.

El Altiplano por estar en altura tiene menor cantidad de aire. Esto se experimenta cuando se llega del trópico y tiene problemas para respirar. Los rayos del sol para llegar a la tierra en el Altiplano no tienen que atravesar una capa gruesa de la atmósfera; por esta razón, el Altiplano de Bolivia cuenta con la mayor oferta de la energía solar. La radiación solar baja su intensidad en los valles y tiene su menor intensidad en las llanuras. No obstante, los sistemas fotovoltaicos dan igualmente muy buenos resultados en el trópico de Bolivia.

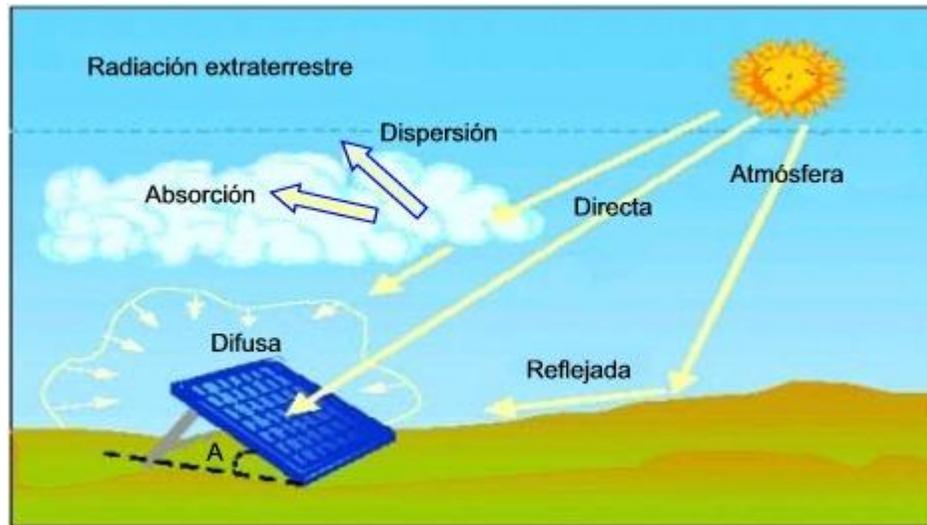
Fig.4:Rayos solares en diferentes lugares de Bolivia



Fuente:Reinhard Mayer Falk (2010) – Sistemas Fotovoltaicos

Existen diferentes tipos de rayos que llegan a la superficie de la tierra. Cuando no hay nubes o son pocas es cuando se puede notar claramente el sol, los rayos del sol producen sombras bien marcadas. Esta es la parte de los rayos solares que se llama “RADIACIÓN DIRECTA”.

Fig.5: componentes de la radiación solar que llega a la tierra



Fuente: internet -ecopotencia.com

Cuando el cielo está completamente nublado esto no significa que no hay luz durante el día. Hay menos luz y no se produce sombra. Existe una luz difusa. Por esto, esta parte de los rayos del sol se llama “RADIACIÓN DIFUSA”. Este tipo de rayos se tiene también en días semi-nublados, son los rayos que pasan a través de las nubes.

Ambos tipos de rayos contribuyen a la generación de energía eléctrica con los paneles solares. También en días nublados se puede ganar un pequeño monto de energía eléctrica. El conjunto de los dos tipos de rayos solares se llama “RADIACIÓN GLOBAL”.

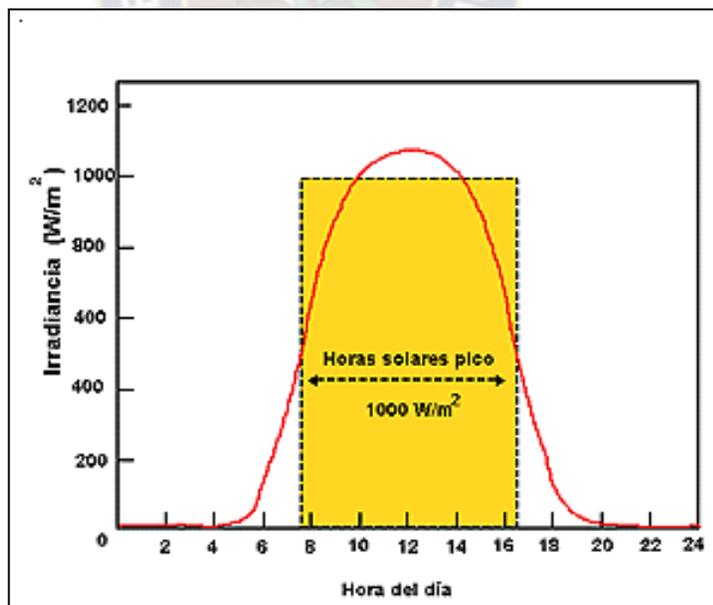
## 2.3 Captación de la energía Solar

Para captar los rayos solares, la superficie de los paneles fotovoltaicos debe estar orientada hacia el sol. La mejor generación de corriente eléctrica se tiene cuando los rayos solares inciden perpendicularmente sobre el panel solar.

Los rayos solares que inciden perpendicularmente sobre el panel o la celda solar producen más energía eléctrica que rayos que inciden inclinados sobre el panel o la celda.

Para un panel fotovoltaico montado sobre un techo o caballete en forma fija se tiene el problema que el sol sube en el este en la mañana, gana en altura hasta mediodía para bajar después en el oeste. La oferta de energía solar que recibe el panel fijo durante el día es variable

Fig. 6 : Oferta de la radiación solar durante un día



Fuente: Internet - [solar.nmsu.edu/wp\\_guide/energia.html](http://solar.nmsu.edu/wp_guide/energia.html)

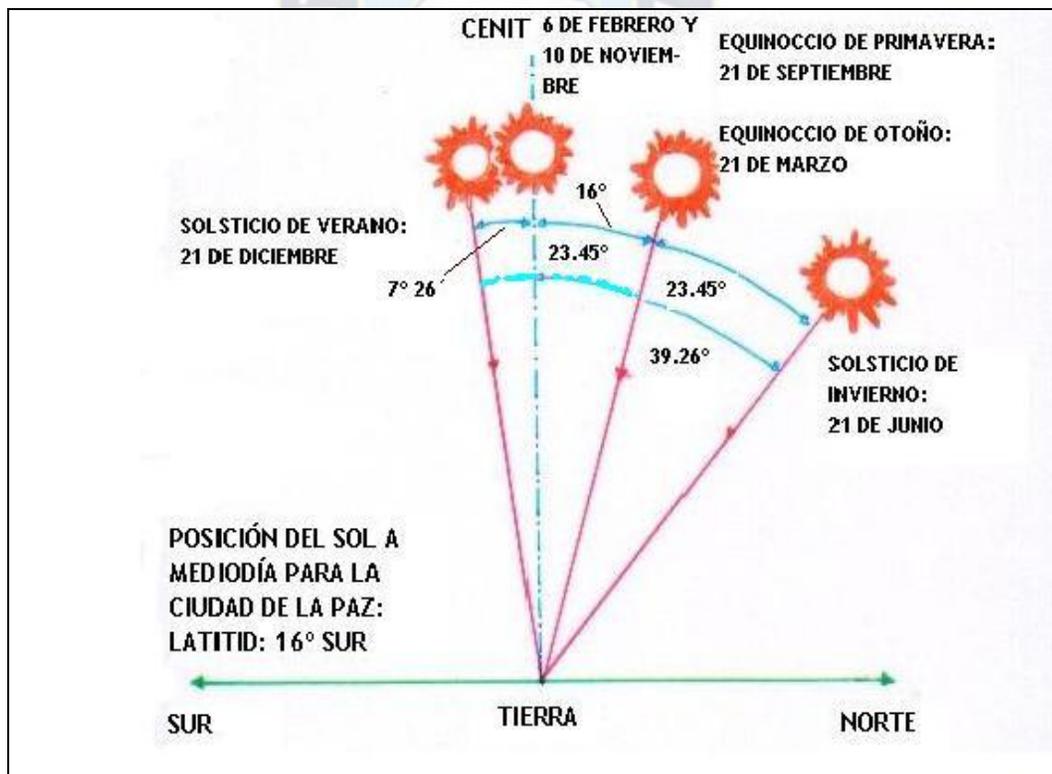
No se debe pensar solamente en el movimiento del sol durante un día, se debe tomar en cuenta las diferentes posiciones del sol durante el año.

Todos saben que durante el año el sol cambia su altura en el cielo. Se utiliza la posición del sol durante mediodía, porque a este tiempo, la fuerza del sol es más poderosa.

En junio se ve que el sol se ve en el Norte, mientras que en noviembre y febrero el sol sea encuentra directamente encima de nuestras cabezas. En diciembre, a mediodía, el sol brilla desde el sur. Tomando en cuenta todos los meses del año, se nota que la mayor parte del año el sol se ve desde el norte.

Significa, que por un lado un panel fotovoltaico debe mirar hacia el norte para captar un máximo de los rayos solares y así funcionar bien. Esta orientación hacia el norte es válida para el hemisferio SUR donde se encuentra Bolivia.

Fig.7: Las diferentes posiciones del sol a mediodía para diferentes meses del año



Fuente: Reinhard Mayer Falk (2010) – Sistemas Fotovoltaicos

Por otro lado, un panel debe estar orientado casi perpendicularmente a los rayos solares cuando ellos tienen su mayor intensidad, significa una orientación hacia la posición del sol a mediodía.

Como ya se ha visto, esta posición es distinta durante los diferentes meses del año. Se puede encontrar dos diferentes soluciones para este problema:

- Ajustar el ángulo del panel fotovoltaico cada 3 meses.
- Mantener una posición fija buscando un ángulo de inclinación promedio.

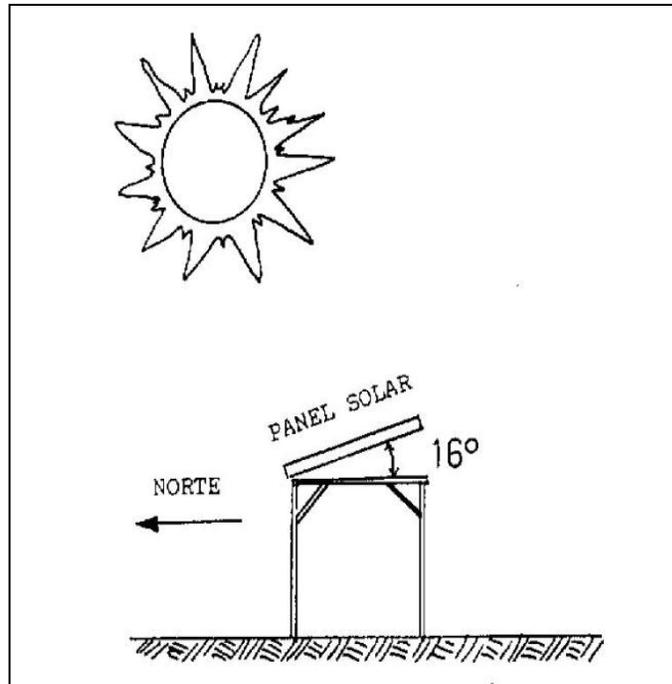
Observando la figura 7. Que muestra la de la trayectoria del sol para la ciudad de La Paz, se nota que al inicio de primavera y otoño, los rayos solares inciden a mediodía con un ángulo recto sobre un panel fotovoltaico que está inclinado con  $16^\circ$  hacia el norte. Las desviaciones para invierno y verano son de tal manera, que durante invierno, cuando hay menos radiación solar, esta inclinación hacia el norte aumenta el monto de energía solar recibida en comparación con una superficie horizontal. Al revés, para verano, cuando hay una mayor oferta de radiación solar, el monto de energía eléctrica producida es un poco más bajo porque la cubierta transparente del panel solar refleja parte de la radiación solar. Al final, para un ángulo de  $16^\circ$  se recibe para La Paz un monto casi uniforme de energía solar durante el año.

Mirando a un mapa se nota que la ciudad de La Paz está ubicada casi a  $16^\circ$  de Latitud Sur. Significa que la inclinación de  $16^\circ$  de un panel fotovoltaico en la ciudad de La Paz corresponde a su latitud y da buenos resultados durante todo el año.

Esta observación es válida para todos los otros lugares de Bolivia. Inclinando el panel con el mismo ángulo que la latitud del lugar de la instalación da

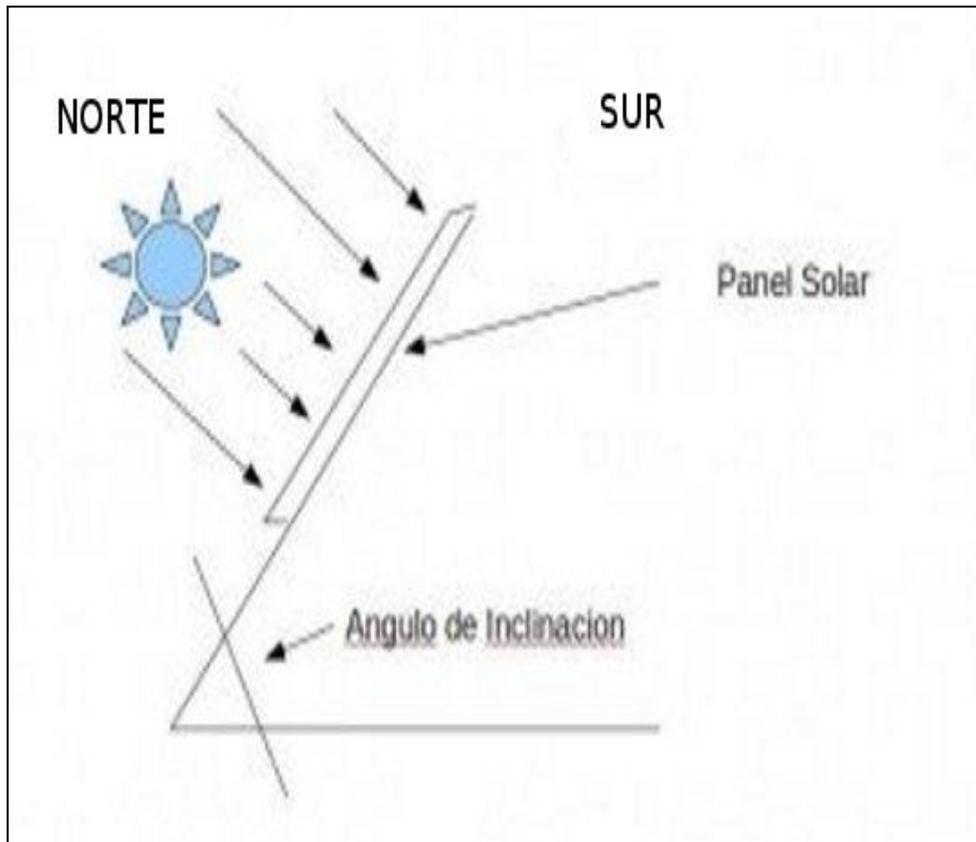
resultados casi uniformes de generación de energía eléctrica durante todo el año.

Fig. 8: Orientación recomendable para un panel fotovoltaico (Ejemplo para la ciudad de La Paz).



Fuente: Reinhard Mayer Falk (2010) – Sistemas Fotovoltaicos

Fig. 9: Angulo de inclinación de un panel solar



Fuente: Internet - web.ing.puc.cl

No se debe olvidar, en todos estos casos, el panel debe mirar siempre hacia el NORTE con la INCLINACIÓN que corresponde a la ubicación (LATITUD) del lugar de la instalación.

Tabla 1: Inclinaciones óptimas de paneles fotovoltaicos para diferentes lugares de Bolivia

Lugar	Grados de Inclinación hacia el Norte
Cobija	11°
Cochabamba	17°
Desaguadero	16°
El Alto	16°
La Paz	16°
Nor Yungas	16°
Oruro	18°
Potosí	19°
Santa Cruz	18°
Sucre	19°
Sur Yungas	16°
Tarija	21°
Trinidad	15°
Uyuni	20°

Fuente: Reinhard Mayer Falk (2010) – Sistemas Fotovoltaicos

En la tabla 1 se nota, que las diferencias en la inclinación para los diferentes lugares no son tan grandes. En las instalaciones realizadas durante varios años, se ha visto que utilizando una inclinación de 16° o 20° hacia el NORTE como promedio para toda Bolivia tiene poca influencia para regiones del país ubicados en el extremo norte o sur. Trabajando con inclinaciones de 20° se puede aprovechar las inclinaciones de techos para poder montar los paneles fotovoltaicos sin problemas. Se ha visto también que desviaciones hasta 45° respecto al norte, o sea los paneles miran hacia nor-este o nor-oeste no

tienen demasiadas implicaciones en el funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos.

## 2.4 Efecto fotoeléctrico

El efecto fotoeléctrico es el proceso físico básico por la cual una celda fotovoltaica convierte la luz del sol en electricidad. Cuando la luz solar pega en una celda solar esta puede ser: reflejada, absorbida o pasarse limpiamente a través de esta. No obstante, solo aquella luz absorbida es la que va a generar electricidad.

En 1905, para tratar de explicar el mecanismo del efecto fotoeléctrico, Albert Einstein sugirió que podría considerarse que la luz se comporta en determinados casos como partículas, y que la energía de cada partícula luminosa, o fotón, solo depende de la frecuencia de la luz. Einstein considero la luz como un conjunto de “proyectiles” que chocan contra el metal. Cuando un electrón libre del metal es golpeado por un fotón, absorbe la energía de mismo. Si el fotón tiene la suficiente energía, el electrón es expulsado del metal.

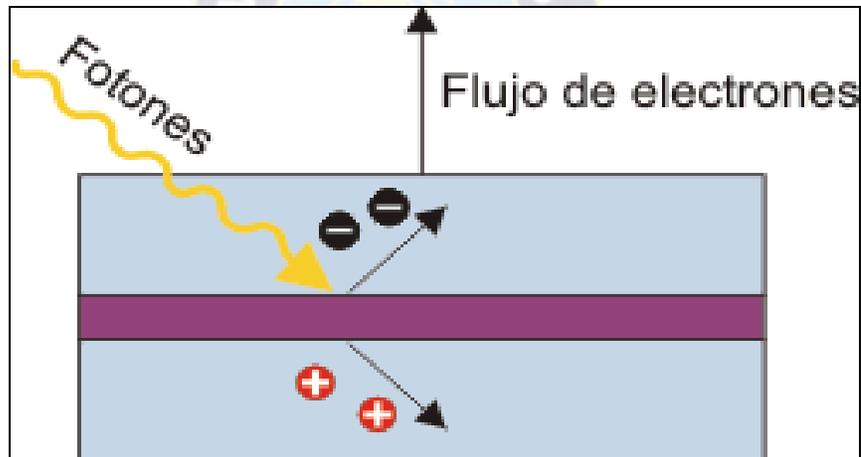
Albert Einstein propuso una descripción matemática de este fenómeno que parecía funcionar correctamente y en la que la emisión de electrones era producida por la absorción de cuantos de luz que mas tarde serian llamados fotones. En un artículo llamado “un punto de vista heurístico sobre la producción y transformación de la luz” mostro como la idea de partículas discretas de luz podía explicar el efecto fotoeléctrico y la presencia de una frecuencia característica para cada material por debajo de la cual no se producía ningún efecto.

Por esta explicación del efecto fotoeléctrico Einstein recibió el premio nobel de física en 1921.

Por lo tanto el efecto fotoeléctrico no es más que “la emisión de electrones por una superficie metálica expuesta a la luz, o el resultado de la transferencia de energía de un solo fotón a un electrón en el interior de un metal”

A grandes rasgos podemos decir que el efecto fotovoltaico es la capacidad que tienen algunos elementos químicos para absorber fotones (nombre que reciben las partículas de luz del sol) y luego liberar una corriente de electrones que, si se captura, puede ser utilizada como electricidad.

Fig. 10: Efecto fotovoltaico en una célula solar



Fuente: Internet - textoscientificos.com

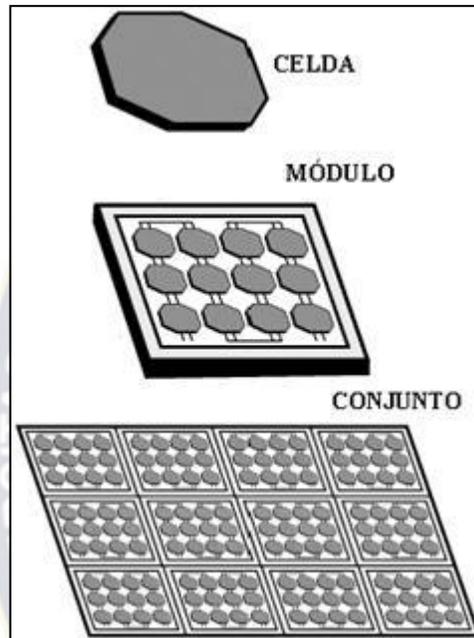
## 2.5 Celdas módulos y sus arreglos

### 2.5.1 La célula solar fotovoltaica

Los materiales utilizados en la fabricación de las células fotovoltaicas son los semiconductores.

La principal propiedad de este tipo de materiales es que la energía necesaria para separar a ciertos electrones de su núcleo es similar a la energía de los fotones que constituyen la luz solar. Se les llama semiconductores debido a su comportamiento eléctrico.

Fig. 11: celdas modulos y sus arreglos



Fuente: Gerardo Ortiz Martinez, Elyane Garcia Montellano (2010) – Energía Solar Fotovoltaica

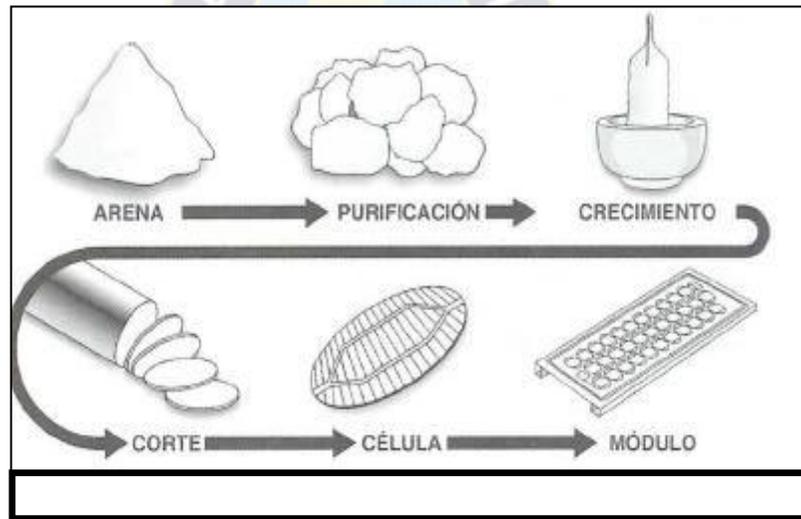
### 2.5.2 El silicio

El semiconductor más utilizado para la construcción de células solares fotovoltaicas es el silicio, y en función de la ordenación de los átomos en la célula puede presentarse como silicio amorfo, policristalino o monocristalino. Además existen otros materiales semiconductores que también se utilizan en la fabricación de células solares, como el germanio, el arseniuro de galio o el telurio de cadmio, por ejemplo.

El silicio es el segundo material más abundante en la tierra después del oxígeno. En su estado natural puede existir en cuatro formas (cristobalita, tridimita, cuarzo y lechatelierita).

La sílice ( $\text{SiO}_2$ ), o dióxido de silicio, es un mineral cristalino, blanco o transparente, que es insoluble en agua. Se utiliza mucho en la industria electrónica de componentes como base de todos los transistores, circuitos integrados, diodos, y otros componentes electrónicos. Por ello, la tecnología del silicio está bien asentada.

Fig. 12: Proceso de fabricación de un módulo solar



Fuente: Gobierno de Canarias –Instalaciones de energías renovables

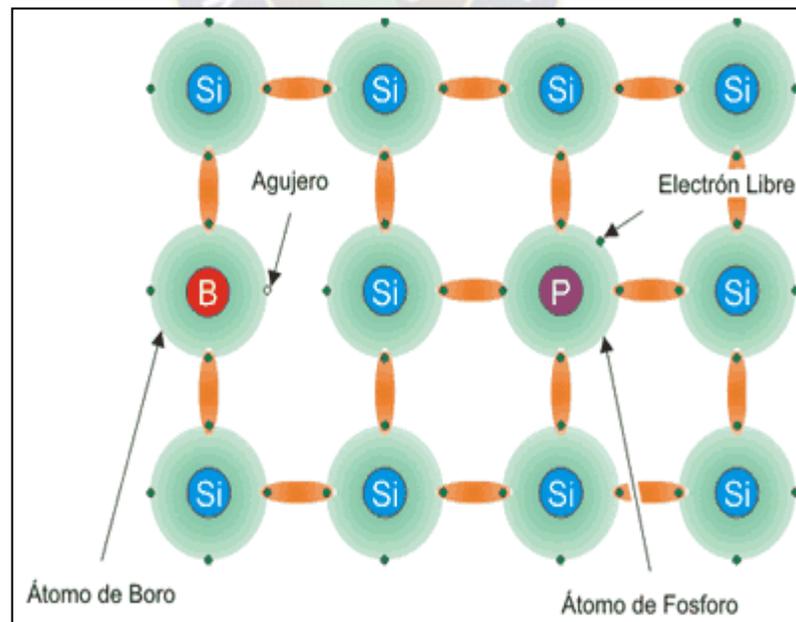
### 2.5.3 La unión p-n

Un cristal semiconductor de silicio puro se denomina semiconductor intrínseco. En la práctica los semiconductores se utilizan con impurezas añadidas voluntariamente, denominándose entonces semiconductores extrínsecos.

La impurificación viene al incorporar a la estructura cristalográfica de un semiconductor intrínseco átomos de un elemento diferente, que tenga mayor o menor número de electrones de valencia que el material base. Como el silicio tiene cuatro electrones de valencia, para impurificarlo, "doparlo" en el argot fotovoltaico, se utilizan elementos que tengan tres o cinco electrones de valencia:

- Impurezas pentavalentes (donadoras). Son las constituidas por átomos que tienen cinco electrones de valencia. Entre ellos se encuentran el fósforo, el antimonio y el arsénico. Un semiconductor dopado de esta manera se dice que es de tipo n.
- Impurezas trivalentes (aceptoras). Son las de los materiales con átomos de tres electrones de valencia. Entre ellos se encuentran el boro, el galio y el indio. Un semiconductor dopado con impurezas trivalentes se dice que es de tipo p.

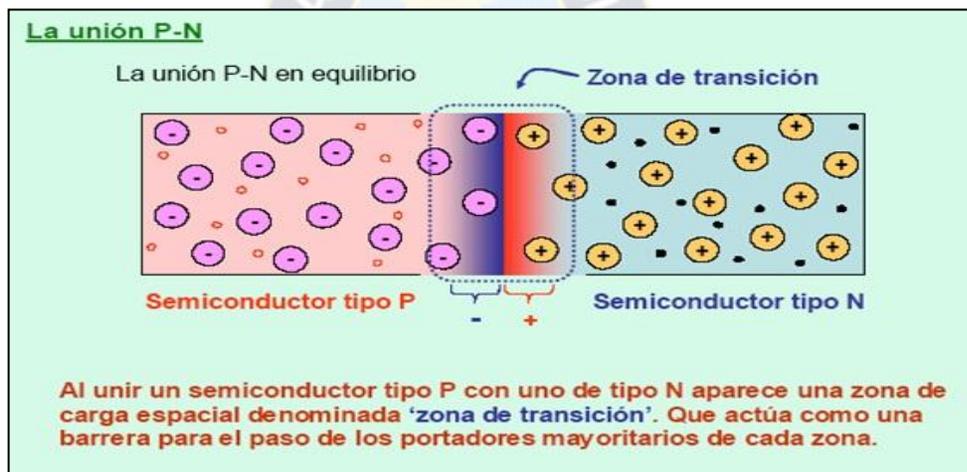
Fig. 13: Silicio n, Silicio p



Fuente: Internet - textoscientificos.com

La creación de zonas con distintos tipos de dopado en un mismo cristal da lugar a lo que se conoce como uniones p-n. Entre ambas zonas se establece un campo eléctrico que evita el movimiento de electrones de una zona a otra. El sol, al incidir sobre la célula fotovoltaica transfiere a los electrones de la zona n la suficiente energía como para saltar ese campo eléctrico y llegar a la zona p. Ese electrón sólo podrá volver a su zona por el circuito exterior al que se conecta la célula generando una corriente eléctrica.

Fig. 14: La unión P-N



Fuente: Internet - blogdequk.com

Los contactos eléctricos que se hacen en ambas caras de la célula solar cumplen la función de recoger esa corriente eléctrica. La cara que no recibe luz solar se recubre totalmente, mientras que la cara expuesta al sol sólo se cubre parcialmente mediante una rejilla metálica. Esto permite recoger de forma eficiente los electrones generados en el interior de la célula, además de permitir que los rayos solares alcancen un porcentaje alto del área del material semiconductor.

Se obtiene así una especie de pila que sólo funciona cuando recibe luz solar. Esa “pila”, cuando incide sobre ella la luz solar, ofrece una diferencia de tensión de 0,5 V si es de silicio.

#### 2.5.4 División de las celdas fotovoltaicas

- **Monocristalinas:** se componen de secciones de un único cristal de silicio (reconocibles por su forma circular u octogonal, donde los 4 lados cortos, si se observa, se aprecia que son curvos, debido a que es una célula circular recortada).
- **Policristalinas:** cuando están formadas por pequeñas partículas cristalizadas.
- **Amorfos:** cuando el silicio no se ha cristalizado.

##### 2.5.4.1 Célula de silicio monocristalino

Al enfriarse, el silicio fundido se solidifica formando solo un único cristal de grandes dimensiones. Luego se corta el cristal en delgadas capas que dan lugar a las células. Estas células generalmente son un azul uniforme.

- Ventajas:
  - Buen rendimiento de 14% al 16%<sup>5</sup>,
  - Buena relación Wp m<sup>2</sup> (~150 WC/m<sup>2</sup>, lo que ahorra espacio en caso necesario)
  - Número de fabricantes elevado.
- Inconvenientes:
  - Costo elevado

Fig. 15: Célula de Silicio monocristalino



Fuente: Internet - ocw.unia.es

#### 2.5.4.2 Células de silicio multicristalino

Durante el enfriamiento de silicio en un molde se forman varios cristales. La fotocélula es de aspecto azulado, pero no es uniforme, se distinguen diferentes colores creados por los diferentes cristales.

- Ventajas:
  - Las células cuadradas (con bordes redondeados en el caso de Si monocristalino) permite un mejor funcionamiento en un módulo.
  - La eficiencia de conversión óptima, alrededor de  $100 \text{ Wp/m}^2$ , pero un poco menor que en el monocristalino.
  - El lingote es más barato de producir que el monocristalino.
- Inconveniente
  - Rendimiento reducido en condiciones de iluminación baja.

Fig. 16: Célula de Silicio multicristalino



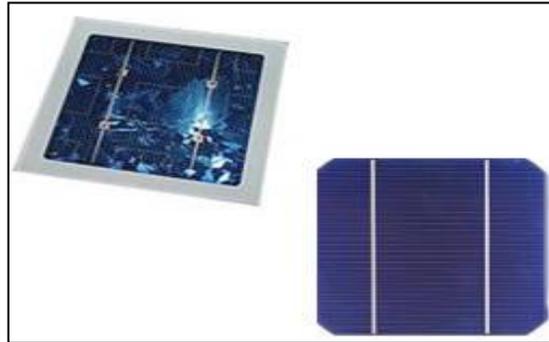
Fuente: Internet - wikipedia.org

#### 2.5.4.3 Células de silicio amorfo.

El silicio durante su transformación, produce un gas que se proyecta sobre una lámina de vidrio. La celda es gris muy oscuro. Es la célula de las calculadoras y relojes llamados de «solares».

- Ventajas:
  - Funciona con una luz difusa baja (incluso en días nublados).
  - Un poco menos costosa que otras tecnologías,
  - Integración sobre soporte flexible o rígido.
- Inconvenientes:
  - Rendimiento a pleno sol bajo, del 5% al 7%<sup>5</sup>.
  - Rendimiento decreciente con el tiempo (~7%).

Fig. 17: Célula de Silicio amorfo



Fuente: Internet - energiafotovoltaica.ws

## 2.6 Rendimiento de la celda fotovoltaica

El cociente entre la potencia eléctrica que suministra la célula y la potencia de la radiación que incide sobre la misma en ese momento, se denomina eficiencia de la célula.

Las primeras células, desarrolladas en 1954, alcanzaban una eficiencia de un 6%. En los actuales procesos de fabricación de células se consiguen eficiencias entre 10 y 18%. En laboratorio se alcanzan rendimientos del 22-26%. Para evitar la reflexión de la luz al incidir sobre las células, y procurar así la mayor captación de energía, existe la posibilidad de aplicarles distintas capas antirreflexivas, o también existe el texturizado, que se puede hacer sólo en silicio monocristalino, que consiste en crear en la superficie de la célula unas micropirámides para captar más cantidad de luz. El hecho de este rendimiento tan bajo se debe fundamentalmente a los siguientes factores:

- Energía insuficiente de los fotones incidentes.
- Pérdidas por recombinación.
- Pérdidas por reflexión.
- Pérdidas por los contactos eléctricos.

- Pérdidas por resistencia serie

Por otra parte, la rejilla metálica que recoge los electrones provoca que parte de la superficie de captación se vea tapada por estos contactos eléctricos. Las pérdidas relacionadas a este concepto dependen del diseño de la célula. En el mercado actual se pueden conseguir módulos solares cuyas células tienen los contactos eléctricos enterrados en la superficie, consiguiendo así más superficie expuesta al sol y más eficiencia en cuanto al funcionamiento.

Eficiencias típicas de las células solares en el mercado son:

- Silicio amorfo 2 – 7 %
- Célula Cd Te 6 – 10 %
- Silicio policristalino 10 – 14 %
- Silicio monocristalino 11 – 15 %
- Silicio monocristalino Saturno 16 – 18 %

Además de trabajar en la mejora de la eficiencia de las células, los principales fabricantes de paneles están orientando su trabajo de investigación y desarrollo hacia el abaratamiento del coste optimizando el proceso de fabricación o diseñando otros procesos; y buscando productos que cumplan dos misiones a la vez. Es el caso de la teja fotovoltaica, que dentro del coste de la teja, hay que tener en cuenta que desempeña a la vez el papel de panel y como teja propiamente dicha.

Fig. 18: Tejas fotovoltaicas en un tejado de pizarra



Fuente: Ente Vasco de la energía – La Energía Solar Fotovoltaica en el País Vasco

A modo de resumen, se exponen a continuación algunos de los aspectos donde se están realizando iniciativas de investigación y desarrollo:

- Sistemas de concentración fotovoltaica.
- Materiales como el telurio de cadmio, arseniuro de galio,...
- Recubrimientos antirreflexivos para capturar mayor cantidad de radiación solar.
- Aumento de la respuesta de las células fotovoltaicas frente a la radiación difusa.
- Células laminadas sobre aluminio, acero, vidrio, polímeros,...
- Procesos de corte para células más perfeccionados, para obtener láminas más delgadas y reducir el material de desecho.
- Conexión en cascada de materiales que absorban diferentes partes del espectro luminoso.

## 2.7 El modulo fotovoltaico

Las células se agrupan en lo que se denomina módulo o panel fotovoltaico, que no es otra cosa que un conjunto de células conectadas convenientemente, de tal forma que reúnan unas condiciones óptimas para

su integración en sistemas de generación de energía, siendo compatibles (tanto en tensión como en potencia) con las necesidades y equipos estándares existentes en el mercado.

Normalmente, se habla de paneles de 6 V, 12 V Y 24 V, si bien es cierto que su tensión está por encima de las mencionadas, oscilando las potencias producidas entre los 2.5 W y los 180 W. Las células que integran un panel fotovoltaico deben estar comprendidas en un rango muy estrecho en cuanto a sus parámetros eléctricos, para evitar las descompensaciones que se producirían en el interior del módulo si unas generaran más corriente que las vecinas. Precisamente por estemotivo son de suma importancia las pruebas finales de las células, dentro de su proceso de fabricación.

Figura 19: Módulo formado por células de silicio policristalino



Fuente: Julio Fernández F. – caracterización de módulos fotovoltaicos con dispositivo portátil

El módulo fotovoltaico consta de diversas capas que re cubren a las células por arriba y porabajo, con el fin de darles una protección mecánica, a la vez que además las protegen contra los agentes atmosféricos, especialmente el agua, que puede llegar a ser causante de la oxidación de loscontactos, con lo cual las células quedarían inservibles para la producción de energía.

Los módulos fotovoltaicos tienen estructuras y formas muy variadas. Podríamos hacer unadivisión general diciendo que un módulo puede estar formado por:

- Cubierta exterior
- Capa encapsulante anterior
- Células fotovoltaicas
- Capa encapsulante posterior
- Protección posterior
- Marco soporte
- Contactos eléctricos de salida

Figura 20: Módulo compuesto por células de silicio monocristalino



Fuente: Julio Fernández F. – caracterización de módulos fotovoltaicos con dispositivo portátil

## 2.8 EL PANEL SOLAR

El panel solar (o fotovoltaico) está compuesto por módulos fotovoltaicos conectados entre ellos. Para que estos módulos fotovoltaicos no sufran daños por su ubicación en la intemperie se las colocan en un marco porque el material de las celdas es muy frágil y sensible contra la humedad. Para garantizar la estabilidad mecánica, el marco de los paneles consta en la mayoría de los casos de perfiles de aluminio. Este marco está provisto de perforaciones para montar los paneles fácilmente sobre caballetes. Una cubierta transparente encima de las celdas fotovoltaicas deja pasar la radiación solar; es un vidrio resistente contra granizadas que deja pasar la luz solar en forma óptima.

El fondo del panel puede ser de vidrio, fibra de vidrio, plástico o metal. Las celdas colocadas entre cubierta transparente y fondo del panel están encerradas en una masa de plástico que evita el acceso de aire e humedad.

Figura 21: Módulo compuesto por células de silicio monocristalino



Fuente: Arturo Gonzalez Murillo – Instalación de paneles solares en la empresa

### **2.8.1 Composición típica de un panel solar fotovoltaico**

Existen diferentes clases de paneles fotovoltaicos y distintos procesos de fabricación, pero en la actualidad la gran mayoría de módulos del mercado profesional presentan características comunes. Un módulo fotovoltaico normalmente consta de:

- Células solares fotovoltaicas y sus conexiones eléctricas.
- El encapsulante que cubre las células por arriba y por abajo.
- Una cubierta exterior transparente (cara activa del panel).
- Un protector posterior especialmente diseñado contra la humedad.
- El bastidor o marco que permite una estructura manejable.
- Los contactos de salida (el positivo y el negativo) en su caja de conexiones.
- Unos diodos para protección que van en la caja de conexiones.

### **2.8.2 Cara activa o cubierta exterior**

Al estar expuestas a la acción de agentes climatológicos adversos, las células se protegen con una cubierta delantera transparente. Lo que más se utiliza es el vidrio templado con bajo contenido en hierro, que tiene ventajas respecto a otros materiales, ya que ofrece una buena protección contra impactos y a la vez tiene excelente transmisión a la radiación solar. Por el exterior, el vidrio, debe tener una superficie lisa, para no retener nada que dificulte el paso de la radiación solar. Por el interior es rugosa para aumentar la superficie de contacto y mejorar la adherencia con el encapsulante.

### **2.8.3 Encapsulante**

De todos los materiales empleados en la construcción de un panel solar, el encapsulante suele ser el que menos vida útil tiene, y en muchas ocasiones

determina el tiempo que el módulo puede funcionar. El encapsulante da cohesión al conjunto al rellenar el volumen existente entre las cubiertas delantera y trasera y amortigua las vibraciones e impactos que se pueden producir. Pero su misión principal es la de proteger las células solares y los contactos eléctricos de la humedad. Los materiales empleados tienen una alta transmisión de la radiación solar y baja degradabilidad frente a las radiaciones ultravioletas y al paso del tiempo. Se utiliza mucho el EVA, acetato de etileno-vinilo, que es un polímero transparente que además de tener igual índice de refracción que el vidrio, tiene también ventajas en el proceso de laminación del módulo.

#### **2.8.4 Protección posterior**

Se encarga de proteger contra los agentes atmosféricos. Puede ser cristal, pero normalmente suelen utilizarse materiales acrílicos, siliconas, tedlar. La protección posterior suele tener tres capas, tedlar-poliéster-tedlar.

Normalmente, la protección posterior en su cara interna es de color blanco para favorecer el rendimiento del módulo, ya que refleja la radiación que incide entre los huecos que dejan las células, radiación que posteriormente se refracta en las rugosidades del vidrio para incidir finalmente sobre las células.

#### **2.8.5 Bastidor o marco soporte**

Protege de golpes laterales, proporciona rigidez mecánica al conjunto y lo hace manejable. El marco soporte facilita la instalación del módulo y favorece el montaje en estructuras que agrupan a varios módulos. Son varias piezas atornilladas o ensambladas entre sí y con un cordón de silicona para un perfecto sellado. Normalmente se emplea el aluminio anodizado o el acero

inoxidable. A veces el marco puede llevar un tratamiento especial, como algunos casos en ambiente marino.

Los marcos soporte llevan los taladros necesarios para su fijación. Un marco no debe ser taladrado ya que las vibraciones producidas pueden romper el vidrio. Algunos incorporan una toma de tierra, que debe ser usada especialmente si el número de módulos instalados es grande.

### **2.8.6 Contactos eléctricos de salida**

Son aquellos que van a permitir evacuar la energía eléctrica producida por el conjunto de células. Las formas y los métodos son variados. Unos fabricantes

proporcionan uno o dos metros de cable que sale del interior del panel, otros disponen de bornes positivos y negativos. Lo adecuado es que incorporen una caja de conexiones estanca y sujeta al marco por la parte en la que salen los terminales de interconexión. Que el módulo incorpore una caja de conexiones de calidad es muy importante, ya que debe garantizar que no penetre la humedad en esa zona y, a la vez, facilitar el cableado para que la conexión de una gran cantidad de módulos no sea complicada.

### **2.8.7 Diodos**

Normalmente, la caja de conexiones del módulo tiene más terminales que el positivo y el negativo. Esto es así porque permite la colocación de unos diodos que están conectados en paralelo con grupos de células conectadas en serie. Se instalan para proteger al panel solar fotovoltaico de efectos negativos producidos por sombras parciales sobre su superficie. Este efecto, denominado efecto sombra, se analizará más adelante.

### 2.8.8 Características eléctricas

Las células fotovoltaicas de un panel proporcionarán más o menos electricidad en función de la mayor o menor cantidad de energía solar que incida sobre su superficie. Pero además, la respuesta de un panel o módulo solar frente a la radiación solar queda determinada por todos los materiales empleados a la hora de su fabricación y, en especial, por las células que lo forman. Es necesario poder definir varias características del panel solar para poder compararlo y determinar calidades, eficacia y estabilidad eléctrica.

En la documentación que entrega el fabricante o el instalador, así como en el etiquetado que el módulo solar fotovoltaico lleva adherido, figura una terminología eléctrica que se explica a continuación.

Además de información general del producto, el tipo de célula, las características físicas del panel (ancho, largo, espesor y el peso), el tipo de caja de conexión, esquema o descripción con las distancias de los agujeros de fijación del marco, aparece lo que se denomina la curva I-V (curva intensidad-voltaje) del módulo solar.

La curva característica I-V de un módulo fotovoltaico informa sobre los distintos

valores de tensión e intensidad que puede proporcionar ese módulo. Se obtiene en condiciones de medida de uso universal, conectando el panel a una resistencia cuyo valor va variando de cero a infinito mientras se miden los distintos valores que resultan de intensidad y tensión. Las condiciones estándar para medir las respuestas de los paneles fotovoltaicos son:

- Condiciones CEM (condiciones estándar de medición). Se corresponden a una intensidad de luz radiante de  $1000 \text{ W/m}^2$ , una distribución espectral (Masa de Aire) AM 1,5 y una temperatura de célula de  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ . Aquí se miden

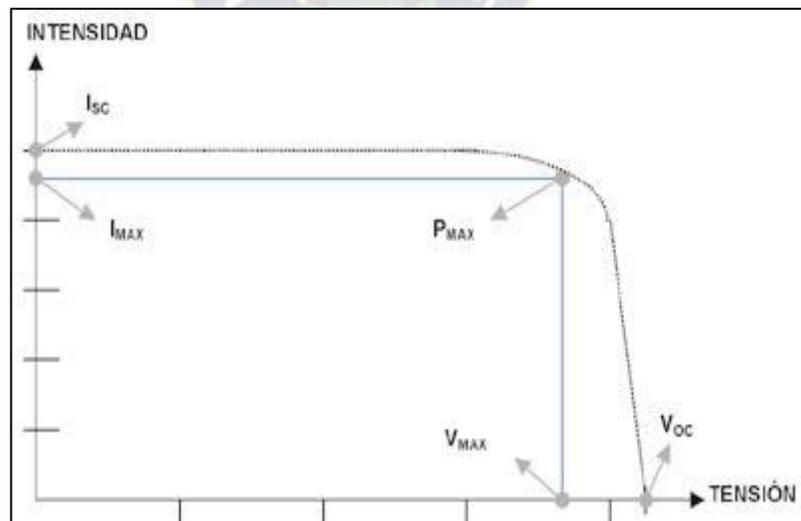
la potencia máxima (P<sub>MAX</sub>) que puede suministrar el panel, la intensidad de cortocircuito (I<sub>SC</sub>) y la tensión de circuito abierto (V<sub>OC</sub>).

• Condiciones TONC (temperatura de operación nominal de la célula). Se corresponden a una intensidad de luz radiante de 800 W/m<sup>2</sup>, una velocidad de 1 m/s del viento sobre el módulo, una distribución espectral AM 1,5 y una temperatura ambiente de 20 °C. El valor TONC de muchos módulos del mercado actual se encuentra entre 40 °C y 46 °C.

Los parámetros que se reflejan en una curva I-V son:

- Intensidad de cortocircuito (I<sub>SC</sub>)
- Intensidad en el momento de máxima potencia (I<sub>MAX</sub>)
- Tensión de circuito abierto (V<sub>OC</sub>)
- Tensión en el momento de máxima potencia (V<sub>MAX</sub>)
- Potencia pico o potencia máxima (P<sub>MAX</sub>)
- Las condiciones de operación.

Figura 22. Curva característica I-V de un panel fotovoltaico.



Fuente: Ente Vasco de la energía – La Energía Solar Fotovoltaica en el País Vasco

### **2.8.9 Intensidad de cortocircuito (ISC) y tensión de circuito abierto (VOC)**

La intensidad de cortocircuito se mide en amperios. Es la intensidad máxima que se puede obtener del panel solar, en las condiciones CEM, provocando un cortocircuito. Al no haber resistencia al paso de la corriente el voltaje es cero. La tensión de circuito abierto se mide en voltios. Es el voltaje máximo que se puede obtener del panel solar, en las condiciones CEM, en circuito abierto. Al no haber conexión entre los bornes del panel, la intensidad es nula.

### **2.8.10 Potencia pico o potencia máxima (P<sub>MAX</sub>)**

La potencia que es capaz de suministrar un panel se da siempre en vatios pico (Wp). El panel fotovoltaico funciona a potencia máxima cuando proporciona una corriente y una tensión tal que su producto es máximo ( $I_{MAX} \times V_{MAX} = P_{MAX}$ ). A ese punto de coordenadas ( $I_{MAX}$ ,  $V_{MAX}$ ) se le denomina punto de máxima potencia. Normalmente un panel no trabaja a potencia máxima debido a varios condicionantes, entre otros a que la resistencia exterior está dada por las condiciones particulares del circuito al que esté conectado (la instalación).

Como se ha dicho, los experimentos en laboratorio y los ensayos de módulos solares fotovoltaicos suelen hacerse en condiciones de un sol pico de intensidad ( $1000 \text{ W/m}^2$ ). Así, la  $P_{MAX}$  de un panel siempre se supone referida a una intensidad de un sol pico. También es posible encontrar dentro de las especificaciones del fabricante la potencia mínima  $P_{MIN}$  garantizada contra la degradabilidad de las constantes eléctricas.

Si se colocase un panel orientado al sol en el exterior de la atmósfera terrestre, recibiría aproximadamente una intensidad de radiación de  $1354 \text{ W/m}^2$ , es la llamada constante solar. A medida que la radiación solar

penetra en la atmósfera, va perdiendo intensidad al atravesar aire, vapor de agua, polvo, contaminación. Depende de algún otro factor, pero la energía solar que llega a la superficie terrestre, a nivel del mar, y en las horas centrales de un día soleado, tiene una intensidad de  $1000 \text{ W/m}^2$ . Los otros  $354 \text{ W/m}^2$  se pierden. Pues bien, si durante una hora, un módulo solar fotovoltaico de  $75 \text{ Wp}$  de PMA recibe una radiación de  $1000 \text{ W/m}^2$ , producirá  $75 \text{ Wh}$  (vatios hora). Si recibe menor radiación, el módulo generará proporcionalmente menor energía.

### **2.8.11 Intensidad y voltaje en el punto de máxima potencia (IMAX y VMAX)**

Las mediciones ISC y VOC son casos extremos que se realizan sin conectar ninguna carga al panel solar. En la vida real del módulo, lo normal es que esté conectado a una carga (un consumo, una batería, ...) y que fluya una corriente eléctrica al circuito exterior del módulo, circuito que es real y tiene una determinada resistencia al paso de la corriente.

Entonces, el trabajo del panel viene dado por la intensidad ( $I$ ) y la tensión ( $V$ ) que determine la resistencia del circuito y siempre serán valores más pequeños que ISC y VOC. A la intensidad y al voltaje que correspondan a la potencia máxima que es capaz de generar el panel se les denomina (aunque no sea correcto) intensidad máxima (IMAX) y voltaje máximo (VMAX).

Es preciso detenerse un poco en esta denominación que puede resultar engañosa. En la curva I-V de la página anterior, se observa que VOC es mayor que VMAX, y que ISC es mayor que IMAX. El nombre de intensidad máxima y de voltaje máximo se les da por corresponder al punto de máxima potencia.

También es necesario reflexionar sobre el hecho de que el panel solar tiene que cargar un sistema de acumulación de  $12 \text{ V}$  (caso típico), y para hacerlo el

panelsiempre tendrá que tener una tensión superior a 12 V, aún en condiciones debaja pero aprovechable radiación solar.

## 2.9 Definición de un sistema fotovoltaico

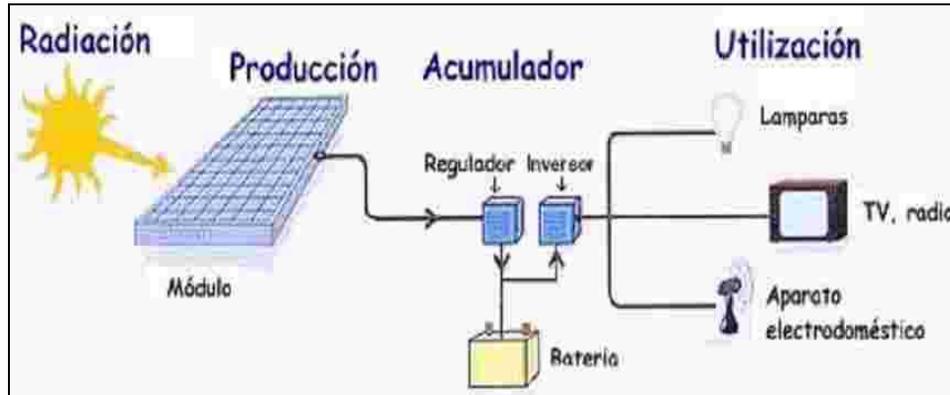
Un sistema fotovoltaico es una fuente completa de energía eléctrica que con la ayuda de las celdas solares convierten los rayos provenientes del sol en energía eléctrica. Este tipo de sistemas no requiere combustible alguno y el mantenimiento que emplea es relativamente pequeño.

Por otro lado también se puede decir que Un sistema FV consiste en la integración de varios componentes, cada uno de elloscumpliendo con una o más funciones específicas, a fin de que éste pueda suplir la demanda de energía eléctrica impuesta por el tipo de carga, usando como combustible la energía solar. La definición anterior deja claramente establecido que la carga eléctrica determina el tipo de componentes que deberán utilizarse en el sistema.

Este conjunto de equipos construidos e integrados especialmente para realizar cuatro funcionesfundamentales:

- Transformar directa y eficientemente la energía solar en energía eléctrica
- Almacenar adecuadamente la energía eléctrica generada
- Proveer adecuadamente la energía producida (el consumo) y almacenada
- Utilizar eficientemente la energía producida y almacenada

Figura 23: Representación de un sistema solar fotovoltaico y sus componentes



Fuente: Dr. Ing. Marcelo Nemesio Damas Niño (2011) – Electrificación Fotovoltaica de posta medica, Caserío de Chocna-San Mateo-Lima

### 2.9.1 Tipos de Sistemas Fotovoltaicos

Los sistemas fotovoltaicos pueden ser configurados de muchas maneras. Por ejemplo, muchos sistemas residenciales usan almacenamiento por baterías para alimentar los aparatos durante la noche. En contraste los sistemas de bombeo de agua operan frecuentemente, solo durante el día y no necesitan un dispositivo de almacenamiento de carga. Un sistema comercial grande puede probablemente tener un inversor para alimentar los aparatos que trabajan con corriente alterna, mientras que un sistema en una pequeña cabaña o en una casa móvil podría dar electricidad sola a electrodomésticos o dispositivos de corriente directa y no necesitar un inversor. Algunos sistemas están enlazados con la red pública de electricidad mientras que otros operan independientemente

### 2.9.2 Sistemas con cargador fotovoltaico de baterías integrado

Estos sistemas incorporan todos sus componentes, incluyendo los aparatos de consumo en un solo paquete. Este arreglo puede resultar económico cuando complementa o reemplaza un sistema de baterías desechables.

Pequeños dispositivos, complementados con una batería recargable y un cargador de baterías FV integrado es un ejemplo común. Linternas solares y cargadores fotovoltaicos para baterías de radio tienen un mercado potencial en todo el mundo. Juegos para linternas, relojes y radios fotovoltaicos pueden eventualmente reemplazar unidades similares que usan baterías desechables contaminantes y caras.

### **2.9.3 Sistemas de uso diurno**

Los sistemas fotovoltaicos más simples y menos caros se diseñan solo para uso diurno. Estos sistemas consisten en módulos conectados directamente a un aparato de corriente directa sin dispositivo de acumulación. Cuando el sol incide sobre los módulos, el aparato consume la electricidad que ellos generan. Un nivel mayor de insolación (luz solar) da lugar a un incremento de la potencia de salida y mayor capacidad de carga de consumo.

Entre los sistemas de uso diurno se incluye los siguientes ejemplos;

- Bombeo de agua para llenar tanques de almacenamiento en regiones remotas.
- Operación de ventiladores

### **2.9.4 Sistemas de corriente directa con baterías de almacenamiento**

Para operar cargas durante la noche o situaciones meteorológicas nubladas, los sistemas FV deben incluir un medio de almacenamiento de la energía eléctrica. Las baterías son la solución más común. Las cargas de consumo del sistema pueden ser alimentadas desde las baterías durante el día o la noche, de forma continua o intermitente, independientemente de la situación meteorológica.

Además, un banco de baterías tiene la capacidad de suministrar altas demandas de corriente durante un periodo breve, dándole al sistema la capacidad de arrancar motores grandes o de realizar otras tareas difíciles.

Un banco de baterías puede ir desde baterías pequeñas de linternas hasta docenas de baterías industriales de servicio pesado. Las baterías de ciclo profundo se diseñan para soportar descargas a profundidad y después ser cargadas completamente cuando brille el sol. (Las baterías convencionales de los automóviles no están preparadas para ser usadas en sistemas fotovoltaicos y tendrán una vida efectiva corta). El tamaño y configuración del banco de baterías depende del voltaje de operación del sistema y de la cantidad de tiempo de uso nocturno. Además las condiciones del clima local deben ser consideradas al calcular el tamaño del banco de baterías. El número de módulos debe ser escogido para que recarguen adecuadamente las baterías durante el día.

No debe permitirse que las baterías se descarguen demasiado profundamente ni que se sobrecarguen, ambas situaciones pueden dañarlas severamente. Un controlador de carga podrá prevenir una sobrecarga de las baterías al desconectar el modulo del banco de baterías cuando este cargado completamente.

Algunos controladores de carga también evitan que las baterías alcancen niveles de carga demasiado bajos al interrumpir el suministro de energía a las cargas de consumo de CD. Dotar al sistema de un controlador de carga es crítico para mantener el desempeño de las baterías incluso en los sistemas FV más simples.

### **2.9.5 Sistemas de corriente directa que alimentan cargas de corriente alterna**

Los módulos fotovoltaicos producen corriente eléctrica directa, pero muchos aparatos comunes necesitan corriente alterna. Los sistemas de corriente directa que alimentan cargas de corriente alterna deben usar un inversor para convertir la electricidad CD en electricidad CA. Los inversores brindan conveniencia y flexibilidad en un sistema fotovoltaico, pero añaden complejidad y costo. Como los aparatos de corriente alterna son de producción masiva se ofrecen generalmente en una amplia gama, a precios mas bajos y son mas confiables que los aparatos de corriente directa. Los inversores de alta calidad están disponibles comercialmente en un amplio rango de capacidades.

### **2.9.6 Sistemas híbridos**

La mayor parte de las personas no alimentan todos sus aparatos solo con el sistema FV. La mayoría de los sistemas utilizan una solución híbrida al integrar otras fuentes de energía. La forma mas común de sistema híbrido incorpora un generador que funciona con diesel o gas, lo que puede reducir significativamente el precio inicial.

Soportar la carga de consumo completa con un sistema FV significa que los paneles de baterías necesitan mantener la carga bajo las peores condiciones meteorológicas. Esto también significa que el banco de baterías debe ser suficientemente grande para alimentar grandes cargas como lavadoras, secadoras y maquinas herramientas. Un generador debe suministrar la energía extra que se necesita en periodos nublados y durante periodos en los que ocurra un uso de la electricidad más intenso que de costumbre, a la vez que carga las baterías. Un sistema híbrido brinda una

fiabilidad adicional debido a que trabajan dos sistemas de carga independientes.

Otra variante híbrida es la formada por un sistema FV y una turbina eólica. Añadir una turbina eólica tiene sentido en lugares donde el viento sopla cuando no hay sol. En este caso, días consecutivos de tiempo nublado no presentan un problema, mientras se mantenga el viento que hace girar la turbina. Para una fiabilidad y flexibilidad a un mayores se puede incluir un generador en el sistema eólico/FV. Un sistema generador/eólico/FV tiene todas las ventajas de un sistema generador/FV con la adición del beneficio que presenta un tercera fuente para cargar las turbinas.

### **2.9.7 Sistemas interconectados a la red de servicios**

Los sistemas fotovoltaicos que están conectados a la red de servicio (sistemas conectados a red, enlazados a red, o enlazados a la línea) no necesitan un diseño con almacenamiento en baterías, pues la red comercial actúa como una reserva de energía. En lugar de almacenar el exceso de energía que no se usa durante el día, el propietario vende el exceso de energía a la red de servicio local a través de un inversor especialmente diseñado. Cuando los propietarios necesitan más electricidad de la que produce el sistema fotovoltaico, pueden extraer energía de la red comercial.

Si la red de servicios público falla, el inversor se desconecta automáticamente y no entrega a la red la electricidad generada con el sol. Esto asegura la seguridad de los operadores que estén trabajando en la red. Ya que los sistemas conectados a la red de servicio usan la red como almacén, esos sistemas no tendrán electricidad si la red se cae. Por esta razón algunos de estos sistemas están también equipados con almacenamiento por baterías para suministrar energía en el caso de una pérdida de energía desde la red servicio.

La empresa de servicios públicos deberá pagar a los pequeños productores de energía en base a sus “costos evitados” o los costos que la empresa de servicio no tiene que pagar para generar la electricidad por si misma. Términos y condiciones adicionales para esta adquisición establecidos por las comisiones estatales de servicio públicos y varían de un estado a otro.

## **2.10 Componentes de los sistemas fotovoltaicos**

Un sistema fotovoltaico puede incluir los siguientes:

- Generador fotovoltaico (conjunto de paneles)
- Regulador o controlador
- Inversor (para aplicaciones con voltajes en corriente alterna)
- Acumuladores de energía (banco de baterías)

### **2.10.1 Generador fotovoltaico**

Uno o varios paneles constituyen un generador solar fotovoltaico. Como norma general de aplicación en las instalaciones de energía solar fotovoltaica, todas las células que forman un módulo responden a la misma descripción y a la misma curva de I-V. Y todos los módulos que forman un generador responden a la misma descripción y a la misma curva de I-V. Es decir, no se deben montar módulos de distintas características y potencias. Todos los módulos que forman un generador solar fotovoltaico han de tener las mismas características eléctricas.

Un generador fotovoltaico se puede diseñar de varias maneras. Una forma que la experiencia ha determinado como válida, consiste en elegir un determinado modelo de módulo solar y utilizarlo como elemento base del generador fotovoltaico que se pretenda construir. El correcto cableado y

conexión de los módulos fotovoltaicos exige la utilización de materiales de buena calidad, ya que todo este conjunto se va a colocar a la intemperie.

Los instaladores deberán tener especial cuidado en la realización de las conexiones. Incrementos de la temperatura del cable, aumento de la resistencia al paso de la corriente eléctrica, pérdidas de tensión, rotura de equipos de control, y otras, son situaciones adversas dentro de un circuito eléctrico que suelen tener origen en malas conexiones.

Las instalaciones fotovoltaicas deben atenerse a lo dispuesto en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT). La conexión eléctrica entre paneles o módulos solares puede ser de tres clases:

- Conexión en serie. Aumenta la tensión.
- Conexión en paralelo. Aumenta la intensidad.
- Combinando las dos primeras hasta lograr la intensidad y tensión necesaria.

Al conectar dos paneles iguales en paralelo, la tensión que se obtiene es igual que la de un solo módulo, sin embargo, la intensidad es el doble. Si por el contrario la conexión es en serie, la intensidad que se obtiene es la misma que la un solo módulo, pero la tensión es el doble

Un generador fotovoltaico está calculado para que genere una tensión de salida algo superior a la tensión que necesita un acumulador para completar su carga; de esta forma, el generador fotovoltaico siempre estará en condiciones de cargar el acumulador, incluso en condiciones adversas (temperatura de las células alta, o baja insolación).

Cuando se habla de tensión teórica de trabajo, en un sistema, de 12 voltios, el panel tiene que suministrar una tensión superior a ésta para poder así cargar las baterías; es decir, la tensión real es mayor.

Con bastante frecuencia se realizan conexiones tanto en serie como en paralelo hasta conseguir los valores idóneos para cada aplicación.

### **2.10.2 Inclinación y orientación**

Para obtener el mayor rendimiento del generador fotovoltaico se ha de procurar que reciba la mayor cantidad posible de luz solar sobre su superficie activa. Y como el sol varía su posición en el cielo cambiando su altura y la inclinación de sus rayos, se debe determinar cuál será la colocación ideal.

Lo más avanzado en esta materia consiste en no realizar cálculos de ningún tipo y dotar al generador de un dispositivo que haga que el conjunto de paneles siga continuamente la trayectoria del sol en el cielo. De esta manera se puede obtener el máximo de energía solar. Pero sin embargo, hoy por hoy, un seguidor solar también tiene sus limitaciones ya que requiere una inversión económica, un mantenimiento y, además, consume energía eléctrica.

A la hora de realizar una instalación fotovoltaica existe una premisa básica que siempre debe respetarse, el generador solar, el sistema de control de potencia (regulador, convertidor...) y el sistema de acumulación, si lo hubiere, deberán instalarse buscando las distancias más cortas posibles entre ellos. Esta regla puede influir en la decisión de la ubicación ideal de los paneles.

En el mercado se encuentran disponibles diseños de estructuras soporte para paneles solares que permiten el cambio de inclinación de forma manual (2 ó 4 inclinaciones a lo largo del año), y multitud de estructuras para colocar módulos de forma estática. Se van a presentar numerosas posibilidades a la hora de decidir dónde y cómo situar el generador fotovoltaico. Dependiendo del lugar y de las características de la instalación, los módulos fotovoltaicos pueden colocarse en terrazas, tejados, fachadas, ventanas, balcones, y cornisas. Existe la posibilidad de colocarlos a 50 cm del suelo, en un poste, en una valla.

### 2.10.3 Regulador o controlador

La principal misión del regulador es la de gestionar la corriente eléctrica que absorbe o cede (en corriente continua) el acumulador o batería de acumuladores. Vigilando el ciclo de carga y descarga, desarrolla un papel fundamental en la gestión de una instalación fotovoltaica autónoma: Proporciona el control que día a día se necesita. El regulador siempre es recomendable para la seguridad y protección del sistema de acumulación, y en la casi totalidad de las ocasiones es de utilización obligatoria.

Fotografías 1: Reguladores de carga.



Fuente: Reinhard Mayer Falk (2010) – Sistemas Fotovoltaicos

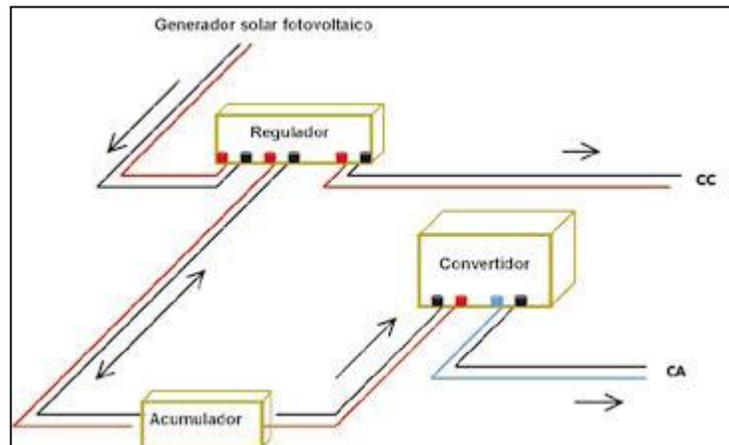
Su labor consiste en evitar sobrecargas y sobredescargas en las baterías. Si el acumulador está lleno y el panel recibe radiación, éste intentará inyectar energía en la batería sobrecargándola. Para evitarlo el regulador corta esta inyección de energía. Y en el caso contrario, si el acumulador está bajo de carga y se intenta seguir extrayendo energía, el regulador corta el suministro de energía protegiendo así la batería y prolongando la vida útil de este equipo.

Algunos reguladores incorporan dispositivos de información que proporcionan datos de interés del sistema, permitiendo controlar parámetros como la temperatura, lectura de la intensidad de carga, de descarga, y la tensión de batería, incluso algunos modelos incorporan contadores de Ah.

De la misma forma presta protección a los diferentes equipos conectados al sistema fotovoltaico con el objetivo de evitar la circulación de sobre corrientes por ellos, que pudiesen dañar o quemar sus circuitos. Finalmente los mismos paneles fotovoltaicos son protegidos por el regulador, desconectando los mismos en la noche para evitar circulaciones de corrientes inversas o en general cuando el sistema de acumulación tiene más energía que la pueden proporcionar los paneles solares.

La programación interna proporciona un control capaz de adaptarse a las distintas situaciones de forma automática, y son muchos los reguladores que permiten la modificación de sus parámetros de funcionamiento fácilmente. También existen con la posibilidad de visualizar datos de interés, para conocer cuál ha sido la evolución de la instalación durante un tiempo determinado.

Figura 25. Esquema del flujo de energía en una instalación fotovoltaica



Fuente: Ente Vasco de la energía – La Energía Solar Fotovoltaica en el País Vasco

#### 2.10.4 Tipos de Reguladores

Según el método que empleen para desarrollar su cometido, existen dos tipos de reguladores:

Los que trabajan en paralelo y los que lo hacen en serie.

##### 2.10.4.1 El regulador paralelo

En estos reguladores, cuando la tensión de las baterías alcanza un valor determinado, que supone que están cargadas, la corriente de los paneles es desviada a un circuito que está en paralelo con el acumulador. Cuando la tensión de batería baja por debajo de un valor mínimo, predeterminado, el proceso de carga se restablece nuevamente.

El circuito en paralelo actúa de manera que pone en cortocircuito la salida del generador, evitando la circulación de la corriente hacia cualquier otra parte de la instalación. El cortocircuito de la salida de los paneles no afecta a los mismos, pero para evitar que produzca un cortocircuito de las baterías, lo que produciría su destrucción, se deben aislar estas de la línea de

cortocircuito del generador. También se suele usar un diodo en serie con las baterías y situado con polaridad inversa a ellas, para evitar su descarga.

El circuito en paralelo con el acumulador disipa un pequeño porcentaje de la energía que pasa por él, lo que en instalaciones grandes puede suponer bastante energía, por lo que este tipo de reguladores se utiliza solo en instalaciones de baja potencia.

#### **2.10.4.2 El regulador en serie**

En estos reguladores, cuando la tensión de las baterías alcanza un valor determinado, que supone que están cargadas, la corriente procedente de los paneles se interrumpe mediante el corte de la línea que comunica el campo fotovoltaico con el acumulador.

El interruptor de corte evita también que se pueda producir la descarga de las baterías a través del generador. Este interruptor de corte no disipa potencia cuando está interrumpiendo la corriente de carga, por lo que este tipo de reguladores es adecuado para instalaciones de cualquier potencia.

En el control serie no hay necesidad de colocar un diodo en serie, para proteger las baterías, ya que la apertura del interruptor aísla el acumulador del generador, lo que reduce pérdidas de potencia.

Existen diferentes criterios de diseño para los controles en serie. Sin embargo, en todos ellos existen dos características comunes, se alternan períodos activos de carga con períodos de inactividad y la acción del circuito de control depende del estado de carga del acumulador.

Los reguladores en serie pueden funcionar de diversas formas según su diseño. Durante el período de carga algunos modelos usan un voltaje de

carga de valor constante, que se corresponde con el máximo que puede suministrar el generador con las condiciones de irradiación y temperatura del momento.

En otros reguladores en serie la tensión de carga está limitada por un voltaje determinado de las baterías. Este voltaje de carga se corresponde con un estado de carga de baterías de alrededor del 90 al 95% del máximo posible. A este voltaje se lo conoce como voltaje de flotación y la tensión de carga nunca supera su valor. El valor del voltaje de flotación puede ser fijo o ajustable por el usuario, dentro de un determinado margen. A medida que el voltaje de las baterías se acerca al de flotación, la corriente de carga disminuye hasta que se anula al abrirse el interruptor en serie. Cuando esto ocurre, el voltaje de las baterías comienza a bajar, en ese momento el regulador vuelve a conectar el voltaje de carga. Este proceso de conexión y desconexión es lo que se conoce como carga por voltaje de flotación.

#### **2.10.4.3 Características de los reguladores.**

Los reguladores comerciales presentan una gran variedad de características, que deben ser conocidas para elegir el regulador más adecuado. Es importante indicar que la terminología utilizada varía mucho de unos autores a otros, por lo que se pueden confundir conceptos con facilidad, en este tema utilizamos tensión y voltaje, corriente e intensidad como términos equivalentes entre ellos.

Las principales características a considerar se indican a continuación:

- Tipo de regulador: serie o paralelo.
- La tensión nominal de trabajo del regulador. Los valores más comunes son 12 V, 24 V y 48 V, dependiendo de la tensión suministrada por el generador.

- La tensión máxima de trabajo del regulador. El número de paneles conectados en serie, así como el máximo valor de voltaje que puede alcanzar cada panel en circuito abierto, determinan el mínimo voltaje de trabajo del regulador. Lo normal es que el regulador esté diseñado para soportar, como mínimo, voltajes de 1,5 veces el valor la tensión nominal del sistema.
- La tensión Máxima de Carga o tensión final de carga. Tensión en los bornes de la batería a partir de la cual, la corriente eléctrica proveniente del generador es limitada por el regulador. Esta tensión debe asegurar un factor de recarga de la batería superior al 90%.
- La tensión de desconexión de carga. Esta tensión deberá elegirse para que la interrupción del suministro de electricidad al consumo se produzca cuando el acumulador haya alcanzado la máxima profundidad de descarga, fijada según el tipo de trabajo de la instalación, y referida a la capacidad nominal del acumulador.
- La tensión de Re conexión de carga. Tensión en los bornes de la batería a partir de la cual el regulador conecta eléctricamente el generador con el acumulador.
- La tensión de alarma. Tensión de las baterías a la que el regulador activa una señal acústica y/o luminosa que indica un estado de bajo voltaje de la batería.
- Intensidad máxima de trabajo del regulador. Cualquier tipo de regulador debe manejar, como mínimo, la máxima corriente de carga que puede producir el generador. Para un control en paralelo, el interruptor de carga deberá manejar, asimismo, la máxima corriente de cortocircuito del generador.

- Intensidad máxima de consumo. Es la máxima corriente que puede pasar del regulador al consumo.
  
- Las caídas internas de tensión del regulador entre sus terminales de generador y acumulador y entre sus terminales de batería y consumo. Que han de ser inferiores al 4% de la tensión nominal.
  
- Las pérdidas de energía diarias causadas por el autoconsumo del regulador en condiciones normales de operación deben ser inferiores al 3% del consumo diario de energía.
  
- Los sistemas de protección de que va dotado y la normativa que cumple.
  
- Las prestaciones adicionales, como sistemas de indicación, medida, alarma, contador de consumo, etc.

## 2.11 Inversores

En el caso que se tiene equipos que funcionan con corriente alterna, con tensiones de 110 o 220 Voltios, y que no existe la posibilidad de adaptarlas a una corriente continua, se tiene que implementar al sistema solar un inversor.

Este equipo tiene como función única la de convertir la corriente continua en alterna a los voltajes requeridas. La utilización del inversor, porque significa un consumo de energía eléctrica adicional.

En casos en que resulta absolutamente necesario la utilización de un inversor, la capacidad de este deberá ser siempre igual o mayor que la suma de las potencias de las cargas mayores que alimentará simultáneamente. En el caso de alimentar motores de corriente alterna, el inversor deberá tener una capacidad de 3 a 5 veces la potencia nominal del motor, para responder

a las corrientes transitorias de arranque que se presentan al empezar su funcionamiento. Este último punto es muy importante para refrigeradoras que funcionan bajo el sistema de compresión propulsado por un motor eléctrico.

### **2.11.1 Característica para la elección e instalación de inversores**

La tensión de entrada, para la cual está diseñado el inversor, debe compartir con la tensión del acumulador. Existen inversores para 12 y 24 V.

La potencia del inversor debe cubrir la necesidad de todas las cargas funcionando al mismo tiempo. Para equipos con motores eléctricos se debe tomar en cuenta su consumo de electricidad para el arranque.

Para instalaciones sencillas no sea necesaria la solución más costosa en forma de un equipo que suministra energía eléctrica en forma de corriente alterna de forma sinusoide. Esto es solamente el caso para instalaciones donde se utiliza frecuentemente motores de inducción.

Se debe tomar en cuenta el rendimiento del inversor o sea su consumo propio de energía eléctrica. Algunos equipos gastan mucha energía eléctrica a pesar de que ninguna carga esta funcionando.

El rendimiento de un inversor debe ser lo más uniforme a cualquier modo de funcionamiento. Si existe un fuerte calentamiento de un inversor, significa que la corriente eléctrica se convierte en calor inútil.

Inversores producen señales que pueden afectar la recepción y el uso de equipos de radio, etc. Se necesita previsiones contra estos disturbios, se debe hacer la prueba antes de comprar el equipo.

El inversor saca corrientes elevadas del acumulador si se conecta una carga. Por ej. para el funcionamiento de una computadora de una potencia de 250 W, un inversor de 12 V saca una corriente de aprox. 21 Amperios del

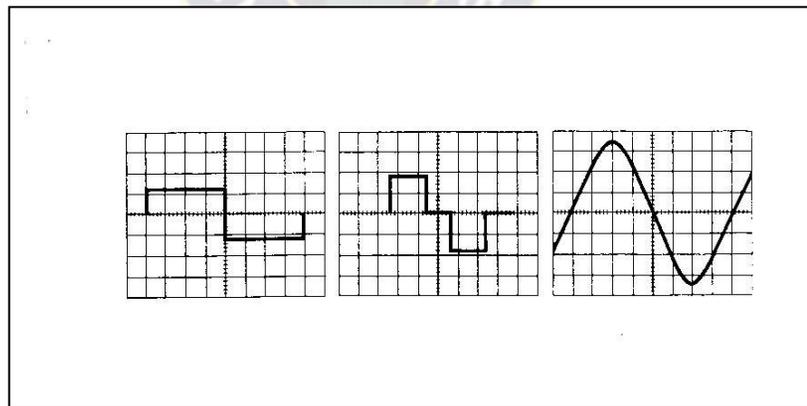
acumulador. Por esta razón, se debe instalar el inversor lo más cerca de la batería y proveer la conexión entre batería e inversor con cables suficientes gruesos para evitar pérdidas. La tensión de 220 V puede ser mortal como es también en el caso de las instalaciones eléctricas en casos donde se tiene conexión con la red pública. Cuidados con las instalaciones – no vale la pena realizar malos trabajos de instalación.

### 2.11.2 Tipos de inversores

Según su construcción, los inversores producen corriente alterna de la siguiente forma:

- Tension en forma rectangular
- Tension en forma rectangular modificada
- Tension en forma sinusoide

Figura 26: Las diferentes formas de corriente alterna de salida de un inversor. Izquierda: corriente en forma rectangular. Centro: corriente en forma rectangular modificado. Derecha: Corriente en forma sinusoide.



Fuente: Reinhard Mayer Falk (2010) – Sistemas Fotovoltaicos

### **2.11.2.1 Inversores con una tensión en forma rectangular**

Estos equipos están provistos de transistores que invierten la corriente continua en una forma sencilla de corriente alterna. El rendimiento de estos equipos está entre los

60 – 90 %

Según el modo de uso. El rendimiento es muy bajo si el equipo funciona solamente con una pequeña parte de su potencia nominal,

Los inversores sencillos no causan problemas en los equipos eléctricos que tienen pocas exigencias a la calidad de la corriente alterna: taladros eléctricos, equipos provistos con transformadores, etc.

No es muy recomendable utilizar estos inversores para equipos provistos con motores de inducción (motores asíncronos) por ejemplo para refrigeradoras. La tensión de forma rectangular causa un fuerte calentamiento del bobinado del motor eléctrico (si los motores arrancan). Además existen efectos retroactivos que causan perturbaciones a otros equipos conectados con el inversor.

### **2.11.2.2 Inversores con una tensión en forma rectangular modificada**

Esta forma de corriente alterna corresponde más a la forma de la corriente alterna suministrada por la red eléctrica. Estos equipos son mejor para suministrar electricidad a los equipos mencionados con motores eléctricos o equipos electrónicos sensibles.

La frecuencia de la tensión es constante, no hay problemas para el uso de televisores.

El rendimiento de estos equipos es normalmente alrededor de

80 – 90 %

Estos equipos tienen normalmente ningún problema suministrar 2 a 3 veces de su potencia nominal a corto tiempo, de esta manera no existen tantos problemas con las corrientes para el arranque de motores eléctricos.

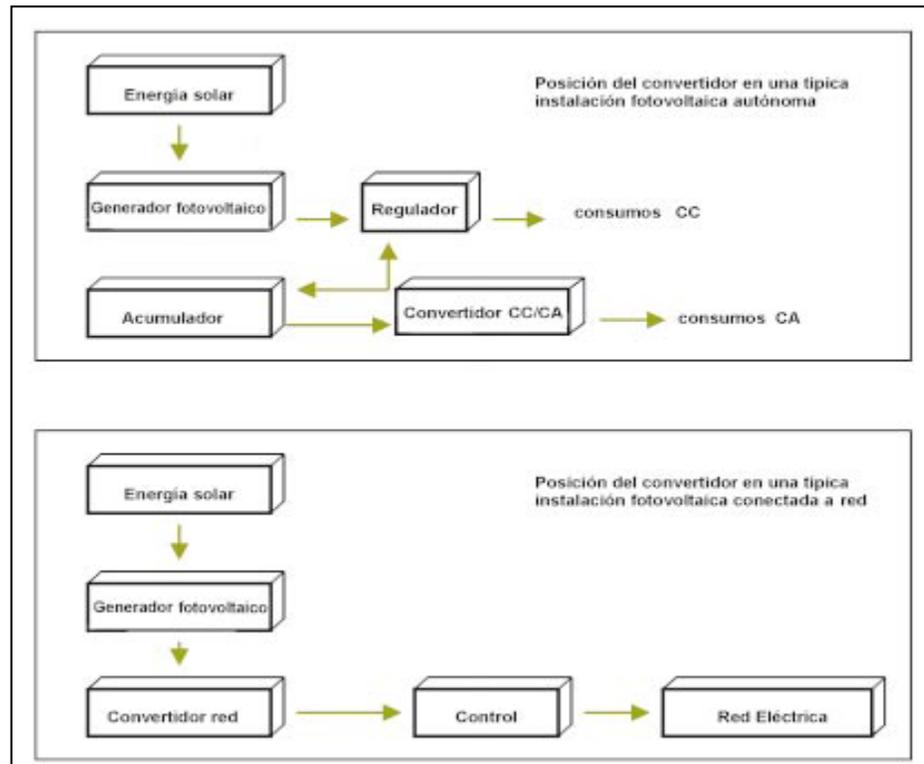
### **2.11.2.3 Inversores de corriente alterna de forma senoide**

Los mejores equipos y también más caros dan una corriente alterna en forma de seno. El rendimiento es de

80 – 90 %

La señal senoide se produce mediante una electrónica más sofisticada que en los casos anteriores. Este equipo tiene muchas ventajas para el suministro de corriente alterna de inducción porque casi no se desarrolla calor en el motor (que baja su rendimiento). Por su precio relativamente alto, se debe utilizar estos equipos solamente para instalaciones solares donde máquinas con motores inductivos tienen una gran parte del consumo de energía eléctrica.

Figura 27. Esquemas de conexión del convertidor en instalaciones autónomas y conectadas a red.



Fuente: Ente Vasco de la Energía – La Energía Solar Fotovoltaica en el País Vasco

## 2.12 Acumuladores

En las instalaciones fotovoltaicas, los módulos solares fotovoltaicos, una vez instalados, siempre se encuentran disponibles para generar electricidad. Sin embargo, la cantidad de radiación solar que reciben se presenta variable, sometida al ciclo diario de los días y las noches, al ciclo anual de las estaciones y a la variación aleatoria del estado de la atmósfera con sus días claros, nublados, tormentas, etc.

Por ello, puede ocurrir muchas veces que la energía que una instalación fotovoltaica entrega difiere, por exceso o por defecto, de la que demandan los consumos conectados a ella. Y en la mayoría de los casos, el correcto

abastecimiento exige almacenar energía cuando la producción es superior a la demanda, para utilizarla en situación contraria.

El acumulador almacena energía siendo capaz de transformar la energía potencial química en energía eléctrica, y cumple las siguientes funciones:

- Es capaz de suministrar energía en cada momento independientemente de la producción eléctrica de los módulos fotovoltaicos en ese momento, pudiendo alimentarlos consumos durante varios días.
- Es capaz de mantener un nivel de tensión estable, proporcionando un voltaje constante dentro de un cierto rango independientemente de que el generador funcione en ese momento o no.
- Es capaz de suministrar una potencia superior a la que el generador solar podría dar en un momento propicio.

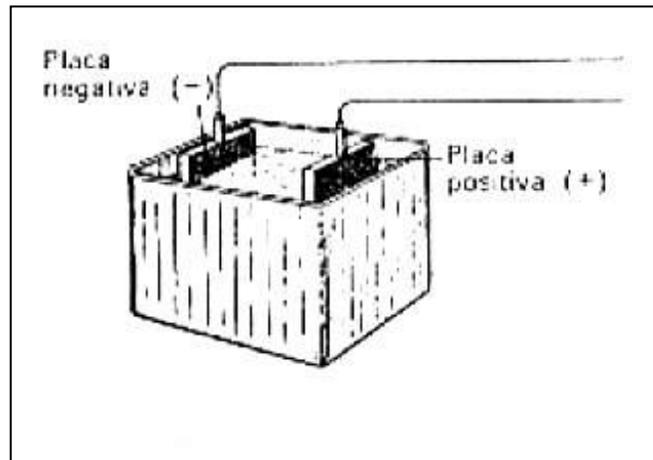
Para los sistemas fotovoltaicos existen baterías especiales (acumuladores) adaptadas al funcionamiento de estos sistemas. Sus precios son más altos que las baterías comunes de los coches. En compensación de este precio más elevado, la vida útil de las baterías solares es más prolongada. Con un buen mantenimiento se puede utilizar una batería solar hasta 6 años. Existe la posibilidad de utilizar las baterías de plomo de coches o camiones si se toma en cuenta algunas previsiones.

### **2.12.1 Principio de funcionamiento de un acumulador de plomo**

El acumulador más sencillo consta de un recipiente lleno de ácido sulfúrico diluido con agua destilada en el cual se colocan dos placas de plomo. Conectando las placas a los bornes de una fuente de corriente continua se observa que la corriente va de la placa positiva ( + ) a la placa negativa ( - )

por el ácido para volver luego al suministrador de energía eléctrica. el panel fotovoltaico. En la placa positiva se forma el óxido de plomo; en la placa negativa se forma plomo puro poroso.

Figura 28 : Esquema de un acumulador de plomo.



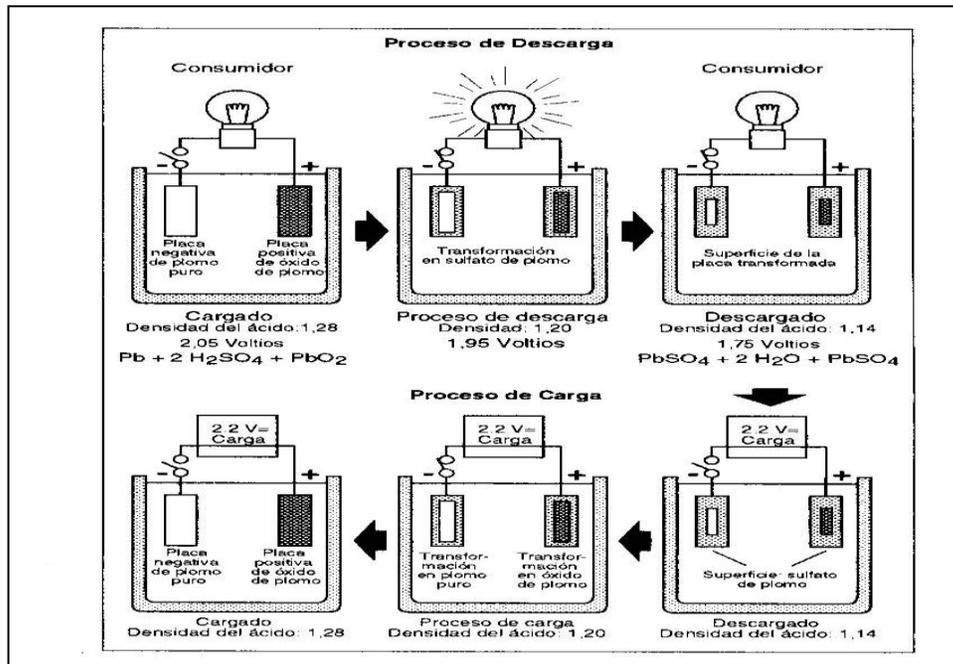
Fuente: Reinhard Mayer Falk (2010) – Sistemas Fotovoltaicos

Este proceso se llama “cargar” un acumulador. Si se interrumpe la conexión entre acumulador y panel fotovoltaico después de cierto tiempo, se mantiene una tensión de aproximadamente 2 Voltios entre las dos placas. El acumulador está en condiciones de proporcionar una corriente eléctrica. Cuando el acumulador suministra energía eléctrica se lo descarga; el material de las placas vuelve en sulfato de plomo.

Recargar el acumulador se hace invertir el proceso, el sulfato de plomo de la placa positiva vuelve otra vez en óxido de plomo y él de la placa negativa en plomo puro poroso.

Durante estos procesos cambia la densidad del electrolito. Descargando el acumulador, la densidad desciende hasta un valor de 1,16. Durante la carga, la densidad del ácido sube hasta un valor de 1,28.

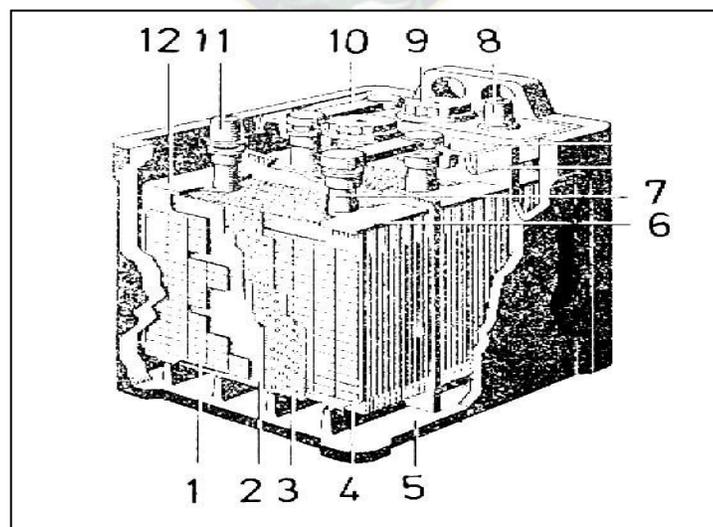
Figura 29 : Procesos de carga y descarga en el acumulador de plomo



Fuente: Reinhard Mayer Falk (2010) – Sistemas Fotovoltaicos

### 2.12.2 Composición de un acumulador

Figura 30 : Componentes de un acumulador



Fuente: Reinhard Mayer Falk (2010) – Sistemas Fotovoltaicos

1. placa negativa; 2. separador en contacto con las placas negativas; 3. laminas de ebonita perforada o de lana de vidrio, en contacto con las placas positivas; 4. placa positiva; 5. caja recipiente del acumulador; 6. puente de conexión de las placas positivas de cada elemento; 7. pitón positivo del primer elemento; 8. borne o polo positivo; 9. tapón de llenado de cada vaso – elemento; 10. barra de conexión en serie de los elementos; 11. pitón negativo del primer elemento y borne negativo de la batería; 12. puente de conexión de placas negativas.

### **2.12.3 Inconvenientes:**

- Almacenar energía en baterías siempre conlleva una pérdida energética, y no toda la energía que entra en un acumulador puede ser retirada después en el proceso de descarga.
- Cuanto mayor uso se le dé al acumulador, antes llegará a su fin. Y la vida útil de un acumulador no se mide en años, se mide en ciclos. Un ciclo es el proceso completo de carga y de descarga. Si el acumulador tiene una vida útil de 3.000 ciclos puede darse el caso de completarlos en 8 ó 9 años, dependiendo de la aplicación y de la utilización, además de otros factores.

La elección del sistema de acumulación de una instalación solar siempre es un compromiso entre la economía y la idoneidad, respetando por supuesto, el principio de procurar la calidad mínima necesaria que asegure la fiabilidad y la larga vida de la instalación

Figura 31: Acumuladores.



Fuente: Ente Vasco de la energía – La Energía Solar Fotovoltaica en el País Vasco

En las instalaciones autónomas, se demandan bastantes consumos en horas en las que no luce el Sol, por eso se necesita un acumulador adecuado. Un acumulador que, además, debe ser garantía de abastecimiento en periodos con condiciones desfavorables de generación fotovoltaica, como en invierno, cuyas noches son más largas que en verano y hay menor disponibilidad del recurso solar. En estos casos el sistema de acumulación adquiere una relevancia extraordinaria en el conjunto de la instalación. Por otro lado, existen instalaciones fotovoltaicas en las que los consumos también se conectan en las horas de Sol. Entonces el acumulador trabaja menos ya que existe una potencia que se aprovecha directamente del generador fotovoltaico a través del regulador. Es decir, el consumo también recibe energía de los paneles solares, y no sólo del acumulador. En estos casos puede ser de menor tamaño, y no tener tanta importancia en la instalación.

Y por último hay casos en los que el acumulador electroquímico desaparece debido a que no es necesaria su presencia dentro del sistema. Es el caso del bombeo directo fotovoltaico, en el que lo que se almacena no es la energía necesaria para extraer agua del pozo cuando sea necesaria, sino que se almacena el agua ya bombeada en un depósito para cuando se necesite. Además, estas aplicaciones necesitan funcionar más cuando más Sol hace,

es decir, cuando los días son más largos y hay mayor radiación solar (verano) se requiere bombear más agua.

La instalación solar durará más tiempo si su parte menos robusta (las baterías) trabaja bien, por ello siempre es recomendable conectar los consumos (cuando se pueda) en las horas centrales del día. Por ejemplo, si se necesita conectar una lavadora en una instalación solar, siempre será más inteligente conectarla a la dos de la tarde que a las dos de la mañana. Esto es debido a que la energía de los módulos fotovoltaicos se dirige directamente al consumo, sin pasar por el acumulador; y esto es un factor importante ya que por cada unidad de energía que se le pida al acumulador, ha sido necesario generar antes algo más de una unidad.

#### **2.12.4 Especificaciones técnicas**

En las especificaciones técnicas que proporciona el fabricante o el instalador fotovoltaico existe una terminología propia del acumulador que suele resultar confusa para muchos usuarios. A continuación se definen varios parámetros de forma muy breve.

El acumulador o batería es un dispositivo compuesto por elementos activos que convierten directamente la energía química en energía eléctrica mediante una reacción electroquímica de reducción-oxidación (redox). El sistema de almacenamiento de energía de una instalación solar fotovoltaica normalmente está compuesto por acumuladores o baterías.

## 2.12.5 Clasificación

### 2.12.5.1 Batería primaria.

Batería que sólo se descarga y no se puede recargar mediante la aplicación de una corriente. Normalmente se conocen como pilas, de usar y tirar. No se usan en el campo fotovoltaico.

### 2.12.5.2 Batería secundaria.

Acumulador que, después de una cierta descarga, puede recibir una recarga hasta su capacidad total. Se conocen como baterías.

**Según su régimen de funcionamiento se dividen en:**

**De ciclo o descarga profunda.** Acumulador provisto de grandes placas tubulares que pueden soportar mucha descarga hasta llegar a un nivel bajo de carga. Permiten, sin deterioro apreciable, descargas de hasta el 80% de su capacidad, teniendo su descarga diaria situada entre el 20-25%.

**De ciclo o descarga superficial.** Batería compuesta de placas pequeñas que no puede soportar mucha descarga antes de llegar a un bajo nivel de carga. Estas baterías tienen una descarga rutinaria entre el 10 y el 15% y alguna vez alcanzan el 45% en un ciclo más profundo.

## 2.12.6 Características fundamentales

En las especificaciones técnicas y comerciales facilitadas por el fabricante del acumulador es posible encontrar los siguientes datos:

- Tipo de batería.

- Tensión nominal de trabajo
- Capacidad en Ah para regímenes de descarga de C20, C50 y C100.
- Rango de temperaturas de funcionamiento.
- Profundidad máxima de descarga.
- Régimen de pérdidas de capacidad por auto descarga.
- Voltajes finales en función del régimen de descarga.
- Voltaje máximo de carga en función de la temperatura del electrolito y del régimen de carga.
- Temperatura de congelación del electrolito.
- Dimensiones y peso.
- Densidades del electrolito.
- Tipo de placa.

Sobre el sistema de acumulación, se tendrá presente:

- Llevará indicado de forma indeleble el polo positivo y el negativo mediante los signos + y -.
- Llevará indicado el tipo, marca, modelo de batería y la fecha de inicio del periodo de garantía.
- Llevará indicada la tensión nominal de trabajo y la capacidad.
- El sistema de acumulación debe situarse lo más cerca posible del generador fotovoltaico.
- Los acumuladores deberán estar eléctricamente aislados del suelo.
- Para un sistema de acumulación, una sola tensión de trabajo.
- Los acumuladores estarán lejos de cualquier llama u objeto incandescente.
- Los parámetros máximos y mínimos de temperatura en la sala de acumuladores los proporcionará el fabricante. Como referencia, debe oscilar entre 5 °C y 35 °C.

- La batería llevará un sistema de protección de los bornes y conexiones que impida el contacto con objetos extraños. No deben dejarse herramientas ni objetos metálicos encima de la batería. Es necesario procurar que sean inaccesibles los dos bornes simultáneamente, de manera que puedan producirse cortocircuitos.
- Cuando se manipule el electrolito, existe un procedimiento, y se debe utilizar siempre protección visual (Gafas o pantallas incoloras).

### 2.12.7 La capacidad

Durante el proceso de descarga, el acumulador o batería transforma la energía potencial química que guarda en su interior en energía eléctrica. Para cargar la batería el proceso se realiza al revés, es decir, se le aplica una corriente eléctrica, y así almacena energía eléctrica en su interior para disponer de ella en otro momento. Cuando el acumulador se encuentra totalmente cargado, la capacidad es la máxima cantidad de energía eléctrica que puede proporcionar en una descarga completa, a un régimen de descarga y temperatura especificadas.

La capacidad de una batería se mide en amperios hora (Ah) relacionado siempre a un determinado tiempo (horas) de descarga. La capacidad nominal es la multiplicación de la intensidad de descarga por la cantidad en horas que ésta actúa. Por ejemplo: Si la batería tiene 200 Ah C10 (el 10 debajo de la C significa a 10 horas) significa hay disponibles 20 amperios durante 10 horas de descarga.

Normalmente la capacidad nominal de un acumulador viene determinada por el Fabricante bajo unas condiciones de operación. Una vez que el acumulador se encuentre instalado, las condiciones de trabajo pueden ser

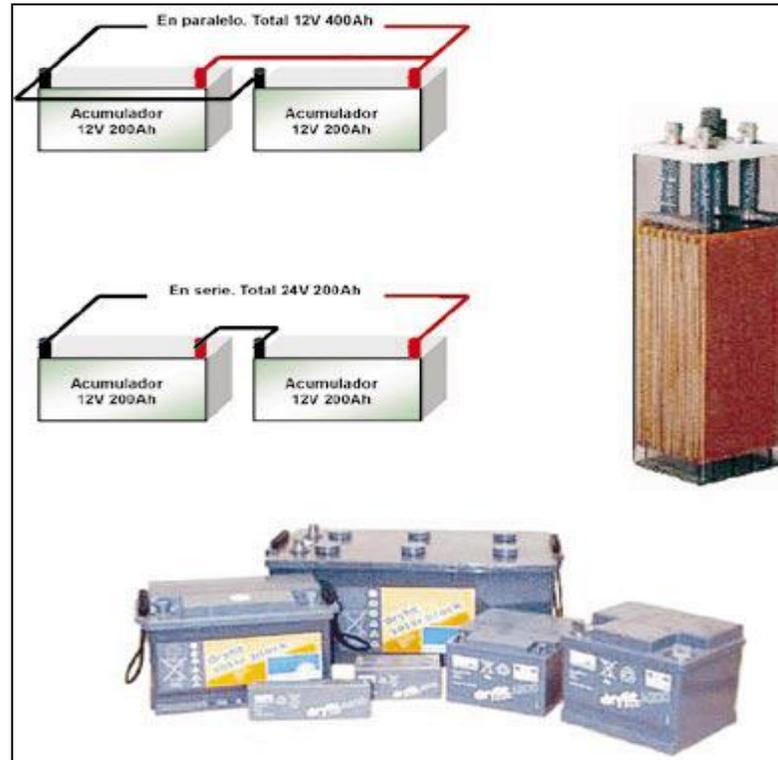
distintas por varios factores. Por ello la correcta instalación, conexión y utilización del acumulador determinan la vida útil de éste en bastantes ocasiones.

En la vida real, en el funcionamiento de un acumulador en una instalación fotovoltaica y para evitar romperlo, sólo es posible tener disponible para el consumo la capacidad útil. La capacidad nominal del fabricante siempre será mayor que la capacidad útil. Lo más usual es que la capacidad útil sea aproximadamente el 70% de la capacidad nominal, aunque esta cifra puede oscilar entre 30 y 90% dependiendo de tipos y modelos de acumuladores.

La capacidad de un acumulador también depende de la velocidad con la cual se extrae la energía que encierra. La capacidad de un acumulador también depende de la temperatura a la que se encuentre. A menor temperatura menor capacidad disponible, y el ideal es que siempre funcionen a 25 °C.

Al igual que a la hora de conectar paneles entre sí, se pueden asociar los paneles en serie, en paralelo, o mediante una combinación de ambos, ocurre igual con los acumuladores. Si en un panel se asocian en serie entre 30 y 36 células para alcanzar una tensión teórica de trabajo de 12 V, en un acumulador se asocian en serie seis vasos acumuladores de 2 V cada uno para alcanzar esa misma tensión de trabajo. Y además se pueden asociar grupos de acumuladores para alcanzar otras tensiones de trabajo

Figura 32: Esquema de conexión de acumuladores y diferentes modelos



Fuente: Ente Vasco de la energía – La Energía Solar Fotovoltaica en el País Vasco

### 2.12.8 Profundidad de descarga

Hace referencia, en % de la capacidad nominal, a los Ah extraídos del acumulador plenamente cargado. Su opuesto es el estado de carga, que es la capacidad disponible expresada como un porcentaje de la capacidad nominal.

Si la descarga del acumulador se produce en un periodo largo de tiempo representará una profundidad de descarga menor que si se realizara en un periodo corto, debido a que la capacidad del acumulador aumenta en función del tiempo que dura la descarga.

Como referencia, un típico requerimiento en las condiciones de trabajo de un acumulador solar comprende la descarga diaria entre el 10% y el 25% de su capacidad y un 70% u 80% de descarga una o dos veces al año.

### 2.12.9 Control de carga del acumulador

El líquido utilizado en los acumuladores de plomo es ácido sulfúrico, químicamente puro, diluido con agua destilada y se llama "ELECTROLITO".

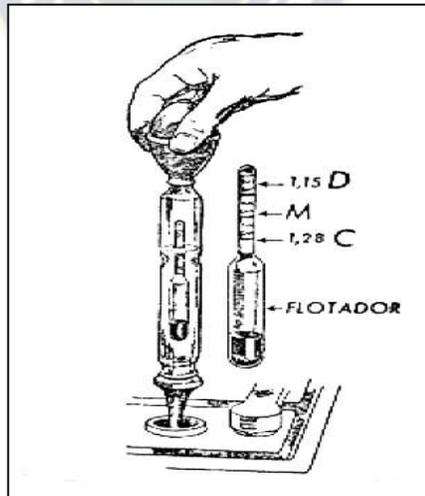
Se vende en las tiendas con una densidad de aprox.  $1,24 \text{ gr/cm}^3$ .

La densidad del electrólito depende del estado de carga del acumulador:

Acumulador cargado	$1,28 - 1,30 \text{ gr/cm}^3$
Acumulador a media carga	$1,22 - 1,23 \text{ gr/cm}^3$
Acumulador descargado	$1,15 - 1,16 \text{ gr/cm}^3$

El método más sencillo para controlar el estado de carga del acumulador es a través del control de la densidad del electrólito. Se utiliza para este fin un densímetro.

Figura 33: Control del estado de carga de una batería por medio de un densímetro.



Fuente: Reinhard Mayer Falk (2010) – Sistemas Fotovoltaicos

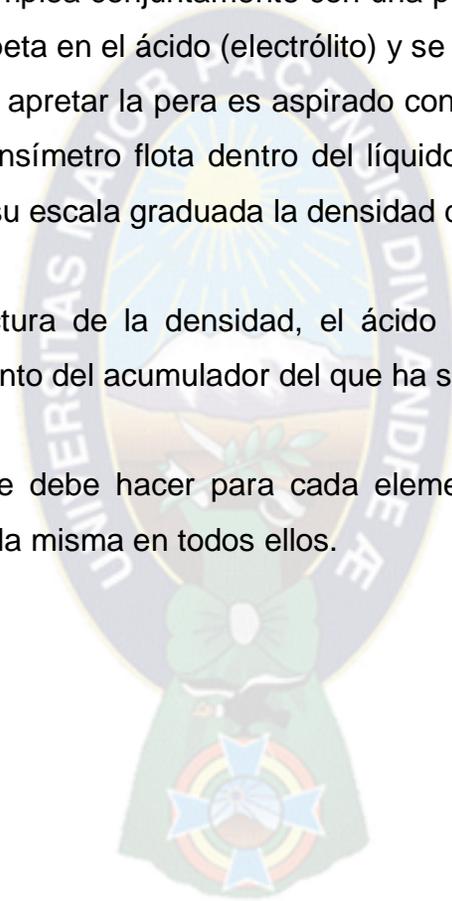
Este equipo consta de un flotador de vidrio terminando en un tubo que contiene una escala graduada.

En su parte inferior el flotador esta lastrado por granos de plomo aglutinado con barniz. El densímetro se hunde más o menos profundo según la densidad del electrólito y su nivel lo indica la escala graduada.

El densímetro se emplea conjuntamente con una pipeta. Se introduce el tubo de caucho de la pipeta en el ácido (electrólito) y se aprieta la pera de caucho. Cuando se deja de apretar la pera es aspirado con cierta cantidad de líquido en la pipeta. El densímetro flota dentro del líquido de la pipeta y se puede leer fácilmente en su escala graduada la densidad del ácido.

Después de la lectura de la densidad, el ácido de la pipeta se vuelve a incorporar al elemento del acumulador del que ha sido extraído.

Esta verificación se debe hacer para cada elemento y es natural que la densidad deba ser la misma en todos ellos.



## CAPITULO III

### INGENIERIA DEL PROYECTO

#### 3.1 Características técnicas de la instalación

El centro de salud de Charazani atiende a pobladores de las poblaciones próximas a Charazani como Chojaya, Inca Roca, Huata Huata, Conlaya, Siliplaya, Jatichulaya, Quiabaya, Chijuico, Sucasaco Alto y Bajo y otros.

La nueva infraestructura hospitalaria consta de 4 salas de internación (sólo cuatro camas), quirófano, sala de partos, sala de post parto, sala para médico de guardia, sala de farmacia, sala de emergencia, consultorios de medicina tradicional y occidental, enfermería, odontología, auditorio y baños individuales, para personal de servicio y otros. La moderna infraestructura hospitalaria, edificada sobre una superficie superior a 400 metros cuadrados, fue construida en su integridad con recursos del Municipio de Charazani y beneficiará a cerca de 10 mil habitantes de la región kallawayá.

Fotografía 1: Centro de Salud Charazani



Fuente : El autor

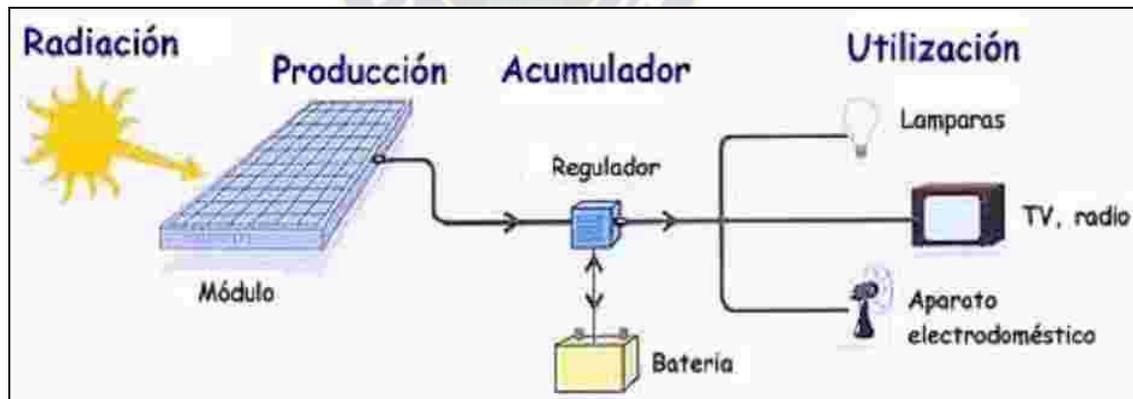
La electrificación mediante un sistema solar para el centro de salud pretende llegar a las zonas críticas que necesitan la continuidad del servicio de

energía eléctrica. Las cuales comprenden la sala de partos, sala de post parto, sala de emergencia, sala de farmacia. Teniendo un circuito separado de la red, como un circuito de emergencia que contempla las cuatro salas abarcando el sistema de iluminación de estos ambientes. La infraestructura del Centro de Salud posee dos circuitos de su instalación eléctrica un circuito que pertenece a Emprelpaz, y otra al generador del pueblo y cuyo circuito se pretende usar en nuestra instalación fotovoltaica. Nuestra instalación a incorporar tendrá los siguientes componentes básicos:

- Generador fotovoltaico
- Regulador
- Batería

Las cargas que se pueden acoplar a estas instalaciones fotovoltaicas pueden ser de equipos en corriente continua (iluminación, televisión, enlaces de telecomunicación, bombas para extracción de agua, etc.)

Figura 34. Instalación solar fotovoltaica sin inversor, utiliza 12 V



Fuente: Dr. Ing. Marcelo Nemesio Damas Niño (2011) – Electrificación Fotovoltaica de posta medica, Caserío de Chocna-San Mateo-Lima

## 3.2 Analisis de las cargas electricas

### 3.2.1 Estudio de la demanda

Las necesidades de energía para el Centro de salud de Charazani es energía eléctrica para iluminar de los ambientes y para los diferentes equipos medicos que poseen.

Nº	Descripcion	Cantidad	Potencia de Cada equipo (W)	Hora de uso diario (h/día)
1	Lamparas fluorescentes 220 V	45	36	3
2	Lamparas fluorescentes 220 V	4	42	24
3	Televisor a color 220 V	1	80	8
4	Reproductor DVD 220 V	1	10	0.3
5	Computadora 220 V	2	200	12
6	Refrigerador 220 V	1	125	6
7	Ecografo 220 V	1	1200	0.5
8	Esterilizador 220 V	1	920	1

### 3.2.2 Potencia instalada

Actualmente en el Centro de salud se tiene la siguiente potencia instalada

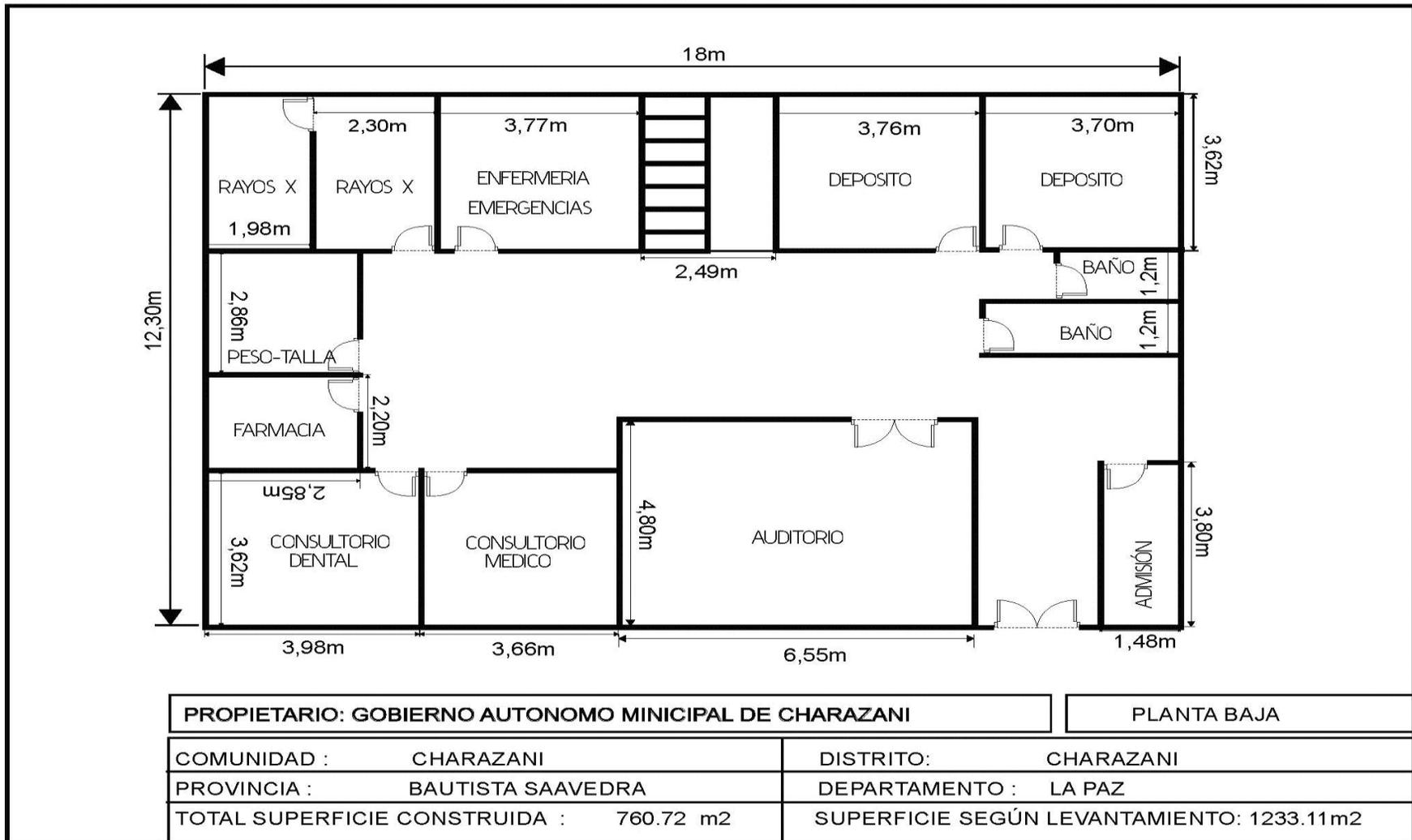
45 lamparas x 36 W cada uno	=	1620 W
4 lamparas x 42 W cada uno	=	168 W
1 televisor x 60 W	=	60 W
1 reproductor x 10 W	=	10 W
2computadoras x 200 W cada uno	=	400 W
1 refrigerador x 125 W	=	125 W
1 ecografo x 1200 W	=	1200 W
1 esterilizador x 920 W	=	920 W
	-----	
Potencia Instalada =		4503 W

### 3.2.3 Consumo de energia electrica diaria

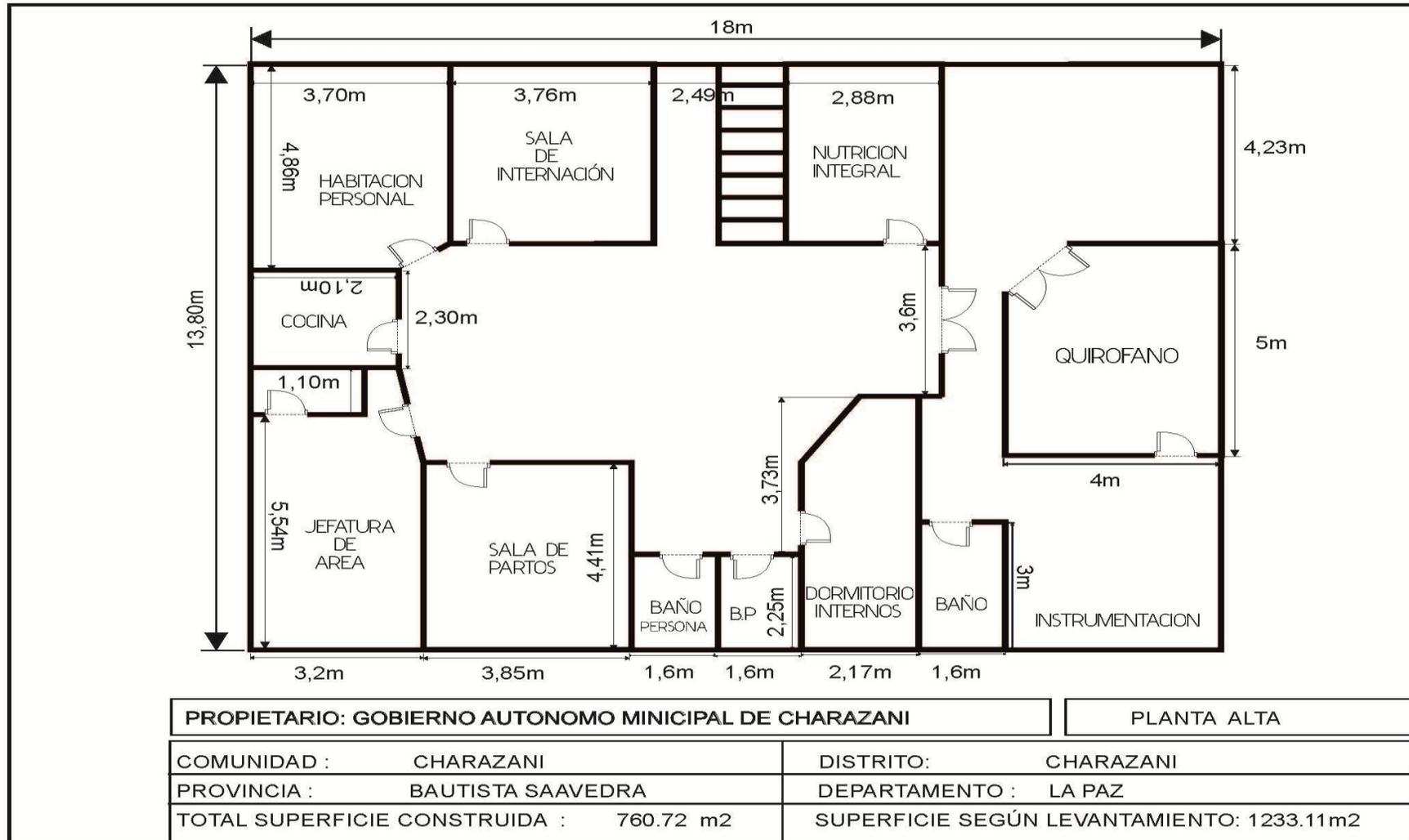
Actualmente en el Centro de salud se tiene el siguiente consumo de energia electrica diaria

45 lamparas x 36 W cada uno	x	3 (h/dia)	=	4860 Wh/dia
4 lamparas x 42 W cada uno	x	24 (h/dia)	=	4032 Wh/dia
1 televisor x 60 W	x	8 (h/dia)	=	480 Wh/dia
1 reproductor x 10 W	x	0.3(h/dia)	=	3 Wh/dia
2computadoras x 200 W cada uno	x	12 (h/dia)	=	4800 Wh/dia
1 refrigerador x 125 W	x	6 (h/dia)	=	750 Wh/dia
1 ecografo x 1200 W	x	0.5 (h/dia)	=	600 Wh/dia
1 esterilizador x 920 W	x	1 (h/dia)	=	920 Wh/dia
			-----	
Consumo de energia electrica diario total			=	16445 Wh/día

### 3.2.4 Plano del Centro de Salud planta baja

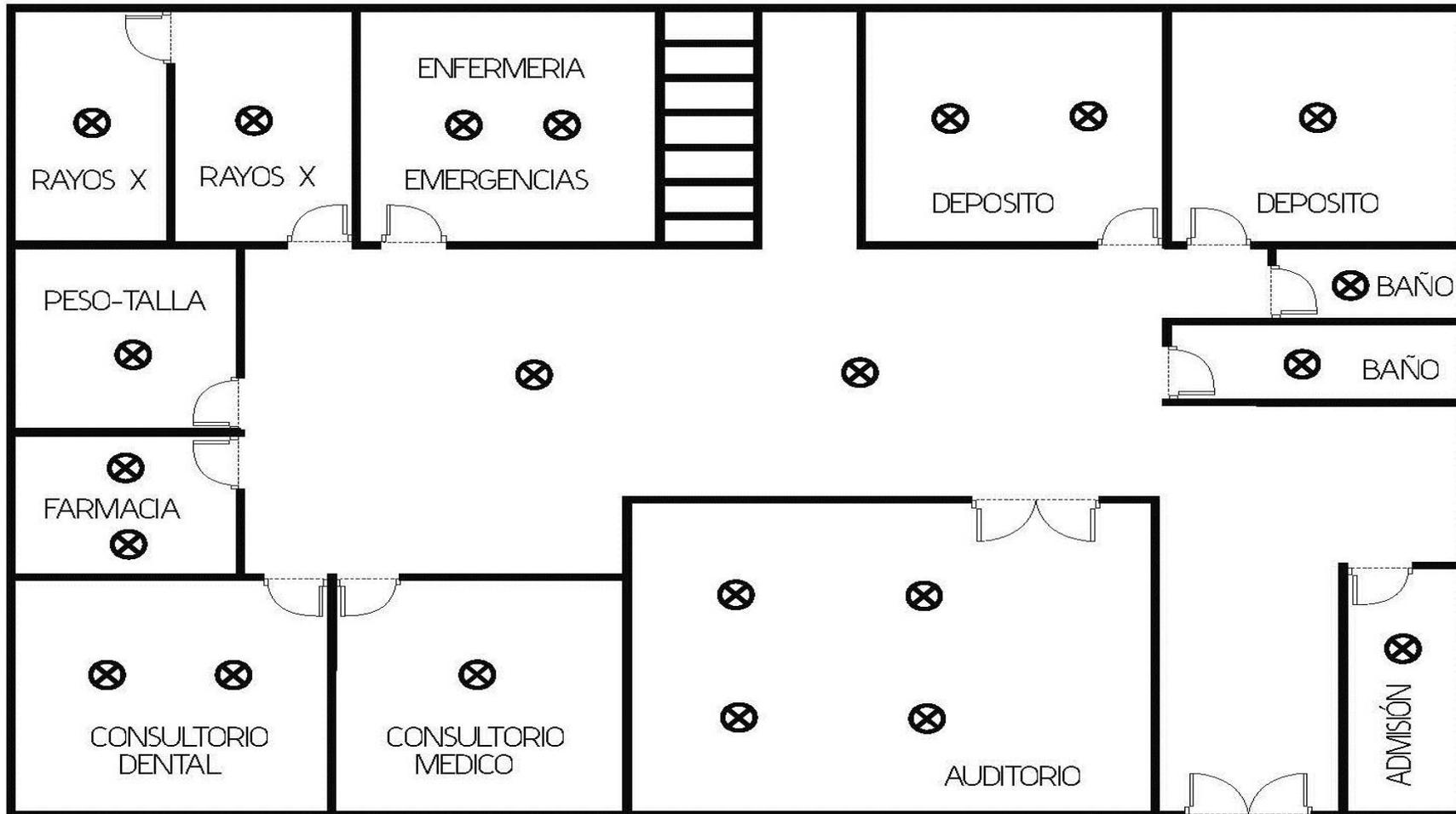


### 3.2.5 Plano del Centro de Salud planta alta



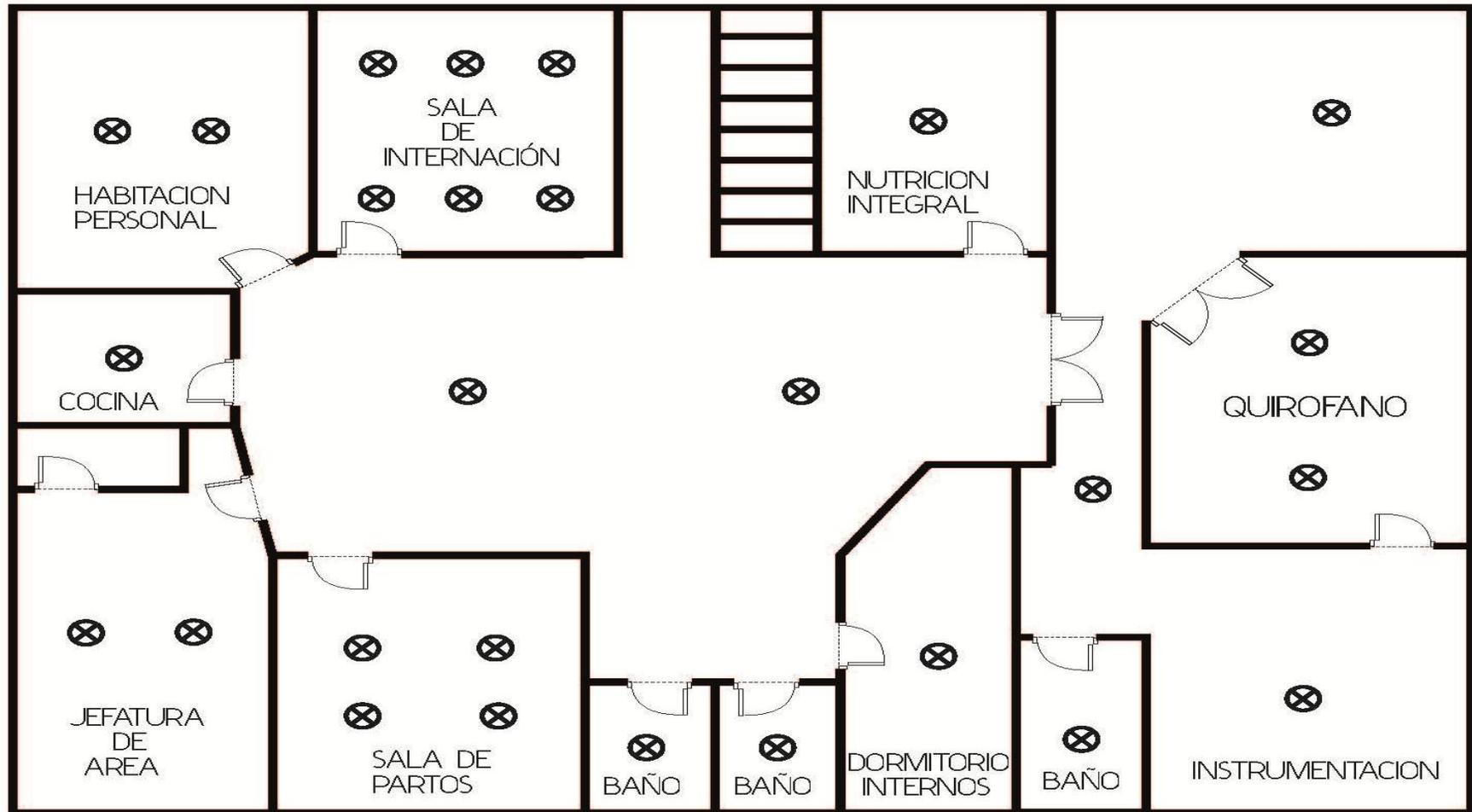
### 3.2.6 Plano del sistema de iluminación instalada planta baja

#### SISTEMA DE ILUMINACION INSTALADA



### 3.2.7 Plano del sistema de iluminación instalada planta alta

#### SISTEMA DE ILUMINACION INSTALADA



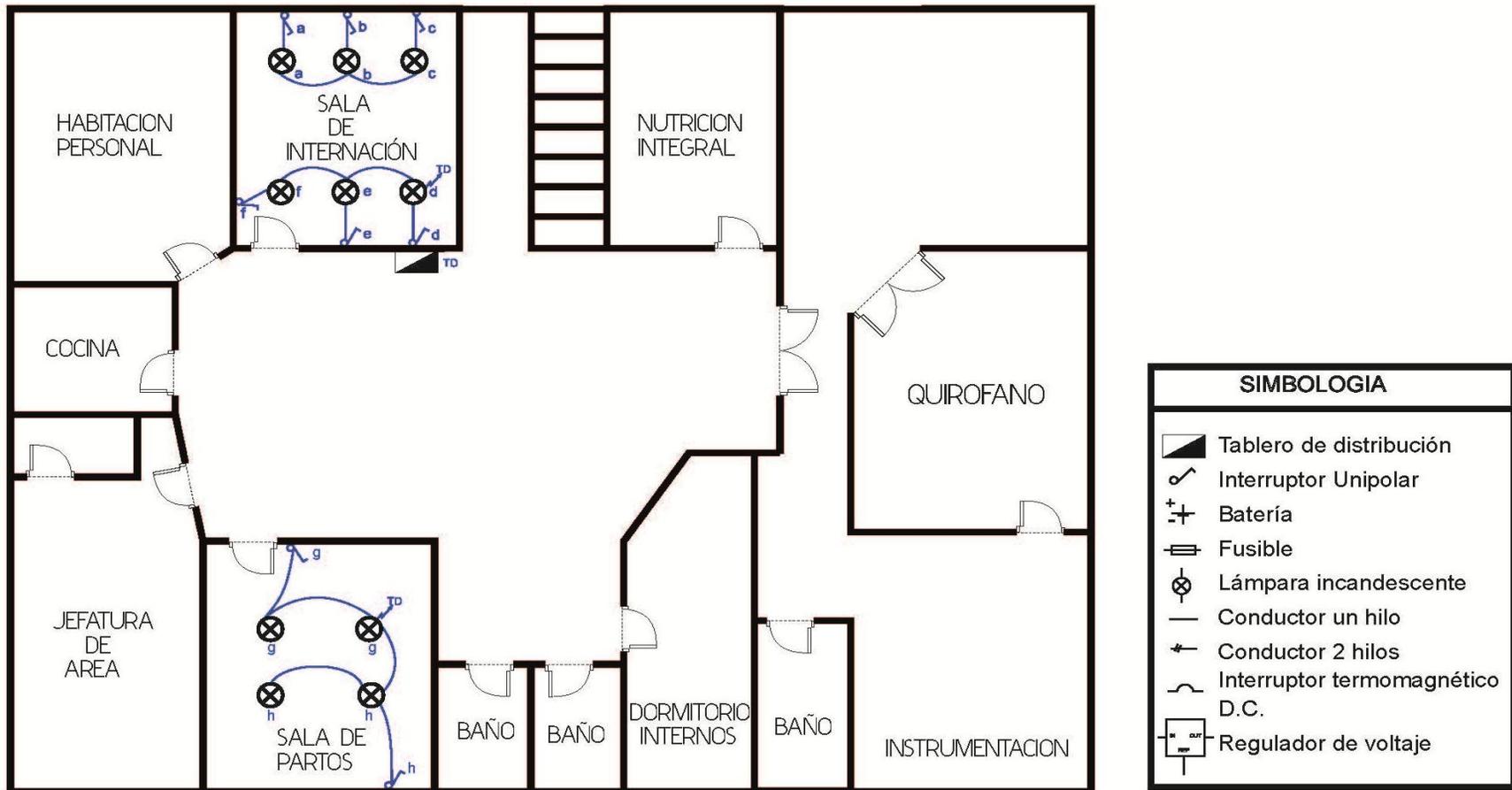
### 3.2.8 Plano del sistema de iluminación fotovoltaico planta baja

#### SISTEMA DE ILUMINACION FOTOVOLTAICO

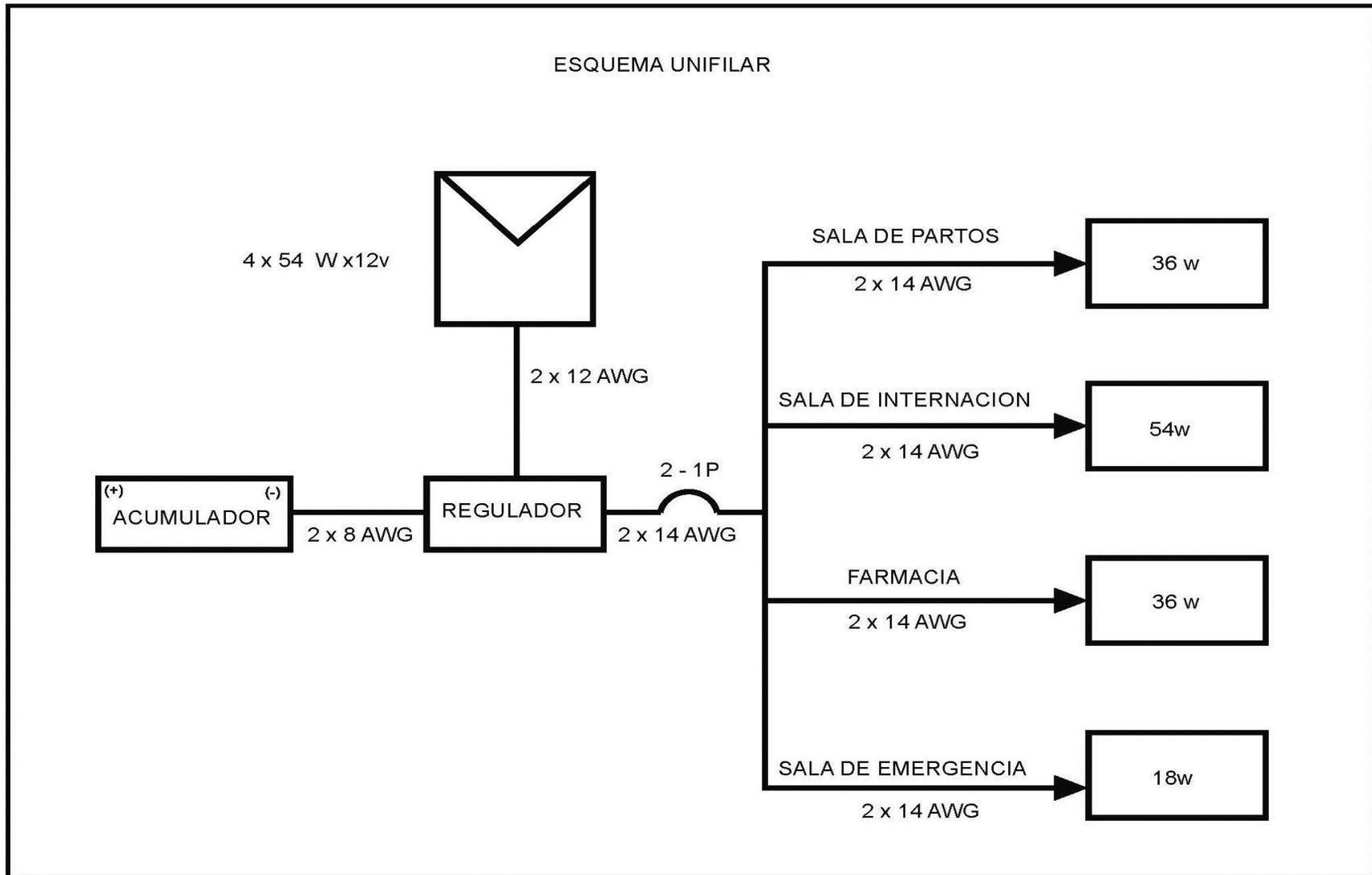


### 3.2.9 Plano del sistema de iluminación fotovoltaico planta alta

#### SISTEMA DE ILUMINACION FOTOVOLTAICO



### 3.2.10 Esquema Unifilar



### 3.3 Cálculo de las cargas eléctricas para el sistema fotovoltaico

Puesto que el centro de salud tiene instalado energía eléctrica proporcionado por Emprelpaz, dentro del centro existen dos zonas, las cuales se las clasifica de la siguiente manera:

Zona no crítica que comprende la sala de esterilización, consultorio, sala de ecografía, sala de odontología, sala de esterilización

Zona crítica que comprende de la sala de partos, sala de post parto, sala de emergencias, sala de farmacia

De ambas zonas la que necesita del suministro de energía eléctrica ininterrumpida es la zona crítica, de ahí es que los cálculos para el sistema solar fotovoltaico se orienta a la iluminación de los cuatro ambientes que consta dicha zona.

Para efectos de la mayor eficiencia y un ahorro del costo del sistema solar fotovoltaico y a la vez disminuir el consumo de energía en el centro de salud, se propone la implementación de lámparas LED que funcionan con voltaje de 12 V y una potencia de 9 W y una vida útil de 50000 horas.

Para el centro de salud haciendo una comparación del consumo diario solamente para iluminación con lámparas de 36 y 42 W se tiene el siguiente consumo diario por iluminación

$$\begin{array}{rclclcl} 45 \text{ lámparas} \times 36 \text{ W cada uno} & \times & 3 \text{ (h/día)} & = & 4860 \text{ Wh/día} \\ 4 \text{ lámparas} \times 42 \text{ W cada uno} & \times & 24 \text{ (h/día)} & = & 4032 \text{ Wh/día} \\ \text{Consumo diario por iluminación} & = & & & 8892 \text{ Wh/día} \end{array}$$

Usando lamparas LED de alta eficiencia en la iluminacion del centro de salud se tiene el siguiente consumo diario por iluminacion

$$\begin{aligned}
 45 \text{ lamparas} \times 9 \text{ W cada uno} & \times 3 \text{ (h/dia)} = 1215 \text{ Wh/dia} \\
 4 \text{ lamparas} \times 9 \text{ W cada uno} & \times 24 \text{ (h/dia)} = 864 \text{ Wh/dia} \\
 \text{Consumo diario por iluminacion} & = 2079 \text{ Wh/día}
 \end{aligned}$$

El consumo diario reduce a menos de la cuarta parte con lamparas LED en comparacion con lamparas fluorescentes

### 3.3.1 Calculo de las cargas electricas para el sistema fotovoltaico de la zona critica

Nº	Tipo de sala	Numero de lamparas	Potencia de lampara W	Consumo por dia
1	Sala de partos	4 lamparas	9	4 h/dia
2	Sala de post parto	6 lamparas	9	6 h/dia
3	Sala de emergencia	2 lamparas	9	4 h/dia
4	Sala de farmacia	2 lamparas	9	2 h/dia

### 3.3.2 Potencia instalada para la zona critica

La nueva potencia instalada para el sistema solar fotovoltaico

$$\begin{aligned}
 4 \text{ lamparas sala de partos} \times 9 \text{ W de lampara} & = 36 \text{ W} \\
 6 \text{ lamparas sala de post parto} \times 9 \text{ W de lampara} & = 54 \text{ W} \\
 4 \text{ lamparas sala de emergencia} \times 9 \text{ W de lampara} & = 36 \text{ W} \\
 2 \text{ lamparas sala de farmacia} \times 9 \text{ W de lampara} & = 18 \text{ W} \\
 & \text{-----} \\
 \text{Potencia Instalada} & = 144 \text{ W}
 \end{aligned}$$

### 3.3.3 Consumo de energía diaria de la zona critica

4 lamparas sala de partos x 9 W de lampara x 4 h/día = 144 Wh/dia

6 lamparas sala de post parto x 9 W de lampara x 6h/día = 324 Wh/dia

4 lamparas sala de emergencia x 9 W de lampara x 4h/día = 144 Wh/dia

2 lamparas sala de farmacia x 9 W de lampara x 2h/día = 36 Wh/dia

-----  
Consumo diario total = 648Wh/dia

### 3.4 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico autonomo

#### 3.4.1 Consumo de energía electrica diario

Cd= Consumo diario Ah/día

Cdt= Consumo diario toral wh/dia

Ts = Tension del sistema V

$$Cd = \frac{Cdt}{Ts.}$$

$$Cd = \frac{648 \text{ wh/dia}}{12 \text{ v}}$$

$$Cd = 54 \text{ Ah/dia}$$

### 3.4.2 Correccion del Consumo de energia electrica diario

Cdc = Consumo de energia electrico deiaro corregido Ah/día

Cd = Consumo diario Ah/dia

$\eta$  = Rendimiento del acumulador (80%)

$$C_{dc} = \frac{C_{dp}}{\eta \text{ acum.}}$$

$$C_{dc} = \frac{54 \text{ Ah/dia}}{80\%}$$

$$C_{dc} = 67.5 \text{ Ah/dia}$$

### 3.4.3 Dimensionamiento del generador solar

Para dimensionar el sistema de Generación fotovoltaica se utilizara información del Atlas de distribución de la energia solar en Bolivia, y para la localidad de Charazani se tiene la siguiente tabla de radiacion por meses del año

Mes	Radiación Solar kwh/m2-dia
Enero	6.0
Febrero	5.4
Marzo	5.3
Abril	5.4
Mayo	5.4
Junio	5.1
Julio	5.4
Agosto	5.4
Septiembre	5.7
Octubre	6.0
Noviembre	6.3
Diciembre	6.0

de la tabla de radiacion por meses se observa que el mes con menos oferta de radiacion solar es el mes de junio, es en ese mes entonces la radiacion que se utilizara para el dimensionamiento del generador solar para con ello garantizar el suministro de energia electrica a lo largo de todo el año. Y el valor es:

5.1 KWh/m<sup>2</sup>/día.

#### 3.4.4 Tiempo de potencia nominal (horas sol pico)

En sistemas fotovoltaicos se emplea el concepto de potencia nominal u horas de sol pico. Una hora solar pico es equivalente a la energía recibida durante una hora a una irradiación promedio de 1000W/m2.

Rsm=Radiación Solar media o mas baja = 5.1 Kwm<sup>2</sup>/día

Rp= Radiación promedio = 1Kwm<sup>2</sup>

Tpn= Tiempo de Potencia Nominal u horas pico (h/día)

$$T_{pn} = \frac{R_{sm}}{R_p}$$

$$T_{pn} = \frac{5.1 \text{Kwh/m}^2 / \text{dia}}{1 \text{Kwm}^2}$$

$$T_{pn} = 5.1 \text{h/dia}$$

### 3.4.5 Corriente nominal del generador solar

C<sub>ng</sub> = Corriente nominal del generador A

C<sub>dc</sub> = Consumo de energía eléctrica diario corregido = 67.5 Ah/día

T<sub>pn</sub> = Tiempo de Potencia Nominal u horas pico (h/día)

$$C_{ng} = \frac{C_{dpc}}{T_{pn}}$$

$$C_{ng} = \frac{67.5 \text{ Ah/dia}}{5.1 \text{ h/dia}}$$

$$C_{ng} = 13.24 \text{ A}$$

### 3.4.6 Calculo del numero de paneles

Las potencias pico nominales en los módulos fotovoltaicos existentes en el mercado es de 50, 54 y 75 W.

## Características eléctricas típicas del panel KYOCERAKC 50T

Potencia Max.:	54 W
Tolerancia:	+/-3%
Voltaje a Máxima Potencia (Vmpp):	17.4 V
Corriente a potencia maxima (Impp):	3,11 A
Voltaje de Circuito Abierto (Vpc):	21,7 V
Voltaje Maximo del Sistema	600 V
Corriente de Cortocircuito (Icc):	3,31A
Tensión Máxima del Sistema (V):	600V
Tipo de célula:	Monocristalino
Número de células:	36
Medidas del modulo	
Largo x Ancho x Espesor	639 mm x 652 mm x 54 mm
Peso	5.0 Kg
Temperatura Trabajo:	-40°C a +85°C

$N_p$  = Numero de paneles

$C_{ng}$  = Corriente nominal del generador solar = 13.24 A

$C_{npf}$  = Corriente nominal de un panel fotovoltaico = 3.11 A

$$N_p = \frac{C_{ng}}{C_{npf}}$$

$$N_p = \frac{13.24 \text{ A}}{3.11 \text{ A}}$$

$$N_p = 4.25 \approx 4 \text{ paneles}$$

### 3.4.7 Produccion de energia electrica del panel fotovoltaico

$E_{up}$  = Energia util del panel

$I_{mpp}$  = Corriente a maxima potencia del panel = 3.11 A

$T_{pn}$  = Tiempo de Potencia Nominal u horas pico (h/día)

$\eta$  = Rendimiento del acumulador (80%)

$$E_{up} = I_{mpp} \times T_{pn} \times \eta$$

$$E_{up} = 3.11 \text{ A} \times 5.1 \text{ h/día} \times 80\%$$

$$E_{up} = 12.68 \text{ x Ah/dia/panel}$$

### 3.4.8 Verificacion del numero de paneles

$N_p$  = Numero de paneles

$C_d$  = Consumo diario 54 Ah/día

$E_{up}$  = Energia util del panel = 12.68 Ah/día/panel

$$N_p = \frac{54 \text{ Ah/dia}}{12.68 \text{ Ah/dia/panel}}$$

$$N_p = 4.25 \approx 4 \text{ paneles}$$

### 3.4.9 Dimensionamiento de los acumuladores

El acumulador debe compensar los cambios en la oferta de la radiación solar y almacenar energía eléctrica suficiente para cubrir el consumo de energía eléctrica en la noche y en períodos con menos oferta de radiación solar.

El consumo en Amperios – horas ( Ah ) da la información cuantas Amperios – horas se gasta en promedio por día, semana o mes.

Los días de autonomía describen cuando tiempo el acumulador solo puede cubrir la necesidad de energía eléctrica (por ej. en épocas prolongadas de mal tiempo).

El número de días autónomos depende de las condiciones climáticas del lugar y la necesidad de seguridad par el suministro de energía eléctrica. Una posta de salud necesita en la misma zona una seguridad más alta que una casa particular donde una restricción en el consumo de energía eléctrica no tiene tanta importancia.

Otro punto que se debe tomar en cuenta para la planificación de su sistema de acumuladores es la profundidad hasta la cual se puede descargar los acumuladores. Es recomendable limitar esta profundidad de descarga hasta un

30 a 50 %

de la capacidad total para garantizar una vida prolongada de los acumuladores. Ahora se puede realizar el dimensionamiento del banco de acumuladores.

### 3.4.10 Capacidad de los acumuladores del sistema solar

Ca = Capacidad de los acumuladores Ah

Ndd = Nivel de descarga 40 – 50 %

Da = Dias de autonomia (5 dias)

Cdc = Consumo diario corregido 67.5 Ah/dia

$$Ca = \frac{Cdc \times Da}{Ndd}$$

$$Ca = \frac{67.5 \text{ Ah/dia} \times 5 \text{ dia}}{0.5}$$

$$Ca = 675 \text{ Ah}$$

### 3.4.11 Numero de acumuladores

Na = Numero de acumuladores

Ca = Capacidad del acumulador del sistema solar Ah

Cae = Capacidad del acumulador elegido Ah

$$Na = \frac{Ca}{Cae}$$

Trabajando con un nivel de descarga de 0,5 tenemos las siguientes opciones

A: 100 Ah de capacidad por acumulador:  $675 \text{ Ah} / 100 \text{ Ah/acumulador} = 6.75$  acumuladores = 6 – 7 acumuladores

B: 150 Ah de capacidad por acumulador:  $675 \text{ Ah} / 150 \text{ Ah/acumulador} = 4.5$  acumuladores = 4 – 5 acumuladores

C: 200 Ah de capacidad por acumulador:  $675 \text{ Ah} / 200 \text{ Ah/acumulador} = 3.37$  acumuladores = 3 – 4 acumuladores

Na = 4 Acumuladores de 200 Ah de la Opcion C

### 3.4.12 Calculo y selección del regulador

Corriente de Cortocircuito = 3,31A

Factor de seguridad = 1.25

### 3.4.13 Corriente de corto circuito maximo

Iccm = Corriente de cortocircuito maximo (A)

Icc = Corriente de cortocircuito del panel (A)

Np = Numero de paneles

$$I_{ccm} = I_{cc} \times N_p$$

$$I_{ccm} = 3.31 \text{ A} \times 4$$

$$I_{ccm} = 13.24 \text{ A}$$

Incremento de la corriente de cortocircuito maximo por el factor de seguridad (1.25)

$$C_{cm} \times 1.25$$

$$13.25 \text{ A} \times 1.25 = 16.55 \text{ A}$$

Un regulador que sea capaz de manejar 16.55 A desde el arreglo fotovoltaico. Y en el mercado encontramos el siguiente regulador y cuyas características son:

Controlador	PHOCOS CML05NL: 20A
Voltaje nominal	12 / 24 V, reconocimiento automático
Voltaje de carga rápida	14.5 / 29.0 V (25°C), 2 h
Voltaje de ecualización	14.8 / 29.6 V (25°C), 2 h
Voltaje de flotación	13.7 / 27.4 V (25°C)
Función de Desconexión por Bajo Voltaje	11.4-11.9 / 22.8-23.8 V controlado por el estado de carga, 11.0 / 22.0 V controlado por el voltaje
Voltaje de re conexión del consumo	12.8 / 25.6 V
Compensación de temperatura	-4 mV/cell*K
Máx. corriente de panel solar	5 / 8 / 10 / 15 / 20 A de acuerdo con el número de modelo @ 50°C
Máx. corriente de panel en el Consumo	5 / 8 / 10 / 15 / 20 A de acuerdo con el número de modelo @ 50°C
Dimensiones	80 x 100 x 32 mm (w x h x d)
Peso	180gr
Máx. grosor de cable	16 mm <sup>2</sup> (AWG #6)
Autoconsumo	4 mA
Temperatura ambiental	-40 a + 50°C
Caja de protección	IP 22

### **3.5 Montaje del sistema fotovoltaico**

En el montaje de sistemas fotovoltaicos se debe considerar muchos factores cuando seleccione un sitio apropiado para montar los paneles, la localización debe estar orientada hacia el sol y estar libre de obstáculos que provoquen sombra a través de las trayectorias diarias del sol. El sitio debe estar cerca de los depósitos electrónicos para minimizar pérdidas en las líneas. Los operadores como los diseñadores deben tener acceso fácil para realizar el mantenimiento de rutina. Existen varios sistemas disponibles para montar un arreglo fotovoltaico, desde uno simple a uno complejo de rastreadores de los ejes y el tipo de montaje dependerá de los siguientes factores:

- Orientación de la instalación
- Sombras del sitio
- Consideraciones meteorológicas
- Material del techo
- Capacidad de soportar el peso del suelo o del techo
- Aplicaciones del sistema

#### **3.5.1 Tipos de montaje de los sistemas**

##### **3.5.1.1 Montaje en soportes o anaqueles**

En este tipo de sistema, dos soportes angulares de acero galvanizado se atornillan a las paredes exteriores o a la estructura del techo. Un segundo par de soportes angulares compatibles se adjuntan a los marcos exteriores del módulo solar. Cuando los dos conjuntos de soportes están empatados, forman un sistema simple de montaje económico y durable para un sistema fotovoltaico de un módulo. Un sistema de anaquel simple puede usarse para montar un módulo solar sencillo.

##### **3.5.1.2 Montaje en poste**

El arreglo puede ser montado en un sistema de soporte atornillado directamente a un poste vertical previamente asegurado y fijado con cemento al piso. Un montaje en poste es una elección cuando no se desea o es imposible fijar el arreglo al edificio. Esta técnica de montaje puede ajustarse estacionalmente para optimizar el rendimiento del sistema. El diámetro y la densidad del poste, así como la cantidad de cemento que hace falta, determinará el tamaño del arreglo, el tipo de suelo, el terreno y la velocidad del viento

### **3.5.1.3 Montaje en tierra**

La estructura de apoyo del arreglo montado en tierra utiliza un marco atornillado directamente a bases previamente preparadas. Estructuras de soporte estándar para marcos están disponibles comercialmente o pueden fabricarse en el lugar.

Un marco de montaje consiste de dos barras en canal paralelas que forman una rejilla o estantería simple. A este marco se le atornillan soportes transversales para incrementar el apoyo estructural lateral y prevenir daños por el viento. Al marco se atornillan patas no ajustables de aluminio extraído para mantener el arreglo con un ángulo de inclinación predeterminado. También se puede fabricar o adquirir patas de apoyo móviles para permitir ajustes de inclinación estacional. Se debe evaluar cuidadosamente las características del clima local así como la capacidad de carga del suelo antes de seleccionar el sitio definitivo para el arreglo fotovoltaico. Los sistemas de montaje en tierra necesitan cimientos con una integridad estructural suficiente para evitar las fallas de capacidad de carga del suelo. Los cimientos deben resistir los efectos elevador y cortante movimiento lateral del viento

#### **3.5.1.4 Montaje en el techo**

Comunmente se usan cinco tipos de sistemas cuando se monta un arreglo fotovoltaico en un techo o cubierta: montaje directo, montaje ajustable o fijo en anaquel, montaje por separado, montaje con lastre, montaje integrado al edificio.

En los montajes directos los módulos fotovoltaicos están montados directamente sobre los materiales convencionales de los tejados, en este sistema de montaje no permite la circulación de aire alrededor de los módulos, lo que da lugar a temperaturas de operación muy altas y una disminución de la energía en comparación con otros sistemas de montaje.

Con un montaje en anaquel o bandeja los módulos fotovoltaicos están separados por un marco de metal y están dispuestos en un ángulo determinado, el arreglo montado en anaquel se coloca en el techo con la bandeja atornillada a los componentes de la estructura del techo. Debe notarse sin embargo que el montaje en bandeja el peso de lastre del sistema en el techo de la casa y algunas veces puede plantear problemas de carga de viento.

Los sistemas de montaje con separación sitúan a los módulos paralelos al techo con una separación entre las dos superficies para permitir un flujo de aire adecuado entre los módulos. Los módulos se sitúan en carriles acanalados a los que son fijados con grapas que agarran el marco de aluminio. Los módulos deben ser montados al menos 10 centímetros por encima de la superficie del techo para permitir la circulación de aire.

Los sistemas fotovoltaicos integran también el montaje integrado a edificios. Además existen sistemas de montaje con rastreo, pero los dos anteriores son tema de discusión a la hora de costos.

### 3.6 Cableado del sistema fotovoltaico

Para sistemas pequeñas de electrificación solar se trabaja normalmente con circuitos de corriente continúa de 12 Voltios. No obstante, para sistemas de mayor capacidad se instalan inversores que producen corriente alterna de 220 Voltios. De esta manera, existen en la instalación dos diferentes tipos de circuitos de distribución de energía eléctrica:

- Corriente continúa.
- Corriente alterna

Es de fundamental importancia que los diferentes conductores eléctricos tengan colores distintos para evitar accidentes y daños a los equipos a instalar.

Corriente continúa. Se recomienda utilizar el color rojo para el conductor positivo y el negro para el conductor negativo. Esto ayudará de evitar errores de polaridad que pueden dañar severamente los diversos componentes de la instalación eléctrica y los artefactos eléctricos.

Corriente alterna. Existen varias recomendaciones se menciona los siguientes códigos de colores para redes de distribución de energía eléctrica: “Los conductores de la instalación deben ser fácilmente identificables, especialmente el neutro y el de protección; se les puede reconocer por los colores de sus aislamientos o incluyendo inscripciones sobre los mismos.

El color amarillo – verde a rayas se reserva para el conductor de protección y el azul –claro para el neutro. Para los conductores de fase se utiliza el negro o marrón en los circuitos monofásicos y, además de estos dos, el color gris en los circuitos trifásicos.”

Para conexión a tierra (corriente continua y corriente alterna) se utiliza también cable con color verde o cable desnudo.

En instalaciones con dos tipos de corriente, no se recomienda utilizar el mismo código de cables para el neutro de corriente continua y fase de corriente alterna. Será mejor utilizar un código marrón para la fase de la red de distribución de corriente alterna para evitar accidentes.

Finalmente, se tiene que mencionar otras informaciones sobre códigos de colores en la literatura más reciente.

Solar Energy International (2007) menciona los siguientes códigos de colores para los cables eléctricos de circuitos de corriente alterna.

COLOR	APLICACIÓN
Cualquier color menos verde o blanco / gris (fase)	Conductor vivo no aterrizado
Blanco / gris	Conductor aterrizado (neutro)
Verde o desnudo	Tierra de equipos

Mediante esta tabla se estima la distancia máxima (en metros) en una sola dirección (no ida y vuelta) entre los dos componentes del sistema fotovoltaicos conectados con un cable eléctrico.

Aparato y fuente de energía son conectados por un alambre de cobre de dos conductores. El sistema funciona con 12 V corriente continua..

Tabla2: Pérdida en tensión ( 5 % = 0,6 V ) para cables de diferentes tamaños (No. De cable, calibre: AWG).

Amp	Calibre del Alambre						
12	10	8	6	4	2	0	
2	85	130	220	360	560	900	1500
5	35	56	90	114	225	362	600
10	18	29	45	57	112	181	300
15	11	18	30	47	75	120	200
20	8	13	22	36	56	90	150
25		11	17	29	45	72	120
30			15	25	37	60	100
50				15	22	36	60
100					11	18	30

Fuente: Kyocera

IBNORCA tiene como norma una pérdida máxima permitida 3 % de voltaje entre paneles fotovoltaicos y el sistema de regulación de carga.

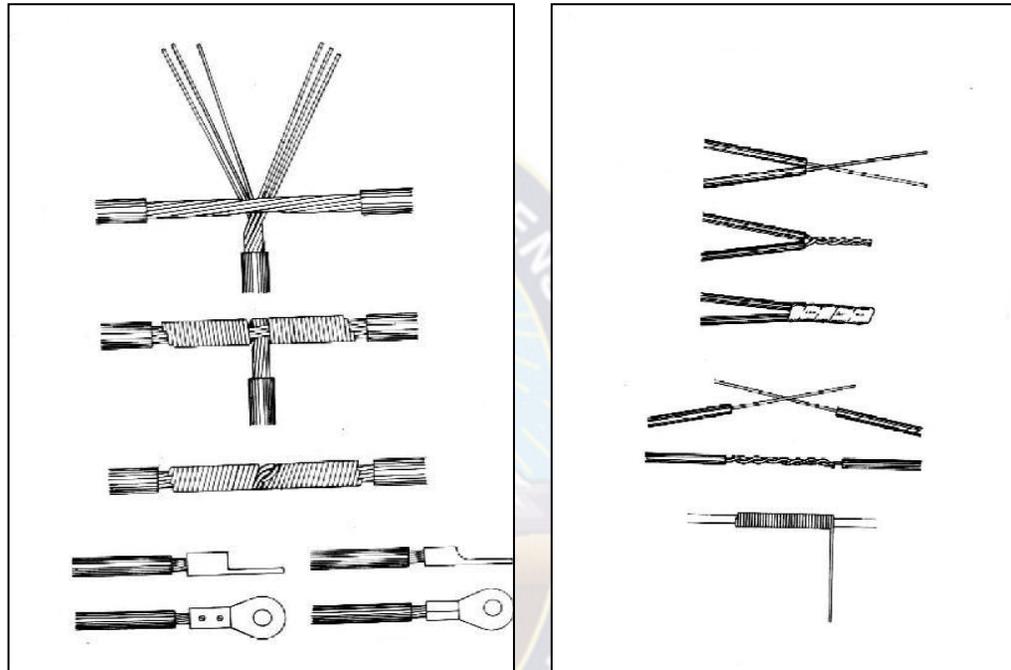
Para las línea ramales a los artefactos eléctricos individuales de bajo consumo, por ejemplo lámparas, puede usarse un conductor de 1,5 mm<sup>2</sup> por ejemplo el “caleco plástico” de dos conductores, debiendo igualmente ser los conductores de diferente color para la fácil identificación de la polaridad respetiva.

### 3.7 Conexiones

Uno de los métodos más conocidos es el empalme. Para tener conexiones desmontables se utilizan regletas o terminales. Los circuitos eléctricos de 12 V corriente continúa necesitan empalmes cuidadosamente ejecutados. No tiene sentido trabajar con empalmes sencillos que son de costumbre para las redes de corriente alterna de 220 V. Habrán demasiadas pérdidas de energía

eléctrica. Las siguientes figuras muestran empalmes que se tienen que aplicar no solamente para redes de 12 V, también para cualquier red de suministro de energía eléctrica.

Figura35: Diferentes tipos de empalme para garantizar un cableado con un mínimo de pérdidas de energía eléctrica.

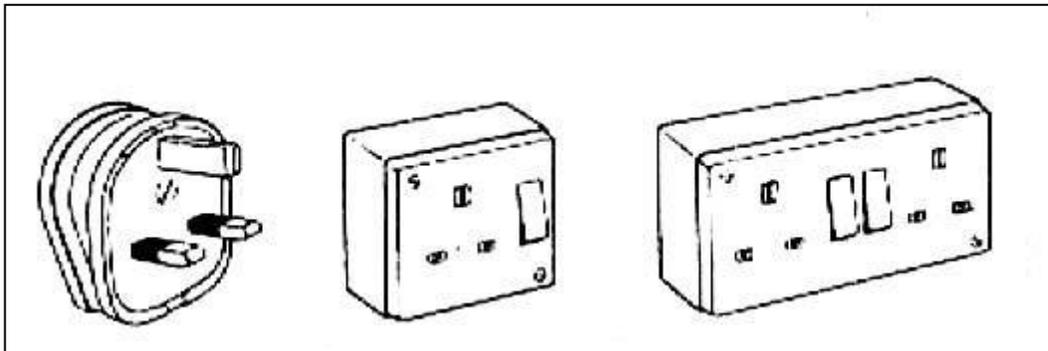


Fuente: Adaptado de Roldán, 1991.

### 3.8 Enchufes

Para evitar problemas con la polaridad en redes de corriente continúa, se recomienda utilizar enchufes con tres contactos como se utilizan por ejemplo para los equipos de computación.

Figura 36: Enchufes con tres contactos para evitar errores en la polaridad utilizando redes de corriente continúa.



Fuente: Ladener, 1987.

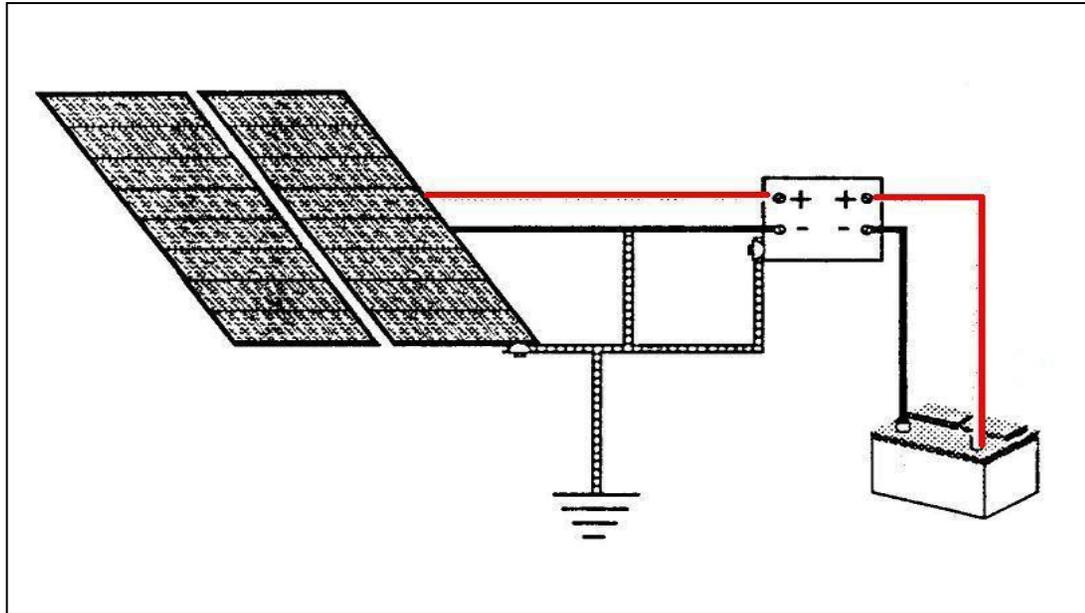
### 3.9 Conexión a tierra

Paneles fotovoltaicos pueden recibir cargas eléctricas estáticas, si no tienen una conexión con tierra. Para evitar daños a personas y equipos sensibles, es recomendable conectar los paneles fotovoltaicos (y sus marcos metálicos) con tierra. Para este fin se conecta el marco del panel y partes metálicas del caballete con un cable (para conexiones con tierra) con la cañería de agua (si es de metal) o con un tubo de metal enterrado en dos metros de profundidad. Para conectar la red de distribución de corriente continúa con tierra se conecta el polo negativo de la caja de distribución a través de una resistencia de 500 – 1.000  $\Omega$  con la tierra. Para sistemas pequeños se puede trabajar sin esta resistencia y conectar directamente el polo negativo con tierra (ver figura 10.6).

Para proteger la instalación fotovoltaica contra los efectos de relámpagos se puede instalar varistores (resistencias que son variables con la tensión aplicada) según la figura 49. La resistencia de un varistor es bajo de una tensión límite prácticamente infinita. Si se sobrepasa esta tensión limitante por poco tiempo, la resistencia se disminuye a golpe a un tamaño muy

pequeño, de tal manera, que el impulso dañino de tensión puede bajar a la tierra.

Figura37: Conexión con tierra y protección contra cargas estáticas.



Fuente: Adaptado de Ladener, 1987.

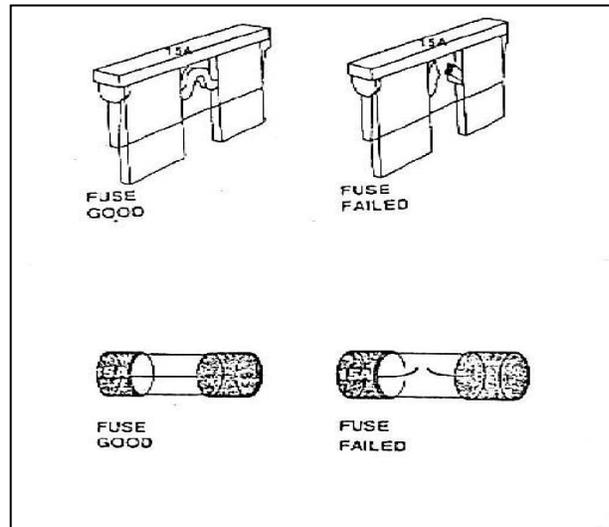
### 3.10 Fusibles

La medida de protección más importante es asegurarse que la instalación completa está debidamente protegida con un adecuado fusible, que debe estar instalado en la LINEAPOSITIVA que va hacia la batería, lo más cerca posible del terminal positiva de la misma.

El fusible que se utiliza es del tipo de automóvil y su capacidad no debe ser superior a 20Amperios para sistemas fotovoltaicos pequeños.

El fusible tiene como función evitar que en el caso de una falla o cortocircuito en una línea circule excesiva corriente, la que puede tomar valores extremadamente altos y provocar graves daños fundiendo y quemando los conductores, lo que puede causar incendios.

Figura38: Tipos de fusibles



Fuente: Adaptado de Ladener, 1987.

### 3.11 Mantenimiento y solución de problemas

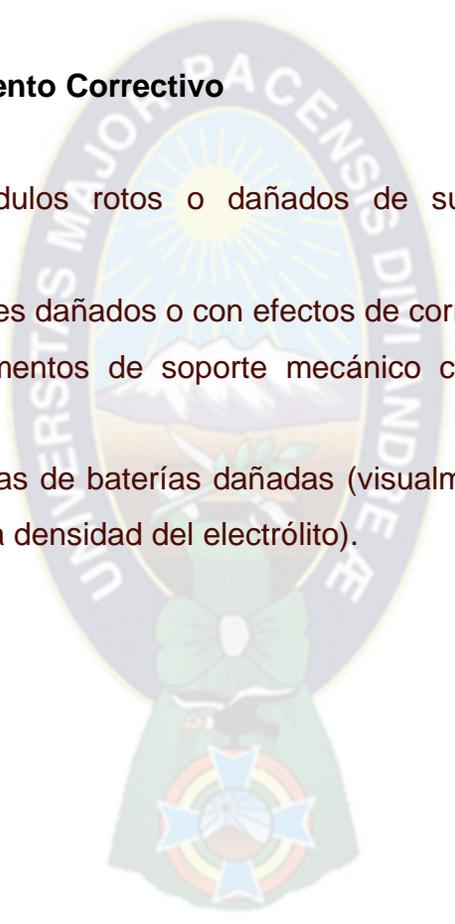
#### 3.11.1 Mantenimiento Preventivo

- Comprobar cada 3 meses el nivel del electrolito.-Limpiar superficie de módulos con trapo seco. Puede usarse húmedo, pero solo en el amanecer o atardecer para evitar descargas eléctricas, cada 3 meses o más según la experiencia.
- Revisar terminales de módulos y conexiones a la intemperie cada 6 meses.
- Limpiar y engrasar terminales de baterías anualmente. Revisión visual cada 3 meses
- Comprobar corriente del arreglo, de las baterías y de la carga cada vez que se inspeccione el sistema. Cada 3 a 6 meses.
- Comprobar conexiones de tierra del arreglo y del sistema cada 6 meses.

- Comprobar funcionamiento de controladores, alarmas, etc.
- Comprobar densidad del electrólito en cada celda del banco de baterías (Pb-ácido).
- Sustituir baterías cuando comiencen a perder eficiencia, no esperar a que fallen.
- Pintar las paredes y techos de color claro. Con ello, será necesaria menor potencia para la misma sensación de luminosidad

### 3.11.2 Mantenimiento Correctivo

- Sustituir módulos rotos o dañados de sus terminales por unos equivalentes.
- Sustituir cables dañados o con efectos de corrosión ambiental.
- Sustituir elementos de soporte mecánico con efectos de corrosión ambiental.
- Sustituir celdas de baterías dañadas (visualmente) o que no retengan la carga (baja densidad del electrólito).



## CAPITULO IV

### COSTOS

#### 4.1 costos de los componentes del sistema

En los sistemas fotovoltaicos uno de los factores que limita el uso o la aplicación de sistemas solares en áreas rurales es el elevado costo inicial que se debe realizar para poder acceder a esta tecnología.

A continuación se detalla en tablas todos los costos de la instalación para el Centro de salud de Charazani

No	Descripción	Unidad	Cantidad	P/Unit. Bs.	P/total Bs.
1	Estructura de soporte de modulo fotovoltaico	Pza.	2	250	500
2	Modulo fotovoltaico 54 Wp, 12 V	Pza.	4	1500	6000
3	Regulador de carga	Pza.	1	560	560
4	Batería solar, 200 Ah 12 V	Pza.	4	1500	6000
5	Bornes para bateria	Pza.	8	4	32
6	Lamparas LED 9 W, 12 V	Pza.	14	80	1120
7	Interruptores unipolares	Pza.	10	10	100
8	Caja metálica de hierro galvanizado	Pza.	1	100	100
9	Interruptor de 2P – 15A	Pza.	1	80	80
10	Porta fusibles para dos fusibles	Pza.	1	30	30
11	Grampa para sujetar el cable	Caja	2	6	12
12	Cinta aislante	Rollo	4	8	32
13	Cable de cobre N° 12 AWG	Mts.	4	6	24
14	Cable de cobre N° 14 AWG	Rollo	1	200	200
15	Cable de cobre N° 8 AWG	Mts.	4	10	40
16	Cable desnudo de cobre No 4 AWG	Mts.	8	12	96
	<b>Total</b>				<b>14926</b>

## 4.2 Costos de mano de obra

No	Actividad	Unidad	Cantidad	C/Unit	C/total
1	Inst. Soporte de modulo fotovoltaico	Pza.	2	300	600
2	Instalación de modulo fotovoltaico	Pza.	4	200	800
3	Instalación de regulador de carga	Pza.	1	200	200
4	Instalación de batería	Pza.	4	100	400
5	Instalación de los LEDs	Pza.	14	50	700
6	Inst. tablero de distribución e interruptor	Pza.	1	100	100
7	Cableado con conductor Nro 12 AWG	Mts	4	70	280
8	Cableado con conductor Nro 14 AWG	Puntos	24	70	1680
9	Cableado con conductor Nro 8 AWG	Mts	2	70	140
10	Instalación de puesta a tierra	Pza.	1	1500	1500
	<b>total</b>				<b>6400</b>

## 4.3 Costos indirectos

Descripción	c/ parcial Bs.
Materiales de ferreteria	500
Equipo y/o herramientas	200
Mano de obra indirecta	60
Gastos generales	400
<b>Total</b>	<b>1160</b>

#### 4.4 Otros costos

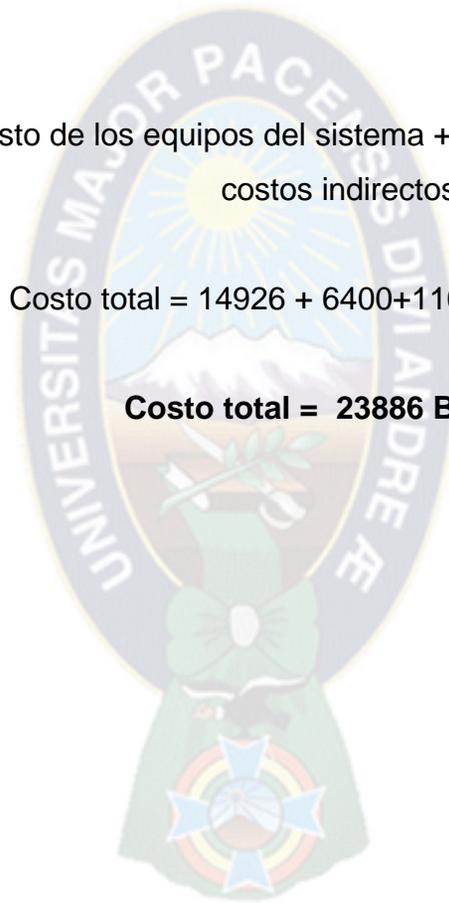
DETALLE	COSTO BS
1.- Transporte a la Localidad	400
2.- Gastos de Organización	1000
<b>Total</b>	<b>1400</b>

#### 4.5 Costo total

Costo total = costo de los equipos del sistema + costos de mano de obra+  
costos indirectos + otros costos

$$\text{Costo total} = 14926 + 6400 + 1160 + 1400$$

$$\text{Costo total} = 23886 \text{ Bs}$$



## **CAPITULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 Conclusiones**

La utilización de la tecnología fotovoltaica es aplicable en las comunidades menos desarrolladas bale decir en lugares donde la red electrica aun no se extendio y es donde mejor pueden desarrollarse este tipo de sistemas, sin alterar el entorno ni perjudicar la flora y la fauna de la región, teniendo en cuenta la ubicación y las condiciones del entorno. La implementación de un sistema solar fotovoltaico y la utilización de ampolletas LED para el centro de salud, es una solución a la necesidad energética continua para la prestación de los servicios médicos, que traerá una mejora en las condiciones de vida de los pobladores, ya que el servicio que actualmente se tiene presenta muchas deficiencias . Con la utilización de ampolletas LED se pudo observar que el sistema que consiste de un generador, un regulador y un banco de baterías se redujo ya que la ampolleta puede trabajar con un rango de voltaje desde 12 V DC hasta 220 V AC, lo cual implica que no era necesario la utilización de un inversor en nuestro sistema. Que además reemplazando las lámparas fluorescentes por las ampolletas, de toda la iluminación del centro de salud se observa que el consumo se reduce a menos de la cuarta parte que con las lámparas fluorescentes.

#### **5.2 Recomendaciones.**

Si se cuenta con una instalacion o un sistema fotovoltaico debe quedar claro Que se esta contribuyendo a la no contaminacio del medioambiente y que es una tecnologia madura. Pero no obstante se tiene que tener en cuenta los siguiente: el lugar de la instalacion el cual no debe tener ningun tipo de sombra, el mantenimiento del panel, el manejo adecuado de las baterias

manteniendolo fuera del alcance de focos de calor, cuando no hayan dos o mas dias sin sol tratar de usar el sistema el menor tiempo posible, no encender las luces ni dejar los artefactos innecesariamente conectados, si se quiere tener mas luminosidad es pintar de blanco las paredes, desconectar el sistema antes de realizar cualquier reparacion, aislar a la bateria a una caseta por que contiene acido altamente perjudicial para la salud.

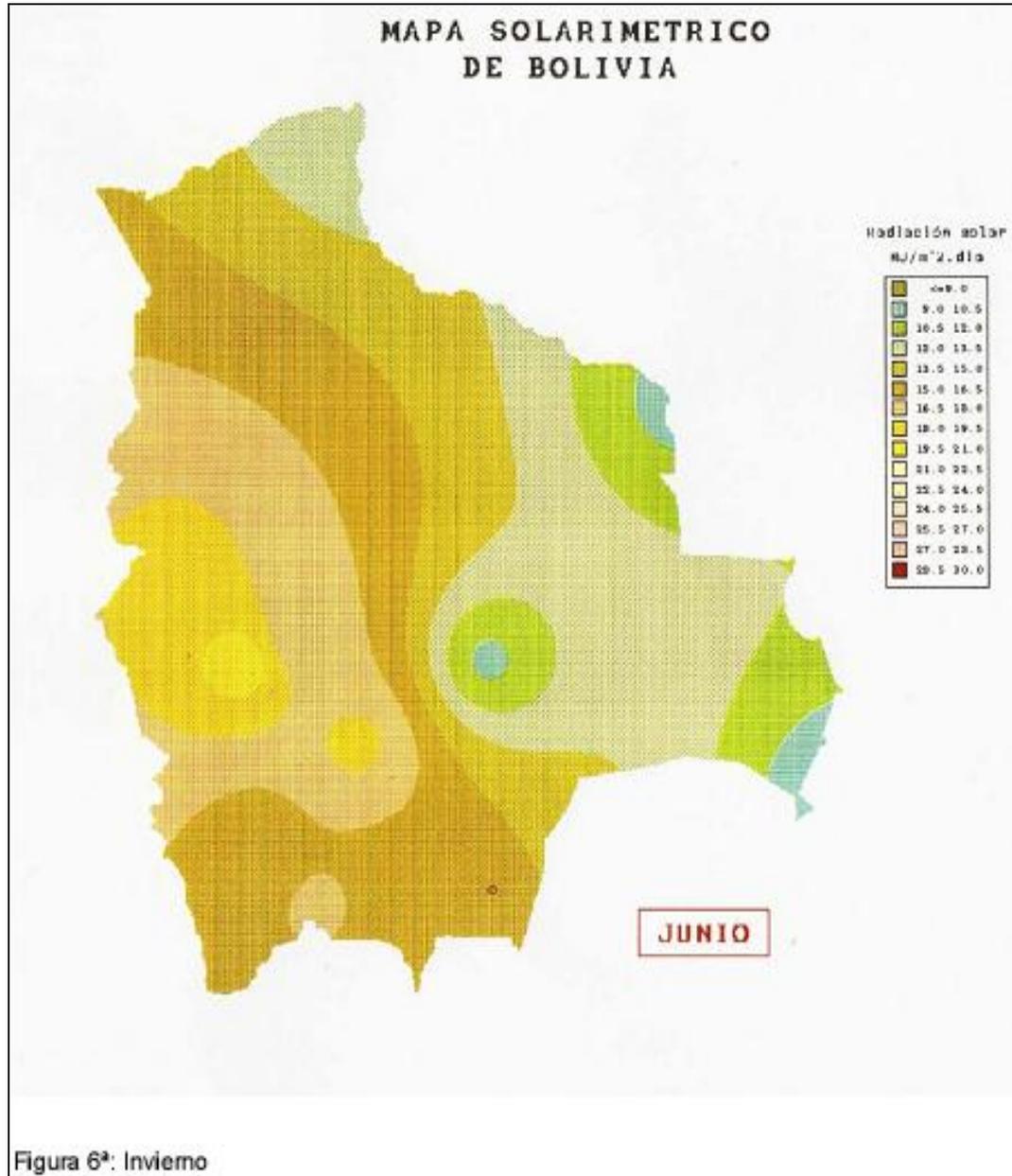


## BIBLIOGRAFIA

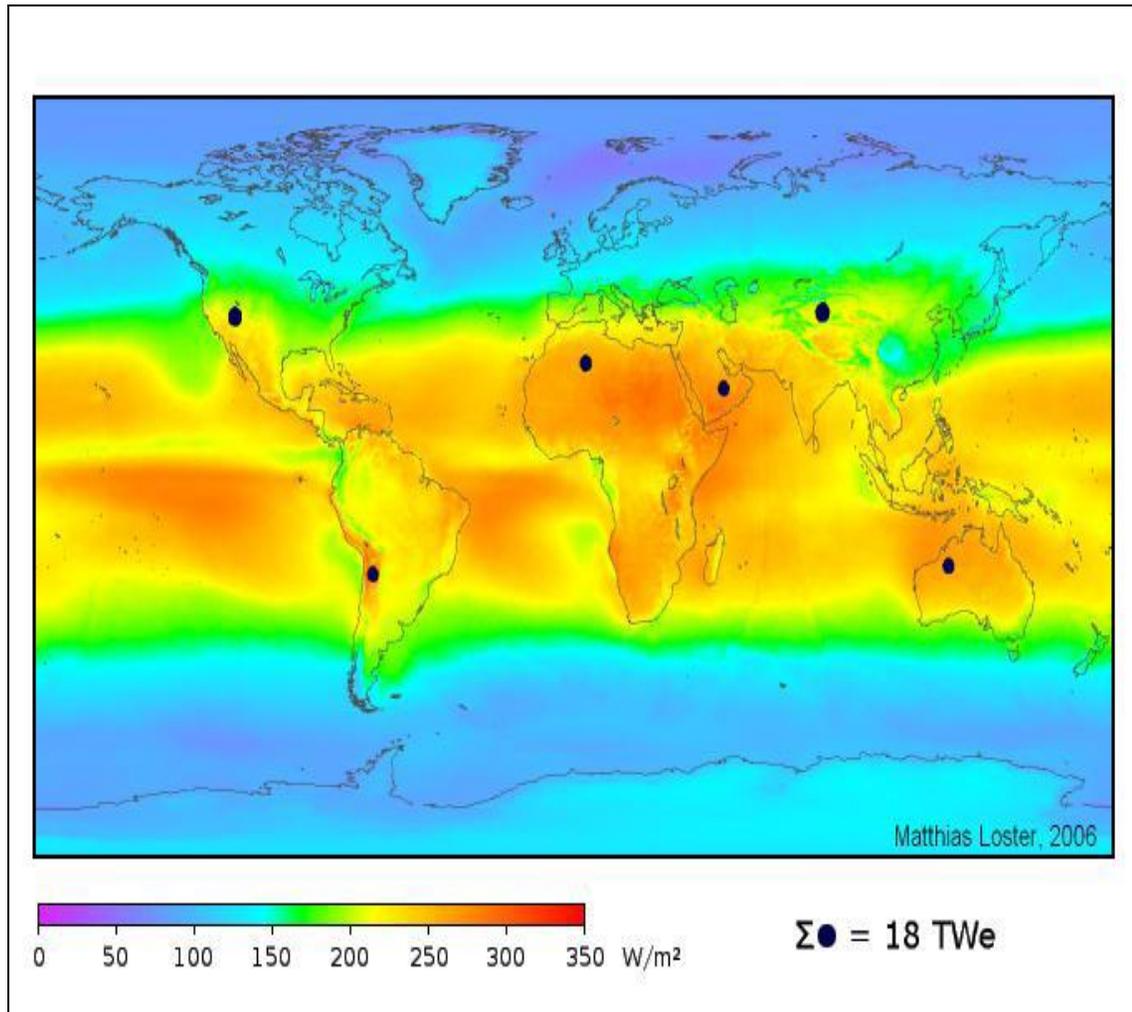
- SILES, Ernesto.** “**Sistemas Fotovoltaicos**”. Cochabamba, Bolivia, 1998.
- HENRIQUEZ PEREZ, Bruno,** “**Fotovoltaica**”. Canada 2007
- CABRERA, Daniel,** “**Sistemas Solares para el calentamiento de agua**”. Cochabamba, Bolivia. 1196
- LORENZO, Eduardo** “**Electricidad Solar**”. Madrid, España 1994.
- MAYER FALK., Reinhard.** “**Tecnologías de Energía Solar en Bolivia**”. La Paz, Bolivia, 2011.
- MAYER FALK., Reinhard.** “**Desarrollo Urbanoy Energía Solar en la ciudad de Friburgo, Alemania**”. La Paz, Bolivia, 2007.
- MAYER FALK., Reinhard.** “**Sistemas Fotovoltaicos**”. La Paz, Bolivia, 2012.
- MAYER FALK., Reinhard.** “**Tecnologías de Energía Solar en Bolivia, Aplicaciones para el Sector Turístico**”. La Paz, Bolivia, 2012.
- MAYER FALK., Reinhard.** “**Sistemas Fotovoltaicos**”. La Paz, Bolivia, 2010.
- MAYER FALK., Reinhard.** “**Sol yTierra Recursos en Energía Solar**”. La Paz, Bolivia, 2011.

## ANEXOS

### Recursos de energía solar en Bolivia 2007

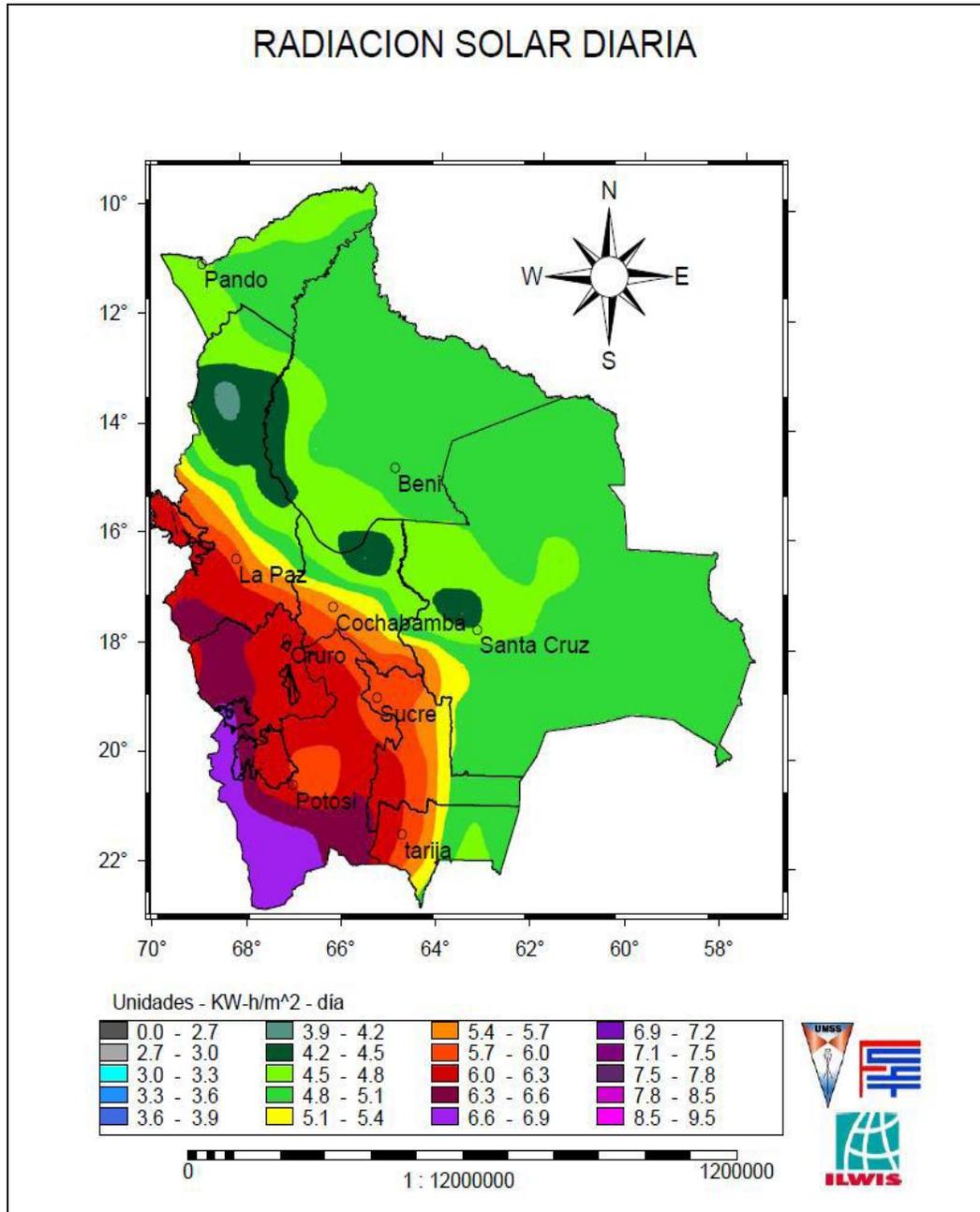


## Distribución de la Radiación Solar sobre la Tierra

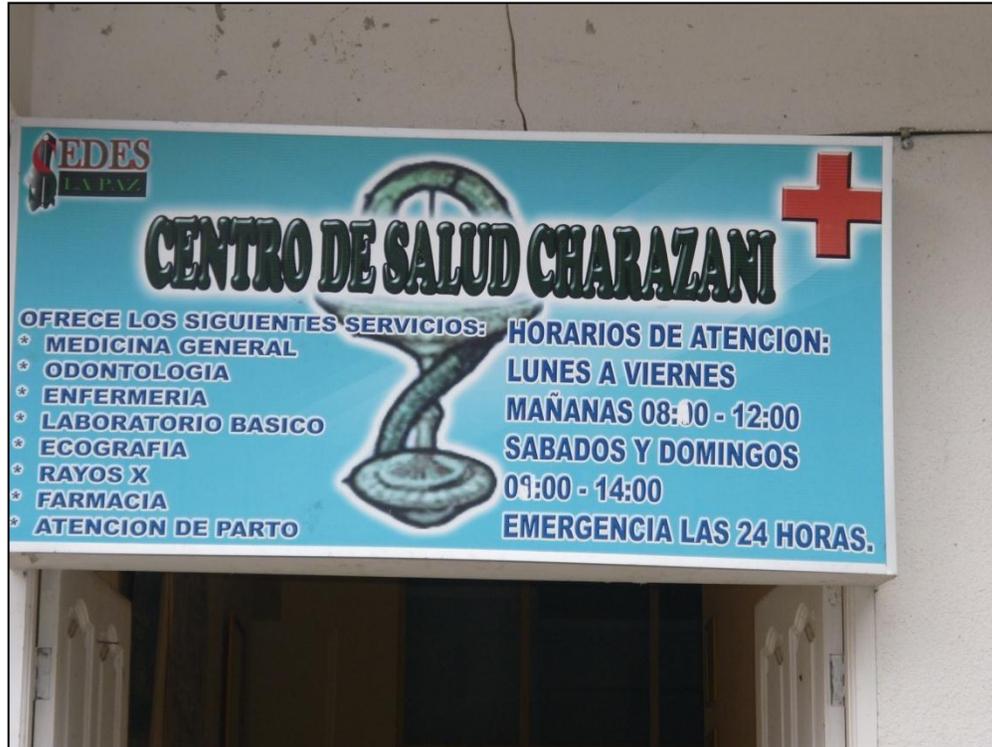


Los colores indican la radiación solar promedio entre 1991 y1993 (tres años, calculada sobre la base de 24 horas por día y considerando la nubosidad observada mediante satélites).

## Recursos de Energía Solar en Bolivia Promedio Anual UMSS 2010



### Foto servicios que brinda el Centro de Salud Charazani



### Foto: doctor de turno, enfermera del Centro de Salud Charazani



**Foto: medico de turno, autor del proyecto**



**Foto: Centro de Salud Charazani, autor del proyecto**



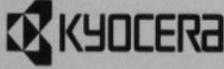
**Foto: Centro de Salud Charazani**



**Foto: Población de Charazani**



## Especificaciones del panel KYOCERA

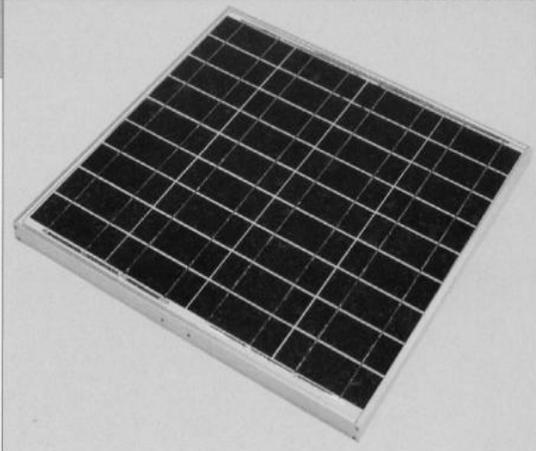


**MODEL KC50**

### KC50

**HIGH EFFICIENCY  
MULTICRYSTAL  
PHOTOVOLTAIC  
MODULE**

TYPICAL OUTPUT 50 Wp



### HIGHLIGHTS OF KYOCERA PHOTOVOLTAIC MODULES

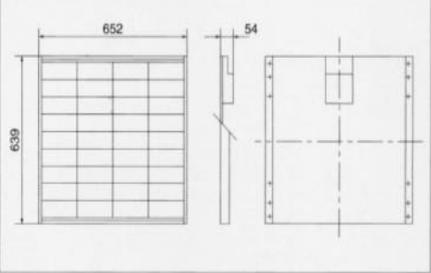
Kyocera's advanced cell processing technology and automated production facilities have produced a highly efficient multicrystal photovoltaic modules.  
 The conversion efficiency of the Kyocera solar cell is over 14%.  
 These cells are encapsulated between a tempered glass cover and an EVA pottant with PVF back sheet to provide maximum protection from the severest environmental conditions.  
 The entire laminate is installed in an anodized aluminum frame to provide structural strength and ease of installation.

### APPLICATIONS

- Microwave/Radio repeater stations
- Electrification of villages in remote areas
- Medical facilities in rural areas
- Power source for summer vacation homes
- Emergency communication systems
- Water quality and environmental data monitoring systems
- Navigation lighthouses, and ocean buoys

- Pumping systems for irrigation, rural water supplies and livestock watering
- Aviation obstruction lights
- Cathodic protection systems
- Desalination systems
- Recreational vehicles
- Railroad signals
- Sailboat charging systems

### SPECIFICATIONS

■ Electrical Specifications		■ Physical Specifications <span style="float: right;">(Unit: mm)</span>	
MODEL	KC50		
Maximum Power	50 Watts		
Maximum Power Voltage	16.7 Volts		
Maximum Power Current	3.00 Amps		
Open Circuit Voltage	21.5 Volts		
Short-Circuit Current	3.10 Amps		
Length	639mm (25.2in.)		
Width	652mm (25.7in.)		
Depth	54mm (2.1in.)		
Weight	5.0kg (11.0lbs.)		

Note: The electrical specifications are under test conditions of Irradiance of 1kW/m<sup>2</sup>, Spectrum of 1.5 air mass and cell temperature of 25°C  
 Kyocera reserves the right to modify these specifications without notice.

## Imágenes de lámparas LED

