



**UNIVERSIDAD NACIONAL
“PEDRO RUIZ GALLO”**

**FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
ELECTRÓNICA**



TESIS

**“DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA SATISFACER LA DEMANDA
DE ENERGÍA DE LOS LABORATORIOS DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN LA
UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
ELECTRÓNICA**

PRESENTADA POR:

BACH. Bravo Damián Víctor Yampier

BACH. Gamarra Vílchez Dany Javier

ASESOR:

ING. Oscar Uchelly Romero Cortez

LAMBAYEQUE – PERÚ

Tesis profesional sustentada por

Bach. Bravo Damián Víctor Yampier

Bach. Gamarra Vílchez Dany Javier

Como requisito para obtener el título de

Ingeniero Electrónico

Aceptada por la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica

Ing. Manuel Ramírez Castro
Presidente

Ing. Francisco Segura Altamirano
Secretario

Ing. Carlos Oblitas Vera
Vocal

Ing. Oscar Romero Cortez
Asesor

Agosto del 2016

DEDICATORIA

Ésta Tesis se la dedicamos primeramente a Dios porque siempre ha estado guiándonos para seguir adelante y sabiendo que con su ayuda todo es posible.

A nuestros padres porque han sido nuestro apoyo incondicional en todos los ámbitos de nuestra vida para lograr la superación.

INDICE

1. Aspectos de la Investigación	1
1.1. Datos Informativos	1
1.1.1. Título	1
1.1.2. Personal Investigador	1
1.1.3. Centro de investigación	1
1.1.4. Área de Investigación.....	1
1.1.5. Lugar de Ejecución	1
1.1.6. Beneficiarios de la investigación	1
1.2. Marco Lógico	2
1.2.1. Situación Problemática	2
1.2.2. Antecedentes.....	3
1.2.3. Formulación del Problema Científico	4
1.2.4. Hipótesis	4
1.2.5. Objetivos.....	5
1.2.6. Justificación e Importancia	5
2. Marco Teórico	6
2.1. La Energía	6
2.1.1. Las Energías no renovables	7
2.1.2. La Energía Renovable.....	10
3. Metodología	77
3.1. Medición de radicación	77
3.2. Medición de a Carga Conectada	81
3.3.Área de Instalación	82
3.4. Dimensión de los Componentes	82
3.4.1. Voltaje de Instalación:	82
3.4.2. Celda Fotovoltaica	83

3.4.3. Regulador de Carga:	85
3.4.4. Baterías:	86
3.4.5. Inversor:	86
3.4.6. Topología:	88
4. Diseño del Sistema Fotovoltaico para los Laboratorios de Electrónica de la UNPRG.....	88
4.1. Estimación del nivel de radiación solar	88
4.2. Estimación de la carga conectada	91
4.3. Área a utilizar	93
4.4. Dimensión de los Componentes.....	94
4.4.1. Voltaje de Instalación	94
4.4.2. Paneles solares.....	94
4.4.3. Regulador de Carga	97
4.4.4. Baterías	97
4.4.5. Inversor:	98
4.4.6. Topología:	99
4.5. Elección de Equipos:	100
5. Presupuesto	101
5.2. Calculo del presupuesto	101
6. Conclusiones	102
7. Bibliografía.....	102

INTRODUCCIÓN

La energía solar fotovoltaica es una fuente de energía que produce electricidad de origen renovable, obtenida directamente a partir de la radiación solar mediante un dispositivo semiconductor denominado célula fotovoltaica, o bien mediante una deposición de metales sobre un sustrato denominada célula solar de película fina.

Este tipo de energía se usa para alimentar innumerables aplicaciones y aparatos autónomos, para abastecer refugios o viviendas aisladas de la red eléctrica y para producir electricidad a gran escala a través de redes de distribución. Debido a la creciente demanda de energías renovables, la fabricación de células solares e instalaciones fotovoltaicas ha avanzado considerablemente en los últimos años.

Esta Tesis muestra el estudio y dimensionamiento de un sistema fotovoltaico para alimentar con electricidad el Laboratorio de Ingeniería Electrónica, que contribuirá en el ahorro en el consumo eléctrico.

Esta investigación está organizada en cuatro capítulos. El primer capítulo aborda la descripción del problema, justificación del problema y los objetivos planteados para la investigación.

El capítulo segundo se dedica al marco teórico a la describir en los tipos de energías renovables, así como las partes y principio de funcionamiento de un sistema de generación fotovoltaica.

En el capítulo tercero se describe la metodología a utilizar en el diseño del sistema fotovoltaico.

En el capítulo cuarto se aborda la ingeniería del proyecto siguiendo la metodología propuesta empezando por el cálculo del consumo de todo el edificio en luminarias y equipamiento, luego realizamos los cálculos matemáticos para el dimensionamiento del sistema para luego seleccionar los dispositivos componentes del sistema fotovoltaico a emplear.

Por ultimo en el capítulo cinco calculamos los costos de los equipos basados en catálogos actualizados de empresas del rubro armando nuestro presupuesto para la implementación del sistema.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación titulado “Diseño de un Sistema Fotovoltaico para satisfacer la demanda de energía de los laboratorios de Ingeniería Electrónica en la Universidad Nacional Pedro Ruiz” Ha sido elaborado como objetivo de estudio por su importancia que tiene la utilización de las energías renovables y por el ahorro en costos de energía que significaría su implementación.

El diseño del sistema fotovoltaico fue realizado siguiendo la metodología propuesta en el capítulo tres empezando con la medición de la radiación solar utilizando el software METEONORM Versión 7.0 (demo) obteniendo como resultados un promedio anual de irradiación de 5.1 Kw/m² por día. Luego se estima la carga conectada utilizando una pinza amperimétrica y las hojas de datos de los equipos del laboratorio.

A continuación identificamos el área de instalación de los paneles solares en el techo del laboratorio para luego realizar los cálculos matemáticos para determinar el Voltaje de instalación, el tipo y número de paneles solares a utilizar, la configuración de los reguladores de carga, el tipo y número de baterías, las características del inversor y por último la disposición topológica del sistema.

Para finalizar realizamos la selección de los equipos y componentes del sistema utilizando catálogos de las empresas especializadas en el rubro, para luego determinar el costo total del sistema a implementar.

ABSTRACT

This research paper entitled "Design of a photovoltaic system to meet energy demand Labs Electronic Engineering at the National Pedro Ruiz University" has been developed as an objective study by the importance of the use of renewable energies and by savings in energy costs would mean its implementation.

PV system design was carried out following the methodology proposed in chapter three starting with the measurement of solar radiation using METEONORM Version 7.0 software (demo) obtaining as a result an annual average irradiation of 5.1 kW / m² per day. the connected load is then estimated using a clamp meter and data sheets laboratory equipment.

Then we identify the area of installation of solar panels on the roof of the laboratory and then perform mathematical calculations to determine the voltage installation, the type and number of solar to use panels, setting charge controllers, type and number of batteries, the characteristics of the investor and finally the topological arrangement of the system.

Finally, we make the selection of equipment and system components using catalogs of companies specializing in the field, and then determine the total cost of the system to implement.

1. Aspectos de la Investigación

1.1. Datos Informativos

1.1.1. Título

Diseño de un Sistema Fotovoltaico para satisfacer la demanda de energía de los laboratorios de Ingeniería Electrónica en la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

1.1.2. Personal Investigador

Bach. Víctor Yampier Bravo Damián
Bach. Dany Javier Gamarra Vílchez

1.1.3. Centro de investigación

Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica.

1.1.4. Área de Investigación

Energías Renovables

1.1.5. Lugar de Ejecución

Laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

1.1.6. Beneficiarios de la investigación

Estudiantes de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica – FACFyM

1.2. Marco Lógico

1.2.1. Situación Problemática

Para la gran mayoría de las personas, la electricidad es algo que siempre está disponible, se presiona un interruptor y algo se prende, se conecta un artefacto electrodoméstico y éste funciona, sin estar conscientes que detrás de estas simples acciones hay un largo camino, una gran infraestructura que puede ser afectada por factores climáticos, políticos, económicos o sociales.

Cabe destacar que la electricidad debe ser generada, transportada, distribuida, medida y facturada, pero todo este proceso requiere de un sistema eléctrico que debe mantenerse al día, donde se incluye personal especializado y alta tecnología en materiales y equipos.

Todo esto es para reflexionar y pensar en la necesidad de no malgastar este recurso, ni los que la hacen posible. En vista de esto el gobierno y algunas empresas particulares están emprendiendo planes, programas económicos y energéticos, con la finalidad de aumentar las reservas existentes y disminuir el uso desproporcionado que se tiene de la energía eléctrica, como es el caso del presente trabajo que enmarca dentro de sus lineamientos la integración de un sistema fotovoltaico en el Laboratorio de Ingeniería Electrónica el cual por sus características tiene un consumo energético considerable en proporción al consumo total de la Universidad.

1.2.2. Antecedentes

➤ CORNEJO LALUPÚ, HÉCTOR ARMANDO (2013)

SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO DE CONEXIÓN A RED EN EL CENTRO MATERNO INFANTIL DE LA UNIVERSIDAD DE PIURA – PERÚ.

En esta tesis se concluye que para el proceso de dimensionamiento se ha considerado el mes de Junio por ser el mes más desfavorable, en cuanto a energía solar disponible, asegurándonos en el resto del año el funcionamiento total del sistema fotovoltaico con conexión a red, los equipos que forman parte del sistema fotovoltaico con conexión a red, no sólo han sido escogidos con los cálculos realizados para el proyecto, se ha tenido también en cuenta que cumplan con las normativas establecidas para el correcto dimensionamiento. - Los módulos fotovoltaicos cumplen las normativas: IEC 61215 que cubre los parámetros que son responsables del envejecimiento de los mismos como son los rayos UV (ultravioleta), incluida la luz del sol, diferencial ambiental de humedad y temperatura, carga mecánica y los parámetros de la nieve. Cumplen también la normativa IEC 61730 que cubre los parámetros de seguridad del módulo en su construcción, especificando el tipo de uso, pruebas de cualificación y seguridad eléctrica. - El inversor cumple con la normativa IEC 60529 que determina el grado de protección que resguarda los componentes que constituyen el equipo: IP 65; nuestro inversor está totalmente protegido contra el polvo y contra el lanzamiento de agua desde todas direcciones. - El medidor dispensador de electricidad cumple con las normativas EN 50470-1 y EN 50470-3 con las que se garantizan el cumplimiento de ensayos para el correcto funcionamiento y la precisión de la medida de energía. - El carácter modular de la tecnología fotovoltaica permite, al contrario de la mayoría de las fuentes convencionales, un costo unitario y una eficiencia independiente del tamaño de la instalación; por ello los pequeños sistemas presentan un gran interés para la producción de energía descentralizada o independencia del usuario o consumidor.

➤ **JOACHÍN BARRIOS, CARMENCITA DE LOS ANGELES (2008)**

DISEÑO DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTÁICO PARA EL SUMINISTRO DE ENERGÍA LA COMUNIDAD RURAL BUENA VISTA, SAN MARCOS – UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS - GUATEMALA

El presente trabajo tiene la finalidad de dotar al Laboratorio de Instrumentación de un equipo nuevo con el cual los estudiantes puedan realizar sus prácticas de medición, control y monitoreo de la variable Nivel de agua. Dichas acciones se realizan en un tanque principal, siendo el agua llevada desde un tanque reservorio a través de una tubería instalada para el efecto. El equipo permite controlar el nivel de agua en el tanque principal a través de dos actuadores, una bomba que suministra agua desde el tanque reservorio al principal con caudal constante y una servoválvula que está ubicada en la parte inferior del tanque principal, es decir, a la salida para que el agua sea retornada al tanque reservorio, formando así un circuito cerrado de agua.

1.2.3. Formulación del Problema Científico

¿Para qué sirve el Diseño un sistema fotovoltaico en los laboratorios de ingeniería electrónica en la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo?

1.2.4. Hipótesis

El diseño de un Sistema Fotovoltaico servirá para satisfacer la demanda de energía de los laboratorios de Ingeniería Electrónica en la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

1.2.5. Objetivos

1.2.5.1. Objetivo General

Diseñar un Sistema Fotovoltaico para satisfacer la demanda de energía de los laboratorios de Ingeniería Electrónica en la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

1.2.5.2. Objetivo Específico

- Estudiar los sistemas de generación de energía fotovoltaica.
- Determinar la demanda energética total del Laboratorio de Ingeniería Electrónica.
- Determinar los componentes críticos que deben ser alimentados por el sistema.
- Plantear el diseño en base en una metodología del sistema fotovoltaico.
- Seleccionar los equipos y componentes del sistema.
- Realizar el cálculo del ahorro energético del laboratorio.

1.2.6. Justificación e Importancia

Una de las grandes preocupaciones de la administración de la UNPRG son los altos consumos de energía eléctrica registrados, lo cual repercute en un fuerte pago económico a ENSA que impacta directamente al presupuesto; como este tipo de gastos no está subsidiado por el estado, afecta el desarrollo de los programas de carácter académico, institucional y de servicios; y aunque muchas veces se trata de sensibilizar a todos los componentes de la Universidad como Docentes, Administrativos y Alumnos referente a la adopción de una cultura de consumo medido de energía, las características de las actividades que en esa Institución se realizan requiere que se mantengan las luces prendidas la mayor parte del día. En el Laboratorio de Ingeniería Electrónica exclusivamente además de luminarias se necesita que trabajen de manera permanente equipos como Computadoras, Mini plantas de Procesos, Pizarras inteligentes, etc; lo que se traduce en un alto consumo de energía eléctrica ocasionando pérdidas

económicas en los ingresos propios de la Institución y un impacto nocivo al medio ambiente.

En vista de esto el presente trabajo enmarcará dentro de sus lineamientos la integración de un sistema fotovoltaico en el Laboratorio de Ingeniería electrónica con el fin de mitigar los gastos económicos y energéticos de la UNPRG, con la finalidad de aumentar las reservas existentes y disminuir el uso desproporcionado que se tiene de la energía eléctrica, como es el caso.

2. Marco Teórico

2.1. La Energía

Durante casi toda la historia de la humanidad el hombre ha utilizado las energías renovables como fuente de energía; no es hasta después de la revolución industrial cuando se inicia la utilización generalizada de los combustibles fósiles. Este último periodo, de unos 200 años, se ha caracterizado por un consumo creciente e intensivo de energía que prácticamente ha acabado con los combustibles fósiles. Con todo, representa un periodo muy pequeño en el conjunto de la historia de la humanidad, cuyo comienzo se puede cifrar hace unos 200,000 años (si se considera desde el hombre Cromañón).

Hace unos 2000 años el hombre comienza a utilizar fuentes energéticas basadas en las fuerzas de la naturaleza, como es la del agua y, hace unos 1000 años, la del viento. Aparecen así los molinos de agua, primero, y los de viento, después, que se utilizaron en sus orígenes para moler grano.

Hacia finales del siglo xviii se produce un hecho trascendental: la invención de la máquina a vapor, un dispositivo que permitía convertir el calor en fuerza mecánica (se quema el carbón, produciendo se calor, que es utilizado para evaporar agua; el vapor a su vez se utiliza para accionar dispositivos mecánicos). Y con la máquina de vapor llegó la 1era revolución industrial, que tuvo enormes repercusiones en el ámbito social y económico. Estas máquinas de vapor utilizaban carbón como fuente de combustible y representaron el comienzo de la era fósil, generalizando el consumo de los combustibles de origen fósil.

Casi un siglo después de las primeras máquinas de vapor empieza a introducirse una nueva forma de energía: la electricidad. Este hecho abrió a la humanidad nuevos horizontes, ya no era necesario que el lugar del consumo de la energía fuese el mismo en el que se generaba y, además, esta forma de energía se podía transformar fácilmente en luz, calor, en frío, en movimiento, en energía mecánica, etc., pero no es hasta finales del siglo xix cuando empieza a introducirse en la vida cotidiana.

En la segunda mitad del siglo xix aparecen los primeros motores de combustión interna y, con ellos, los automóviles, y en el último tercio de ese siglo se empiezan a emplear como combustible el petróleo y sus derivados. En la primera mitad del siglo xx empieza a utilizarse el gas natural, y a partir de los años 50 se ponen en funcionamiento las primeras centrales nucleares.

Todo este intervalo de tiempo se ha caracterizado por la búsqueda por parte del hombre de nuevos artificios y combustibles que faciliten su trabajo y mejoren su nivel de vida, pero también por un crecimiento del consumo energético, al principio lentamente y en los últimos doscientos años de forma mucho más rápida. Coincidiendo con un aumento del nivel de vida de los denominados países desarrollados. Problemas derivados de este cambio de modelo energético han sido el incremento de la contaminación, el aumento de las desigualdades sociales y el aumento de las diferencias entre los países pobres y ricos.

Las fuentes de energía pueden clasificarse, atendiendo a su disponibilidad, en renovables y no renovables.

2.1.1. Las Energías no renovables

Son aquellas que existen en la naturaleza en una cantidad limitada. No se renuevan a corto plazo y por eso se agotan cuando se utilizan. La demanda mundial de energía en la actualidad se satisface fundamentalmente con este tipo de fuentes energéticas: el carbón, el petróleo, el gas natural y el uranio.

Dependencia Energética en el Perú

La energía ha jugado un papel fundamental en el crecimiento de la economía peruana en los últimos años, siendo que entre el 2006 y el 2012 la producción de energía se ha multiplicado por dos como consecuencia del aumento de la demanda. De hecho, el último informe del Foro Económico Mundial sobre el desarrollo energético ha puesto de relieve que el sistema energético del Perú se encuentra entre los primeros en su relación a su contribución al crecimiento económico del país. Sin embargo, crecimiento económico no es equivalente a desarrollo, cuanto menos a desarrollo sostenible. En este sentido, el modelo energético del Perú es altamente dependiente de recursos fósiles, especialmente petróleo y gas natural (y sus derivados). En 2012, el 64.7% de la producción primaria de energía procedía de gas natural y sus líquidos derivados, y el 14.1% de petróleo crudo. A pesar del potencial hidroeléctrico del país (muchas veces localizado en zonas altamente sensibles), solo el 9.6% provenía de energía hidráulica. El 11.65% restante correspondía a las biomásas de subsistencia (leña, bosta y yareta, bagazo), el carbón mineral y la energía solar, siendo esta completamente marginal.

La matriz de generación de electricidad continuaba en 2012 con predominio de fuentes hidroeléctricas (55.5%), aunque con una sensible disminución respecto al 72% de 2006, fundamentalmente por aumento de la participación del gas natural. La explotación de Camisea ha supuesto en el Perú un cambio radical en su matriz energética.

El inicio de esta explotación en 2004 habría permitido atender el incremento de la demanda y reducir la dependencia del petróleo del que se venía importando más de la mitad como principal fuente de energía en favor del gas natural, que habría sentado las bases de un nuevo modelo energético basado en la explotación de un recurso natural “barato”. El gas ha permitido precios más bajos en la electricidad para la industria y una mayor independencia energética del Perú. Por otro lado, habría llevado a nuevo modelo dependiente del gas, especialmente por parte del sector eléctrico y de transporte urbano. Esta concentración de la dependencia del sistema energético peruano en prácticamente una sola fuente de energía (gas

natural) que además se obtiene de un solo pozo de extracción (Camisea) implica una seria vulnerabilidad energética del sistema.

Por otro lado, Perú cuenta con un gran potencial para la generación de energías renovables no convencionales, especialmente energía solar en la sierra y eólica en el norte. Sin embargo, aun cuando existe desde hace cinco años el programa “Nueva Matriz Energética Sostenible” financiado por Banco Interamericano de Desarrollo y orientado a la diversificación de la matriz energética contando con fuentes renovables, y a pesar del objetivo del Ministerio de Energía y Minas de promover las energías renovables a través de subastas para su generación, al día de hoy la participación de estas en el sistema energético peruano es insignificante.

Así pues, el sistema energético del Perú se caracteriza por una alta y peligrosa dependencia de los hidrocarburos (petróleo y gas), una clara disminución de la participación de energética hidroeléctrica, y la prácticamente total ausencia de fuentes de energías renovables no convencionales, también con un gran potencial que aún no se ha sabido explotar.

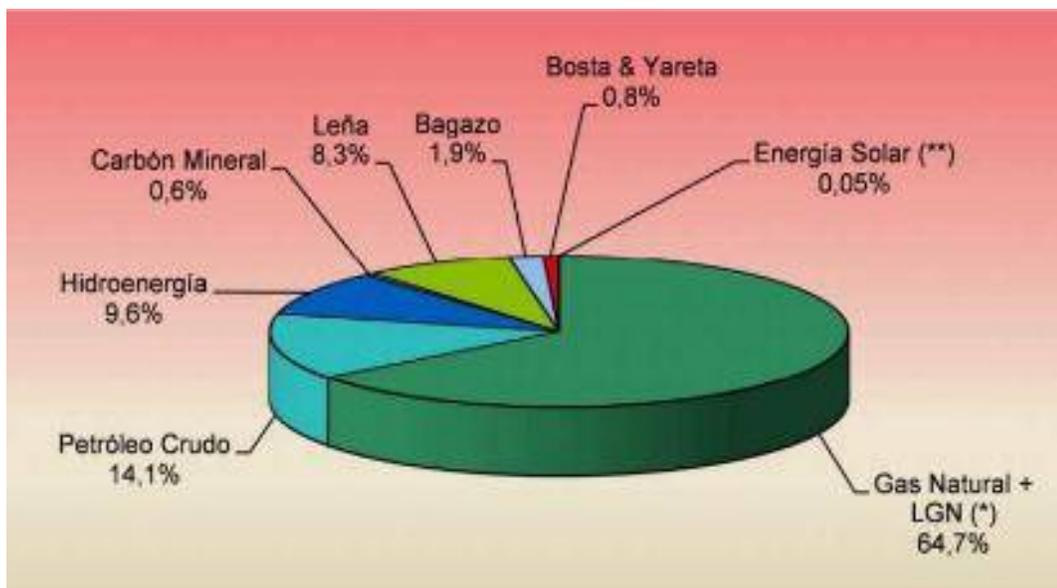


Figura1. Fuente: Ministerio de Energía y Minas (MEM)

2.1.2. La Energía Renovable

Las energías renovables son aquellas que se producen de forma continua y son inagotables a escala humana; se renuevan continuamente, a diferencia de los combustibles fósiles, de los que existen unas determinadas cantidades o reservas, agotables en un plazo más o menos determinado.

Son aquellas cuyo potencial es inagotable, ya que provienen de la energía que llega a nuestro planeta de forma continua, como consecuencia de la radiación solar o de la atracción gravitatoria de la luna. Son fundamentalmente la energía hidráulica, solar, eólica, biomasa, geotérmica y las marinas.

Las principales formas de energías renovables que existen son: la biomasa, hidráulica, eólica, solar, geotérmica y las energías marinas.

Las energías renovables provienen, de forma directa o indirecta, de la energía del Sol; constituyen una excepción la energía geotérmica y de las mareas.

Su lento desarrollo se debe principalmente a la estacionalidad de su utilización y al alto grado de estudios requeridos, tanto para implementarlas como para almacenarlas, lo que se traduce en la práctica que satisfagan un porcentaje bajo (alrededor del 10%) de los requerimientos energéticos mundiales.

Dependiendo de su forma de aprovechamiento, las energías renovables pueden generar impactos ambientales significativamente inferiores que las fuentes convencionales de energía. Además, pueden contribuir a los objetivos de seguridad de suministro y sostenibilidad ambiental de las políticas energéticas. La magnitud de dicha contribución y la viabilidad económica de su implantación, dependen de elementos particulares en cada país, tales como el potencial explotable de los recursos renovables, su localización geográfica y las características de los mercados energéticos en los cuales competirán.

En la actualidad, la contribución de las energías renovables (con respecto al consumo total de energía primaria) a nivel mundial ronda el 8% y en Europa

es del 6%; estos porcentajes corresponden casi exclusivamente a energía hidráulica y biomasa.

Existe una creciente concienciación a nivel mundial en lo que se refiere a la problemática energética, debido fundamentalmente a:

- La gran dependencia energética del exterior de los países industrializados.
- El agotamiento y encarecimiento de los recursos energéticos fósiles.
- Los recientes descubrimientos sobre el origen antropogénico (causado por el hombre) del cambio climático.

1. Tipos de Energías Renovables

1.1. Energía Eólica

El aprovechamiento de la energía del viento por el ser humano forma parte de las primeras civilizaciones. La navegación a vela y los molinos para la molienda de grano son algunas aplicaciones pretéritas. En épocas más recientes, fueron útiles para otros fines, como es el caso de Holanda, donde gracias a los molinos de viento se bombeo el agua que permitió ganarle terreno al mar y donde hoy vive una parte importante de la población de ese país.

La energía cinética de viento puede transformarse en energía útil, tanto mecánica como eléctrica. La energía eólica, transformada en energía mecánica ha sido históricamente aprovechada, pero su uso para la generación de energía eléctrica es más reciente. Existen aplicaciones de mayor escala desde mediados de los 70 en respuesta a la crisis del petróleo y a los impactos ambientales derivados del uso de combustibles fósiles.

Desde hace un poco más de un par de décadas se ha utilizado la energía eólica como fuente de generación eléctrica. Primero en Estados Unidos, aprovechando ventajas fiscales (gobierno de Carter), la especial receptividad de California a este tipo de energía y la existencia de vientos regulares, se instalaron numerosos aerogeneradores conectados a las redes eléctricas. Luego siguió la Unión Europea, la cual hoy se alza como

el primer productor de electricidad de origen eólico. Por otro lado, en la India ha habido un fuerte desarrollo en los últimos años.

A nivel mundial, el uso de la energía eólica ha crecido aceleradamente. Este crecimiento parece que no parara, pues estudios indican que hacia el 2020 la energía eólica sumara más de 1.000.000 MW instalados.

El recurso eólico

El viento es un fenómeno que se presenta en casi todas las zonas de la Tierra, pero su intensidad y regularidad es variable. En primer lugar, existe un esquema general de circulación de aire en la superficie terrestre, en que en cada hemisferio aparecen dos franjas de viento frecuentes, una de latitudes bajas, vientos alisios, y otra en latitudes por encima del paralelo 40°, separadas por otras de calma persistentes. La zona ecuatorial es un área de baja circulación horizontal de aire, Por otro lado, los accidentes geográficos condicionan la circulación de vientos regionales o locales.

Como antecedentes, cabe señalar que las costas son áreas que frecuentemente disponen de vientos suaves, brisas marinas y terrestres; los estrechos de comunicación entre dos mares son caminos para vientos fuertes; los valles de los ríos encauzan corrientes de aire paralelas a las aguas; los pasos en algunas zonas montañosas pueden ser puntos de vientos; y que el calentamiento solar diferencial entre llanura y una montaña puede dar lugar a un viento local de efecto ladera.

En el desarrollo actual de la energía eólica y el diseño de aerogeneradores, se consideran áreas de interés aquellas que presentan velocidades medias del viento por encima de los 6m/s, a las que corresponden factores de utilización de la instalación de una 2.000 horas/año equivalentes a plena carga. También existen zonas que llegan a valores de hasta 12 m/s de velocidad media, con más de 4.000 horas/año de utilización equivalente a plena carga. Además, para establecer estas correlaciones y conocer el verdadero potencial energético, es importante la curva de distribución de frecuencias que mide la regularidad de los vientos. Esto conlleva a que se requieran exhaustivas mediciones, por lo menos un año de monitoreo a distintas alturas del suelo (por ejemplo, 40, 50 y 60 metros) como condición previa para el desarrollo de proyectos

destinados a su aprovechamiento. Los monitoreos permiten definir histogramas con las frecuencias de los vientos en una determinada zona,

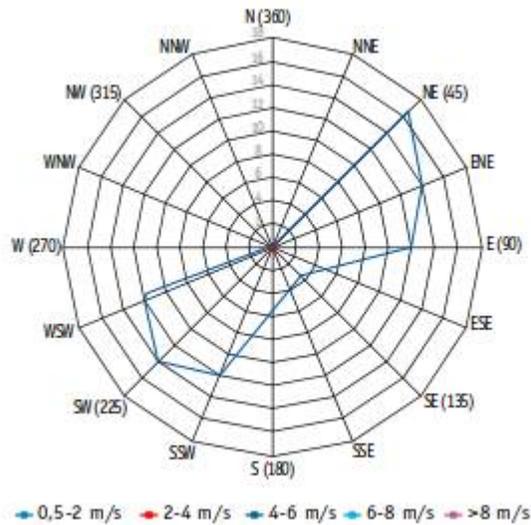


Figura 4: Histograma y Frecuencias

para luego establecer una curva de distribución. Otro aspecto relevante del recurso eólico es el conocimiento del comportamiento direccional del viento, para lo cual se utiliza la rosa de vientos, donde se agrupan los datos medidos por sectores de dirección. El conocimiento del comportamiento direccional del viento es útil especialmente cuando se va a instalar más de un aerogenerador, ya que la estela que provoca un aerogenerador da lugar a una deceleración del flujo de viento que afecta al resto de aerogeneradores que funcionen en la estela del primero.

1.2. Energía Hidráulica

La energía del agua en movimiento, en ríos u otros cauces es muy antigua, se remonta a épocas anteriores a la era cristiana, donde su principal uso era molienda de granos, martillos para trabajos metalúrgicos o transporte de mercancías mediante barcazas. Lo anterior contribuyó al desarrollo económico e industrial de muchos países, desde la Edad Media hasta la Revolución Industrial. La utilización de la energía hidráulica para generación de electricidad se inició hace más de un siglo.

$$\mathbf{Potencia\ Hidr\u00e1ulica = \gamma QHn}$$

γ : *Peso específico del agua* (1000 kg/m^3)

Q : *Caudal de agua* (m^3/s)

H_n : *Altura neta* (m)

En un curso de agua, la energía que esta posee y puede entregar para otros usos, se compone de un salto (energía potencial respecto de un nivel de referencia) y un caudal (energía de movimiento o cinética). De esta forma, se puede expresar la potencia hidráulica como:

A medida que el agua situada en una posición pierde altura, gana velocidad. La disminución de la energía potencial se transforma en energía cinética, salvo las pérdidas debido a los rozamientos en los conductos. El agua, con su potencia hidráulica disponible, pasa por una turbina, la cual la transforma en potencia mecánica y está a través de un generador, es transformada en potencia eléctrica. Desde ahí pasa a los transformadores, para luego iniciar su viaje a los centros de consumo. En cada uno de estos procesos de transformación existen pérdidas, con lo cual está asociado en concepto de rendimiento (de la turbina, del generador, del transformador). Hoy la tecnología permite obtener rendimientos altos del conjunto (superiores al 85%), bastante superiores a los rendimientos de las plantas térmicas, para igual potencia.

En atención a que los saltos disponibles y caudales varían según las condiciones geográficas, existen diferentes tipos de turbinas que se acomodan mejor a unas determinadas combinaciones de altura y caudal, para obtener las mejores eficiencias.

Industrialmente, los tipos de turbinas que se utilizan corresponden a:

- Turbinas Francis: Condiciones medias de altura y caudal.

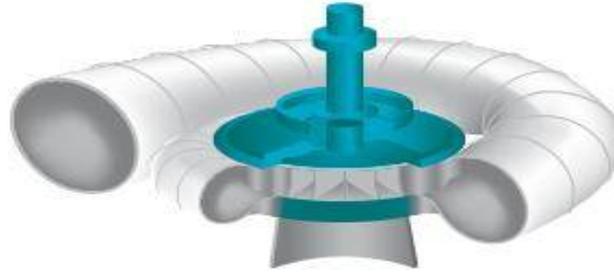


Figura 6: Vista en perspectiva de una turbina Francis
Sección transversal de una turbina

- Turbinas Pelton: Grandes Alturas, pequeños caudales

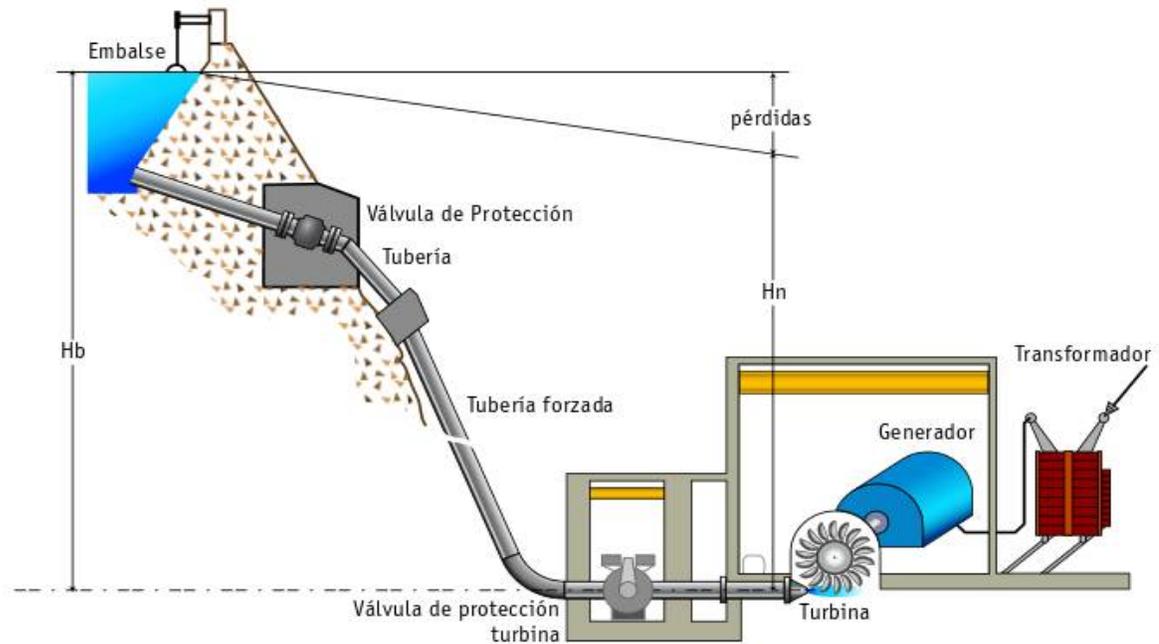


Figura 5: Esquema de una central hidroeléctrica (turbinas tipo Pelton)

- Turbinas Kaplan (Hélice): Pequeñas alturas y grandes caudales.

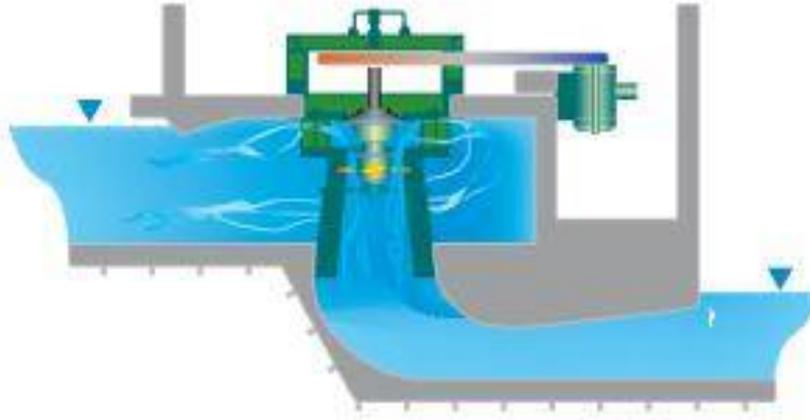


Figura 7: Kaplan de doble regulación

La energía hidráulica es un sistema de generación que puede almacenar energía, como es el caso de las centrales de embalse; sin embargo, para otras condiciones del recurso no es posible almacenar el agua, como es el caso de las centrales de pasada.

1.3. Energía Geotérmica

Los recursos geotérmicos constituyen la energía derivada del calor que se extrae a través de los fluidos geotérmicos que surgen de procesos naturales o artificiales de acumulación y calentamiento del subsuelo. Las áreas con mayores recursos geotérmicos accesibles son aquellas en que el magma está muy cerca de la superficie terrestre, con zonas de corteza terrestre delgada o fracturada (anillo de fuego). En Sudamérica es originado por el choque de la Placa de Nazca con la Placa Sudamericana.

La reserva geotérmica se forma en rocas porosas y permeables ubicadas bajo una capa de roca impermeable que atrapan el agua caliente y vapor de ascenso.



Figura 8: Reserva Geotérmica en el Mundo

Las fuentes geotérmicas, según sus características y magnitud calórica, pueden ser aprovechadas no solo para generar electricidad (alta entalpía), sino que también para usos directos del calor (baja entalpía). Las fuentes termales se aprovechan para fines medicinales y de recreación y como instrumento de cocción durante varios siglos. Hay registros históricos respecto de su uso de más de dos mil años en China y existen ruinas romanas relacionadas con el aprovechamiento termal desde Siria hasta Inglaterra, doscientos años Antes de Cristo.

La primera aplicación termal para calefacción residencial se desarrolló en Francia en el siglo XIV, pero fue en 1904 en Larderello, Italia, que pudo encenderse la primera bombilla, transformando el calor de la tierra en electricidad. Desde esa fecha hasta nuestros días, los avances de la tecnología de los materiales y el mayor conocimiento geo científico han permitido un importante avance en el desarrollo de la geotermia como fuente de electricidad.

La geotermia aprovecha el calor y el agua que se han concentrado en ciertos sitios del subsuelo conocidos como yacimientos geotérmicos. Ellos están asociados a fenómenos volcánicos y sísmicos, cuyo origen

común son los movimientos profundos que ocurren continuamente entre los límites de las placas litosféricas. La energía geotérmica, como su nombre lo indica, es energía calorífica proveniente del núcleo de la Tierra, la cual se desplaza hacia la superficie terrestre a través de las fisuras existentes en las rocas sólidas y semi sólidas del interior de la Tierra.

Un yacimiento geotérmico típico se compone de una fuente de calor, acuífero y la llamada capa sello. La fuente de calor es generalmente una cámara magmática en proceso de enfriamiento. El acuífero es cualquier formación litológica con la permeabilidad suficiente para alojar agua meteórica percolada desde la superficie o desde otros acuíferos. La capa sello es otra formación o parte de ella, con una menor permeabilidad, cuya función es impedir que los fluidos geotérmicos se disipen totalmente en la superficie

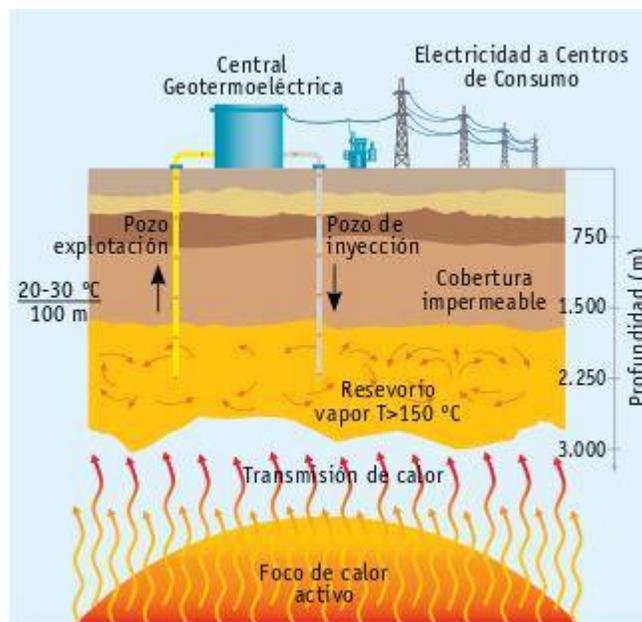


Figura 9: Yacimiento Geotérmico

Con el pasar de los años, la cámara magmática ira transfiriendo su calor a los acuíferos que existían en la zona, elevándoles la temperatura hasta alcanzar 300 °C o 400 °C. Muchas veces aparecen en superficie, aunque no siempre inmediatamente arriba de la fuente de calor, algunas manifestaciones geotérmicas en forma de géiseres, fu-marolas,

manantiales calientes y fuentes termales. Estas son precisamente las evidencias de que existen “filtraciones” de fluidos calientes a través de grietas de las rocas, lo que da lugar a que estos afloren como aguas hirvientes, gases o vapores. La etapa inicial de un desarrollo geotérmico implica una minuciosa explotación para detectar el recurso a través del muestreo y análisis de estos fluidos. Luego se requiere un buen plan de explotación y equipamiento, en forma de extraerlo y producir electricidad, en forma confiable, a precios económicos y sin contaminar.

Etapa de Explotación

Durante la etapa de estudio, para definir las características termodinámicas del reservorio, llamada etapa de explotación, se realiza un estudio regional, un estudio a detalle y la perforación exploratoria. El estudio regional corresponde a una etapa estrictamente superficial, con trabajos relativamente baratos, que solo necesitan contar con los equipos adecuados y busca definir el área del estudio a detalle, acotándolo desde 500 – 1000 km² a 5-50 km². Dependiendo de las condiciones utilizados, el estudio puede durar de 3 a 6 meses.

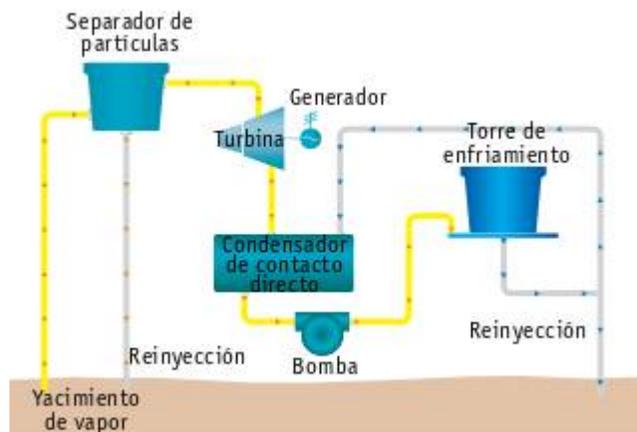


Figura 10: Etapa de Explotación

El estudio a detalle incluye la geología, geofísica y geoquímica del área acotada. Entre otras cosas, los geólogos analizan el tipo y edad de los volcanes y de su lava, los derrames, los contactos y la geoquímica de las

rocas. Los geofísicos buscan zonas de alta conductividad eléctrica en el subsuelo, lo que podría indicar agua caliente con sales disueltas. Entre tanto, los geoquímicos examinan todas las emanaciones superficiales para determinar mediante geotermómetros la temperatura a la que supuestamente se originaron esos fluidos. Dependiendo de las condiciones geográficas y de los recursos utilizados, el estudio a detalle puede durar entre 6 meses y 1 año, aunque en la práctica podría tomar más tiempo.

Con estos estudios, se desarrolla un modelo conceptual donde lo más importante es la concepción tridimensional de la litología y estructuras, como también el comportamiento geo hidrológico del reservorio (temperatura, zonas de “upflow” y de descarga). De este modo, si se llega a determinar que el volumen estimado de agua caliente atrapado en estos acuíferos es suficientemente grande, tiene alta temperatura y buena permeabilidad, entonces se dan las condiciones apropiadas para que exista un reservorio geotérmico, susceptible a ser explotado en forma comercial. Sin embargo, los parámetros de presión, permeabilidad, almacenaje, tipo de reservorio, etc., solo se podrán estimar con mayor grado de certeza con el primer pozo exploratorio, que resulte productor. Para confirmar el modelo conceptual que se tiene del yacimiento, se perforan pozos exploratorios profundos (entre 1.000 m. y 2.500 m.), muy similares a los de producción de petróleo. La técnica de perforación es un tanto particular, ya que en geotermia se tienen altas temperaturas y no se puede usar el mismo instrumental que se utiliza para registros en los pozos petroleros.

1.4. Energía del Mar

La potencialidad de la energía del mar está en su abundancia. Tres cuartas partes de la superficie de la tierra están cubiertas por el mar, por lo tanto, reciben la mayor parte de la energía procedente de la radiación solar. La evaporación de agua que luego precipita y los vientos son una manifestación de esta energía, por lo que es una fuente con muchísimos recursos. Incluso algunos informes expresan que en el mar se hallan los sustitutos de las energías convencionales.

El aprovechamiento de la energía del mar puede ser de tres tipos: energía de las mareas (mareomotriz), energía de las olas y energía térmica oceánica.

La explotación de esta energía es antigua, aunque la producción de electricidad no se encuentra desarrollada, más allá de casos puntuales. En el antiguo Egipto ya se utilizaban molinos que aprovechaban la diferencia entre mareas.

Las principales ventajas de obtener energía eléctrica del mar es su carácter renovable, existe abundancia de agua salada en la tierra y no emite contaminantes o residuos durante la explotación, así como su baja agresividad con el medio natural.

a. Energía de las mareas (mareomotriz)

Las mareas deben entenderse como un fenómeno oceanográfico, resultado de la interacción de la Luna y el Sol sobre la Tierra. También las mareas están influenciadas por la actividad de otros astros y la densidad del agua de agua de mar, entre otros factores, que provocan la variación del nivel de mares y océanos y traen aparejado oleaje.

El comportamiento de las mareas es variado, aunque presenta periodicidad. En la mayoría de las costas se dan dos mareas al día, y en otras aparece solo una al día. En otros sitios se observan las llamadas corrientes u olas de mareas, que son movimientos horizontales del agua que se observan en mares, estuarios y fiordos producidos por la propia marea. Donde se presenta este fenómeno no se advierte pleamar y bajamar, sino flujo y refluo, según si las mareas entran o salen. Cuando aquí se habla de marea, el parámetro predominante que se asocia a la misma es la altura, y cuando se alude al flujo y refluo es el movimiento del mar entrando y saliendo de la costa.

Para generar energía eléctrica a partir de las mareas se requiere construir un dique que almacena agua convirtiendo la energía potencial de esta en electricidad por medio de una turbina, igual que en el caso de las centrales hidráulicas. La energía producida es proporcional a la cantidad del agua desalojada y a la diferencia de altura existente.

Debe tenerse en cuenta que existen dos condiciones físicas indispensables para que se pueda captar la energía de las mareas:

Que la amplitud física de las mareas sea como mínimo de varios metros.

Que la configuración de las costas permita el embalse de una importante cantidad de agua, sin que requieran obras civiles de gran magnitud y costo.

Se consideran pioneros de la explotación moderna de las mareas a los habitantes de Husum, una pequeña isla alemana ubicada en el Mar del Norte. En este lugar, en 1915 se cultivaban ostras en tanques conectados a un canal donde se ubicaba una turbina que producía energía eléctrica para iluminar la instalación a partir del desnivel de las mareas.

La primera gran central mareomotriz para la producción de energía eléctrica comercial se construyó en 1967 en el estuario de Rance, Francia. Es la central mareomotriz más importante del mundo, con una potencia instalada de 240 MW, un caudal de 20.000 , un salto de agua de 8 m, un dique de más de 700 m y una superficie de agua embalsamada de 17 . Se construyeron después tres centrales experimentales, en 1968 en Murmansk, en el mar de Barents, en 1938 en Jiangxi, China, y en 1984 en Anapolis, Canadá.

Las ventajas de esta fuente de energía son claras, ya que es una fuente muy abundante y renovable, las mareas se repiten de forma periódica y fácilmente predecible, se trata de una energía limpia que no genera gases que incrementen el efecto invernadero. Entre los inconvenientes cabe destacar que no es una tecnología desarrollada y que las labores de instalación y mantenimiento son complejas y costosas.

b. Energía de las olas

Las olas se forman por la acción del viento después crecen y se entremezclan en el mar. Se ha calculado que una ola inicial de 150 metros de longitud, tarda 30 horas en ir de las islas Azores a Marruecos. La altura de las olas es variable según los océanos. Las olas más altas

observadas en el Atlántico no rebasan los 20 metros. En el Mediterráneo, no exceden los 8 metros, mientras que en el Océano Antártico se producen olas de hasta 30 metros. Existen además los tsunamis, que son olas de alrededor de 1 m de altura, pero de gran longitud de onda, que llegan a la costa en forma de marejada y provocan destrucciones.

Una de las propiedades características de las olas es su capacidad de desplazarse a grandes distancias, con muy poca pérdida de energía.

Por ello, la energía generada en cualquier parte del océano acaba en el borde continental. De este modo, la energía de las olas se concentra en las costas, que totalizan 336.000 km de longitud. La densidad media de energía es del orden de 8 kW/m de costa. En comparación, las densidades de la energía solar son del orden de 300. Por tanto, la densidad de energía de las olas es, en un orden de magnitud, mayor que la de los procesos que la generan. Las distribuciones geográficas y temporales de los recursos energéticos de las olas están controladas por los sistemas de viento que las generan (tormentas, alisios, monzones).

La densidad de energía disponible varía desde las más altas del mundo, entre 50-60 kW/m en Nueva Zelanda, hasta el valor medio de 8 kW/m.



Figura 11: Mapa mundial de la densidad de las olas

La tecnología de conversión de movimiento oscilatorio de las olas en energía eléctrica se fundamenta en que la ola incidente crea un movimiento relativo entre un absorbente y un punto de reacción que impulsa un fluido a través del generador.

La potencia instalada en operación en el mundo apenas llega a 1MW. La mayor parte de las instalaciones lo son de tierra. Los costos fuera de la costa son considerablemente mayores. En el momento actual, la potencia instalada de los diseños debe considerarse como experimentales. Los diseños pueden ser flotantes o fijos a la plataforma continental.

Los primeros experimentos de explotación de la energía de las olas datan de 1874, en la que se emplea una embarcación dotada de aletas diseñadas por Henning. En Múnaco, en 1929, se presentó el “Rotor de Savonius” donde se aprovechaba la fuerza horizontal de las olas. Actualmente, se puede nombrar el Convertidor de Kvaener de Noruega, basado en la Columna de Agua Oscilante, con una potencia instalada de 500 kW que abastece de energía eléctrica a unas cincuenta viviendas. También, se debe hacer mención de la plata japonesa de Sakata, con una potencia de 60 kW y de la planta india de Wizhinja con una potencia de 150 kW.

En la actualidad, el sistema más maduro es el de Columna de Agua Oscilante; consistente en un tubo hueco que contiene aire que se comprime y expande por efecto de las olas, estas penetran por la parte inferior y desplazan hacia arriba una columna de aire aumentando la presión, una turbina situada en el extremo superior del tubo aprovecha la energía del aire.



Figura 12: Turbina inventada por Zeimor en 1970.

c. Energía térmica oceánica

Se reconoce al francés Jacques D'Arsonval (1881) como el pionero en proponer la explotación de las diferencias de temperatura de los océanos para transformarla en electricidad. Sin embargo, se les atribuye a los científicos Georges Claude y Boucherot la aplicación práctica del trabajo iniciado por D'Arsonval. En 1934 se instaló una unidad de 2 MW en la costa de Brasil, que consistía en una planta flotante a bordo del barco de carga Le Tunisie. La unidad fue empleada para producir hielo.

La conversión de energía térmica oceánica es un método para transformar en energía útil la diferencia de temperatura entre el agua de la superficie y el agua que se encuentra a 100m de profundidad. En las zonas tropicales esta diferencia varía entre 20 y 24 °C. Para el aprovechamiento energético es suficiente una diferencia de 20 °C.

Las ventajas de esta fuente de energía se asocian a que es un salto térmico permanente y favorable desde el punto de vista ambiental. Las posibilidades de esta técnica se han potenciado, debido a la transferencia de tecnología asociada a las explotaciones petrolíferas fuera de costa. El desarrollo tecnológico de instalación de plataformas profundas, la utilización de materiales compuestos y nuevas técnicas de

unión harán posible el diseño de una plataforma, pero el máximo inconveniente es el económico.



Figura 13: Buque Le Tunisie, donde G. Claude (1934) modeló la conversión de la energía termo-oceánica

Existen dos sistemas para el aprovechamiento de esta fuente de energía. El primero consiste en utilizar directamente el agua de mar en un circuito abierto, evaporando el agua a baja presión y así mover una turbina. El segundo, en emplear un circuito cerrado y un fluido de baja temperatura de ebullición (amoníaco, freón, propano) que se evapora en contacto con el agua caliente de la superficie. Este vapor mueve un turbo generador, se condensa con agua fría de las profundidades y el fluido queda dispuesto de nuevo para su evaporación. El inconveniente de este sistema es su bajo rendimiento (menos del 10%). Ello es debido

a la baja temperatura del foco caliente y la poca diferencia de temperatura entre el foco frío y caliente. Además, es preciso realizar un desembolso extra de energía, empleado para el bombeo de agua fría de las profundidades para el condensado de los fluidos.

1.5. Energía de la Biomasa

Por Biomasa se entiende el conjunto de materia orgánica renovable de origen vegetal. Animal o procedente de la transformación natural o artificial de la misma. Puede ser de origen natural (producida en los ecosistemas naturales, como es el caso de la leña), de origen residual (residuos forestales y agrícolas, residuos sólidos urbanos, residuos biodegradables), cultivos energéticos (cultivados especialmente para ser utilizados como biomasa) o excedentes agrícolas.

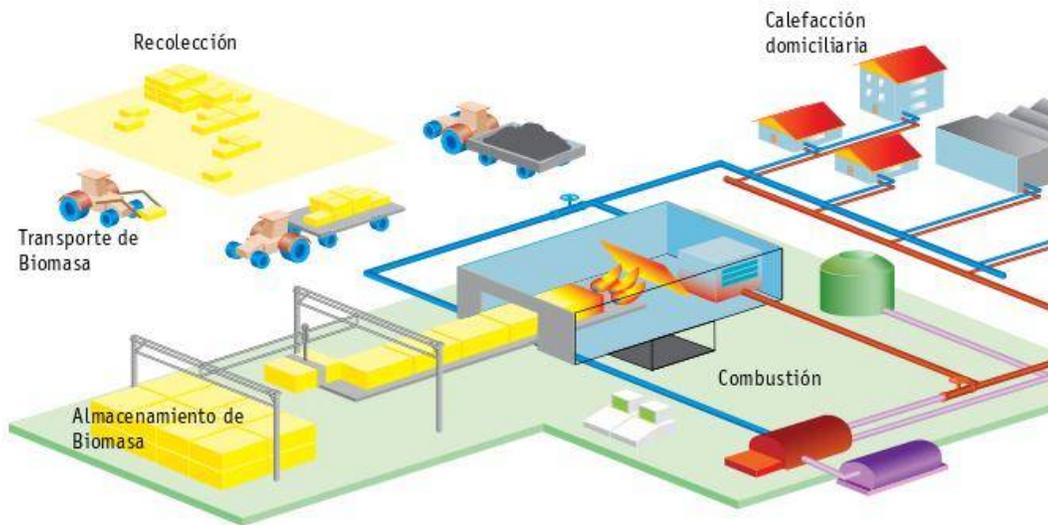


Figura 14: Planta de cogeneración (calor y energía eléctrica)

La producción inicial de biomasa se realiza por medio del proceso de la fotosíntesis, mediante el cual los vegetales son capaces de captar la energía solar y almacenarla en los enlaces de las moléculas orgánicas que forman su biomasa.

La aplicación más común de la biomasa es la combustión directa, aunque existen tecnologías (gasificación, pirolisis, fermentación

alcohólica y digestión anaeróbica) que transforman la biomasa inicial en otros combustibles con características más favorables para su uso.

La biomasa se usa principalmente como combustible en establecimientos industriales (por ejemplo, plantas de cogeneración) o en el sector doméstico para calefacción, cocina y agua caliente. También puede ser utilizada como combustible para los medios de transporte y evitar de este modo el uso de combustibles fósiles. En este caso, se utilizan los denominados biocombustibles (por ejemplo, metanol y etanol), obtenidos después de haber aplicado varios procesos industriales a algunos cultivos energéticos y a los excedentes agrarios. El principal problema de este proceso es que su rendimiento es bajo: de un 30 a un 40% de la energía contenida en el material de origen se pierde en la preparación del alcohol.

Otra posibilidad es usar la biomasa para obtener biogás. Esto se hace en depósitos en los que se acumulan restos orgánicos, residuos de cosechas y otros materiales que pueden descomponerse, en un depósito al que se llama digestor. En ese depósito estos residuos fermentan por la acción de los microorganismos. La mezcla de gases producidos se puede almacenar o transportar para ser usada como combustible.

Es bastante difícil establecer el costo de la biomasa. Por ejemplo, en el caso de combustibles procedentes de biomasa residual, depende mucho del tipo de residuo y de las facilidades para su recogida, almacenamiento y transporte. En el caso de industrias que generan su propio residuo orgánico, comúnmente es rentable su utilización. Para los residuos de cosechas agrícolas o forestales. Existe el problema de la inseguridad de la garantía de suministro y precio de un año a otro, por lo que es difícil que las industrias consumidoras se arriesguen a depender de este tipo de combustibles, a no ser que existan garantías contractuales solventes en cuanto a la seguridad de suministro. Aunque en algunos casos los residuos pueden ser sin costo, la recolección y el transporte, junto con las incertidumbres anotadas anteriormente, dificultan la viabilidad de este tipo de proyectos.

Como aplicación en la generación de electricidad, la energía contenida en la biomasa se puede utilizar para accionar diferentes turbinas de vapor, motores diésel o motores de combustión externa Stirling.

La forma clásica de generación de electricidad con un combustible es la producción de vapor en una caldera y su posterior expansión en la turbina. Es una alternativa bien conocida, de tecnología desarrollada y, además, confiable. Se pueden construir instalaciones de un amplio rango de potencia, desde 1MW hasta niveles superiores a los que se podría obtener con un suministro racional de biomasa. Además, es posible concebir instalaciones de cogeneración de calor y electricidad.

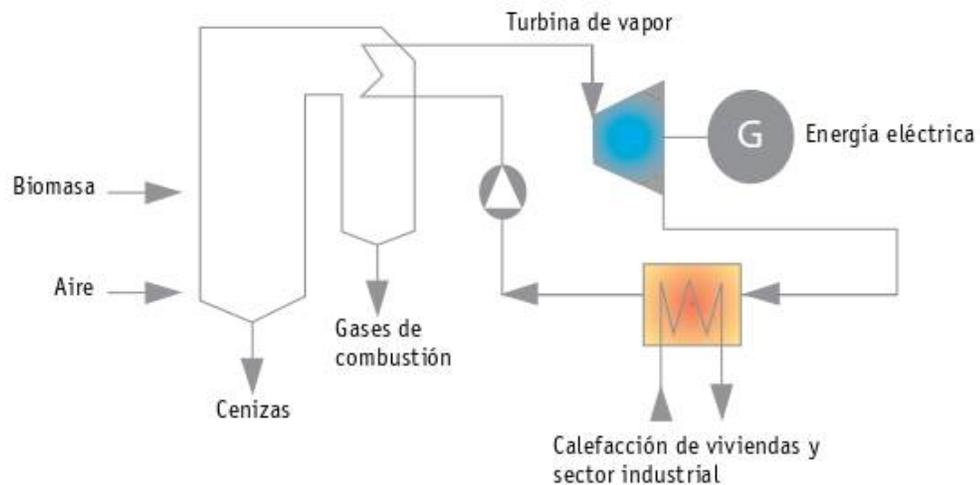


Figura 15: Esquema típico de una instalación de cogeneración de calor y electricidad

Las instalaciones de baja potencia tienen dos inconvenientes. Por un lado, se supone una inversión específica alta y, por otro, un costo específico de personal elevado, en la medida que el número de personas para operar la planta no tiene una relación directa con la potencia. De esta forma, se considera que las instalaciones que queman biomasa en calderas deben ser concebidas con potencias superiores a los 5MW. O mejor, sobre los 10MW, salvo que estén emplazadas en complejos agroindustriales en los que los volúmenes de residuos disponibles solo permiten potencias inferiores y, por otras razones, únicamente se puede seleccionar esta alternativa tecnológica. Por otro lado, generalmente no

se sobrepasan los 40MW, debido al abastecimiento de la biomasa, ya que esta no es factible transportar a largas distancias para no encarecer y no gravar sobre ella un significativo consumo energético producto del transporte.

En los sistemas de generación caldera-turbina de vapor (ciclo Rankine), el rendimiento energético de transformación es bajo, no supera el 30%, debido principalmente a las pérdidas del proceso y los consumos propios de la planta.

Se debe almacenar la biomasa y dejar que se seque, a fin de mejorar su manejo y aumentar el rendimiento de la combustión. De esta forma, si se ha trozado finamente, se facilita el proceso, pero se tiene el riesgo de auto combustión, donde la vigilancia del recinto de almacenamiento debe ser muy cuidadosa. En la actualidad, el manejo de las plantas de generación eléctrica se ha automatizado mucho, por lo que se requiere poca mano de obra.

Se ha avanzado en llevar a cabo un desarrollo comercial de otras alternativas de generación eléctrica que no se presenten los inconvenientes señalados anteriormente. Por un lado, se tiene la gasificación de la biomasa, donde se obtienen combustibles bastantes reactivos y su transformacional a gas es factible, tanto en procesos que utilizan oxígeno como agente gasificante, como en procesos que emplean aire. El gas que se obtiene se puede quemar en turbinas, que se integran con el propio sistema de gasificación en ciclos de diseño específico. Se puede usar en ciclos combinados de turbina de gas y turbina de vapor o también en un motor Diésel. Estas alternativas permiten mejorar la eficiencia del grupo generador, sobrepasando el 30% del rendimiento energético.

1.6. Energía Solar

1.6.1. Energía Solar Térmica

Definiremos la energía solar térmica o energía termosolar como el aprovechamiento de la energía del Sol para generar calor mediante el uso de colectores o paneles solares térmicos. Esta energía solar se encarga de calentar el agua u otro tipo de fluidos a temperaturas que podrán oscilar entre 40º y 50º, no debiendo superar los 80º.

Esta agua caliente se podrá usar posteriormente para cocinar o para la producción de agua caliente destinada al consumo de agua doméstico (ACS), ya sea agua caliente sanitaria, calefacción, o para producción de energía mecánica y a partir de ella, de energía eléctrica. Actualmente también tenemos la posibilidad de alimentar una máquina de refrigeración por absorción, que empleará esta energía solar térmica en lugar de electricidad para producir frío como lo haría un aparato de aire acondicionado tradicional.



Figura 16: Energía Termosolar

Sistema solar térmico para uso doméstico:

- 1) Colector.
- 2) Deposito de almacenamiento.
- 3) Caldera.
- 4) Estación solar.
- 5) Consumo del agua (ducha).

El funcionamiento de la captación de energía solar térmica se basa en lo siguiente: el primer paso es captar los rayos solares mediante colectores o paneles solares, después a través de este panel solar hacemos pasar agua u otro fluido de características similares, de esta manera una parte del calor absorbido por el panel solar es transferido al agua y de esta forma ya puede ser directamente usada o almacenada para que hagamos uso de él cuándo lo necesitemos.

1.6.2. Energía Solar Fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es una fuente de energía que produce electricidad de origen renovable, obtenida directamente a partir de la radiación solar mediante un dispositivo semiconductor denominado célula fotovoltaica, o bien mediante una deposición de metales sobre un sustrato denominada célula solar de película fina.

¿Para qué sirve?

Este tipo de energía se usa para alimentar innumerables aplicaciones y aparatos autónomos, para abastecer refugios o viviendas aisladas de la red eléctrica y para producir electricidad a gran escala a través de redes de distribución.

El sol, de forma directa o indirecta, es el origen de todas las energías renovables, exceptuando la energía mareo motriz y la geotérmica. La energía del Sol se desplaza a través del espacio en forma de radiación electromagnética, llegando una parte de esta energía a la atmósfera. De esta energía que llega a la atmósfera, una parte es absorbida por la atmósfera y por el suelo, y otra parte es reflejada directamente al espacio desde el suelo. Es por esto por lo que menos de la mitad de la

radiación solar llega efectivamente a la superficie terrestre, siendo esta parte la que podemos utilizar con fines energéticos en nuestro planeta.

La radiación solar llega a nuestro planeta de tres formas distintas:

- a. **Radiación directa:** es la radiación que nos llega directamente del sol; sin haber incidido con nada por el camino y, por lo tanto, sin haberse desviado ni cambiado de dirección. Esta radiación es la que produce las sombras. Es el tipo de radiación predominante en un día soleado.
- b. **Radiación Difusa:** es la radiación que nos llega después de haber incidido con cualquier elemento de la atmósfera (polvo, nubes, contaminantes, etc.), por lo que ha cambiado de dirección. Es el tipo de radiación predominante en un día nublado.
- c. **Radiación reflejada o albedo:** es la radiación reflejada por la superficie terrestre; cobra importancia en las zonas con nieve, con agua (como cerca del mar o de una presa) o cualquier otra zona donde la reflexión sea importante.

1) Principio de Funcionamiento:

En un semiconductor expuesto a la luz, un fotón de energía arranca un electrón, creando a la vez un «hueco» en el átomo excitado. Normalmente, el electrón encuentra rápidamente otro hueco para volver a llenarlo, y la energía proporcionada por el fotón, por tanto, se disipa en forma de calor. El principio de una célula fotovoltaica es obligar a los electrones y a los huecos a avanzar hacia el lado opuesto del material en lugar de simplemente recombinarse en él: así, se producirá una diferencia de potencial y por lo tanto tensión entre las dos partes del material, como ocurre en una pila.

Para ello, se crea un campo eléctrico permanente, a través de una unión pn, entre dos capas dopadas respectivamente, p y n. En las células de silicio, que son mayormente utilizadas, se encuentran por tanto:

La capa superior de la celda, que se compone de silicio dopado de tipo n. En esta capa, hay un número de electrones libres mayor que en una capa de silicio puro, de ahí el nombre del dopaje n, negativo. El material permanece eléctricamente neutro, ya que tanto los átomos de silicio como los del material dopante son neutros: pero la red cristalina tiene

globalmente una mayor presencia de electrones que en una red de silicio puro.

La capa inferior de la celda, que se compone de silicio dopado de tipo p. Esta capa tiene por lo tanto una cantidad media de electrones libres menor que una capa de silicio puro. Los electrones están ligados a la red cristalina que, en consecuencia, es eléctricamente neutra pero presenta huecos, positivos (p). La conducción eléctrica está asegurada por estos portadores de carga, que se desplazan por todo el material.

En el momento de la creación de la unión pn, los electrones libres de la capa n entran instantáneamente en la capa p y se recombinan con los huecos en la región p. Existirá así durante toda la vida de la unión, una carga positiva en la región n a lo largo de la unión (porque faltan electrones) y una carga negativa en la región en p a lo largo de la unión (porque los huecos han desaparecido); el conjunto forma la «Zona de Carga de Espacio» (ZCE) y existe un campo eléctrico entre las dos, de n hacia p. Este campo eléctrico hace de la ZCE un diodo, que solo permite el flujo de corriente en una dirección: los electrones pueden moverse de la región p a la n, pero no en la dirección opuesta y por el contrario los huecos no pasan más que de n hacia p.

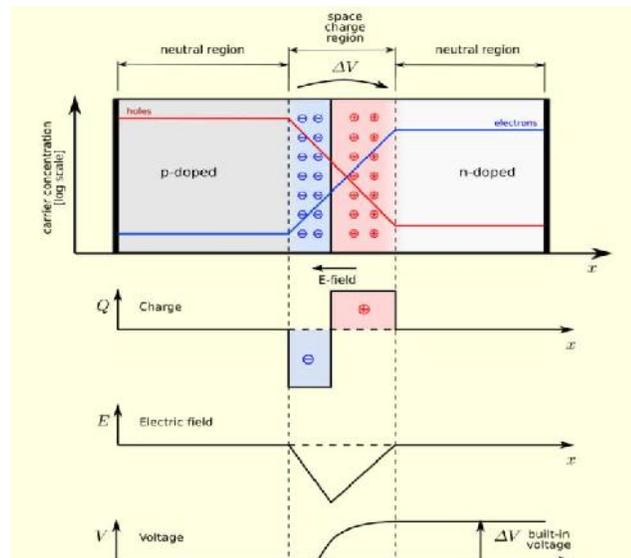


Figura 17: Esquema del campo eléctrico creado en una célula fotovoltaica mediante la unión pn entre dos capas de semiconductores dopados

En funcionamiento, cuando un fotón arranca un electrón a la matriz, creando un electrón libre y un hueco, bajo el efecto de este campo eléctrico cada uno va en dirección opuesta: los electrones se acumulan en la región n (para convertirse en polo negativo), mientras que los huecos se acumulan en la región dopada p (que se convierte en el polo positivo). Este fenómeno es más eficaz en la ZCE, donde casi no hay portadores de carga (electrones o huecos), ya que son anulados, o en la cercanía inmediata a la ZCE: cuando un fotón crea un par electrón-hueco, se separaron y es improbable que encuentren a su opuesto, pero si la creación tiene lugar en un sitio más alejado de la unión, el electrón (convertido en hueco) mantiene una gran oportunidad para recombinarse antes de llegar a la zona n. Pero la ZCE es necesariamente muy delgada, así que no es útil dar un gran espesor a la célula. Efectivamente, el grosor de la capa n es muy pequeño, ya que esta capa sólo se necesita básicamente para crear la ZCE que hace funcionar la célula. En cambio, el grosor de la capa p es mayor: depende de un compromiso entre la necesidad de minimizar las recombinaciones electrón-hueco, y por el contrario permitir la captación del mayor número de fotones posible, para lo que se requiere cierto mínimo espesor.

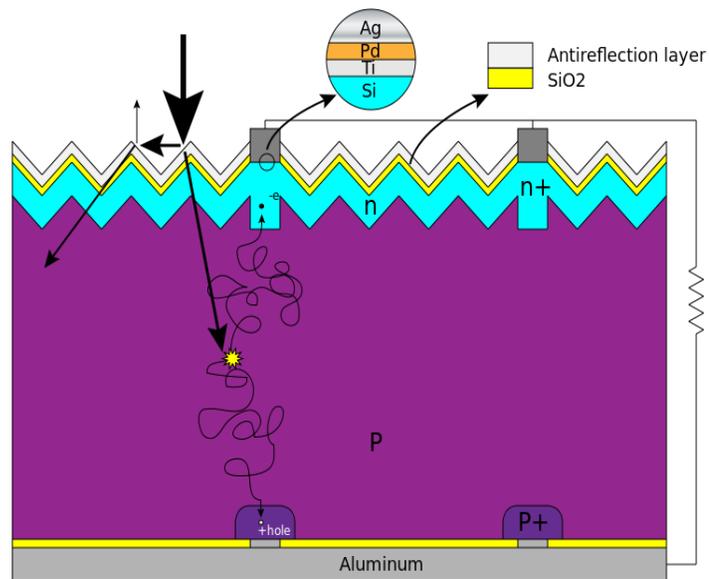


Figura 18: Estructura básica de una célula solar basada en silicio, y su principio de funcionamiento.

En resumen, una célula fotovoltaica es el equivalente de un generador de energía a la que se ha añadido un diodo. Para lograr una célula solar práctica, además es preciso añadir contactos eléctricos (que permitan extraer la energía generada), una capa que proteja la célula pero deje pasar la luz, una capa anti reflectante para garantizar la correcta absorción de los fotones, y otros elementos que aumenten la eficiencia de la misma.

2) Aplicaciones

Al principio, las células fotovoltaicas se emplearon de forma minoritaria para alimentar eléctricamente juguetes y en otros usos menores, dado que el coste de producción de electricidad mediante estas células primitivas era demasiado elevado: en términos relativos, una célula que produjera un vatio de energía mediante luz solar podía costar 250 dólares, en comparación con los 2 o 3 dólares que costaba un vatio procedente de una central termoeléctrica de carbón.

Las células fotovoltaicas fueron rescatadas del olvido gracias a la carrera espacial y a la sugerencia de utilizarlas en uno de los primeros satélites puestos en órbita alrededor de la Tierra. La Unión Soviética lanzó su primer satélite espacial en el año 1957, y Estados Unidos le seguiría un año después. La primera nave espacial que usó paneles solares fue el satélite norteamericano Vanguard 1, lanzado en marzo de 1958(hoy en día el satélite más antiguo aún en órbita). En el diseño de éste se usaron células solares creadas por Peter Iles en un esfuerzo encabezado por la compañía Hoffman Electronics. El sistema fotovoltaico le permitió seguir transmitiendo durante siete años mientras que las baterías químicas se agotaron en sólo 20 días.

En 1959, Estados Unidos lanzó el Explorer 6. Este satélite llevaba instalada una serie de módulos solares, soportados en unas estructuras externas similares a unas alas, formados por 9600 células solares de la empresa Hoffman. Este tipo de dispositivos se convirtió posteriormente en una característica común de muchos satélites. Había cierto escepticismo inicial sobre el funcionamiento del sistema, pero en la

práctica las células solares demostraron ser un gran éxito, y pronto se incorporaron al diseño de nuevos satélites.

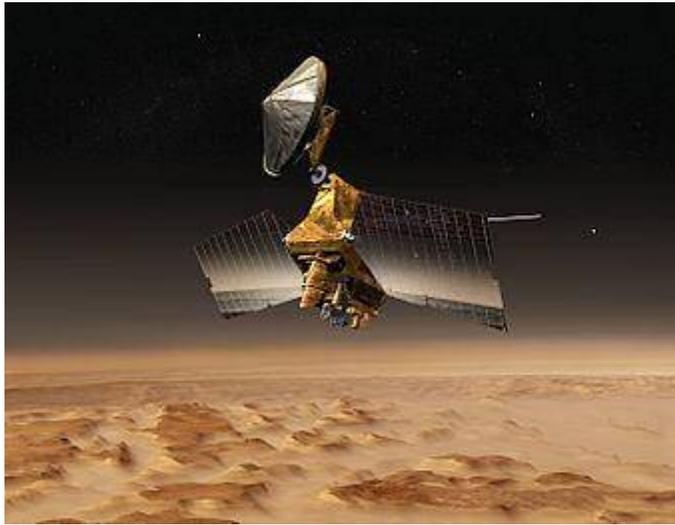


Figura 19: Ilustración de la sonda Mars Reconnaissance Orbiter, equipada con paneles solares, en la órbita de Marte.

Pocos años después, en 1962, el Telstar se convirtió en el primer satélite de comunicaciones equipado con células solares, capaces de proporcionar una potencia de 14 W. Este hito generó un gran interés en la producción y lanzamiento de satélites geoestacionarios para el desarrollo de las comunicaciones, en los que la energía provendría de un dispositivo de captación de la luz solar. Fue un desarrollo crucial que estimuló la investigación por parte de algunos gobiernos y que impulsó la mejora de los paneles fotovoltaicos. Gradualmente, la industria espacial se decantó por el uso de células solares de arseniuro de galio (GaAs), debido a su mayor eficiencia frente a las células de silicio. En 1970 la primera célula solar con heteroestructura de arseniuro de galio y altamente eficiente se desarrolló en la Unión Soviética por Zhorés Alfiórov y su equipo de investigación.

A partir de 1971, las estaciones espaciales soviéticas del programa Salyut fueron los primeros complejos orbitales tripulados en obtener su energía a partir de células solares, acopladas en estructuras a los laterales del módulo orbital, al igual que la estación norteamericana Skylab, pocos años después.

En la década de 1970, tras la primera crisis del petróleo, el Departamento de Energía de los Estados Unidos y la agencia espacial NASA iniciaron el estudio del concepto de energía solar en el espacio, que ambicionaba el abastecimiento energético terrestre mediante satélites espaciales. En 1979 propusieron una flota de satélites en órbita geoestacionaria, cada uno de los cuales mediría 5 x 10 km y produciría entre 5 y 10 GW. La construcción implicaba la creación de una gran factoría espacial donde trabajarían continuamente cientos de astronautas. Este gigantismo era típico de una época en la que se proyectaba la creación de grandes ciudades espaciales. Dejando aparte las dificultades técnicas, la propuesta fue desechada en 1981 por implicar un coste disparatado. A mediados de la década de 1980, con el petróleo de nuevo en precios bajos, el programa fue cancelado.



Figura 20: El telescopio espacial Hubble, equipado con paneles solares, es puesto en órbita desde la bodega del transbordador Discovery en 1990

No obstante, las aplicaciones fotovoltaicas en los satélites espaciales continuaron su desarrollo. La producción de equipos de deposición química de metales por vapores orgánicos o MOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition) no se desarrolló hasta la década de 1980, limitando la capacidad de las compañías en la manufactura de células solares de arseniuro de galio. La primera compañía que manufacturó

paneles solares en cantidades industriales, a partir de uniones simples de GaAs, con una eficiencia del 17% en AMO (Air Mass Zero), fue la norteamericana Applied Solar Energy Corporation (ASEC). Las células de doble unión comenzaron su producción en cantidades industriales por ASEC en 1989, de manera accidental, como consecuencia de un cambio del GaAs sobre los sustratos de GaAs, a GaAs sobre sustratos de germanio.

La tecnología fotovoltaica, si bien no es la única que se utiliza, sigue predominando a principios del siglo XXI en los satélites de órbita terrestre. Por ejemplo, las sondas Magallanes, Mars Global Surveyor y Mars Observer, de la NASA, usaron paneles fotovoltaicos, así como el Telescopio espacial Hubble, en órbita alrededor de la Tierra. La Estación Espacial Internacional, también en órbita terrestre, está dotada de grandes sistemas fotovoltaicos que alimentan todo el complejo espacial, al igual que en su día la estación espacial Mir. Otros vehículos espaciales que utilizan la energía fotovoltaica para abastecerse son la sonda Mars Reconnaissance Orbiter, Spirit y Opportunity, los robots de la NASA en Marte.

3) Sistemas Fotovoltaicos:

La palabra fotovoltaica se compone de dos términos:

Foto = Luz, Voltaica = Electricidad. Es un dispositivo que convierte directamente la luz solar en electricidad.

Los sistemas fotovoltaicos como tales están constituidos de las siguientes partes:

- a. Paneles Fotovoltaicos
- b. Reguladores de Carga
- c. Baterías
- d. Inversores

Ahora hablemos de todos ellos:

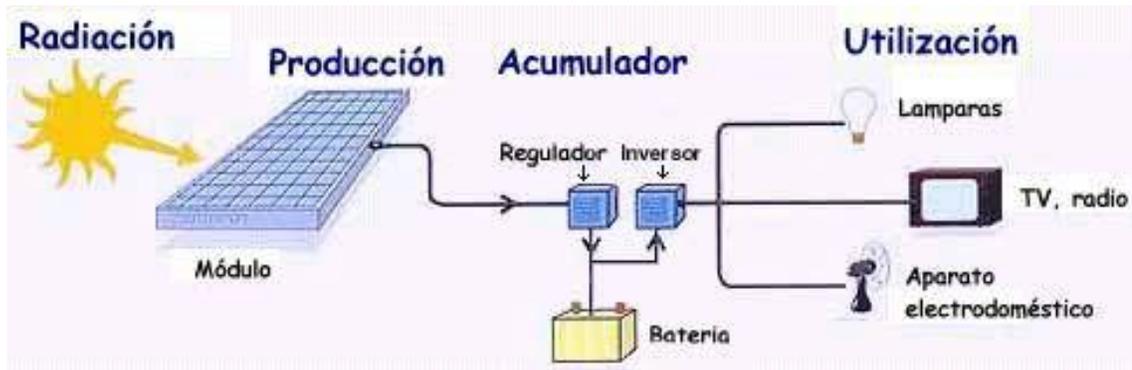


Figura 21: Sistema fotovoltaico y sus partes

a. Paneles Fotovoltaicos:

Los paneles solares fotovoltaicos se componen de celdas que convierten la luz en electricidad. Dichas celdas se aprovechan del efecto fotovoltaico, mediante el cual la energía luminosa produce cargas positivas y negativas en dos semiconductor próximos de distinto tipo, por lo que se produce un campo eléctrico con la capacidad de generar corriente. La respuesta del panel frente a la radiación solar viene determinada por las células que lo forman, por lo que se caracterizará por los mismos parámetros que describen a una célula:

- Corriente de cortocircuito
- Tensión de circuito abierto
- Potencia máxima
- Factor de forma
- Eficiencia total del panel

La curva característica del panel o curva de intensidad-voltaje presenta la misma forma que en el caso de las células y varía poco de unos paneles a otros. El estándar internacionalmente aceptado para medir respuestas de los paneles fotovoltaicos es una intensidad radiante de 1000 W/m^2 , que se conoce como una intensidad de un Sol y una temperatura de la célula de 25 grados Celsius.

Así, la potencia nominal pico de un panel es la proporcionada por el mismo al recibir una irradiación de 1000 W/m^2 cuando la temperatura

es de 25 grados Celsius. No obstante, las condiciones de trabajo respecto a las de referencia vendrán dadas por las variaciones de las células componentes.

Pueden ser de varios tipos, entre ellos, los más utilizados para este tipo de instalación son los paneles con tecnología monocristalino y policristalino.

a.1. Tipos de paneles Solares

- **Monocristalinos:** se componen de secciones de un único cristal de silicio (Si) (reconocibles por su forma circular u octogonal, donde los 4 lados cortos, si se puede apreciar en la imagen, se aprecia que son curvos, debido a que es una célula circular recortada).



Figura 22: Panel Solar Fotovoltaico
Monocristalino

- **Policristalinos:** cuando están formadas por pequeñas partículas cristalizadas. Amorfos: cuando el silicio no se ha cristalizado.



Figura 23: Panel Solar Fotovoltaico
Policristalino

Diferencia entre los Paneles Monocristalinos y Policristalinos:

La diferencia básica entre una célula solar monocristalina y una policristalina es la composición del cristal de silicio. Las células monocristalinas están formadas por un único tipo de cristal de silicio, o sea que cuando se ha fabricado el cristal, se ha controlado el crecimiento del propio cristal de silicio para que solo se formara en una dirección, consiguiendo un alineamiento bastante perfecto de todos los componentes del cristal. En cambio en las células policristalinas, no se controla el crecimiento del cristal de silicio, con lo que el cristal crece en todas direcciones creando un conjunto de cristales diferentes unidos entre sí.

Inicialmente, aunque el sistema de fabricación del cristal monocristalino era un poco más caro que el del cristal policristalino, se utilizaba esta técnica porque así se conseguía obtener más rendimiento de las células, aunque poco a poco estas diferencias tanto de coste económico a la hora de fabricar el cristal, como de mejores rendimientos, han ido disminuyendo frente a los cristales policristalinos.

Para continuar, hay que explicar qué el rendimiento que se especifica en las fichas técnicas de los paneles solares, es un valor obtenido en un laboratorio a 25°C y con una insolación de 1.000W/m², y se puede decir que es como un valor teórico al que en condiciones normales no conseguiremos llegar nunca, y que significa que un rendimiento del 15% supone que un panel solar de un metro cuadrado de superficie, es capaz de conseguir generar 150W de energía eléctrica en las condiciones antes expuestas.

Por otra parte existe lo que se llama el coeficiente térmico, que es un valor con el que se cuantifica lo que le afecta la temperatura al rendimiento de las células solares. Y con este factor también es verdad que el comportamiento o rendimiento de las células monocristalinas, en un principio, se veía un poco más afectado por el incremento de la temperatura en el panel, aunque actualmente hay células monocristalinas que se comportan mejor que las policristalinas frente a aumentos de temperatura. Pero eso sí, una diferencia obvia es que las células monocristalinas suelen ser más oscuras y por tanto

absorben más el calor del sol, por lo que en funcionamiento normal, la temperatura de la célula aumenta un poco más en las monocristalinas, lo que puede afectar a su rendimiento frente a las policristalinas. Aunque en casos donde no hace excesivo calor, como puede ser en la zona norte de España, estas diferencias aún se ven más reducidas, y pueden ser incluso despreciables. Además dependiendo del panel, hay ocasiones en que los paneles monocristalinos responden mejor frente a aumentos de temperatura (tienen unos coeficientes térmicos más pequeños), con lo que aunque los monocristalinos aumenten algo más de temperatura que los policristalinos, no significa siempre que en iguales condiciones atmosféricas, se vean más afectados en rendimiento los monocristalinos que los policristalinos.

Los paneles solares monocristalinos y policristalinos, con uniones en serie de sus células, rondan los 12-18 voltios para uniones de 36 células y los 24-34 voltios para uniones de 72 células. Es importante fijarnos siempre en la curva que proporciona cada fabricante en sus hojas técnicas y en la influencia de la temperatura en la corriente y tensión del módulo. El aumento de temperatura hace aumentar ligeramente la corriente y en mayor medida, disminuir la tensión de salida del módulo.

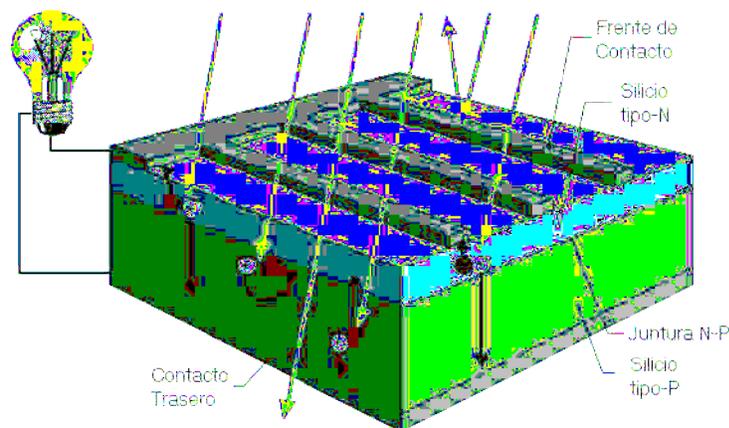


Figura 24: Celdas Fotovoltaicas Estructura.

Las celdas fotovoltaicas (fv) están hechas de materiales especiales llamados semiconductores tales como el silicio, que es el material más usado. Cuando la luz solar choca en la celda una cierta porción de ella es absorbida dentro del material semiconductor. Esto significa que la energía de la luz absorbida es transferida al semiconductor. La energía golpea los electrones libres permitiéndoles fluir libremente.

Todas celdas fv tienen uno o más campos eléctricos que actúan para forzar a los electrones liberados por la acción de la luz para fluir en una cierta dirección. Este flujo de electrones es una corriente y poniendo los contactos de metal en la parte superior e inferior de la celda fv podemos dibujar la corriente para usarla externamente. Esta corriente junto con el voltaje de celda, define la potencia que puede entregar la celda solar.

Cuando al silicio se le hace doping con boro, el cual tiene 3 electrones en la última capa, se denomina silicio tipo-P. El silicio tipo-P, en lugar de tener electrones libres tiene huecos libres. Los huecos son ausencia de electrones, llevando así carga opuesta a la del electrón, es decir carga positiva. Estos se mueven igual como lo hacen los electrones.

Las celdas fv sin un campo eléctrico no funcionarían. Este campo eléctrico lo podemos formar al poner en contacto un silicio tipo-N y un silicio tipo-P. En la juntura se produce una barrera que hace difícil que los electrones del lado N crucen hacia el lado P, tenemos un campo eléctrico que separa los 2 lados. Este campo actúa como un diodo permitiendo con ayuda de la aplicación de energía externa los electrones fluyan desde el lado P al N.

Cuando la luz en forma de fotón choca con nuestra celda, libera pares de electrón-hueco. Cada fotón liberará exactamente un electrón dejando un agujero libre. Si esto sucede lo bastante cerca del campo eléctrico, este hará que se envíe un electrón al lado N y un hueco al lado P. Esto provoca la ruptura de la neutralidad eléctrica. Si además se le proporciona un camino externo, los electrones fluirán hacia su lado original (Lado tipo-P) para unirse con los agujeros.

Los electrones que fluyen constituyen la corriente y el campo eléctrico de la celda constituye el voltaje. Con la corriente y voltaje tenemos la potencia de la celda.

¿Cuánta energía solar absorbe la celda fv?

La mayoría de las celdas pueden absorber alrededor del 25% y con mayor probabilidad 15% o menos. Esto es porque la luz visible es sólo una parte del espectro electromagnético. Y la radiación electromagnética no es monocromática. La luz puede ser separada en diferentes longitudes de onda.

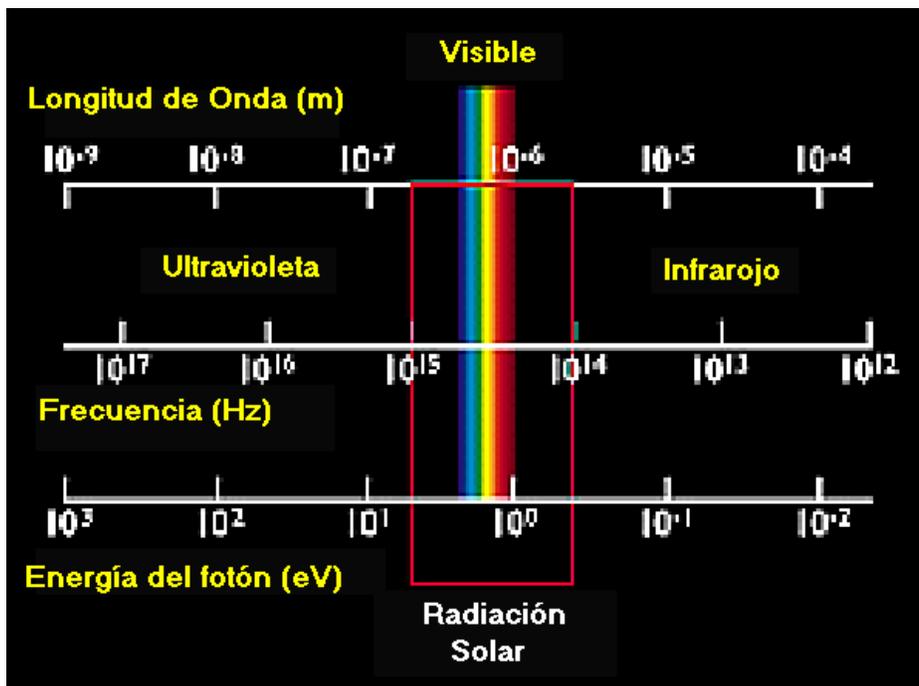


Figura 25: Energía absorbida por la Celda Fotovoltaica

La luz que golpea tiene fotones con una gran variedad de energía, resulta que algunos no tienen la energía suficiente para formar el par electrón hueco. Mientras que otros fotones tienen mucho más energía.

Sólo se requiere una cierta cantidad de energía medida en electrón-volt para golpear un electrón libre (para el caso del silicio cristalino se requiere 1.1 eV). A esto se le llama banda de intervalo de energía de un material. (Band gap energy).

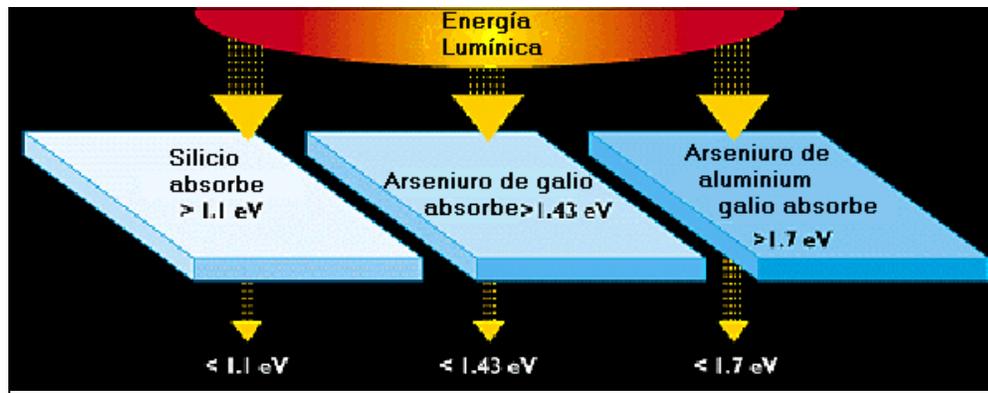


Figura 26: Energía absorbida por los paneles fv en electron voltios (eV)

La banda óptima de intervalo de energía es 1.4 eV para una celda hecha de un material simple.

Existen otras pérdidas, como lo es la resistencia interna de la celda llamada resistencia serie. Para minimizar estas pérdidas la celda es cubierta por un a grilla metálica, sobre la grilla se coloca una cubierta antirreflectiva y sobre esta una cubierta de vidrio como protección. Esto reduce las pérdidas en un 5%.

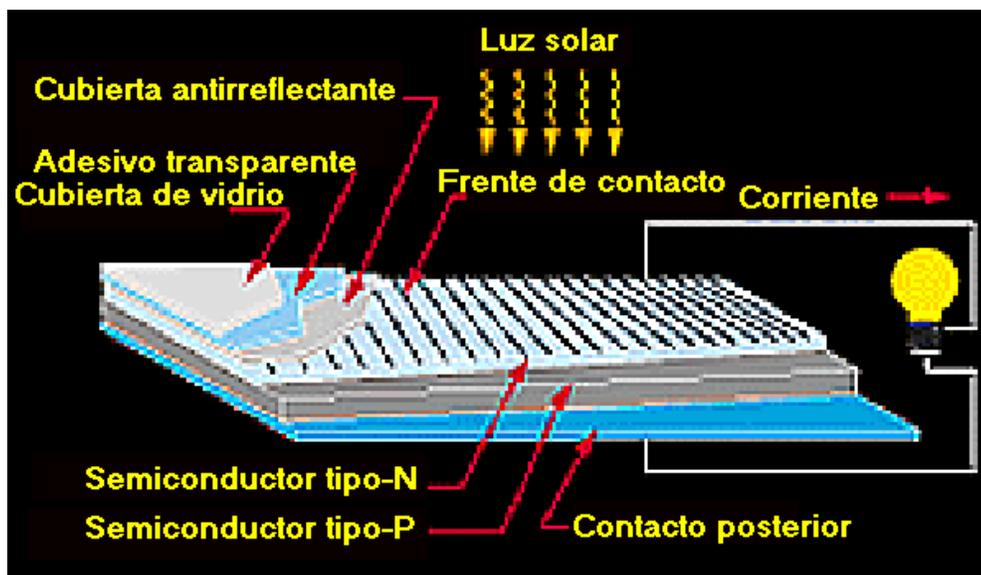


Figura 27: Estructura de un panel Fotovoltaico

Otros Materiales

Existe también el silicio policristalino, pero no es más eficiente que el silicio cristalino.

Estos materiales tienen diferentes intervalos de bandas y parecen estar sintonizados a diferentes longitudes de onda o a fotones con diferentes energías.

Se ha probado que el uso de dos o más capas de diferentes materiales con diferentes intervalos de bandas de energía resulta ser muy eficiente. El material con mayor banda se coloca en la superficie y más abajo los que requieren fotones con menor energía. Estas celdas reciben el nombre de multijunturas, y pueden tener más de un campo eléctrico.

➤ **Materiales densamente cristalinos**

- **Simple silicio cristalino.**-Rebanado desde simple cristal de silicio crecido, estas celdas son tienen un grosor de 200 micrones. La celda investigada ha alcanzado un 24% de eficiencia, los módulos comerciales exceden el 15%.
- **Silicio Policristalino.**-Rebanado de bloques del molde de silicio, estas celdas son menos caras para fabricar y menos eficientes que las celdas de simples de cristal de silicio. Las celdas investigadas alcanzan un 18% de eficiencia y los módulos comerciales alcanzan un 14%.
- **Redes Dendríticas.**-Una película de cristales simples de silicio sacado desde Silicio fundido, como una burbuja de jabón, entre dos cristales dendríticos.

Arseniuro Galio (GaAs)

Un material semiconductor III-V desde los cuales hacen celdas FV de gran eficiencia, son usados en sistemas de concentradores y en sistemas de potencia espacial. Investigaciones dicen que alcanzan 25% de eficiencia bajo luz solar y 28% bajo luz solar

concentrada. Las celdas de multijuntura están basadas en GaAs y relacionadas con aleaciones III-V han excedido el 30% de eficiencia.

➤ **Materiales de película delgada**

✓ **Silicio Amorfo (a-Si)**

El silicio amorfo que es una estructura no cristalina. Primer uso en materiales FV en 1974. En 1996, el silicio amorfo constituyó más del 15% de la producción mundial de FV. Pequeños módulos experimentales de Si-a superan el 10% de eficiencia, en los módulos comerciales se alcanza un rango entre el 5-7%. Usado en productos de consumo, el Si-a es la gran promesa para la construcción de sistemas integrados, reemplazando los vidrios tintados con módulos semi-transparentes.

✓ **Telururo de Cadmio (CdTe)**

Una delgada película de material policristalino, depositado por electrodeposición. Pequeños laboratorios se han acercado al 16% de eficiencia, y con un módulo comercial de tamaño (7200-cm²) midieron 8.34% de eficiencia, y producción de módulos de 7%.

✓ **Diseleniuro de Cobre Indio (CuInSe₂, o CIS)**

Una película de material policristalino, el cual alcanza una eficiencia de 17.7%, en 1996, con un prototipo módulo de potencia alcanza los 10.2%. La dificultad en tomar esta tecnología es la dificultad de evitar la formación de defectos durante la deposición que previene la formación de capas uniformes.

➤ **Concentradores**

El sistema de concentradores usa lentes para focalizar la luz dentro de las celdas solares. Los Lentes, con un radio de concentración de 10x hasta 500x, típicamente focos lineales o puntuales. Las celdas son usualmente de silicio. Las celdas GaAs y otros materiales tienen alta eficiencia conversión a altas temperaturas, pero ellos son muy

caros. La eficiencia de los módulos supera el 17%, y concentradores están diseñados para una eficiencia de conversión que supera el 30%.

Los Reflectores pueden ser usados para aumentar la salida de potencia, aumentando la intensidad de la luz en los módulos, o prolongar su tiempo.

Sistema de Concentradores: Los lentes no pueden centrar la luz dispersada, limitando su uso de áreas, como áreas del desierto, con un número substancial de días despejados en el año.

a.2. Factores de eficiencia de una célula solar

➤ Punto de máxima potencia

Una placa o célula solar puede operar en un amplio rango de voltajes e intensidades de corriente. Esto puede lograrse variando la resistencia de la carga, en el circuito eléctrico, por una parte, y por la otra variando la impedancia de la célula desde el valor cero (valor de cortocircuito) a valores muy altos (circuito abierto) y se puede determinar el punto de potencia máxima teórica, es decir, el punto que maximiza V y tiempo frente a I , o lo que es lo mismo, la carga para la cual la célula puede entregar la máxima potencia eléctrica para un determinado nivel de radiación.

El punto de potencia máxima de un dispositivo fotovoltaico varía con la iluminación incidente. Para sistemas bastante grandes se puede justificar un incremento en el precio con la inclusión de dispositivos que midan la potencia instantánea por medida continua del voltaje y la intensidad de corriente (y de ahí la potencia transferida), y usar esta información para ajustar, de manera dinámica, y en tiempo real, la carga para que se transfiera, siempre, la máxima potencia posible, a pesar de las variaciones de luz, que se produzcan durante el día.

➤ Eficiencia en la conversión de energía

La eficiencia de una célula solar (η , "eta"), es el porcentaje de potencia convertida en energía eléctrica de la luz solar total absorbida por un panel, cuando una célula solar está conectada a un circuito eléctrico. Este término se calcula usando la relación del punto de potencia máxima, P_m , dividido entre la luz que llega a la celda irradiación (E , en W/m^2), bajo condiciones estándar (STC) y el área superficial de la célula solar (A_c en m^2).

$$\eta = \frac{P_m}{E \times A_c}$$

La STC especifica una temperatura de 25 °C y una irradiación de 1000 W/m^2 con una masa de aire espectral de 1,5 (AM 1,5). Esto corresponde a la irradiación y espectro de la luz solar incidente en un día claro sobre una superficie solar inclinada con respecto al sol con un ángulo de 41,81° sobre la horizontal.

Esta condición representa, aproximadamente, la posición del sol de mediodía en los equinoccios de primavera y otoño en los estados continentales de los EEUU con una superficie orientada directamente al sol. De esta manera, bajo estas condiciones una célula solar típica de 100 cm^2 , y de una eficiencia del 12%, aproximadamente, se espera que pueda llegar a producir una potencia de 1,2 vatios.

➤ Factor de llenado

Otro término para definir la eficacia de una célula solar es el factor de llenado o fill factor (FF), que se define como la relación entre el máximo punto de potencia dividido entre el voltaje en circuito abierto (V_{oc}) y la corriente en cortocircuito I_{sc} :

$$FF = \frac{P_m}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{\eta \times A_c \times E}{V_{oc} \times I_{sc}}$$

➤ **TONC**

Temperatura de Operación Nominal de la Célula, definida como la temperatura que alcanzan las células solares cuando se somete al módulo a una irradiación de 800 W/m² con distribución espectral AM 1,5 G, la temperatura ambiente es de 20 °C y la velocidad del viento de 1 m/s.

a.3. Potencia

En un día soleado, el Sol irradia alrededor de 1 kW/m² a la superficie de la Tierra. Considerando que los paneles fotovoltaicos actuales tienen una eficiencia típica entre el 12%-25%, esto supondría una producción aproximada de entre 120-250 W/m² en función de la eficiencia del panel fotovoltaico.

Por otra parte, están produciéndose grandes avances en la tecnología fotovoltaica y ya existen paneles experimentales con rendimientos superiores al 40%.

A latitudes medias y septentrionales, teniendo en cuenta el ciclo diurno y las condiciones atmosféricas, llegan a la superficie terrestre 100 W/ m² de media en invierno y 250 W/ m² en verano. Con una eficiencia de conversión de, aproximadamente, 12%, se puede esperar obtener 12 y 30 vatios por metro cuadrado de celda fotovoltaica en invierno y verano, respectivamente.

b. Reguladores de Carga

El regulador de la carga tiene la misión de regular la corriente que es absorbida por la batería con el fin de que en ningún momento pueda sobrecargarse peligrosamente pero, al mismo tiempo, evitando en lo posible que se deje de aprovechar la energía captada por los paneles. El regulador debe controlar el voltaje, que será una indicación del estado de carga de la batería y si éste llega a un valor previamente establecido, correspondiente a la tensión máxima admisible, actuar de forma que impida que la corriente siga fluyendo hacia la batería.



Figura 28: Tipos de Reguladores

La forma de evitar la sobrecarga es desconectar las baterías de los paneles. Esta desconexión se puede realizar de dos formas, las cuales dan lugar a los reguladores tipo serie y tipo paralelo.

b.1. Tipos de Reguladores

b.1.1. Regulador tipo serie

Los reguladores serie realizan la función de desconectar el panel de las baterías cuando se logre el estado de plena carga. Es equivalente a un conmutador conectado en serie que proporciona una vía de baja resistencia desde el grupo de paneles al sistema de baterías durante la carga y un circuito abierto entre ambos cuando las baterías se encuentran plenamente cargadas.

Como elemento regulador se emplea un dispositivo semiconductor (normalmente transistores de potencia bipolares) capaz de conducir la corriente deseada en la carga, de soportar la diferencia de tensión entre la entrada y la salida y que está provisto de un sistema térmico capaz ceder al ambiente el calor generado por efecto Joule por la pérdida de potencia, sin alcanzar una temperatura peligrosa para la estructura.

Este elemento es gobernado por un circuito de control que, comparando constantemente la tensión de las baterías con una tensión de referencia, entrega al regulador una señal para permitir o impedir el paso de corriente.

En los reguladores en serie, la energía sobrante, disipada intencionadamente en forma de calor, aumenta en proporción directa con la carga a que es sometida la fuente.

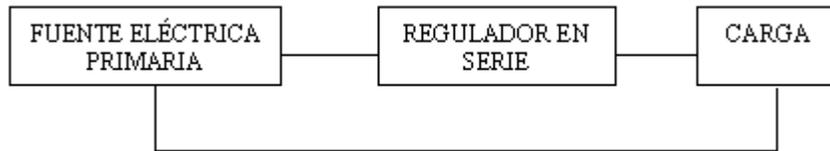


Figura 29: Regulador en Serie

b.1.2. Regulador tipo paralelo

Los reguladores tipo paralelo detectan la tensión en bornes de la batería y cuando el potencial alcanza un valor establecido de antemano crean una vía de baja resistencia para el grupo solar, derivando con ello la corriente y apartándola de las baterías. Un diodo en serie, interpuesto entre el regulador y la batería, impide que la corriente de la batería retorne a través del regulador o del panel solar. Los reguladores tipo paralelo han de disipar toda la corriente de salida del panel cuando el sistema de baterías alcanza el estado de plena carga. Otra característica de los reguladores en paralelo es que impide que las variaciones de la corriente de carga aparezcan en la fuente primaria lo que proporciona una facultad de aislamiento.

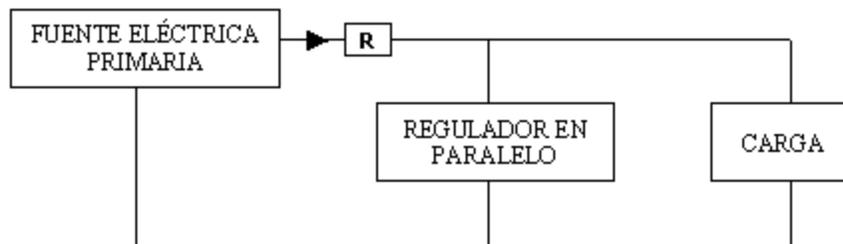


Figura 30: Regulador en Paralelo

En los reguladores en paralelo, la energía disipada en el regulador disminuye cuando aumenta la carga. Además el regulador en paralelo presenta frente al regulador en serie un elemento más que también disipa calor, la resistencia R , por la que circula las corrientes del regulador y de la carga. Esto provoca que para una entrada y salida

determinadas y una carga idéntica, la fuente primaria del regulador en paralelo entrega una potencia constante que, independientemente de que se disipe en el elemento regulador o en la carga, es siempre mayor a la que es entregada a un regulador en serie en las mismas condiciones si se exceptúa el caso de carga máxima con entrada mínima, en que ambas fuentes disipan la misma potencia. En definitiva, el regulador en paralelo tiene un rendimiento inferior a su equivalente en serie.

De acuerdo a estas consideraciones, el regulador en serie es al más empleado relegando el uso de reguladores en paralelo en aplicaciones a niveles energéticos muy bajos en los que no es importante un pequeño dispendio de energía y en aquellas en las que es muy importante la interacción entre equipos o secciones del mismo alimentadas por la misma fuente primaria.

Desde el punto de vista de protección del equipo, en caso de sobrecarga los reguladores en serie reciben el impacto directo de ella y son, por tanto, frágiles, lo que no ocurre con los reguladores en paralelo.

b.1.3. Algunos reguladores comerciales

A continuación podemos observar las características eléctricas y físicas de los diferentes reguladores que fabrica Atersa en la actualidad. La gama de regulación está basada en tecnología digital, incorporando niveles diferenciados de carga y relés de estado sólido. Opcionalmente a requerimiento del cliente se pueden suministrar en caja estanca y también con diodo de bloqueo.

Los modelos BASE, LEO1 y LEO2 son bitensión (12 y 24V).

Los modelos LEO llevan dos amperímetros y un voltímetro y pueden ser programados por el usuario o el instalador.

Los modelos LEO2 llevan además relés libres de tensión para arranque de grupo electrógeno y transmisión de alarmas.

El regulador mP ha sido diseñado para proporcionar un sistema de regulación y control en instalaciones de media y alta potencia, con medida digital de los principales parámetros.

El sistema de adquisición de datos DATASOL-16 ha sido diseñado específicamente para realizar el seguimiento de instalaciones fotovoltaicas utilizando como fuente de información el sistema de control mP-60. La instalación conjunta mP y el DATASOL-16, aporta las prestaciones de un equipo de adquisición de datos de forma sencilla y reducido coste.

REGULADOR	MODELO
Base PV	PVD 12 V
Base PV	PVD 24 V
Mino 1	12 V
Mino 1	24 V
Mino 1	48 V
Mino 2	12 V
Mino 2	24 V
Mino 3	12 V
Mino 3	24 V
Leo 1	12 / 24 V
Leo 1	48 V
Leo 2	12 / 24 V

No obstante, éstos son sólo unos ejemplos de los reguladores que podemos encontrar en el mercado. Desde la sección enlaces se puede acceder a los sitios web de los principales fabricantes y distribuidores de nuestro país.

c. Baterías

La necesidad de acumular la energía suministrada por los paneles fotovoltaicos proviene del hecho de que la distribución temporal del consumo no es totalmente coincidente con las horas de insolación.

Pueden describirse diferentes vías de almacenamiento de entre las que, como más importantes, pueden considerarse las siguientes:

- Producción y almacenamiento de aire comprimido
- Producción y almacenamiento de energía térmica.
- Producción y almacenamiento de hidrógeno.
- Almacenamiento de energía cinética en volantes de inercia.
- Batería de acumuladores.
- Bombeo de agua.

Entre todos los sistemas de almacenamiento mencionados, el más empleado actualmente para pequeñas instalaciones es el empleo de baterías de acumuladores debido a su bajo coste de instalación y a su rendimiento.

Además, la batería cumple dos importantes misiones:

1. Suministrar potencia instantánea o durante breves momentos, superior a la que el campo de paneles podría generar aún en los momentos más favorables posibles.
2. Mantener un nivel de tensión estable: La tensión de salida del panel varía en función de la intensidad radiante, lo cual puede no ser adecuado para el funcionamiento de los aparatos. El acumulador proporciona un voltaje estable y constante independiente de las condiciones de incidencia luminosa.

Una batería puede considerarse como la asociación de varios acumuladores conectados bien en serie, bien en paralelo, combinados para dar la tensión de salida y la capacidad de almacenamiento deseadas. Por ejemplo, tres acumuladores de plomo-ácido de 90 amperios·hora y 2,1 voltios pueden conectarse en serie para obtener una batería de 6,3 voltios y de 90 amperios·hora (figura 31). Los mismos elementos pueden conectarse en paralelo (figura 32) para producir una batería de 2,1 voltios y 270 amperios·hora.

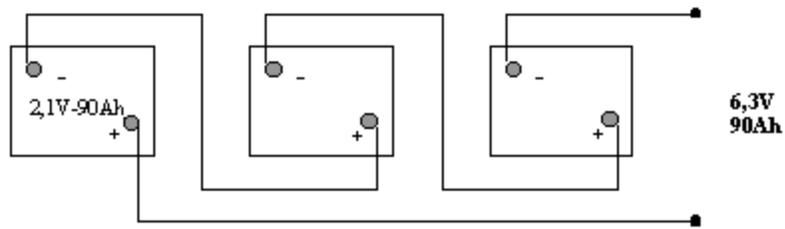


Figura 31: Baterías asociadas en Serie

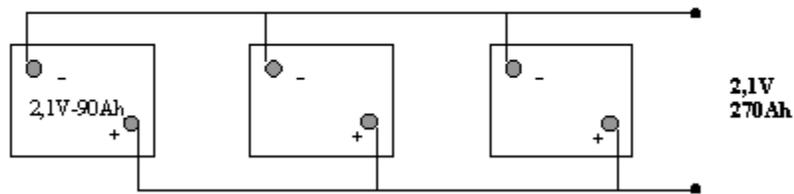


Figura 32: Baterías asociadas en Paralelo

Una batería está constituida por uno o varios elementos electroquímicos que tienen la propiedad de convertir energía química en eléctrica. Cuando las reacciones químicas que se producen son irreversibles, la batería puede usarse sólo una vez y recibe el nombre de primaria. Si las reacciones químicas son reversibles y se puede recargar el elemento convirtiendo la energía eléctrica en química, la batería es denominada secundaria.



Figura 33: Baterías

Las baterías primarias, conocidas popularmente como pilas, reciben este nombre porque una vez fabricadas no requieren ninguna carga inicial o proceso de activación y pueden suministrar energía eléctrica directamente.

Las baterías secundarias no pueden suministrar directamente energía eléctrica y es necesario someterlas inicialmente a un proceso de carga. Pertenecen a este grupo todas las baterías recargables, conocidas también como acumuladores, como las de plomo - ácido y las de níquel - cadmio.

A pesar de estar construidas de diferente forma y de tener un comportamiento diferente, desde el punto de vista químico están basadas en los mismos principios y componentes básicos. Cualquier reacción química de óxido reducción es capaz de generar una corriente eléctrica, siempre que el intercambio de electrones se efectúe por un circuito exterior al sistema químico. Para conseguir este circuito externo, la reacción de oxirreducción se descompone en dos reacciones parciales separadas en el espacio alrededor de unos electrodos que se utilizarán como bornes de conexión exterior. En uno de los electrodos la reacción dará lugar a la captura de electrones y, en el otro, a la liberación de electrones. El intercambio de estos electrones se efectuará por un conductor exterior en forma de corriente eléctrica. Para cerrar el circuito es necesario establecer un camino para las cargas en el interior del sistema. Esta función es efectuada por el electrolito, que consiste en un medio sólido o líquido interpuesto entre los electrodos y que posibilita un movimiento iónico. El electrodo donde se efectúa la oxidación se convierte en negativo y es el terminal catódico. El electrodo donde se realiza la reducción se convierte en positivo y es el terminal anódico.

El electrolito completa el circuito eléctrico entre los dos electrodos mediante la conducción iónica. En algunos casos reacciona con los materiales de los electrodos y en otros no, por lo que su constitución variará según los pares de electrodos que se utilicen. Aunque la mayoría de los electrolitos utilizados son líquidos, cuando las baterías los utilizan embebidos en formas gelatinosas o semisólidas, éstas reciben el nombre de baterías secas. Las pilas o baterías primarias se han efectuado siempre en forma seca, mientras que las baterías

secundarias han sido siempre húmedas. Sin embargo, actualmente estas últimas se fabrican con electrolitos gelatinosos o soportados por estructuras absorbentes, recibiendo el nombre de secas o, más apropiadamente, herméticas.

El desarrollo de las reacciones químicas que se producen en los elementos depende del nivel de difusión iónica, de la temperatura, de la superficie de los electrodos y de la carga conectada en bornes de la batería. Cuando la batería llega al final de su vida útil, el electrolito se debilita progresivamente y los electrodos están parcialmente consumidos.

La batería diseñada para el almacenamiento de la energía solar fotovoltaica debe tener un buen comportamiento frente a los ciclos de carga y descarga y una larga duración. Otras características necesarias son un mínimo mantenimiento, buena aceptación de la corriente, mínima auto descarga y alta fiabilidad. El acumulador fotovoltaico nunca va a estar sometido a descargas grandes por lo que su capacidad real superará incluso a la nominal especificada por el fabricante.

c.1. Características de las baterías

A pesar de su diversa constitución, todas las baterías pueden ser definidas mediante unas características comunes que se consideran seguidamente:

- **Resistencia interna.-** Formada por la resistencia óhmica de sus componentes (terminales, electrodos, soportes y electrolito) y por una resistencia virtual variable en función del estado de carga y de las distintas polarizaciones y concentraciones. Aumenta con las bajas temperaturas, con la descarga de la batería y con el envejecimiento.
- **Rendimiento.-** Es la relación entre la energía suministrada durante la descarga y la que se necesita para cargar plenamente la batería. Las pérdidas en una batería se deben sobre todo a una producción de energía calorífica en los procesos químicos que tienen lugar durante la carga y descarga.

- **Velocidad de carga y descarga.** - Las corrientes de carga y descarga a menudo se especifican con unos términos que indican la descarga completa en un período continuo de una hora. Estos términos son los regímenes C y sus múltiplos y submúltiplos son un medio muy cómodo para especificar las velocidades de carga y descarga. Por tanto, 10C es la corriente que descarga la batería en seis minutos, mientras que C/10 es la corriente que descarga la batería en diez horas.
- **Vida útil.** - La vida útil de una batería no se mide en años, sino por la cantidad de ciclos de carga - descarga que es capaz de realizar. Así, si se la somete a un régimen de trabajo de muchos ciclos diarios, probablemente sólo durará unos meses, mientras que si el régimen es de un ciclo al día o incluso más lento (como ocurre en el caso de iluminación de viviendas con energía solar) la batería puede durar al menos diez años.

Además de los ciclos de carga - descarga, también hay que considerar la profundidad de la descarga media que se produce en cada uno de ellos. Si dicha descarga es moderada, y sólo de vez en cuando se alcanza una profundidad elevada, el número de ciclos que soportará las baterías será elevado. A medida que se la someta a descargas más profundas, el número de ciclos que podrá realizar, y por tanto su vida útil, irá disminuyendo. En cualquier caso la profundidad de descarga máxima admisible para un acumulador Pb - ácido es del 80%.

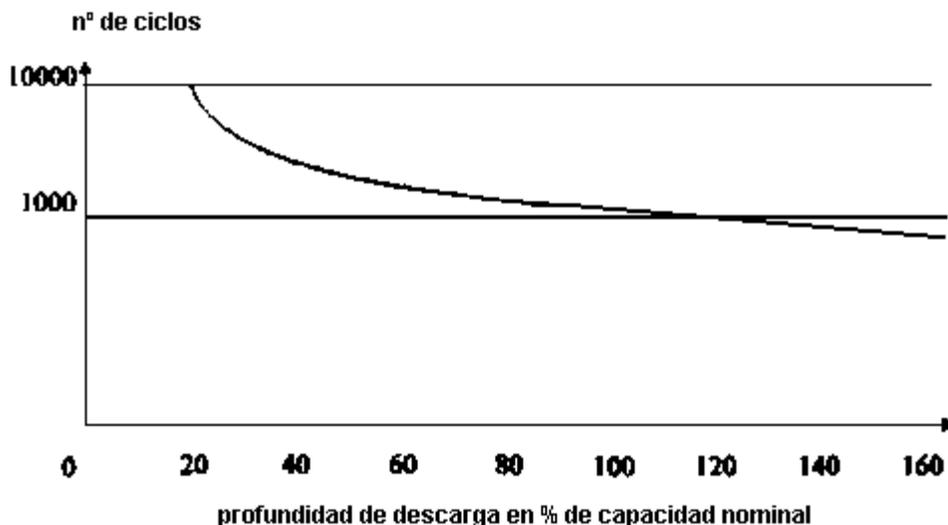


Figura 34: Variación de la vida útil en Función de la profundidad de la descarga

Con un régimen de descarga diaria del 25% de su capacidad, y un 80% de descarga 2 veces al año (condiciones que normalmente se dan en una instalación fotovoltaica), la batería solar puede alcanzar una vida útil de más de 11 años.

Otro factor que también puede influir en la vida útil de una batería es la temperatura. Si es demasiado alta, la reacción química que tiene lugar en el acumulador se acelera demasiado y la vida se acorta. Si la temperatura es baja, la vida se prolonga, pero si baja demasiado puede correr el riesgo de congelación. En este caso, lo mejor será mantener la batería en un nivel de carga alto, ya que cuanto mayor sea la concentración del electrolito el punto de congelación será más bajo.

Las mayores formas de acortar la vida útil de un acumulador son:

- ✓ someterlos a cargas y descargas violentas y repetidas
 - ✓ descargarlo hasta el agotamiento
 - ✓ trabajar a temperaturas extremas
 - ✓ impurificar el agua que se añade, en el caso que sea necesario un mantenimiento.
-
- **Capacidad de una batería.-** Es la cantidad de electricidad que puede entregar cuando se descarga antes de que su tensión disminuya por debajo de un nivel mínimo. Su símbolo es C y se expresa en A·h. Otro factor que también puede influir en la vida útil de una batería es la temperatura. Si es demasiado alta, la reacción química que tiene lugar en el acumulador se acelera demasiado y la vida se acorta. Si la temperatura es baja, la vida se prolonga, pero si baja demasiado puede correr el riesgo de congelación. En este caso, lo mejor será mantener la batería en un nivel de carga alto, ya que cuanto mayor sea la concentración del electrolito el punto de congelación será más bajo.

Otro factor que también puede influir en la vida útil de una batería es la temperatura. Si es demasiado alta, la reacción química que tiene lugar en el acumulador se acelera demasiado y la vida se acorta. Si la temperatura es baja, la vida se prolonga, pero si baja demasiado puede correr el riesgo de congelación. En este caso, lo

mejor será mantener la batería en un nivel de carga alto, ya que cuanto mayor sea la concentración del electrolito el punto de congelación será más bajo.

La capacidad de una batería varía según el régimen de descarga: aumenta a medida que la descarga es más lenta, y disminuye cuando esta es más rápida; por esta razón, el valor de C debe venir referenciado con el tiempo de descarga.

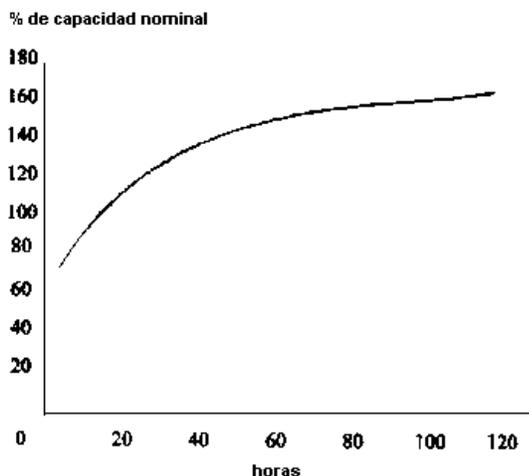


Figura 35: Variación de la capacidad según régimen de descarga

También depende de la temperatura: Un incremento de la temperatura, dentro de unos límites, aumenta la actividad de los procesos químicos y, por lo tanto, la capacidad de la batería. Por el contrario, a bajas temperaturas la actividad química es menor y la capacidad disminuye considerablemente.

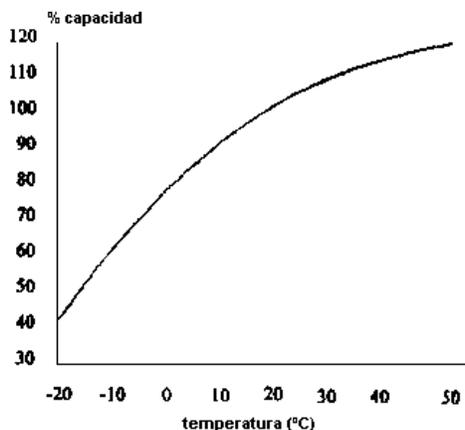


Figura 36: Variación de la capacidad según la temperatura

La historia de la batería afecta también a la capacidad. Si una batería lleva un largo período sin ser recargada en toda su capacidad se produce un efecto memoria que impide que recupere su capacidad nominal, siendo necesarios varios ciclos de carga y descarga para recuperarla. El envejecimiento de una batería merma su capacidad y va disminuyendo a lo largo de su vida en función del servicio de carga - descarga a que sea sometida. Para el cálculo de la capacidad nominal necesaria hay que tener en cuenta la vida útil que se desea para la batería: si se desea una vida útil de 3 años y el fabricante indica que al final de este período sólo se mantiene el 50% de la capacidad, habrá que utilizar una batería de capacidad doble a la estimada necesaria.

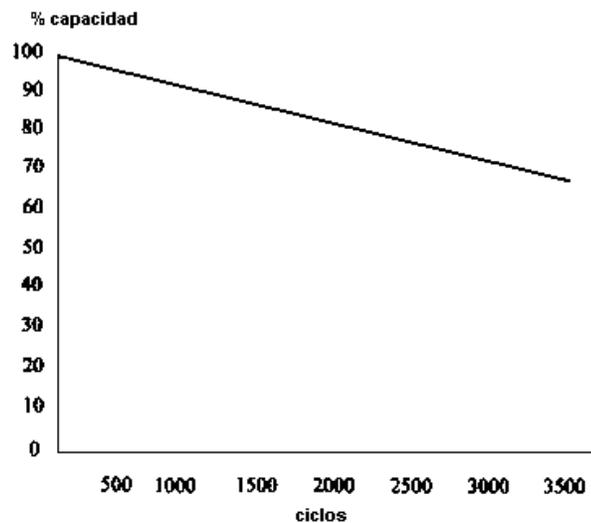


Figura 37: Variación de la capacidad según números de ciclos

- **Autodescarga.**- La autodescarga de una batería consiste en la pérdida de energía por reacción entre los materiales que forman los elementos de la batería en condiciones de circuito abierto, es decir, cuando no hay carga alguna conectada al circuito de la batería. Depende del tipo de batería y muy directamente de la temperatura, aumentando con esta. Por ello, y dado que los valores estándar suelen venir referidos a una temperatura media

(unos 20 ó 25°C) es preciso tener en cuenta que este factor puede alterarse en algunos casos.

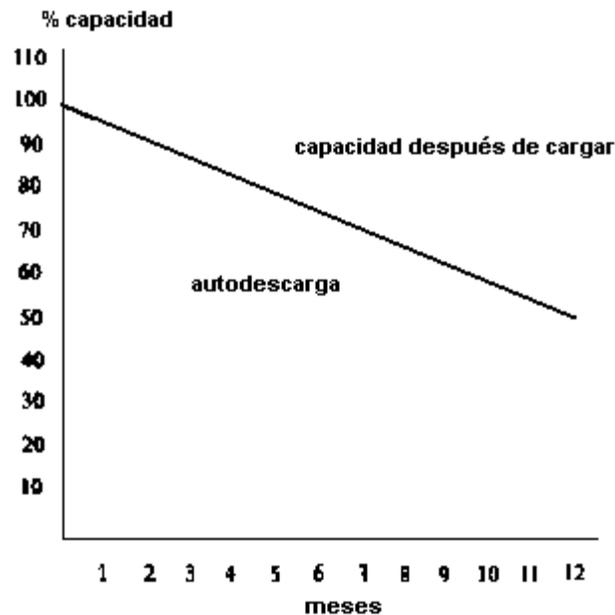


Figura 38: Variación de la capacidad por autodescarga

La autodescarga hay que considerarla como un consumo adicional, que demanda un cierto porcentaje de energía almacenada. Su valor es aproximadamente de un 0,5 a un 1% diario en baterías de Pb - ácido.

c.2. Clasificación de los acumuladores según ciclo de carga - descarga

Según las características de ciclo de carga - descarga, el diseño del acumulador es diferente. Las diferentes clases de acumuladores pueden agruparse en acumuladores de:

- arranque
- tracción
- estacionario
- especiales

➤ **Acumuladores de arranque**

Se emplean para el arranque de motores de combustión interna. La mayor exigencia para este tipo de acumuladores es suministrar gran corriente durante un intervalo de tiempo corto y en condiciones desfavorables de temperatura.

➤ **Acumuladores de tracción**

Diseñados para la tracción en vehículos con motor eléctrico. Son sometidos a fuertes descargas a intervalos de tiempo, durante un periodo que suele ser de 8 horas (una jornada laboral). Después de este periodo deben ser recargadas rápidamente para la próxima jornada.

➤ **Acumuladores estacionarios**

Su aplicación es la de almacenar energía eléctrica sin tener que moverse la batería. Las aplicaciones son muy variadas, siendo la más extendida la de funcionamiento en stand by, para suministrar energía eléctrica en caso de fallo de la tensión de la red.

➤ **Acumuladores especiales**

Otros tipos especiales son para los submarinos, en donde la salida de gases y la contaminación del aire ha de ser mínimo y en los aviones, donde la diferencia de presión puede crear problemas de funcionamiento.

c.3. Factores que afectan al funcionamiento de las baterías o acumuladores estacionarios

➤ **Ciclos de carga-descarga**

El acumulador estacionario en una instalación fotovoltaica está sometido a una serie de ciclos de trabajo. Cada ciclo comprende la descarga del acumulador, bajo un determinado régimen, seguido de la subsiguiente recarga. El acumulador estacionario debe estar diseado para soportar el máximo número posible de ciclos de carga-descarga.

Durante el día los paneles generan energía que se emplea en satisfacer los consumos; la energía sobrante será absorbida por la batería (procesos de carga). Durante la noche, cuando el consumo es precisamente más elevado, la energía se extrae exclusivamente de la batería (proceso de descarga). Se completa así un ciclo diario de carga-descarga, que se irá repitiendo si las condiciones de iluminación son favorables. Sin embargo, si se produce un período de tiempo nublado, casi todo el consumo se hace a expensas de la energía acumulada en la batería, sin que esta pueda recargarse. Al pasar del período desfavorable, los paneles irán recargando la batería, pero hasta llegar a la capacidad plena tardarán varios días ya que al existir consumo sólo una parte de la energía que producen los paneles será almacenada. De esta forma se completa un ciclo autónomo de la batería (la demanda energética se satisface únicamente con la capacidad útil de la batería)

➤ **Régimen de descarga**

El régimen de descarga de un acumulador estacionario de aplicación solar es mucho más lento que el de otros tipos (de arranque o tracción). Por ello la capacidad de la batería viene referida a una descarga de 100 horas, que es aproximadamente el período mínimo de autonomía exigible.

➤ **Profundidad de descarga**

Se refiere a la intensidad con que se produce la descarga en un ciclo determinado de trabajo. Generalmente la batería en una instalación fotovoltaica descarga cada día entre un 10 y un 30% de la energía almacenada. La profundidad máxima de descarga admisible no debe ser superior a un 80% de la capacidad nominal de la batería.

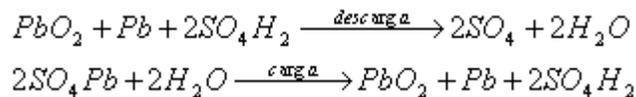
➤ **Trabajo en baja carga**

Otra diferencia fundamental con los acumuladores empleados en otras aplicaciones es que estos no trabajan en baja carga; sin embargo el acumulador estacionario de uso solar puede soportar un régimen de trabajo de tres meses sucesivos con el 30% de su capacidad, y luego recuperarse totalmente una vez cargado.

c.4. Clasificación de los acumuladores según su constitución

➤ Plomo - ácido

Cada elemento consta de unas placas de plomo que actúan como cátodo intercaladas con placas de dióxido de plomo que actúan como ánodo. El electrolito empleado es ácido sulfúrico disuelto en agua. Su funcionamiento está basado en los siguientes procesos:



El sistema presenta dos características notables. La primera es que el producto de reacción tanto en el ánodo como en el cátodo es el mismo: sulfato de plomo. La segunda, de gran interés práctico, es su alto potencial de descarga.

La formación de sulfato de plomo en la descarga consume parte del ácido sulfúrico del electrolito. Al ser dicho ácido bastante más denso que el agua la densidad del sistema disminuye conforme se va agotando la batería. En este fenómeno se basan los densímetros con los que popularmente se comprueba el estado de carga de este acumulador. En el caso concreto de la aplicación solar, la utilización de la medida de la densidad para detectar el estado de carga tiene ciertas limitaciones: la variación de la densidad con el estado de carga será inferior a otras aplicaciones a causa de la elevada reserva de electrolito que deben tener las baterías solares; por otra parte, en los grandes períodos de tiempo que deben permanecer las baterías en estado de carga parcial, se producirá una falta de homogeneización del electrolito y la lectura del densímetro no será fiable.

Aunque con prestaciones excelentes, el acumulador de plomo no carece de inconvenientes. Bastante de ellos proviene de la utilización de ácido sulfúrico con los problemas de corrosión que ello acarrea. Tiene una autodescarga apreciable y además es muy sensible a los agotamientos, especialmente sin son prolongados. Un acumulador agotado que no se recargue prontamente sufre una merma considerable de su capacidad y además hay peligro de que se hiele a

temperaturas menos bajas que una totalmente cargada. La razón de la pérdida de capacidad es que la reacción no es tan reversible como debiera, si se da tiempo al sulfato de plomo a cristalizar adecuadamente. Funcionan mal a bajas temperaturas. Su capacidad depende grandemente del régimen de descarga. Lo que sucede en este caso es que a regímenes altos el material activo de los electrodos se recubre de sulfato y simultáneamente se da un empobrecimiento del electrolito en las proximidades. En estas condiciones gran parte del plomo de los electrodos queda sin utilizar y la capacidad baja drásticamente.

Para mejorar sus características se han desarrollado diversos sistemas como son los acumuladores de plomo- antimonio (Pb-Sb) y los acumuladores plomo - calcio (Pb - Ca).

➤ **Plomo - antimonio**

Los electrodos de la batería se construyen con una aleación de plomo y antimonio, este último necesario para dar la adecuada consistencia al material y garantizar la adherencia a la matriz de acero en que se deposita. Ahora bien, este antimonio es también responsable de las pérdidas de agua, la corrosión de los terminales y pérdidas de capacidad de almacenamiento. Admite descargas moderadamente altas, aunque el número de ciclos de carga y descarga y por lo tanto la vida útil será mayor cuanto menor sea la profundidad de descarga a la que se vea regularmente sometido. Las baterías estacionarias de Pb - Sb suelen suministrarse en celdas o elementos de un par de voltios de tensión. Uniendo en serie 6 ó 12 de estos elementos mediante atornillado se consiguen baterías de 12 ó 24 voltios.

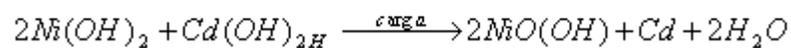
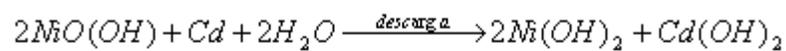
➤ **Plomo - calcio**

Semejantes a las anteriores pero sustituyendo el antimonio por calcio. Esta aleación plomo - calcio permite la fabricación de baterías de plomo herméticas y sin mantenimiento. Presenta además la ventaja de tener una baja autodescarga, aunque al ser de ciclo superficial no admite gran número de ciclos por debajo del 15% de la capacidad y en ningún caso aguanta profundidades de descarga superiores al 40%. Se venden en estructuras compactas tipo

"monoblocs" y su reducido tamaño permite un transporte cómodo lo que unido a su precio relativamente moderado hace que sea bastante utilizada en pequeñas instalaciones.

➤ **Níquel - cadmio**

En este caso los elementos están constituidos por unas placas positivas (ánodos) de hidróxido de níquel, unas placas negativas (cátodos) de cadmio y un electrolito de hidróxido de potasio que no reacciona con las placas. La reacción química aproximada es la siguiente:



El hidróxido potásico diluido (KOH), que es el electrolito, no aparece en la fórmula, aunque debe tenerse en cuenta que durante la carga se forma agua y que ésta es absorbida por el electrolito durante la descarga.

Ofrecen una excelente fiabilidad y resistencia. Pueden soportar descargas de hasta un 90% de su capacidad teórica, recuperándose totalmente y aguantar temperaturas extremadamente bajas. Además, ocasionales cortocircuitos que dañarían las baterías de plomo no son demasiado peligrosas para las de Ni - Cd, así como la eventual falta de agua, que haría que sólo dejara de funcionar temporalmente hasta que se le añadiera. Tampoco producen gases corrosivos y su mantenimiento es mínimo. Mantienen la tensión relativamente constante, incluso cuando se están descargando con una corriente de intensidad elevada, y pueden almacenarse en cualquier estado de carga.

Tienen el inconveniente de su elevado precio, del orden de 5 a 10 veces más que las equivalentes de plomo.

c.5. Principales métodos de carga

La vida útil de una batería y sus prestaciones dependen directamente de los procesos de carga a los que es sometida. Por esta razón hay que seguir en cada caso las recomendaciones que da el fabricante.

Los principales métodos de carga son:

1. Tensión constante
2. Corriente constante
3. Corriente descendente
4. Dos niveles de tensión constantes

1. Tensión constante

El método de carga a tensión constante es el más usado para cargar baterías de plomo - ácido. Consiste en aplicar una tensión constante de 2,3, 2,4 o 2,5 V/elemento, limitando la corriente inicial de carga a 0,1C ó 0,2C amperios, siendo C la capacidad de la batería en amperios hora. El tiempo de carga va de 40 horas a 10 horas y la tensión debe regularse según la temperatura ambiente: si la temperatura es alta, la tensión de carga debe ser baja y viceversa.

Algunos fabricantes admiten la utilización de este método sin limitación de corriente, pues sus baterías están dimensionadas para fuertes corrientes. En este caso, si se inicia el proceso con 2,3V/elemento, la corriente inicial después de una descarga profunda será de 3C amperios y de un 0,5C durante un período largo.

2. Corriente constante

El método de carga a corriente constante es recomendado por algunos fabricantes para las baterías de níquel - cadmio, limitando la corriente entre 0,25C y 0,05C amperios. En el caso de carga profunda se admiten corrientes de 1C amperios, pero vigilando la tensión de la batería o la temperatura.

La carga a corriente constante se utiliza como carga de igualación en baterías plomo - ácido para corregir diferencias de capacidad entre las baterías de un mismo grupo. Para evitar una sobrecarga que destruya la batería es necesario terminar cuando la batería alcance su máxima capacidad.

3. Corriente descendente

Es el sistema de carga más económico y es utilizado por algunos fabricantes para sus baterías níquel - cadmio. Consiste en una carga sin regulación limitada por una resistencia serie, que en algunos casos es la propia resistencia del devanado del transformador de alimentación. A medida que la batería se va cargando, la corriente de carga va descendiendo gradualmente. Es un método antiguo y muy peligroso porque la tensión y corriente de carga dependen de las fluctuaciones de la corriente de la red, con lo que existe riesgo implícito de sobrecarga.

4. Dos niveles de tensión constante

Es el método recomendado para cargar una batería de plomo - ácido hermética en un período corto de tiempo y mantener la batería en plena carga en situación de flotación. Inicialmente se carga a un nivel alto de tensión (2,45V/elemento), limitando la corriente. A partir de que esta disminuya por debajo de un nivel, se pasa a tensión constante permanente o de flotación. Este método es el más eficiente pues minimiza el tiempo de carga y la batería queda protegida de sobrecargas.

Después de una descarga profunda es necesario un tiempo de carga más largo de lo normal. Inicialmente la corriente que admite la batería es baja, ya que la resistencia interna tiene un valor elevado y no adquiere su valor normal hasta pasados unos 30 minutos. Por este motivo es necesario inhibir el control durante este período de tiempo, pues el cargador podría suponer que la batería está cargada y dejarla en flotación.

4.1. Modalidades de utilización

Las principales modalidades de utilización son:

- a) Flotación
- b) Ciclos de carga – descarga
- c) Tampón

a) **Flotación**

Se dice que una batería trabaja en flotación cuando está permanentemente conectada en paralelo con una fuente de corriente y el circuito de corriente continua y a una tensión constante que puede oscilar de 2,10V/elemento a 2,25V/elemento, dentro de un estrecho margen de variación, por lo general del 1%.

En estas condiciones la fuente suministra, normalmente, el consumo de corriente que demanda el circuito de continua al tiempo que proporciona una pequeña corriente de carga a la batería que compensa la pérdida de capacidad que se produce continuamente en la misma por la autodescarga interna, manteniéndola plenamente cargada en todo momento. Las puntas de corriente que ocasionalmente se producen durante breves intervalos de tiempo son suministradas por la batería.

Cuando se produce una interrupción en la fuente ordinaria de corriente, la batería se hace cargo de la demanda de corriente continua durante todo el tiempo que dura dicha interrupción o hasta el agotamiento de su capacidad. Al restablecer de nuevo el servicio, la fuente de corriente vuelve a abastecer las necesidades del circuito de corriente continua y simultáneamente proporciona la corriente de carga de la batería. Una vez completa la carga de la misma, se ajusta el voltaje rectificador, bien manual o automáticamente, al valor correspondiente al voltaje de flotación.

b) Ciclos de carga - descarga

En esta modalidad, la batería se descarga sobre el circuito receptor estando desconectada del sistema de carga. Una vez que la batería se ha descargado o se ha restablecido el suministro normal de corriente haciendo innecesaria la misma, la batería se conecta al sistema de carga hasta que queda completamente cargada. Este ciclo se repite indefinidamente durante toda la vida de la batería.

c) Tampón

La batería se encuentra permanentemente conectada en paralelo con el generador de corriente continua. En las horas punta de consumo, la batería se descarga haciendo frente al exceso de demanda de corriente. En las horas de consumo reducido, es el generador de corriente continua el que atiende el mismo y simultáneamente proporciona corriente a la batería, que de esta forma se carga.

c.6. Algunas baterías comerciales

A continuación mostramos las características de las baterías TUDOR que distribuye Atersa:

Baterías Estacionarias Monobloc
Baterías Estacionarias Translúcidas
Baterías Estacionarias Transparentes

Asimismo, se muestran también las baterías HOPPECKE Monoblock, OPzS Solar, y las FULMEN Powerblock de BP Solar, que distribuye Albasolar:

Baterías HOPPECKE Monoblock
Baterías FULMEN Powerblock
Baterías OPzS Solar

No obstante, éstas son sólo una muestra de las baterías que podemos encontrar en el mercado. Desde la sección enlaces se puede acceder a los sitios web de los principales fabricantes y distribuidores de nuestro país.

d. Conversor o Inversor

Los convertidores son elementos capaces de alterar la tensión y características de la corriente eléctrica que reciben, transformándola de manera que resulte más apta para los usos específicos a que vaya destinada en cada caso.

Los convertidores que reciben la corriente continua a un determinado voltaje y la transforman en corriente continua pero a un voltaje diferente reciben la denominación de convertidores CC-CC (DC-DC en inglés) y los que transforman la corriente continua en alterna se denominan convertidores CC-CA (DC-AC en inglés).

El procedimiento normal de funcionamiento de un equipo CC-CC es convertir previamente, mediante un dispositivo electrónico inversor, la corriente continua de entrada en corriente alterna, la cual es elevada o reducida de tensión mediante un simple transformador, volviéndose posteriormente a convertirla en continua, pero ya al voltaje requerido. Todos estos procesos comportan, como

fácilmente se comprende, una cierta pérdida de rendimiento que debe ser tomada en cuenta.

Los convertidores CC-CA permiten transformar la corriente continua de 12 ó 24V que producen los paneles y almacena la batería, en corriente alterna de 125 ó 220V, como la que normalmente se utiliza en los lugares donde llega la red eléctrica tradicional. Esto permite usar los aparatos eléctricos habituales diseñados para funcionar a este tipo de corriente. La contrapartida que esta transformación lleva acarreada es la pérdida de energía en el propio convertidor, el cual tiene un rendimiento que en determinadas circunstancias de trabajo es bastante pequeño.



Figura 39: Modelos de conversores e inversores

Un convertidor CC-CA, mediante un circuito electrónico con transistores o tiristores, es capaz de cortar muchas veces cada segundo la corriente continua que recibe, produciendo una serie de impulsos alternativos de corriente que simulan las características de la corriente alterna convencional.

Según la forma de la onda característica de la corriente que el convertidor produce, se hable de convertidores de onda cuadrada modificada y de onda senoidal o sinusoidal.

Dado que la corriente alterna se presenta bajo forma de onda senoidal pura, el convertidor más perfecto será el de tipo senoidal, aunque también es el más caro y para muchas aplicaciones innecesario (iluminación, pequeños motores, etc.) bastando utilizar uno de onda cuadrada, que resulta mucho más económico.

Algunas cualidades que hacen el convertidor apto para su empleo en instalaciones solares son:

- Capacidad de resistir potencias punta, como la producida en los arranques de los motores, durante breves instantes sin que se colapse el dispositivo inversor.
- Una eficiencia razonable. Se debe exigir, como mínimo, que el rendimiento de un convertidor senoidal sea del 70% trabajando a una potencia igual al 20% de la nominal y del 85% cuando trabaje a una potencia superior al 40% de la nominal.
- Estabilidad del voltaje.
- Baja distorsión armónica.
- Posibilidad de poder ser combinado en paralelo. Esto permite un posible futuro crecimiento de la instalación y de la potencia de consumo.
- Arranque automático
- Buen comportamiento frente a la variación de temperatura.

d.1. Algunos inversores comerciales

A continuación se muestran las características de los inversores Trace DR y Studer, que comercializa en España Albasolar:

Inversor TRACE DR
Inversores STUDER

No obstante, éstos son sólo unos ejemplos de los inversores que podemos encontrar en el mercado. Desde la sección enlaces se puede acceder a los sitios web de los principales fabricantes y distribuidores de nuestro país.

3. Metodología

3.1. Medición de radiación.

Para poder utilizar el sistema fotovoltaico como un medio para generar energía eléctrica de la cual podamos alimentar a nuestros laboratorios de Ingeniería Electrónica primero debemos conocer e indagar los niveles de incidencia de la radiación solar en el planeta así como también en nuestro continente en nuestro país y nuestra región. Para ello debemos ir a fuentes fidedignas de información.

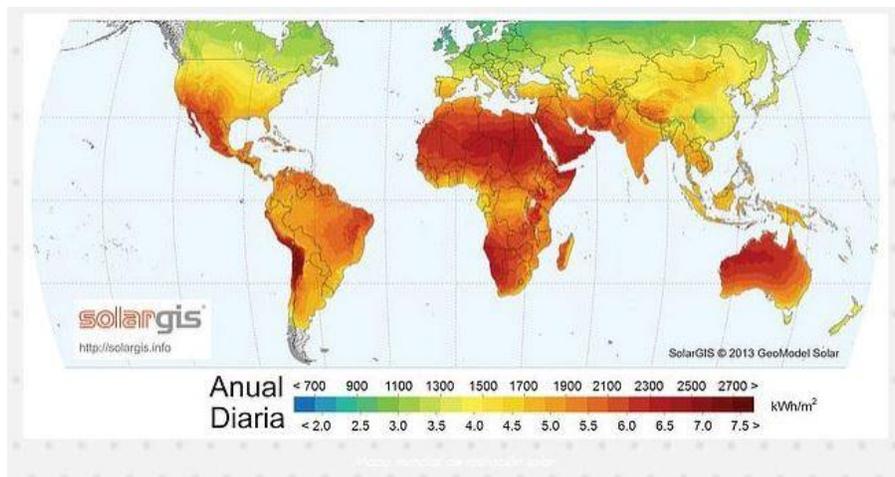


Figura 40: INFLUENCIA DE LOS RAYOS SOLARES EN EL MUNDO



Figura 41: INFLUENCIA DE LOS RAYOS SOLARES EN EL PERÚ

Como los paneles solares necesitan recibir directamente la luz del sol para poder generar energía, necesitas disponer de algún lugar que esté libre de sombras, es decir que tenga sol directo todo el tiempo o al menos desde las 10 am a las 3pm. Entre estas cinco horas el sol está al máximo de su potencial, antes y después la luz que llega del sol casi no sirve para producir energía. Para saber si en enero ese gran árbol del vecino dará sombra a tus paneles puedes recurrir a herramientas de predicción de sombra como cartas solares.

Para ello es importante saber bien los lugares donde podemos tener más incidencia de sol durante las horas determinadas anteriormente.

Teniendo en cuenta las imágenes mostradas nos podemos dar cuenta que la incidencia del sol por metro cuadrado (m^2) es de $5.1 \text{ kWh}/m^2$.

Se debe estimar, para cada mes, HS: el promedio de la energía (expresada en $\text{kWh}/m^2 \cdot \text{día}$) de la irradiación solar que incide, durante un día, sobre un metro cuadrado de una superficie situada en el lugar de instalación de los paneles fotovoltaicos y con la misma orientación e inclinación que estos.

Concepto de hora sol pico, H.S.P.: dado que las características nominales de los módulos fotovoltaicos corresponden a una potencia de la radiación solar incidente de $1 \text{ kW}/m^2$, la energía producida a lo largo de todo un día por un módulo, en un emplazamiento en el que le incide una irradiación media diaria de HS kW/m^2 , será la misma que producirá dicho módulo si le incidiera una radiación solar constante de potencia $1 \text{ kW}/m^2$ durante un día imaginario que tuviera un número de horas de sol (todas ellas con $1 \text{ kW}/m^2$) igual a HS.

Por ello, al valor de HS, expresado en kWh/m^2 se le denomina Horas sol pico, H.S.P.: indica la cantidad de horas de sol, con una intensidad de radiación de $1 \text{ kW}/m^2$, incidiendo perpendicularmente sobre la superficie de un módulo fotovoltaico, que tendrá un día imaginario en el que el módulo recibiría la misma energía que en un día real. Este razonamiento es válido en el supuesto de que la eficiencia de los módulos fotovoltaicos sea independiente de la potencia de la radiación incidente, suposición bastante válida, aunque no exacta.

Para poder hallar el nivel de radiación en la zona utilizaremos el software METEONORM7.

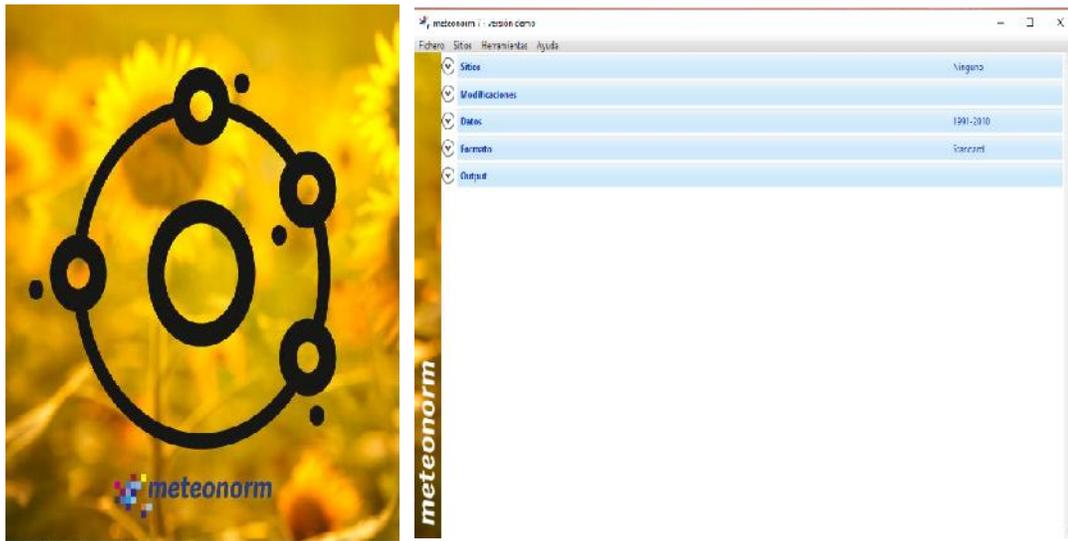


Figura 42: Programa Meteonorm7.

El cual nos ayuda a encontrar la incidencia de sol y los niveles de radiación solar y datos necesarios para poder definir y construir nuestro sistema fotovoltaico, esto lo haremos sabiendo en un lugar definido por sus coordenadas.

En primer lugar se debe introducir un concepto fundamental, el de las “Horas de Sol Pico” o HPS [horas]. Se puede definir como el número de horas en que disponemos de una hipotética irradiación solar constante de 1000 W/m^2 . Es decir, una hora solar pico “HPS” equivale a 1 Kwh/m^2 o, lo que es lo mismo, 3.6 MJ/m^2 . Dicho en otras palabras, es un modo de contabilizar la energía recibida del sol agrupándola en paquetes, siendo cada “paquete” de 1 hora recibiendo 1000 watts/m^2 .

En este punto, hay que hacer un apunte importante:

Irradiancia: Es la magnitud que describe la radiación o intensidad de iluminación solar que llega hasta nosotros medida como una potencia instantánea por unidad de superficie, W/m^2 o unidades equivalentes.

Irradiación: Es la cantidad de irradiancia recibida en un lapso de tiempo determinado, es decir, la potencia recibida por unidad de tiempo y por unidad de superficie. Se suele medir en Wh/m² o, en caso de un día, en Wh/m²/día o unidades equivalentes.

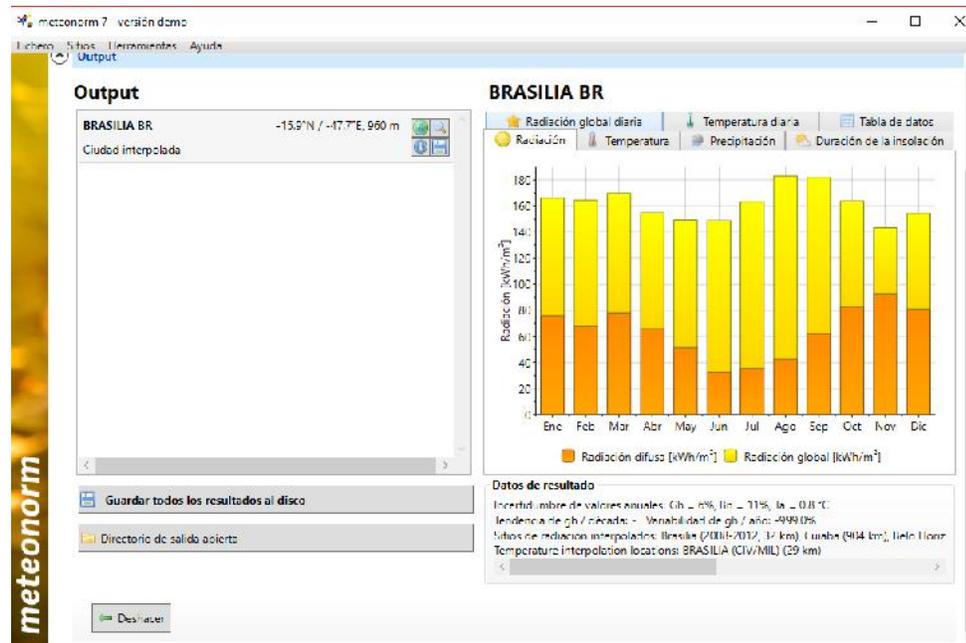


Figura 43: Datos del Programa Meteonom 7.

Para cada uno de los meses del año, se calcula el cociente entre el consumo medio total diario de energía eléctrica, E_{elec} y promedio de la radiación diaria disponible en el lugar de ubicación de los módulos fotovoltaicos, H_S

$$Y = \frac{E_{elec}}{H_S} \quad (1)$$

Y viene expresado en (Wh/día) / (kW/m²·día) = (W) / (kW/m²)

Es decir, Y tiene unidades de superficie, de manera que si el valor de Y obtenido se divide por 1,000 da como resultado una superficie en m² (las unidades de Y serían directamente m² si E_{elec} y H_S se expresan ambas en Wh o en kWh)

El cociente Y, expresado en m², representa 1,000 veces la superficie necesaria para que la energía media diaria de la radiación solar incidente

sobre ésta sea igual a la energía diaria consumida por los receptores, o lo que es lo mismo, el cociente Y , expresado en m^2 , representa 1000 veces la superficie que debería tener un módulo fotovoltaico ideal, de rendimiento igual al 100%; para satisfacer las necesidades diarias de energía eléctrica de la instalación receptora.

El subsistema de captación fotovoltaico se dimensiona para cubrir las necesidades durante el mes peor, es decir, aquel en el que la relación entre el promedio diario de las necesidades de energía eléctrica y la radiación solar media diaria disponible resulta más desfavorable, o sea, el que le corresponda el valor Y_{max} , valor máximo de los valores de Y de cada mes.

3.2. Medición de a Carga Conectada

Para hallar la carga conectada haremos la medición de carga conectada al sistema para lo cual mediremos cada lugar y haremos una tabla general de carga conectada a nuestro sistema.

Para esto necesitaremos de un multímetro y amperímetro con ello calcularemos la carga conectada



Figura 44: Multímetro Digital

La forma más simple de calcular la potencia que consume una carga activa o resistiva conectada a un circuito eléctrico es multiplicando el valor de la

tensión en volt (V) aplicada por el valor de la intensidad (I) de la corriente que lo recorre, expresada en Amper. Para realizar ese cálculo matemático se utiliza la siguiente fórmula:

$$P = V * I \quad (2)$$

3.3. Área de Instalación

El área de instalación deberá ser en un área despejada sin sombra para poder ganar la mayor cantidad de horas de radiación solar y esto dependerá de la cantidad de paneles solares así como también de la cantidad de paneles solares y de la separación de los mismos.

3.4. Dimensión de los Componentes

3.4.1. Voltaje de Instalación:

La energía diaria teórica requerida (carga diaria) se calculó sumando el producto entre la potencia de cada aparato o elemento de consumo por el tiempo medio diario de funcionamiento de cada uno. Normalmente no es suficiente con determinar el valor medio mensual del consumo diario, lo que equivale a suponer un valor de la carga diaria en Wh para cada mes.

Se suelen separar los consumos en corriente continua de los consumos en corriente alterna, pues están afectados de factores de pérdidas distintos.

La energía real necesario, E_{elec} , se calcula teniendo en cuenta las eficiencias de los distintos subsistemas y las pérdidas. De este modo:

$$E_{elec} = \frac{E_{TCC}}{\eta_b} + \frac{E_{TCA}}{\eta_b \eta_{inv}} \quad (3)$$

Donde:

ETCC: carga diaria en corriente continua

ETCA: carga diaria en corriente alterna

η_b : eficiencia carga/descarga de la batería

η_{inv} : eficiencia media diaria del inversor

En estos sistemas solo se utilizarán consumos en corriente alterna, por lo que la ecuación queda simplificada, así

$$E_{elec} = \frac{E_{TCA}}{\eta_b \eta_{inv}} \quad (4)$$

Para el diseño de ambos sistemas se utilizan valores de $\eta_b = 0.88$ y $\eta_{inv} = 0.9$, entonces, el consumo real de los dos sistemas da como resultado:

Utilizando la ecuación anterior, se obtiene lo siguiente:

3.4.2. Celda Fotovoltaica

En este punto, es imprescindible tener realizada la elección del tipo de módulo fotovoltaico concreto que va a instalarse, o, al menos, la potencia pico de los módulos, P_{mod} , expresada en WP, vatio-pico.

En primer lugar, se va a calcular la energía producida por un único módulo fotovoltaico, de la potencia pico escogida, P_{mod} (Wp), durante un día cualquiera (perteneciente al peor mes). Para ello, se debe recordar que la potencia pico de un módulo es la potencia que produce el panel medida en unas condiciones estándar que suponen una radiación incidente de 1,000 W/m² (lo mismo sucede con la intensidad pico y la tensión nominal)

La energía producida, durante una hora, por un panel de potencia pico P_{mod} (Wp) sobre el que incide una radiación solar de una intensidad igual a 1,000 W/m² es igual a P_{mod} (Wh).

$$HS \left(\frac{kwh}{m^2} * dia \right) * P_{mod}(Wp) = \text{energía diaria producida por un panel} \left(\frac{Wh}{dia} \right) \quad (5)$$

Tomando en cuenta la expresión anterior, el número de paneles N_{mod} , necesarios para cubrir las necesidades diarias de los receptores viene dado por la siguiente ecuación:

$$N_{mod}(\text{números de módulos}) = 1.1 E_{elect} \left[\left(\frac{Wh}{dia} \right) / \left(HS \left(\frac{kWh}{m^2} * dia \right) * P_{mod}(Wp) \right) \right] \quad (6)$$

Lo que equivale también, a:

$$N_{mod}(\text{número de módulos}) = \frac{1.1 Y_{max} \left[\frac{\frac{Wh}{dia}}{\frac{kWh}{m^2} * dia} \right]}{P_{mod}(Wp)} \quad (7)$$

El coeficiente 1.1 es un factor de seguridad para hacer frente a imprevistos y a la depreciación de las prestaciones de los diferentes componentes del sistema fotovoltaico por diferentes causas (depreciación debida al envejecimiento, pérdida de rendimiento debida a que los valores nominales suelen ser referidos por el fabricante para una temperatura de los módulos de 25°C mientras que, frecuentemente, éstos trabajan a temperaturas superiores a 40°C, etc.). Equivale a un sobredimensionamiento del 10%.

a) Número de Módulos en Serie:

El número de módulos fotovoltaicos que deben de conectarse en serie $N_{S,mod}$, se determina, primeramente, fijando la tensión de trabajo nominal del sistema fotovoltaico $V_{T,acu}$ de tal manera que la tensión de salida del campo fotovoltaico (tensión nominal de módulo fotovoltaico V_{mod} (normalmente, 24 V) iguale a la tensión de las baterías, siendo el número entero superior al cociente entre la tensión nominal del sistema y la tensión nominal del módulo.

$$N_{S,mod} = V_{T,acu} / V_{P,mod} \quad (8)$$

El voltaje o tensión nominal del módulo no debe confundirse con el voltaje o tensión de circuito abierto; ya que la mayoría de los módulos de 36.5 células tienen un voltaje nominal de 24 V

b) Número de Módulos en Paralelo:

El número de módulos conectados en paralelo, $N_{p,mod}$ (en realidad, $N_{p,mod}$ es el número de ramas o conjuntos de $N_{s,mod}$ módulos conectados en serie que deben conectarse en paralelo), puede hallarse como:

$$N_{p,mod} = \frac{N_{mod} P_{mod} / V_{p,mod}}{I_{p,mod}} \quad (9)$$

De este modo, el número de módulos fotovoltaicos, N_{mod} , es igual al producto:

$$N_{mod} = N_{s,mod} * N_{p,mod} \quad (10)$$

El número final total de módulos N_{mod} debe poderse expresar como el producto de dos números naturales, $N_{s,mod} \times N_{p,mod}$, siendo uno de ellos prefijado ($N_{s,mod}$), de modo que, si el número de paneles obtenido inicialmente no cumple esta condición, deberá aproximarse al mínimo número inmediato superior que la cumpla, modificando, para ello el valor de $N_{p,mod}$ (puesto que el valor de $N_{s,mod}$ viene fijado por la tensión de trabajo de las baterías y no puede modificarse).

3.4.3. Regulador de Carga:

Los reguladores de carga vienen determinados por la intensidad máxima de trabajo y por el voltaje en que hayamos diseñado nuestra instalación.

Para hallar el regulador de carga es importante saber la cantidad de paneles solares y la corriente que proporciona nuestros paneles solares entonces para esto utilizaremos la siguiente ecuación

$$R_C = N_{mod} * I_{mod} \quad (11)$$

Con esta ecuación podremos buscar un regulador de carga que pueda tener las características necesarias para nuestro sistema recordando que es depende también del voltaje de los paneles.

3.4.4. Baterías:

Para diseñar la capacidad de las baterías de acumulación, primero tendremos de establecer la autonomía deseada en caso de tener días desfavorables sin insolación por abundante nubosidad.

Para ello utilizaremos la siguiente ecuación (12).

$$\text{Capacidad de la batería} = \frac{\text{energía necesaria} * \text{días de autonomía}}{\text{Voltaje} * \text{profundidad de descarga de la batería}}$$

La profundidad de descarga depende del tipo de batería elegido. Estos valores oscilan entre 0,5 a 0,8. Podéis consultar estos valores en las características técnicas para cada modelo y fabricante.

Después de esto buscaremos las baterías más comerciales, dividiremos la capacidad de la batería que es resultado de la ecuación (11) y la batería comercial en nuestro país y así hallaremos el número de baterías la cual dependiendo de si son de 12V o 24V se mantendrá o duplicara la cantidad de baterías respectivamente.

3.4.5. Inversor:

Una de las decisiones más importantes que se deben tomar en este tipo de diseños es la elección correcta del inversor. El inversor debe cumplir las normas establecidas, como los requerimientos técnicos que imponen los paneles solares, se calcularán las tensiones y corrientes máximas y mínimas que podrán tenerse a la salida del generador, teniendo en cuenta tanto el funcionamiento normal de los paneles solares a la hora de entregar la máxima potencia como el funcionamiento de los paneles solares cuando están sometidos a condiciones de temperatura distintas a las establecidas en las condiciones estándar de medida.

Por último, para el cálculo del inversor, únicamente hemos de calcular la suma de las potencias de las cargas de alterna y aplicar un margen de seguridad del 20%. Así pues la ecuación 13 es:

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

Ahora bien, debemos tener en cuenta algo importante a la hora de seleccionar nuestro inversor. Muchos de los electrodomésticos y aparatos con motor utilizados tienen “picos de arranque”, como los frigoríficos, lavadoras etc, lo que supone que para su arranque van a demandar mayor potencia que la nominal, en ocasiones hasta 4 o 5 veces más de la potencia nominal prevista. Es por esta razón que, para evitar problemas y deficiencias en el correcto funcionamiento de nuestra instalación, es recomendable hacer un sobredimensionamiento que contemple los picos de arranque:

Por último, para seleccionar nuestro inversor, sabemos que en el mercado podemos encontrar inversores de onda senoidal pura (PWM) y de onda senoidal modificada (MSW). Mi recomendación es utilizar, siempre que sea posible, los de onda senoidal pura pues aunque son algo más caros, nos evitarán más de un problema que nos podrían ocasionar los de onda modificada con aparatos con motores.

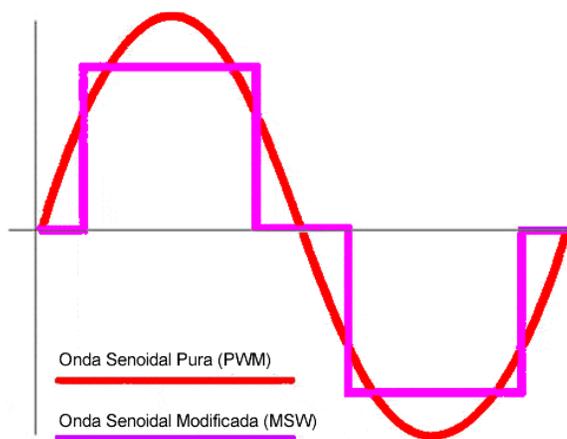


Figura 45: Inversores de Onda Senoidal

Los inversores de onda senoidal pura modificada (PWM) pueden alimentar a la mayoría de electrodomésticos actuales, sin embargo, pueden ocasionarnos problemas con aparatos con cargas inductivas, como son los motores. Los inversores de onda senoidal pura (PWM), “imitan” la forma de onda que de

la red eléctrica y en consecuencia es la mejor opción la alimentar los equipos eléctricos y electrónicos actuales.

3.4.6. Topología:

Esto lo hallaremos de acuerdo a los cálculos de las ecuaciones anteriores.

4. Diseño del Sistema Fotovoltaico para los Laboratorios de Electrónica de la UNPRG.

4.1. Estimación del nivel de radiación solar

La energía media diaria de la radiación disponible para cada mes, expresada en kWh/m²*día o lo que es lo mismo, en H.S.P.

Según el sistema nacional en la región los niveles de radiación están dados por la siguiente gráfica que muestra mensualmente el índice de radiación por cada mes para ello seguiremos la siguiente grafica en nuestra diseño del sistema.

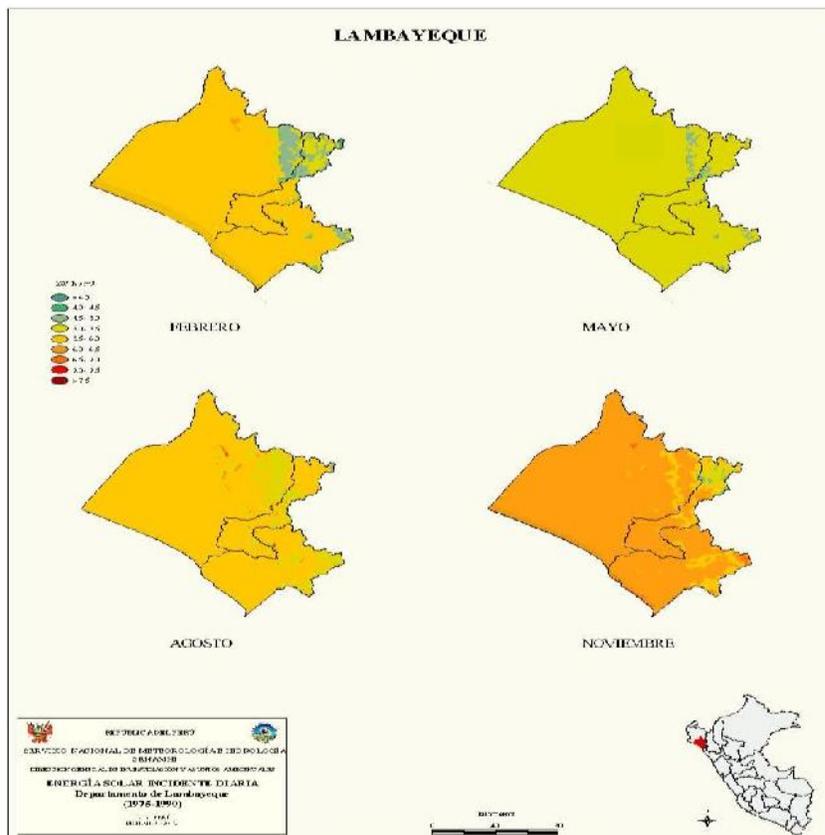


Figura 46: Incidencia del sol en Lambayeque

Pero también utilizaremos el programa el METEONORM 7 el cual nos ayudara para poder hacer las tablas necesarias para el sistema.

Los datos de irradiación se obtuvieron al utilizar el software METEONORM Versión 7.0 (demo) y esto nos ayudara para lo siguiente:

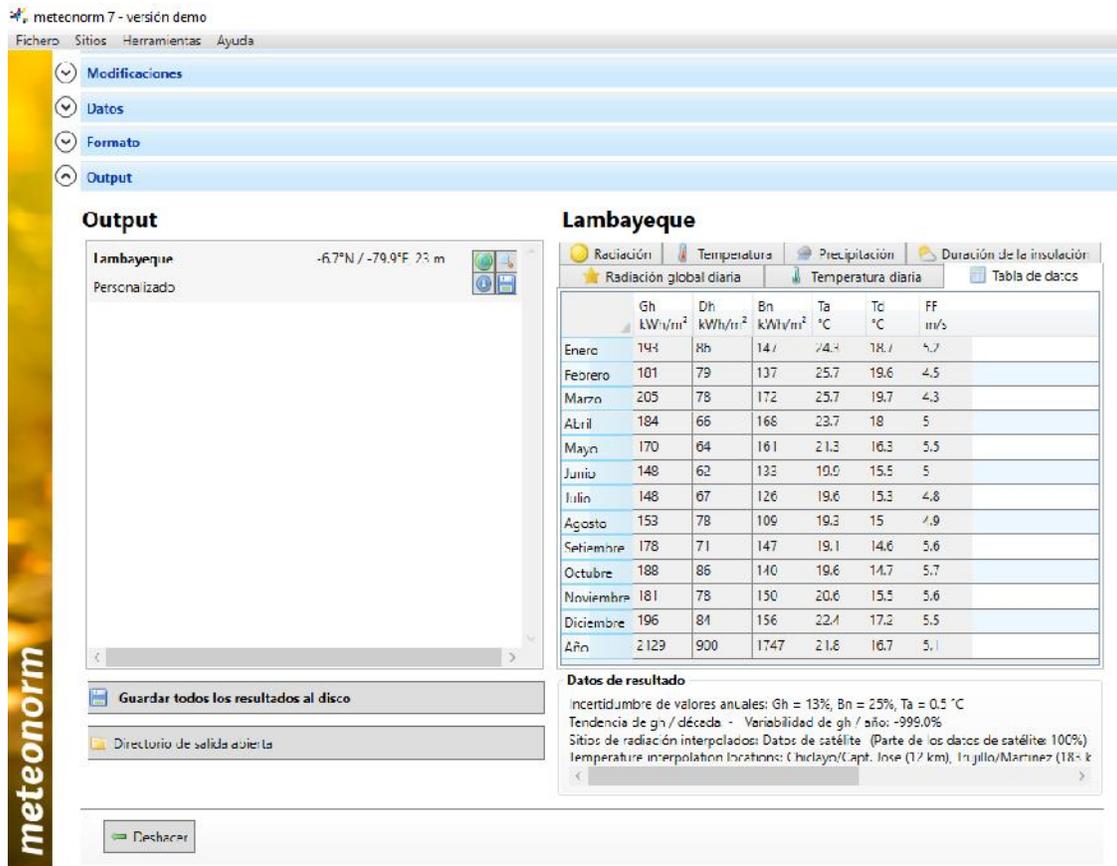


Figura 47: Lambayeque en METEONORM 7

Irradiación media de la radiación global de una superficie a distintos ángulos de inclinación

Meses	Irradiación
Enero	5.2
Febrero	4.5
Marzo	4.3
Abril	5
Mayo	5.5
Junio	5
Julio	4.8
Agosto	4.9
Septiembre	5.6
Octubre	5.7
Noviembre	5.6
Diciembre	5.5
Anual	5.1

Al revisar los datos de la tabla anterior, el ángulo de inclinación adecuado para los módulos durante el mes de Marzo, es 13°; éste se utilizará para realizar todos los cálculos del diseño del sistema. Obsérvese que el promedio anual de irradiación es de 5.1 kW/m²*día

Para determinar el peor mes del año, según la radiación solar y el consumo de la instalación a diseñar, a un ángulo de inclinación determinado de los módulos, se procede de la siguiente forma:

Utilizando la ecuación (1)

Los Laboratorios de Ingeniería Electrónica, mes de enero, ángulo de inclinación de los módulos 13°

HS= 5.2 kW/m²·día o H.S.P.

De la ecuación [3] se obtiene:

$$Y = 35,004.60 / 5.2 = 6,731.65 \text{ m}^2 \cdot 10^{-3}$$

Nota: de igual forma se procede para los otros meses del año

El valor de Y_{\max} se obtuvo en el mes de junio, para los dos tipos de usuarios definidos (sistemas individuales); por lo tanto el peor mes es marzo, comprobando lo discutido anteriormente.

Mes	HS 15° (H.S.P.,kW/m2*día)	Consumo corregida 1 Wh/día	Y (m2*10-3)
Enero	5.2	35,004.60	6,731.65
Febrero	4.5	35,004.60	7,778.80
Marzo	4.3	35,004.60	8,140.60
Abril	5	35,004.60	7,000.92
Mayo	5.5	35,004.60	6,364.47
Junio	5	35,004.60	7,000.92
Julio	4.8	35,004.60	7,292.63
Agosto	4.9	35,004.60	7,143.80
Septiembre	5.6	35,004.60	6,250.82
Octubre	5.7	35,004.60	6,141.16
Noviembre	5.6	35,004.60	6,250.82
Diciembre	5.5	35,004.60	6,364.47
Anual	5.1	35,004.60	6,863.64

4.2. Estimación de la carga conectada

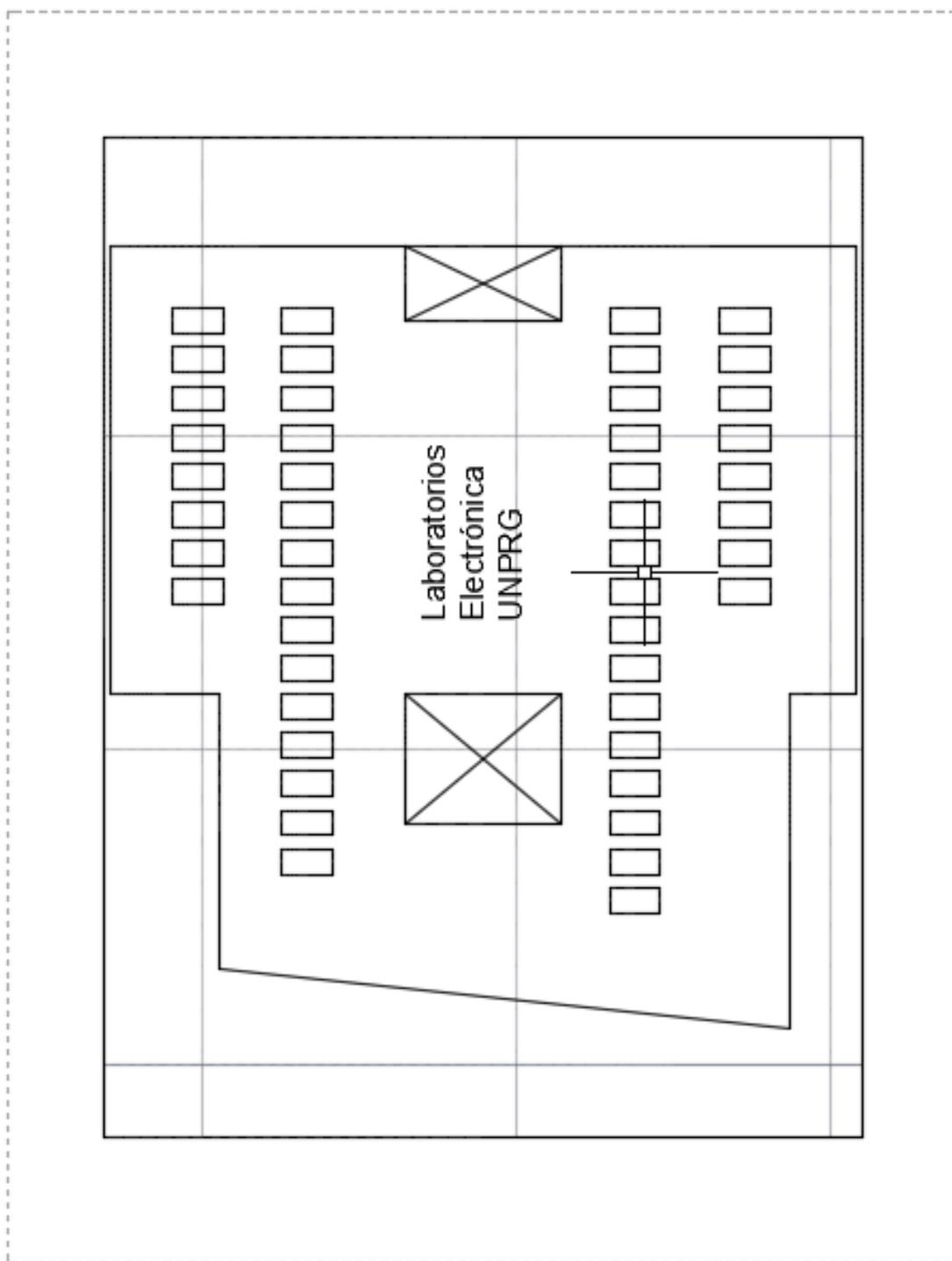
Con la instalación de un buen conjunto de paneles solares se puede abastecer parcial o totalmente las necesidades energéticas de un hogar.

A la hora de invertir en energía solar siempre nos conviene empezar por la intención de cubrir los requerimientos de nuestros laboratorios.

Para ello primero realizaremos las mediciones de la carga eléctrica de nuestros laboratorios.

ESCUELA DE INGENIERIA ELECTONICA	POTENCIA
LABORATORIO N°1	2376
LABORATORIO N°2	4475.52
LABORATORIO N°3	2600.64
LABORATORIO N°4	6490.8
SALA DE COMPUTO	3866.4
CENTRO DE PRODUCCION	2231.28
DIRECCION DE ESCUELA	829.44
SALA DE PROFESORES Y SUSTENTACION	1000.08
ALMACEN N° 1	898.56
ALMACEN N° 2	1138.32
PASADISO PRIMER PISO	669.6
PASADISO SEGUNDO PISO	596.16
PASADISO TERCER PISO	153.36
PASADISO CUARTO PISO	216
PASADISO QUINTO PISO	181.44
TOTAL	27,723.60

4.3. Área a utilizar



4.4. Dimensión de los Componentes

4.4.1. Voltaje de Instalación

Utilizando la ecuación (4)

$$E_{elec} = \frac{27,763.60}{0.88 \times 0.90}$$

$$E_{elec} = 35,004.60$$

Consumo teórico ET (Wh/día)	Coefficiente de corrección $\eta_b \eta_{inv} = 0.88 * 0.9$	Consumo corregido $E_{elect} \text{ (Wh/día)} = E_T / \eta_b \eta_{inv}$
27,763.60	0.792	35,004.60

4.4.2. Paneles solares

Todos los cálculos y el dimensionado que se desarrollan a partir de aquí, se refieren al peor mes y se realizan con los datos correspondientes a dicho mes.

Para calcular el número de módulos tenemos que tener:

$$Y_{max} = 8,140.60 \text{ m}^2 * 10^{-3}$$

$$P_{mod} = 190 \text{ Wp}$$

De la ecuación (7), se obtiene:

$$N_{nod} = \frac{1.1 * 8,140.60}{190} = 47 \text{ módulos}$$

Para nuestros laboratorios de ingeniería electrónica, realizaremos estos cálculos los cuales son necesarios.

Si la tensión de trabajo del subsistema de acumulación tendrá un de $V_{T,acu}=24V$ y la tensión nominal o pico de cada módulo fotovoltaico es $V_{P,mod}=36.5 V$, entonces:

Para hallar el número de Módulos en serie utilizaremos a ecuación (8)

$$N_{S,mod} = 24V/36,5V$$

$$N_{S,mod} = 0,66$$

$$N_{S,mod} = 1 \text{ modulo en serie}$$

Para hallar el número de Módulos en serie utilizaremos a ecuación (9)

$$N_{P.mod} = \frac{47 * \frac{190}{36,5}}{5.21}$$

$$N_{P,mod} = 46.96$$

$$N_{P,mod} = 47 \text{ módulos en paralelo}$$

Características técnicas de la superficie de captación

Los módulos fotovoltaicos que se van a utilizar en esta aplicación son de silicio monocristalino, con potencia pico mayor-igual a 190 Wp.

La elección del módulo se realizó según costo y disponibilidad tecnológica en Perú; ya que el costo de un módulo depende de la potencia, calidad y fabricante.

A continuación se presentan las especificaciones del módulo que se utilizará en el diseño y construcción de los dos

Parameters	SM572-165	SM572-170	SM572-175	SM572-180	SM572-185	SM572-190	SM572-195
Peak power Pm(W)	165±3%	170±3%	175±3%	180±3%	185±3%	190±3%	195±3%
Open circuit voltage Voc(V)	42.7	43.3	43.3	43.9	43.9	44.5	44.5
Max. power voltage Vmp(V)	35	35.5	35.5	36.0	36.0	36.5	36.5
Max. power current Imp(A)	4.71	4.79	4.93	5.00	5.14	5.21	5.34
Short circuit current Isc(A)	5.04	5.08	5.23	5.30	5.45	5.52	5.77
Dimensions(L*W*H)	1580*808*45/35/50						
Weight(kg)	15.5						
Max. over-current (A)	10						
Max. system voltage (V)	1000V DC						
Application Class	Class A						
Mono crystalline silicon solar cell	125*125*0.19mm						
No. of cells and connections	72 series						
No. of bypass diodes	3						
Bypass diode rating (A)	10						
Bypass diode max. junction temperature(°C)	200						
Bypass diode thermal resistance(°C/W)	3.0						
STC	Irradiance:1000W/m ² ,Cell temperature:25°C,AM:1.5						
Maximum No. of series connection	22						
Maximum No. of parallel connection	2						

Figura 48: Especificaciones técnicas de nuestro panel solar SM572-190



Figura 49: Panel solar SM572-190

4.4.3. Regulador de Carga

Para saber qué tipo de Regulador que utilizaremos será necesario utilizar la ecuación (11)

$$I = 5.21 * 47 = 244.87$$

Teniendo esto en cuenta buscaremos el inversor más adecuado para nuestro sistema que nos de lo necesario teniendo en cuenta que es de 24 v.

Teniendo en cuenta que nuestros reguladores alcanzan como máximo 50 A o 60 A entonces haremos un arreglo para este caso:

Utilizaremos 4 Reguladores de 60 Amper entonces haremos conjuntos de 10 paneles con 5 reguladores para este sistema.

4.4.4. Baterías

Al igual que sucede con los módulos fotovoltaicos, los acumuladores o baterías deben conectarse adecuadamente para conseguir los requerimientos eléctricos de conexión con el resto del sistema fotovoltaico.

En nuestro caso, elegiremos una batería que tolere una descarga de hasta un 60% (0,6).

Utilizando la ecuación (12)

$$\text{Capacidad de acumulación} = 35,004.60 * 2 / 24 * 0,6 = 4,861.75 \text{ Ah}$$

La selección del sistema de acumulación requiere de diferentes comprobaciones para que el sistema dure y tenga un óptimo rendimiento. Los sistemas de acumulación necesitan una mínima intensidad de carga para asegurar que las baterías carguen correctamente y evitar que tengan una vida útil más corta de la esperada.

Teniendo en cuenta la capacidad de acumulación de la batería que es de 4,861.75Ah

$$C_{B,acum} = 4,861.75 \text{ Ah}$$

Teniendo en cuenta esto usaremos baterías comerciales en Perú la cual tiene como capacidad de 150Ah

Entonces para saber el número de baterías a utilizar sería:

$$N_{Bat} = \frac{C_{B,acum}}{150} = \frac{4,861.75}{150} = 32.42$$

Entonces teniendo en cuenta el número de baterías es de 32 como se utilizan baterías 12V entonces utilizaremos el doble de las baterías en total 64.

4.4.5. Inversor:

En este caso utilizaremos la ecuación número 13 para calcular el inversor a utilizar en nuestro sistema:

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

Entonces de la ecuación anterior encontramos

La potencia AC es de 7,486.56 de acuerdo a los datos obtenidos en la medición de los equipos.

$$P_i = 1.2 * 7,486.56 = 8,983.872$$

4.4.6. Topología:

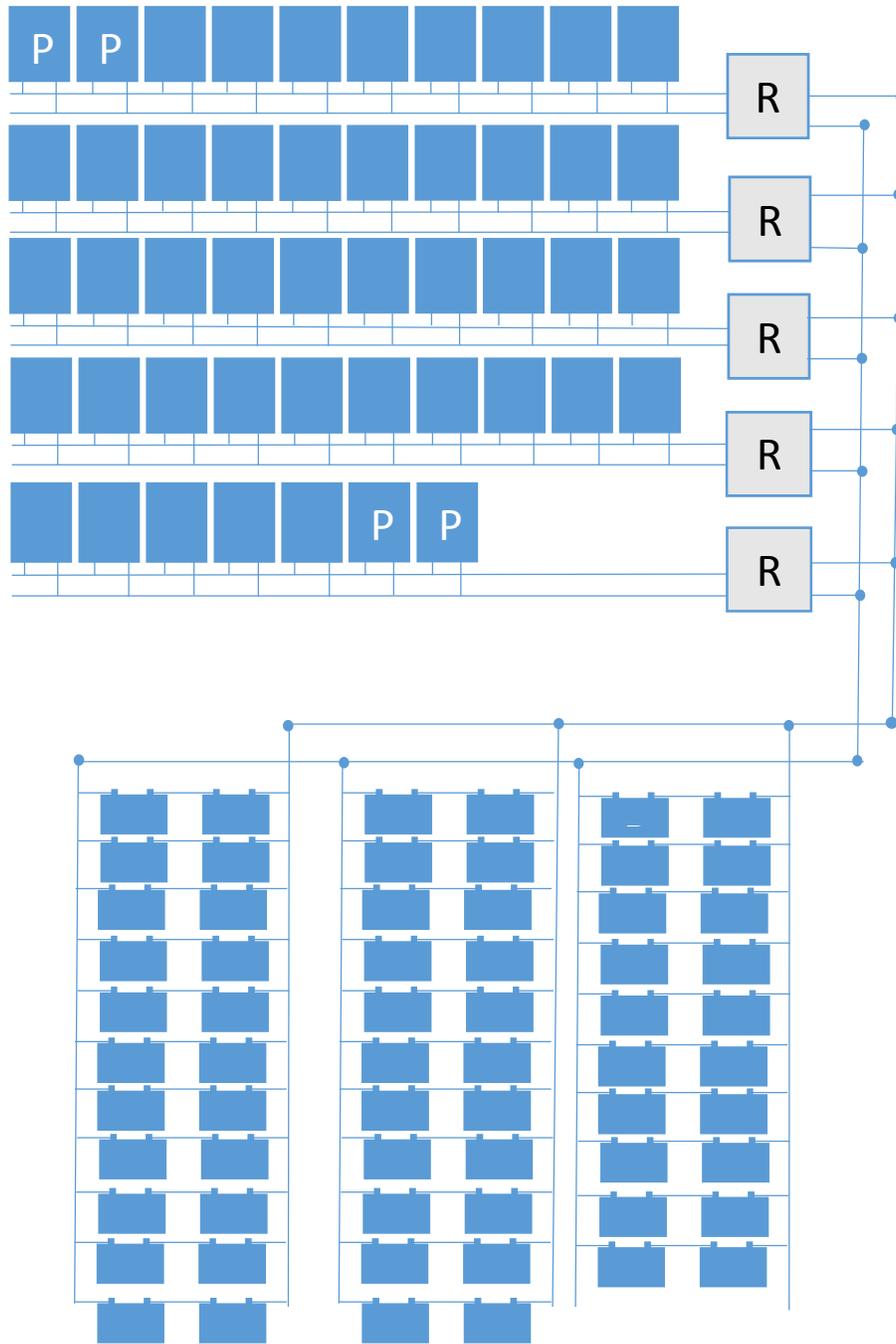


Figura 50: Topología Sistema Fotovoltaico

4.5. Elección de Equipos:

Para esta parte elegiremos los equipos que reúnan las características del sistema para ello tomamos las siguientes características o datos que hemos obtenido:

Sensor	Grafica	Nombre	Amper	Voltaje
Paneles Solares		Monocristalino 190WP	5.21 A	24V
Regulador		Controlador Morningstar TriStarMPPT	60 A	24V
Baterías		Batería ULTRACELL UCG150-12 GEL de CICLO PROFUNDO	150A	12V
Inversor		Inversor 50000W	2000A	24V

5. Presupuesto

5.2. Calculo del presupuesto

Para poder hacer el presupuesto necesitamos sacar todos los equipos que utilizaremos los cuales ya hemos calculado en la sección anterior:

Hemos hecho un cuadro describiendo cada uno de los equipos sus precios unitarios y su costo total parcial y total general.

Sensor	Grafica	Nombre	Amper	Voltaje	Precio Unitario(\$)	Cantidades	Precio total (\$)
Paneles Solares		Monocrystalino 190WP	5.21 A	24V	245	47	11515
Regulador		Controlador Morningstar TriStarMPPT	60 A	24V	820	5	4100
Baterías		Batería ULTRACELL UOG150-12 GEL de CICLO PROFUNDO	150A	12V	310	64	19840
Inversor		Inversor 5000W	2000A	24V	750	1	750
TOTAL GENERAL DEL PROYECTO							36,205

EL TOTAL GENERAL DEL PROYECTO SERIA UNA SUMA DE \$36,205 DOLARES

6. Conclusiones

Se logró plantear el diseño en base a una metodología utilizando el software METEONORM 7.0, la pinza amperimétrica y las hojas de datos de los equipos del laboratorio.

La radiación en nuestro departamento de Lambayeque se tiene 5.1 Wh/m² por día de irradiación solar, durante 5 horas.

La demanda energética total del Laboratorio es de 27,723.60 w de potencia.

El presupuesto total de los equipos para la implementación del sistema fotovoltaico es de \$36,205.

7. Bibliografía

[1] Instituto Tecnológico de Canarias, S.A. (2008). Energía y Electricidad. En Energías Renovables y Eficiencia Energética (14, 15). Islas Canarias: Feder.

<http://www.cienciacanaria.es/files/Libro-de-energias-renovables-y-eficiencia-energetica.pdf>

[2] International Labour Foundation for Sustainable Development. (4 de abril 2014). Energía: Sector clave para el desarrollo. SUSTAINLABOUR, vol. 1, pág. 2-3.

[3] C. Schallenberg, G. Piernavieja, C. Hernandez. (2008). Ahorro y Eficiencia Energética. Islas Canarias: Instituto Tecnológico de Canarias.

<http://www.cienciacanaria.es/files/Libro-de-energias-renovables-y-eficiencia-energetica.pdf>

[4] W. Jara T.. (Agosto 2006). Marco Conceptual. En Introducción a las Energías renovables no convencionales (pág. 14-20). Santiago de Chile: Endesa Chile.

<http://www.endesa.cl/EN/NUESTROCOMPROMISO/PUBLICACIONESEI NFORMES/Documents/Libro%20ERNc%20versi%C3%B3n%20de%20im prenta.pdf>

[5] Energías Renovables y eficiencia Energética. Instituto Tecnológico de Canarias, S.A.

<http://www.cienciacanaria.es/files/Libro-de-energias-renovables-y-eficiencia-energetica.pdf>

[6] W. Jara T.. (Agosto 2006). Marco Conceptual. En Introducción a las Energías renovables no convencionales (pág. 15-16). Santiago de Chile: Endesa Chile.

<http://www.endesa.cl/EN/NUESTROCOMPROMISO/PUBLICACIONESEI NFORMES/Documents/Libro%20ERNC%20versi%C3%B3n%20de%20imprenta.pdf>

[7]] W. Jara T.. (Agosto 2006). Marco Conceptual. En Introducción a las Energías renovables no convencionales (pág. 24-28). Santiago de Chile: Endesa Chile.

<http://www.endesa.cl/EN/NUESTROCOMPROMISO/PUBLICACIONESEI NFORMES/Documents/Libro%20ERNC%20versi%C3%B3n%20de%20imprenta.pdf>

[8]] W. Jara T.. (Agosto 2006). Marco Conceptual. En Introducción a las Energías renovables no convencionales (pág. 44-45). Santiago de Chile: Endesa Chile.

<http://www.endesa.cl/EN/NUESTROCOMPROMISO/PUBLICACIONESEI NFORMES/Documents/Libro%20ERNC%20versi%C3%B3n%20de%20imprenta.pdf>

[9]] W. Jara T.. (Agosto 2006). Marco Conceptual. En Introducción a las Energías renovables no convencionales (pág. 45-46). Santiago de Chile: Endesa Chile.

<http://www.endesa.cl/EN/NUESTROCOMPROMISO/PUBLICACIONESEI NFORMES/Documents/Libro%20ERNC%20versi%C3%B3n%20de%20imprenta.pdf>

[10]] W. Jara T.. (Agosto 2006). Marco Conceptual. En Introducción a las Energías renovables no convencionales (pág. 46-48). Santiago de Chile: Endesa Chile.

<http://www.endesa.cl/EN/NUESTROCOMPROMISO/PUBLICACIONESEI NFORMES/Documents/Libro%20ERNC%20versi%C3%B3n%20de%20imprenta.pdf>

[11]] W. Jara T.. (Agosto 2006). Marco Conceptual. En Introducción a las Energías renovables no convencionales (pág. 49). Santiago de Chile: Endesa Chile.

<http://www.endesa.cl/EN/NUESTROCOMPROMISO/PUBLICACIONESEI NFORMES/Documents/Libro%20ERNC%20versi%C3%B3n%20de%20im prenta.pdf>

[12]] W. Jara T.. (Agosto 2006). Marco Conceptual. En Introducción a las Energías renovables no convencionales (pág. 39-42). Santiago de Chile: Endesa Chile.

<http://www.endesa.cl/EN/NUESTROCOMPROMISO/PUBLICACIONESEI NFORMES/Documents/Libro%20ERNC%20versi%C3%B3n%20de%20im prenta.pdf>

http://www.pamplona.es/pdf/guia_energia_solar.pdf

http://www.sustainlabour.org/documentos/Energ%C3%ADa_04abril20 14.pdf

http://dl.idae.es/Publicaciones/10374_Energia_solar_termica_A2006.p df

<http://twenergy.com/a/paneles-termodinamicos-que-funcionan-las->

<http://www.acsaeolica.com/es/pdf/paneles.pdf>.

<http://paneles-fotovoltaicos.blogspot.com/>

<http://energia-renovable.eu/tipos-de-paneles-solares/>

<http://www.clickrenovables.com/blog/como-calculiar-una-instalacion- solar-fotovoltaica-en-5-pasos/>

<http://www.energiasolartermica.biz/>

<http://energias-renovables-y-limpias.blogspot.pe/2013/04/que-panel- comprar-monocristalino-o-policristalino.html>