

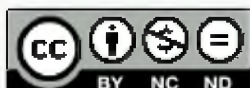
**Sahade, Diego Ignacio**

# **Estudio de los diferentes tipos de energías renovables e implementación de un sistema de generación para satisfacer necesidades básicas de poblados sin acceso a la energía eléctrica**

**Tesis para la obtención del título de grado de  
Ingeniero Eléctrico Electrónico**

**Director Castagnola, Juan Luis**

Documento disponible para su consulta y descarga en **Biblioteca Digital - Producción Académica**, repositorio institucional de la **Universidad Católica de Córdoba**, gestionado por el **Sistema de Bibliotecas de la UCC**.



Esta obra está bajo licencia 2.5 de Creative Commons Argentina.

Atribución-No comercial-Sin obras derivadas 2.5



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA  
INGENIERÍA ELÉCTRICA  
TRABAJO FINAL

**“ESTUDIO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE ENERGÍAS RENOVABLES E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN PARA SATISFACER NECESIDADES BÁSICAS DE POBLADOS SIN ACCESO A LA ENERGÍA ELÉCTRICA”**

Alumno: SAHADE, Diego Ignacio

Director de Tesis: CASTAGNOLA, Juan Luis

## INDICE

### **I. INTRODUCCIÓN**

1.1 Planteamiento del problema

1.2 Justificación

1.3 Objetivo general

1.3.1 Objetivos Particulares

### **II. MARCO TEÓRICO**

2.1 Trabajo y Energía

2.2 Formas de Energía

2.3 Potencia y Eficiencia

2.3.1 Potencia

2.3.2 Eficiencia

2.4 Conversión de Energía

2.5 Ciclos naturales relacionados a las fuentes de Energías renovables

2.5.1 Ciclo de la biomasa

2.5.2 Ciclo hidráulico

2.6 Sistemas de conversión de Energía

2.7 Satisfacción de necesidades básicas que requieren energía

2.8 El cambio climático. El Efecto invernadero y la lluvia acida

### **III. ENERGÍA SOLAR**

3.1 Radiación solar

3.1.1 El sol

3.1.2 La constante solar ( $s_0$ )

## 3.2 Definiciones Básicas

### 3.2.1 Tipo de radiación solar

### 3.2.2 Geometría de la radiación solar terrestre

### 3.2.3 Geometría de la radiación solar sobre una superficie inclinada

## 3.3 Caracterización del Recurso Solar 50

### 3.3.1 Potencial energético

### 3.3.2 Tecnología para el aprovechamiento de la energía

### 3.3.3 Medidores de radiación solar

## 3.4 Aplicaciones de la Energía Solar Térmica

### 3.4.1 Colector Solar. Parte 1

#### 3.4.1.1 Colector de Placa plana (CPP)

### 3.4.2 Colector Solar. Parte 2

#### 3.4.2.1 Rendimiento de un colector solar

#### 3.4.2.2 Captadores de tubo al vacío

#### 3.4.2.3 Conexión entre colectores

### 3.4.3 Destilador solar

### 3.4.4 Cocina Solar

### 3.4.5 Secador Solar

### 3.4.6 Concentrador Solar

## 3.5 Energía solar Fotovoltaica

### 3.5.1 Funcionamiento de la célula solar

### 3.5.2 Tecnología de Fabricación de las células solares de silicio cristalino

### 3.5.3 Tipos de paneles fotovoltaicos

## **IV. ENERGÍA EÓLICA**

- 4.1. ¿Cómo se produce el viento?
- 4.2. ¿Cómo se caracteriza el potencial eólico de una zona?
- 4.3. ¿Cómo se puede aprovechar la energía eólica?
- 4.4. ¿Cuáles son las partes fundamentales de un aerogenerador?
- 4.5. ¿Cómo se pueden clasificar los aerogeneradores?
- 4.6. ¿Cómo se puede estimar la energía eléctrica generada por un aerogenerador?
- 4.7. ¿Cuáles son las últimas tendencias en energía eólica?
- 4.8. ¿Cómo afecta la energía eólica al medioambiente?
- 4.9 Ventajas de la generación de energía Eólica en la Argentina

## **V. OTRAS ENERGIAS RENOVABLES**

- 5.1. Aprovechamiento de la energía hidráulica
  - 5.1.1. ¿Cómo se genera la energía hidráulica?
  - 5.1.2. Clasificación de las centrales hidráulicas
- 5.2. ¿Cómo se puede aprovechar la biomasa?
  - 5.2.1. ¿Qué es la biomasa?
  - 5.2.2. ¿Cuáles son las fuentes de biomasa que se utilizan con fines energéticos?
    - 5.2.2.1. Biomasa natural
    - 5.2.2.2. Biomasa residual
    - 5.2.2.3. Cultivos energéticos
  - 5.2.3. ¿Qué son los biocombustibles?
    - 5.2.3.1. Biocombustibles sólidos
    - 5.2.3.2. Biocombustibles gaseosos
    - 5.2.3.3. Biocombustibles líquidos

5.2.4. ¿Cuáles son las ventajas de utilizar la biomasa?

5.3. ¿Cómo se puede aprovechar la energía geotérmica?

5.3.1. Producción de electricidad

5.3.2. Producción de calor

5.4. ¿Cómo se puede aprovechar la energía del mar?

5.4.1. Las mareas

5.4.2. Energía de las olas

5.4.3. El gradiente térmico

5.4.4. Las corrientes marinas

## **VI. SITUACIÓN ACTUAL DE ENERGÍA RENOVABLE EN LA REPUBLICA ARGENTINA**

## **VII. DISEÑO E INTEGRACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA SATISFACER LAS NECESIDADES BÁSICAS DE POBLADOS SIN ACCESO AL SISTEMA ENERGÍA ELÉCTRICA POR RED**

7.1. Introducción

7.2 Descripción de un sistema fotovoltaico aislado

7.3 Obtención de los datos de partida

7.4 Diseño y dimensionamiento del sistema

7.5 Instalación y prueba del sistema

## ***I. INTRODUCCIÓN***

Se considera fuentes renovables de energías, a aquellas que no afectan el medioambiente y que tienen la capacidad de regenerarse de forma natural. Por ende se pueden considerar fuentes inagotables. Las mismas se originan principalmente en la energía solar o en energía proveniente de la tierra (geo-energía). Cuando hablamos de energía solar, no nos referimos solamente a la energía que podemos captar con paneles o colectores solares. El sol es el principal responsable de generar varios ciclos naturales que producen los vientos, las lluvias, las olas, las corrientes oceánicas, procesos químicos para generar biomasa, etc.

La energía eléctrica es uno de los principales recursos que influye en la calidad de vida del hombre. Es imprescindible para el desarrollo y tecnificación de los diferentes pueblos y está altamente relacionada con la capacidad industrial de una nación.

Actualmente, debido al rápido agotamiento de los combustibles fósiles y la creciente preocupación que genera el cambio climático global, estamos presenciando un cambio en la perspectiva mundial sobre la forma de generación de energía. El mundo está mirando con más atención a las energías no convencionales. Energías más amigables con el medio ambiente como los son la energía solar, eólica, geotérmica, mareomotriz, biomasa, entre otras.

Según un Informe Global sobre el estado de las Energías Renovables 2014 de REN21 (Renewable Energy Policy Network for the 21 century), la producción eléctrica a partir de energías renovables alcanzó en 2013 un récord, con 1.560 gigavatios (GW), un 8,3% más que en 2012. En su conjunto, más del 22% de la producción eléctrica mundial provino de fuentes renovables. Entre los países líderes en generación "verde" se encuentran China, Estados Unidos, Brasil, Canadá y Alemania.

### ***1.1 Planteamiento del problema***

La actualidad del sistema energético en la Argentina es muy complicada. Debido a años de desinversión y políticas a corto plazo actualmente Argentina no está en condiciones de autoabastecerse. Actualmente se importa gas natural desde Bolivia y de todo el mundo como GNL por barco.

Desde el 2003 se aumento el parque térmico y se bajo su eficiencia energética, lo que significo mayor dependencia de combustibles fósiles: gasoil, fuel oil y gas natural. Pero simultáneamente cayó la producción de crudo y sus derivados y la de gas, en cifras significativas.

Todo este panorama nos indica que Argentina necesita un plan a largo plazo para poder volver a ser una potencia en temas energéticos, y por sobre todas las cosas poder autoabastecernos de la energía necesaria para nuestras industrias y hogares.

Con un plan serio y políticas acertadas, Argentina en 10 años podría estar exportando petróleo y gas y contar con un servicio eléctrico abastecido por una balanceada combinación de fuentes renovables, gas natural y energía nuclear.

Argentina tiene recursos energéticos en abundancia para la generación de energía renovable que están siendo desaprovechados.

Más allá de los problemas energéticos mencionados, existen poblados pequeños, en zonas marginadas, donde no llega el tendido eléctrico. Hoy en día la electricidad es fundamental para la higiene, formación, integración y desarrollo de las personas. En este campo las energías alternativas podrían brindar una solución eficiente e inmediata a esta problemática.

## ***1.2 Justificación***

Para la gran mayoría de nosotros la electricidad es algo que siempre se encuentra disponible. Es tan simple como ir hasta un enchufe en nuestra casa, o apretar un interruptor para tener luz. No somos conscientes que detrás de esas simples acciones hay un largo camino, una gran infraestructura, una gran planeación y muchísimos profesionales. Para mantener nuestra casa “conectada” existe una inversión muy grande de recursos. La energía debe ser generada, transportada, distribuida, medida y facturada.

Todo lo mencionado anteriormente es para que reflexionar y pensar en la necesidad de no malgastar este recurso. En vista de esto es necesario que emprendamos 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. Este es el caso de este trabajo que dentro de sus lineamientos pretende la integración de un sistema de generación eólico para disminuir el consumo de energía de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica de Córdoba.

La ventaja de la instalación del sistema mencionado radica principalmente en toda la energía producida proviene de un recurso totalmente renovable, evitando de esta manera consumir electricidad de la red, la cual en más de un 50% es producida con combustibles fósiles (generan gases que contribuyen al efecto invernadero).

## ***1.3 Objetivo general***

Diseñar e integrar un sistema de generación de energía alternativa pensado para satisfacer necesidades básicas en poblados rurales sin acceso a la red de distribución eléctrica.

## ***1.4 Objetivos particulares***

Exponer y analizar en detalle las diferentes tipos Energías Renovables existentes.

Concientizar y alentar el uso de energías renovables, lo cual beneficia a nuestro planeta, disminuyendo la producción de gases de efecto invernadero e independencia de los combustibles fósiles.

Diseñar un sistema de generación alternativa, el cual sea una solución para comunidades que carecen del suministro eléctrico, brindando la posibilidad de desarrollo e integración social.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Trabajo y Energía

Estos conceptos se desarrollan dentro de la continua búsqueda de las necesidades básicas humanas incluyendo el uso de varios tipos de tecnologías y su respectivo acople.

Se define "trabajo" al producto escalar entre el vector fuerza y el vector desplazamiento o el producto de la fuerza por la distancia y por el coseno del ángulo que existe entre la dirección de la fuerza y la dirección que recorre el punto o el objeto que se mueve. También se puede expresar con el producto de un par de rotación (momento de fuerza) por un cierto ángulo (desplazamiento angular). El trabajo es una magnitud escalar y en el sistema Internacional su unidad es Joule [J].

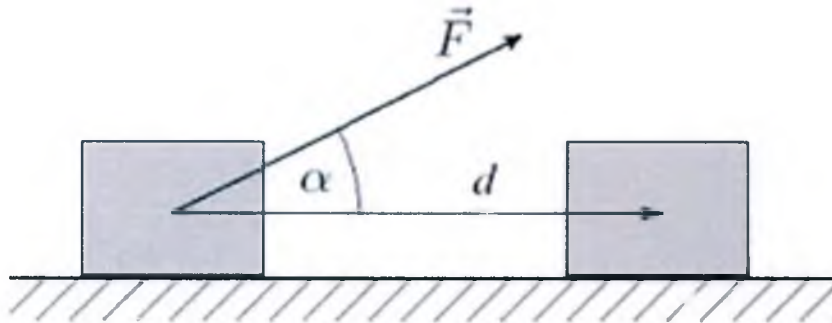


Figura 2.1: Gráfico del Trabajo en un objeto desplazándose por una fuerza (F)

Un "sistema" se define como un conjunto de partes o elementos que poseen organización y que se relacionan entre sí para lograr un objetivo. Los sistemas reciben entradas a través de datos, energía o materia del ambiente y suministran información, energía o materia como salida. Todo sistema tiene límites (frontera)



Figura 2.2: Gráfico de un sistema.

Otro concepto base es el de "energía", el cual tiene que ver con la capacidad de un cuerpo o sistema para producir transformaciones, con independencia de que éstas se produzcan o no. Se considera al trabajo como un mecanismo de transferencia de energía en un sistema.

## 2.2 Formas de Energía

La energía puede tomar varias formas y en éstas se incluyen: energía mecánica, química, térmica, electromagnética, nuclear. Se puede decir que en general, las formas de energía se encuentran relacionadas entre sí porque se convierten de una forma a otra.

Por ejemplo si un sistema pierde energía en alguna forma entonces el sistema ganará una cantidad igual de energía en otra forma. A continuación se describen cada forma de energía

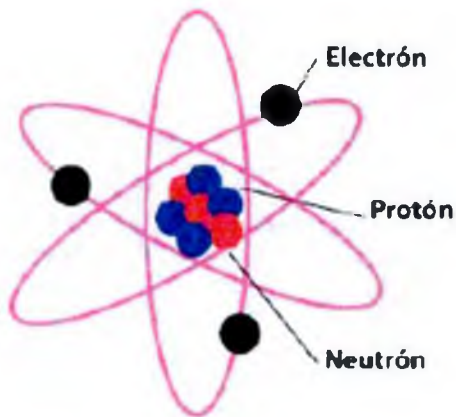


Figura 2.3: Gráfico de un átomo

La energía cinética, implícita en una masa en movimiento, depende de la velocidad de acuerdo a la expresión matemática:

$$E = \frac{1}{2} mV^2$$

Donde **m** es la masa del objeto y **V** es la velocidad del mismo elevada al cuadrado.

Para el caso de la energía térmica, es considerada un caso particular de la energía cinética, donde la energía se desprende en forma de calor. El calor se define como la energía en transición debido a las diferencias de temperatura.

La temperatura es una propiedad que mide la actividad interna de las partículas atómicas y subatómicas de una masa determinada. Cuanto más rápido se mueven las masas, más energía cinética posee. Otro ejemplo de aprovechamiento de la energía cinética, es el viento.

La energía electrostática; es la energía que se manifiesta por la atracción o repulsión de dos cargas eléctricas entre sí.

La energía química es un caso particular de la energía electrostática, siendo la energía que mantiene unidos entre sí a los átomos que conforman una molécula, o a varias moléculas entre sí formando cuerpos a su estructura interna. La combustión de la biomasa es un ejemplo de energía térmica y química.

La energía nuclear; es la energía almacenada en los núcleos de los átomos, en el momento de su formación, y la que mantiene unidos a los protones y los neutrones.

La energía electromagnética; está asociada a una carga eléctrica en movimiento o un conjunto de éstas formando una corriente eléctrica. Es la cantidad de energía

almacenada en una parte del espacio a la que podemos otorgar la presencia de un campo electromagnético.

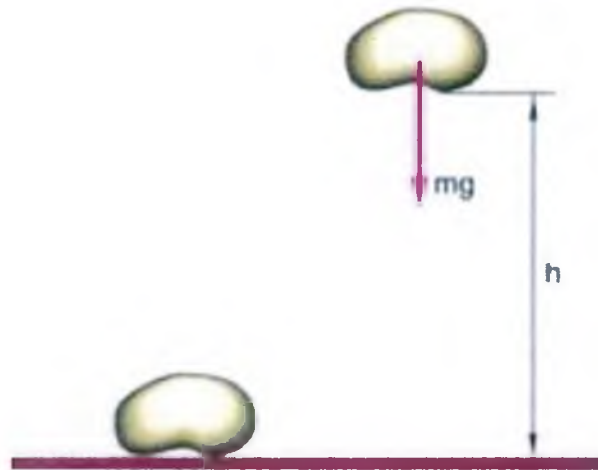
La energía luminosa o lumínica: Cuando se liberan electrones de un material por la acción de la radiación se denomina efecto fotoeléctrico o emisión fotoeléctrica.

Sus características esenciales son:

-Para cada sustancia hay una frecuencia mínima o umbral de la radiación electromagnética por debajo de la cual no se producen fotoelectrones por más intensa que sea la radiación.

-La emisión electrónica aumenta cuando se incrementa la intensidad de la radiación que incide sobre la superficie del metal, ya que hay más energía disponible para liberar electrones.

La energía potencial gravitacional; Es la energía que tiene una masa por su posición en el espacio y que cae en un campo gravitacional, este ejerce una fuerza en la dirección del movimiento efectuando un trabajo que le permite ganar energía cinética; sin embargo por su posición en el espacio, esta masa tiene energía potencial.



**Figura 2.4: Energía potencial**

Adicionalmente la Energía Mecánica total de un sistema se define como la suma de la energía cinética y la energía potencial. La suma de ambas siempre se mantiene constante salvo en sistemas en los que actúen fuerzas no conservativas. La energía de las olas es un ejemplo. Se debe tener en consideración en cierto modo, la electricidad puede ser considerada como un portador de energía de conversión directa. Vapor de agua, por otro lado, puede ser considerado un portador de energía indirecta, se puede explicar la diferencia intrínseca entre la electricidad y el vapor en este contexto. Finalmente la presión no es en sí mismo una forma de energía almacenada, pero se puede fácilmente generar trabajo en un sistema termodinámico de flujo (abierto); de hecho, la entalpía es la suma de la energía y la presión (dividida por la densidad interna).

Finalmente la energía debe ser reconocida como un importante parámetro para la productividad y actividades de la comunidad. Básicamente los procesos de transformación no pueden operar sin energía y es ahí donde este parámetro juega un rol importante para analizar.



Figura 2.5: Tipos de Energía

## 2.3 Potencia y Eficiencia

### 2.3.1 Potencia

Se define la potencia como el trabajo realizado en la unidad de tiempo, matemáticamente sería el cociente entre el trabajo realizado y el intervalo de tiempo transcurrido. Sus unidades en el sistema internacional es Watio.

En algunos casos se conoce potencia instantánea como relación con el tiempo de transferencia de energía.

Se debe tener claro que energía es la capacidad que tiene la materia para realizar conversiones o transformaciones, en el mismo cuerpo, bien entre varios. Estas conversiones pueden ocurrir a nivel atómico, molecular o nivel de estados de agregación del cuerpo; y tanto la materia (masa), como la energía, desde el punto de vista ideal deberían conservar en todos los procesos de conversión o transformación, respetando las leyes de conservación que dicen:

En toda transformación de la materia de tipo químico (reacción química) o físico (cambios de estado), la masa total se conserva (en una reacción química, la masa total de los reactivos es igual a la masa total de los productos).

La energía ni se crea ni se destruye, sólo se transforma (primer principio de la termodinámica).

Pero en la práctica no existe ningún proceso de conversión energética que sea reversible, o lo que es igual, en todo proceso de conversión energética, una parte de la energía no es recuperable.

Este axioma constituye el Segundo Principio de la Termodinámica, estableciendo la idea de eficiencia de conversión.

### **2.3.2 Eficiencia**

Se puede definir como la relación entre un producto que entrega el sistema y lo que consume el sistema para lograrlo.

En un proceso de cambio energético la eficiencia (o rendimiento) es el cociente entre la energía utilizable (después del cambio) y la energía inicial

### **2.4 Conversión de Energía**

Hay diversas formas de conversión de energía.

La fotosíntesis es el proceso de captura de la luz (rayos solares) los fotones dentro de una reacción fotoquímica que se lleva a CO<sub>2</sub> desde el medio ambiente y el agua genera una molécula de glucosa compleja con liberación de oxígeno; este proceso se produce en la superficie de las hojas de las plantas verdes. La energía almacenada en la glucosa se almacena en los distintos componentes de la planta: raíces, hojas, tallos, ramas, frutas, etc. Algunos de ellos pueden ser degradados por el sistema digestivo de los animales (y el hombre).

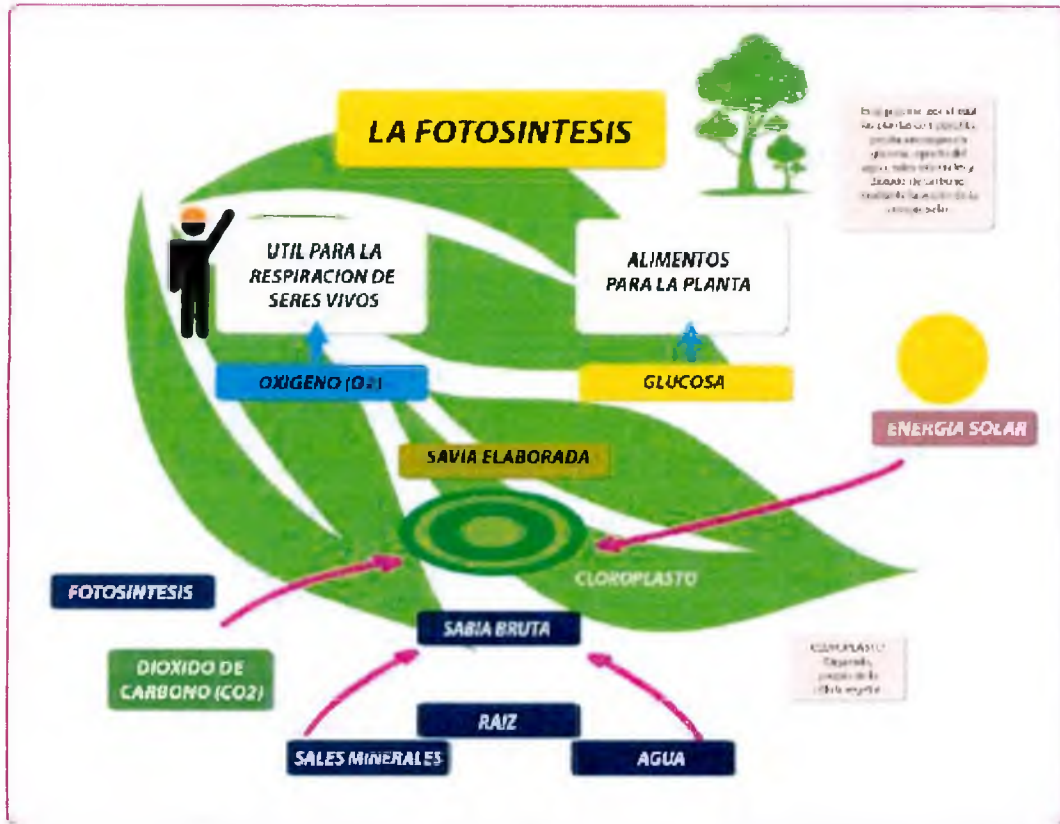


Figura 2.6: Conversión de Energía en Fotosíntesis

Un concepto de interés es el término energía secuestrada se refiere a toda la energía fósil utilizada durante el proceso de fabricación de un elemento. En el caso de elementos que tienen varios componentes, la energía secuestrada es el sumatorio de la energía en cada uno de los componentes.

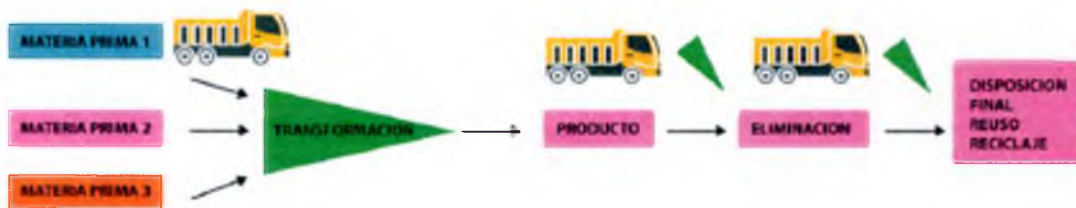


Figura 2.7: Energía secuestrada en componentes de producción

Se debe tener en cuenta que esto se refiere a la cantidad total de energía utilizada para la fabricación y durante toda la vida útil de un producto o artículo dado. Este concepto se estableció originalmente presentado por Pimentel para el análisis de la productividad agrícola y la utilización de la energía. La relación de energía para sistemas de conversión de energía (ECS) puede ser evaluada como la relación entre la energía total generada por el ECS de la energía total utilizada en el ciclo de vida de la

ECS. La selección de la forma de energía y del sistema de conversión debe por tanto hacerse tomando en consideración el proceso.

Forma natural	Forma derivada	Tecnología conversión	Formas/uso final
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Petróleo crudo</li> <li>■ Energía solar</li> <li>■ Viento</li> <li>■ Caída agua</li> <li>■ Geotérmica</li> <li>■ Mareas/olas</li> <li>■ Biomasa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Hidrocarburos</li> <li>■ Kerosene</li> <li>■ Diesel</li> <li>■ Gasolina</li> <li>■ Fuel oil</li> <li>■ Alquitrán</li> <li>■ Electricidad</li> <li>■ Calor almacenado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Homilla</li> <li>■ Homo</li> <li>■ Motor</li> <li>■ Máquina</li> <li>■ Rueda de paletas</li> <li>■ Reactor</li> <li>■ Procesador</li> <li>■ Prensa</li> <li>■ Caldero</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Calor</li> <li>■ Vapor</li> <li>■ Energía mecánica</li> <li>■ Potencia eje</li> </ul>

**Cuadro 2.1: Transición entre forma de Energía uso final**

## ***2.5 Ciclos Naturales relacionados a las fuentes renovables de Energía***

### ***2.5.1 Ciclo de la biomasa***

El término biomasa se refiere a toda la materia orgánica que proviene de árboles, plantas y desechos de animales que pueden ser convertidos en energía; o las provenientes de la agricultura (residuos de maíz, café, arroz), del aserradero (podas, ramas, aserrín, cortezas) y de los residuos urbanos (aguas negras, basura orgánica y otros). Esta es la fuente de energía renovable más antigua conocida por el ser humano, pues ha sido usada desde que nuestros ancestros descubrieron el secreto del fuego.

Se considera que la biomasa es una fuente renovable de energía porque su valor proviene del Sol. A través del proceso de fotosíntesis, la clorofila de las plantas captura su energía, y convierte el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) del aire y el agua del suelo en carbohidratos, para formar la materia orgánica.

La fotosíntesis es posible gracias a una sustancia denominada clorofila. Se trata de un pigmento de color verde que se encuentra en las plantas y procariotas que realizan la función clorofílica.

La fotosíntesis es un proceso que ocurre en dos etapas o fases. La primera fase es un proceso que depende de la luz (reacciones lumínicas): requiere de la energía directa de la luz que genera los transportadores que son utilizados en la segunda fase (reacciones oscuras).

Cuando la luz es absorbida por los pigmentos verdes de la clorofila (la unidad estructural de la fotosíntesis es el cloroplasto), parte de esta energía se emplea para

separar las moléculas de agua. El primero de los productos de la reacción es oxígeno (O<sub>2</sub>), que se libera. Los otros productos de la reacción son los iones de hidrógeno (H<sup>+</sup>) y los e<sup>-</sup> (electrones excitado de un átomo).

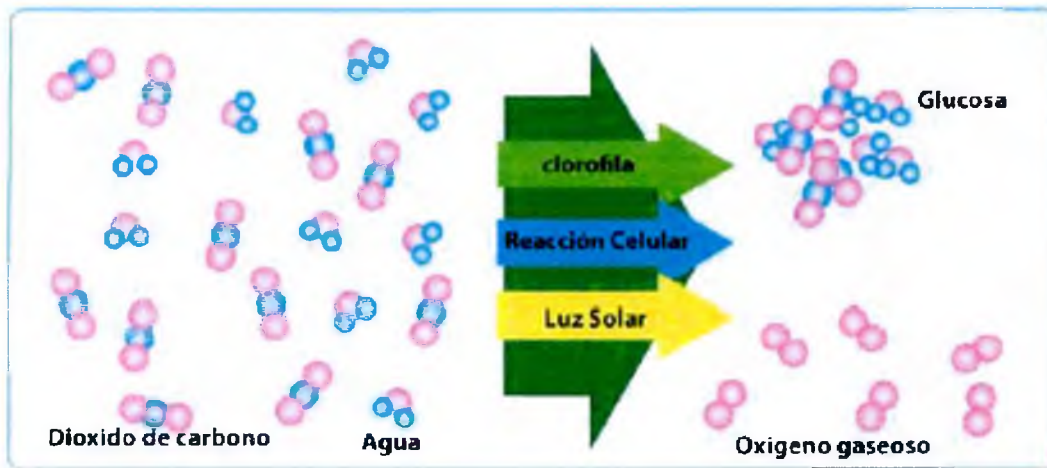


Figura 2.8: Proceso de fotosíntesis

La energía transportada de las partículas de H<sup>+</sup> y e<sup>-</sup>, las cuales, después de una serie de reacciones de oxido-reducción, se convierten en ATP-adenosín trifosfato (principal producto químico utilizado por los sistemas vivos en la segunda etapa).

La fase independiente de la luz (reacciones de oscuridad), se realiza cuando los productos de la primera etapa, más (O<sub>2</sub>), son utilizados para formar, mediante reacciones enzimáticas, los enlaces covalentes carbono-carbono (C-C) de los carbohidratos (CH<sub>2</sub>O)

Cuando estos carbohidratos se queman, regresan a su forma de dióxido de carbono y agua, liberando la energía que contienen. En la Figura 2.9 se muestra este proceso y la biomasa existente en un bosque.

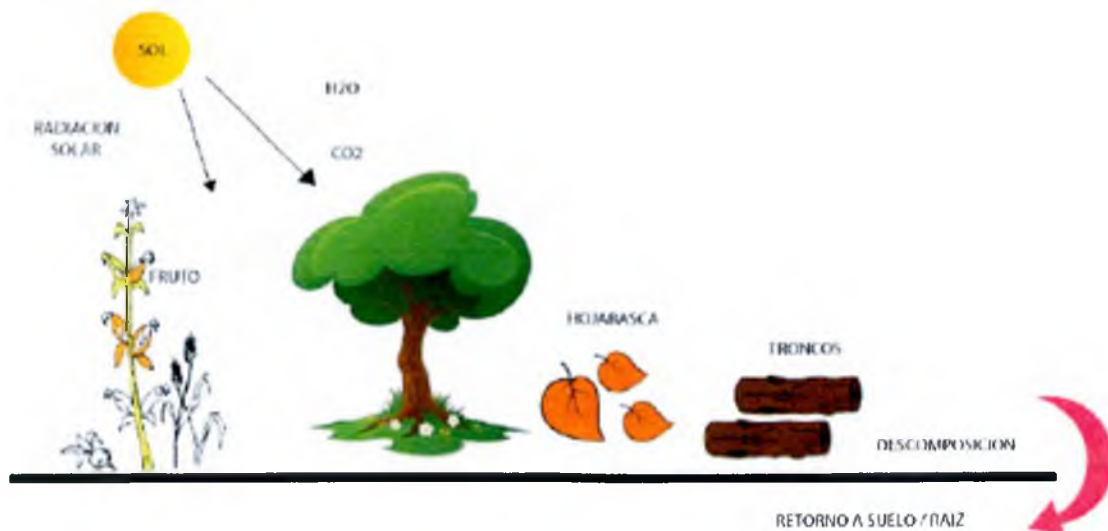


Figura 2.9: Biomasa existente en un bosque

Las formas más generales de energía renovable son las que provienen del sol, viento y agua.

Sin embargo hay que considerar otros elementos que proveen altos porcentajes de energía tales como: la leña, carbón, cascarilla de arroz.

La forma más común de utilizar la energía de la biomasa ha sido por medio de la combustión directa.

La conversión de energía solar a energía bioquímica almacenada en la biomasa comprende o hace pasos intermedios entre cada uno de los cuales hay una eficiencia de conversión.

Así por ejemplo, del total 100% de la energía que cae sobre las áreas fotocaptadoras de la planta en su mayoría hojas verdes, solamente el 50% de esta es fotosintéticamente activa. O a su vez el 80% de esta fracción es absorbida por la planta, y así sucesivamente.

Las fuentes más importantes de la biomasa son los campos forestales y agrícolas, donde se producen residuos que normalmente son dejados en el campo y el aprovechamiento de estas fuentes actualmente se realiza con fines energéticos.

En la agroindustria, los procesos de secado de granos generan subproductos que son usados para generación de calor en sistemas de combustión directa; tal es el caso del bagazo de caña de azúcar, la cascarilla de café y la de arroz.

### 2.5.2 Ciclo hidráulico

El ciclo hidráulico se describe en los siguientes puntos de la Figura 2.10:

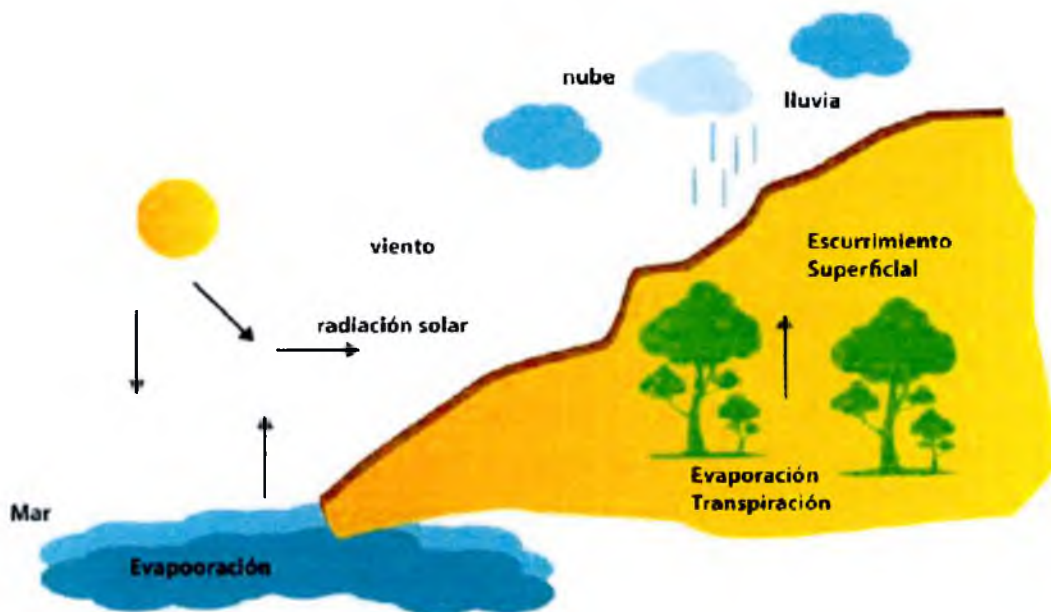
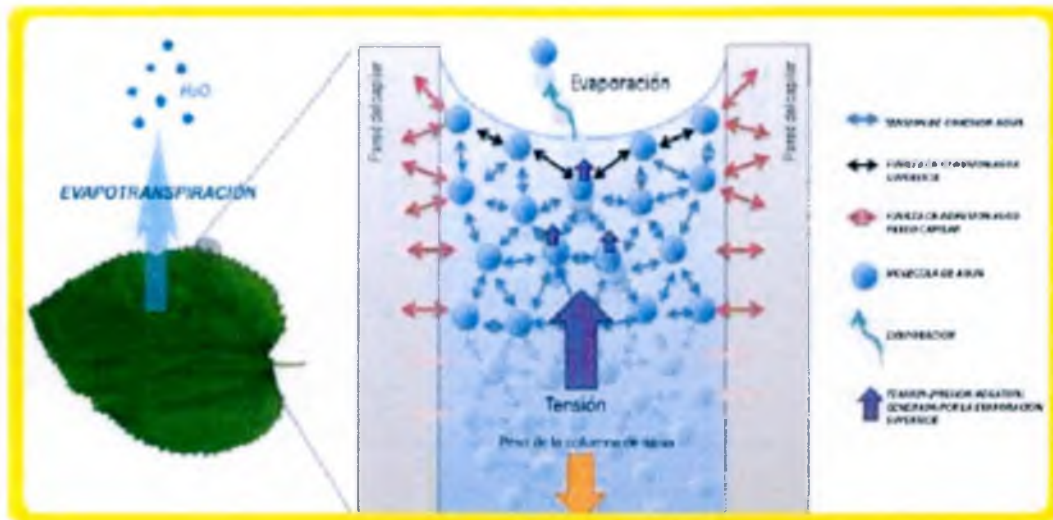


Figura 2.10: Ciclo hidráulico

- La radiación solar incide sobre superficie de agua generando evaporación, esta se condensa en nubes.
- Las nubes son desplazadas por el viento.
- La lluvia se precipita en zonas altas.
- Las precipitaciones se desplazan en escorrentía superficial a través de la cuenca hacia el mar, una parte se desplaza por escorrentía subterránea.
- El agua de la capa freática se desplaza por evapo-transpiración a través de vegetación.
- La energía del sol da origen a la evaporación de agua que a su vez inicia el ciclo.

Tenga en cuenta el efecto de la vegetación a través de la evapotranspiración. Ver la siguiente figura:



**Figura 2.11: Evapotranspiración de agua**

La evapotranspiración tiene el mismo principio de la evaporación, excepto que la superficie de la cual se escapan las moléculas de agua no es una superficie de agua, sino de hojas de plantas.

Las plantas captan humedad del suelo a través de sus raíces y la transfieren al entorno circundante vía evapotranspiración induciendo la formación de nubes, contribuyendo a la migración de humedad en el ciclo del agua.

La cantidad de vapor de agua que transpira una planta, varía día a día con los factores ambientales que tienen efecto directo sobre las condiciones fisiológicas de las plantas y determinan la rapidez de la generación del vapor del agua en la atmósfera.

A continuación se describen los conceptos de los principales factores ambientales que tienen efecto directo sobre la evapotranspiración:

- Radiación solar
- Humedad relativa
- Temperatura

-Viento

### **Radiación solar**

Este término comprende la luz visible y otras formas de radiación del espectro electromagnético (infrarrojas y ultravioleta). El principal efecto de la radiación proveniente del sol sobre la evapotranspiración la ejerce la luz sobre las estomas de la hoja (apertura y cierre). En la mayor parte de las plantas, los estomas permanecen cerrados cuando desaparece la luz. En la Figura 2.12 se aprecian los estomas dentro de la fisonomía de la hoja.



**Figura 2.12: Estomas dentro de la fisonomía de la hoja**

### **Humedad relativa**

Es una condición dada de temperatura y presión, es el cociente entre la cantidad de vapor de agua que el aire tiene en una condición dada versus la máxima cantidad de humedad que el aire podría contener a esas condiciones.

La humedad de saturación es el límite de vapor de agua que el aire puede mantener en la fase de vapor; cualquier cantidad mayor de vapor de agua se condensará formando gotillas (rocío).

Si los estomas están cubiertos, la difusión del vapor de agua de las hojas dependerá de la diferencia entre la presión de vapor de agua en los espacios intercelulares y la presión de vapor de la atmósfera exterior.

### **Temperatura**

Es el indicador de la actividad de la energía interna de los cuerpos que a su vez se mide por el grado de actividad de las partículas. A mayor energía interna del sistema aumenta la actividad y por lo tanto aumenta la temperatura.

La temperatura influye en la velocidad con que se difunde el vapor de agua en la hoja a través de los estomas, cuanto más alta sea la temperatura más alta es la velocidad de difusión dentro del rango en que no se afecta la fisiología de la planta.

### Viento

Es el aire en movimiento en la atmósfera. El efecto del viento sobre la evapotranspiración dependerá de las condiciones ambientales. Un aumento en la velocidad del viento, dentro de ciertos límites significa una mayor evapotranspiración, porque induce la entrada de aire fresco que puede acarrear la humedad.

Puede decirse que la evapotranspiración aumenta relativamente más, por los efectos de una brisa suave (rango de 0 a 3 km/hora), que por vientos de mayor velocidad. A mayor velocidad del viento se aprecia un efecto retardante sobre la vapotranspiración, debido al cierre de los estomas bajo esta condición.

El efecto del viento puede ser indirecto sobre la evapotranspiración a través de la influencia que ejerce la temperatura en las hojas.

## 2.6 Sistemas de Conversión de Energía – ECS

Un proceso de transformación productiva consiste típicamente en hacer pasar uno o más insumos (materia prima) por un conjunto de pasos de transformación hasta generar un producto. La energía es uno de los elementos importantes en este proceso de transformación. La participación de los principales elementos se presenta en el esquema siguiente.

## EMISIONES Y EFLUENTES EN LA INDUSTRIA



Figura 2.13: Esquema de los procesos de Producción / Transformación / Requerimientos / Productos / Componentes.

Se entiende como sistema como un conjunto de elementos para llevar a cabo alguna función útil. Piezas mecánicas como una palanca, un piñón y un engranaje de elementos. Sistemas cuya finalidad es permitir que los procesos de conversión de energía que tengan lugar son los llamados "Conversion Energy Systems-ECS".

Plantas y animales pueden ser considerados ECS. Una bombilla de luz es un ECS que convierte la electricidad en luz. Una vela que convierte la energía química almacenada de la parafina de la vela en el calor y la luminosidad.

Un horno convierte la energía química almacenada de un combustible en energía térmica (llama y gases calientes), y a continuación, transfiere el calor a una masa de material para el calentamiento.

Conversión termo-eléctrica es la conversión de electricidad en calor o viceversa. Un molino de viento lleva la energía del viento y la convierte en energía mecánica (potencia en el eje).

La relación de energía para Sistemas de Conversión de Energía- ECS- puede ser evaluada como la relación entre la energía total generada por el ECS de la energía total utilizada en el ciclo de vida de la ECS. El cociente de energía (energy ratio) es la relación entre la energía generada por un sistema y la energía suministrada al mismo. Se refiere a energía del tipo fósil; incluyendo toda aquella que se utilizará en el ciclo de vida del sistema dado. Esto se aplica tanto a equipos tecnológicos como a productos (Por ejemplo el biocombustible).

Una vez explicado el concepto de cociente de energía para los ECS, tenemos la base para aplicarlo a distintas tecnologías. Por ejemplo, considere la cantidad de energía "secuestrada" en un sistema fotovoltaico que comprende paneles fotovoltaicos, bastidor de soporte, cableado, carga /regulador de carga y baterías. Cada componente tendrá una cantidad de energía secuestrada que depende básicamente de la cantidad de energía neta utilizada para su construcción.

Una vez que se conoce los consumos específicos de energía (SEC-Specific Energy Consumption) de cada componente, se podrá encontrar la cantidad de energía secuestrada en cada componente multiplicando la masa de este por el consumo específico de energía.

## **2.7 Satisfacción de las necesidades básicas que requieren energía**

Existe una serie de necesidades básicas tales como: alimentación, protección de los elementos (vivienda), medios de transportación, agua para consumo humano, iluminación nocturna, calefacción, climatización de ambientes y otros. De ello se derivan requerimientos energéticos para satisfacer estas necesidades básicas.

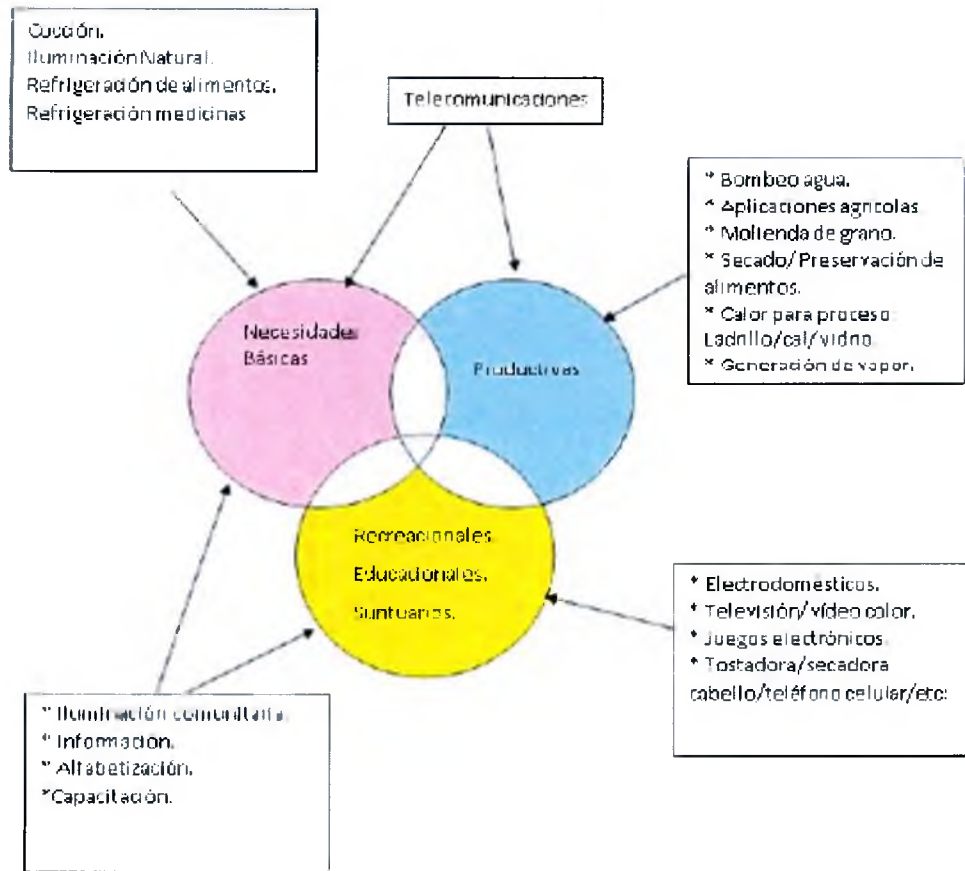
Así por ejemplo: la cocción de alimentos, que se requiere para hacerlos más digeribles o para eliminar sus componentes patógenos demanda el suministro de calor, el cual puede ser basado en fuentes directas como leña, combustible, Gas natural, electricidad u otro.

Esto implica que se usen fuentes intermedias y tecnología de conversión tal como el equipo que se usa para cocinar. Por otro lado, en los procesos de transformación industrial, la energía es un elemento muy importante.

Se puede prever algunas de las necesidades que no son básicas en la actualidad y podrían llegar a ser fundamental en el futuro como lo son las necesidades productivas.

Tenga en cuenta que el concepto de desarrollo se basa en el concepto de energía básica y productiva.

En la siguiente figura se muestra un “Esquema de Uso de la energía para satisfacer necesidades humanas y comunitarias”



**Figura 2.14: Esquema de Uso de la energía**

El uso de energía es una parte integral del mundo moderno, sobre todo en las naciones económicamente prósperas - de hecho, un indicador es el consumo de energía per cápita. Sin embargo, este indicador debe ser calificado por otros factores relacionados, como por ejemplo: la racionalidad de los usos finales, los niveles de eficiencia de conversión de energía; el Impacto ambiental de los sistemas de conversión. Y para esta calificación partimos de establecer la demanda mensual de energía para la comunidad, así como la potencia máxima requerida.

Un patrón típico de la demanda se refleja en la cantidad de energía requerida por los hogares. Con esto se podría establecer, la demanda total de energía diaria para toda la comunidad. Tenga en cuenta que la demanda total de energía es aditiva. A esto deberá sumarse el consumo comercial e industrial.

Debe hacerse notar que en muchos casos se requieren transformar las energías primarias en formas secundarias de energía, generando la llamada energía comercial tal como: electricidad, gasolina, etc.

Es necesario tomar en consideración las variaciones históricas de la demanda, con el objeto de realizar proyecciones de la energía requerida a futuro. Por otra parte, se puede con esta base establecer estrategias para cumplir los planes de desarrollo regional, y perspectivas para el uso de tecnologías renovables

Por otra parte, ciertas necesidades, como el bombeo de agua para la agricultura, son más de la demanda flexible y pueden adaptarse a diferentes patrones de alimentación durante el día.

Otro ejemplo es el uso de tanques de almacenamiento que pueden ser utilizados para el agua.

## 2.7 El cambio climático, efecto invernadero y lluvia acida

El Cambio climático y la actividad humana, se relacionan principalmente por el uso de combustibles fósiles, los cuales emiten millones de toneladas de los denominados “gases de efecto invernadero” a la atmósfera. Estos incluyen el dióxido de carbono y el metano, entre otros, y contribuyen a modificar el clima global.

Los Gases de efecto invernadero que contribuyen a modificar el balance de energía al bloquear parcialmente la radiación terrestre. Esto conduce consecuentemente a un gradual aumento de la temperatura de la atmósfera.



Figura 2.15: Efectos de los gases de efecto invernadero

El dióxido de carbono es el resultado natural de los procesos de oxidación del combustible fósil y de combustible biomásico.

Por otro lado en ausencia del oxígeno se puede producir metano por acción bacteriana, el cual se escapa hacia la atmósfera.

Este proceso se da por ejemplo en el sistema digestivo de animales como el ganado, así como en el fondo de lagunas.

Este fenómeno contribuye al cambio climático por vía efecto invernadero.

El metano que escapa de los rellenos sanitarios y de las aguas residuales de procesos industriales, agrícolas y urbanos, puede ser minimizado al convertirlo en energía térmica, eléctrica o mecánica. Un ejemplo de esto es el acople de un digester que produce biogas a un motor generador que usa este biogas como combustible, generando energía eléctrica.

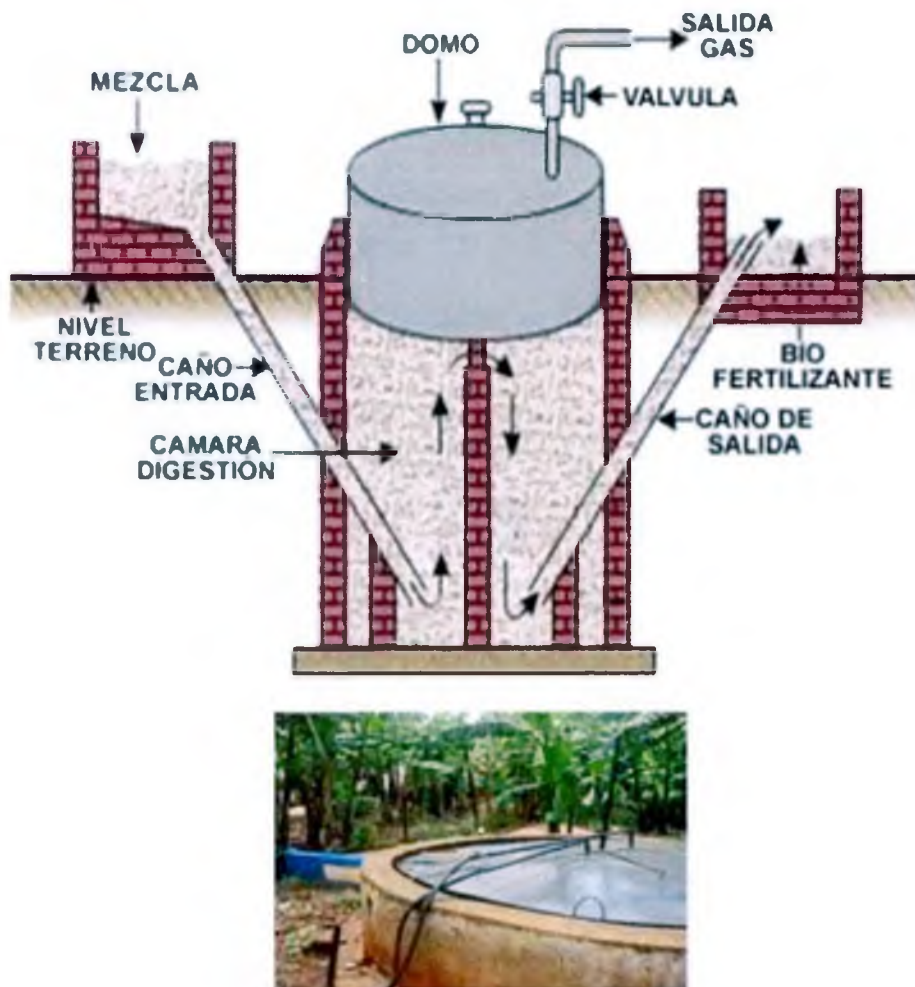


Figura 2.16: Biodigestor Tipo Hindú

Las cosechas capturan carbono a través de las plantas mientras crecen, produciendo un balance natural de carbono en los suelos. Cuando se quema biomasa, el dióxido de carbono liberado es absorbido por la siguiente cosecha en crecimiento; este se denomina un "ciclo cerrado de carbono". De hecho, la cantidad de carbono secuestrado puede ser mayor que la del liberado durante la combustión debido a que muchos de los cultivos energéticos son permanentes: al utilizar solo una parte de la

planta las raíces, además de estabilizar los suelos, secuestran carbono en su regeneración año tras año. La lluvia ácida es causada, principalmente, por las emanaciones de sulfuro y óxido de nitrógeno de la combustión de hidrocarburos y causa la muerte de cultivos y la contaminación de las aguas; además de ser nocivo para la vida humana y silvestre. Dado que la biomasa no tiene contenido de sulfuro, su conversión en energía no produce lluvia ácida.

Una parte de los gases de efecto invernadero (GEI) se debe a la generación de productos de combustión. En ese contexto las Fuentes Renovables de Energía (FRE) pueden ayudar a reducir las emisiones de estos gases.

El aprovechamiento de la biomasa como fuente de energía ofrece un amplio rango de beneficios ambientales: puede contribuir a mitigar el cambio climático y el efecto invernadero reducir la lluvia ácida, prevenir la erosión de los suelos y la contaminación de las fuentes de agua, reducir la presión provocada por la basura urbana, enriquecer el hábitat de la vida silvestre y ayudar a mantener la salud humana y estabilidad de los ecosistemas.

### **III. ENERGÍA SOLAR**

#### **3.1 Radiación Solar**

La radiación solar que incide sobre el planeta ha sido y es el elemento energizante de casi la totalidad de los procesos naturales y artificiales de la Tierra. La radiación solar calienta la atmósfera y el suelo, es la causa de los vientos, del ciclo del agua, calienta los océanos, hace crecer las plantas, entre otros aspecto importante de nuestro ciclo de vida. El aprovechamiento de esta fuente de energía útil tiene como objetivo de manera general desprendernos del uso continuo de los combustibles fósiles, permitiendo el ahorro en energías no renovables además de amortizar el impacto ambiental generado.

##### **3.1.1 El sol**

El sol es la fuente de energía de la tierra, siendo una estrella formada en su totalidad por hidrogeno (70 %), helio (23 %) y 7 % de otros elementos químicos; en la que se desarrolla una reacción exotérmica debido a la reacción nuclear de fusión en consecuencia de las altas temperaturas y presión que se alcanza en su interior.

El espectro solar se parece al de un cuerpo negro con una temperatura efectiva de 5900 K, se estima que la temperatura en su región interior se encuentra entre  $8 \times 10^6$  a  $40 \times 10^6$  K. La luminosidad del sol es de  $Q = 3.89 \times 10^{26}$  W. Se estima que el diámetro de esta esfera gaseosa es de  $1.39 \times 10^6$  Km, con una masa de  $2 \times 10^{30}$  Kg, situado  $1.5 \times 10^8$  Km de la tierra.

La potencia térmica proveniente de estas reacciones nucleares se libera como radiación electromagnética hacia el espacio exterior. La distribución espectral de la radiación solar incidente en el tope de la atmosfera se representa a través de una gráfica donde se reproduce las características de frecuencia y longitud de onda de los diversos tipos de radiaciones existentes.

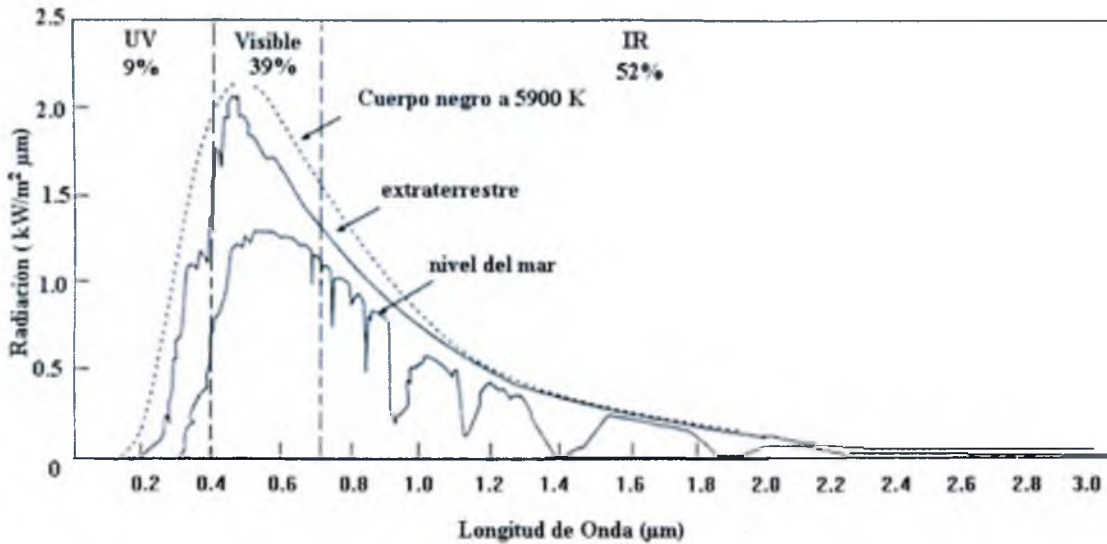


Figura 3.1: Longitud de onda (um)

De la Figura 3.1 podemos observar lo siguiente:

- La energía recibida en su totalidad (97.8 %), se encuentra entre los 0.2 y 3  $\mu\text{m}$  de longitud de onda.
- Su distribución espectral corresponde aproximadamente: radiación ultravioleta UV ( $0.2 \mu\text{m} < l < 0.4 \mu\text{m}$ ) el 9%, luz visible ( $0.4 \mu\text{m} < l < 0.7 \mu\text{m}$ ) aporta el 39 % y la radiación infrarrojo IR ( $0.7 \mu\text{m} < l < 3 \mu\text{m}$ ) suma el 52 % restante.
- Una parte de la radiación es devuelta al exterior dispersada por el aire y reflejada por las nubes, mientras que otra parte es absorbida por los gases atmosféricos y por lo tanto no alcanza la superficie por lo que la radiación que llega a nivel del mar es menor que la extraterrestre.

### 3.1.2 La constante solar "so"

Es la potencia que recibe la tierra en el exterior de su atmosfera sobre una superficie perpendicular a los rayos solares, siendo aproximadamente de  $1.367 \text{ W/m}^2$  y cuyo valor fluctúa en un 3 % a causa de la elipticidad de la órbita terrestre. Al atravesar esta, se produce unas pérdidas por los gases atmosféricos, llegando a la superficie terrestre una irradiancia de  $1000 \text{ W/m}^2$ .

A la tierra solo llega aproximadamente 1/3 de la energía total interceptada por la atmósfera, y de ella el 70 % cae en el mar.

Del 100 % de la cantidad de energía que emite constantemente el Sol hacia la tierra; sólo el 47,5 % de la energía solar incidente llega a la superficie de la tierra por tres vías: radiación directa, radiación difusa y reflejada o albedo. El 52,5 % de la energía restante no alcanza la superficie de la Tierra al ser absorbida por la estratosfera (ozono),

troposfera (agua, ozono y nubes), reflejada por las nubes, reflejada por el suelo y difundida por la atmosfera que se dirige hacia el cielo.

La distribución de la energía que llega a la atmósfera terrestre en forma de radiación solar, se establece aproximadamente en: un 16 % es absorbido por la estratosfera y la troposfera, un 22,5 % por el suelo y el 4 % es reflejada directamente al espacio desde el suelo.

La atmósfera difunde el 17,5 % de la radiación, siendo; el 10,5 % absorbido por el suelo y el 7 % regresa al espacio exterior.

Las nubes reflejan al espacio exterior un 24 %, absorbiendo un 1,5 % y enviando al suelo el 14,5 % como radiación difusa.

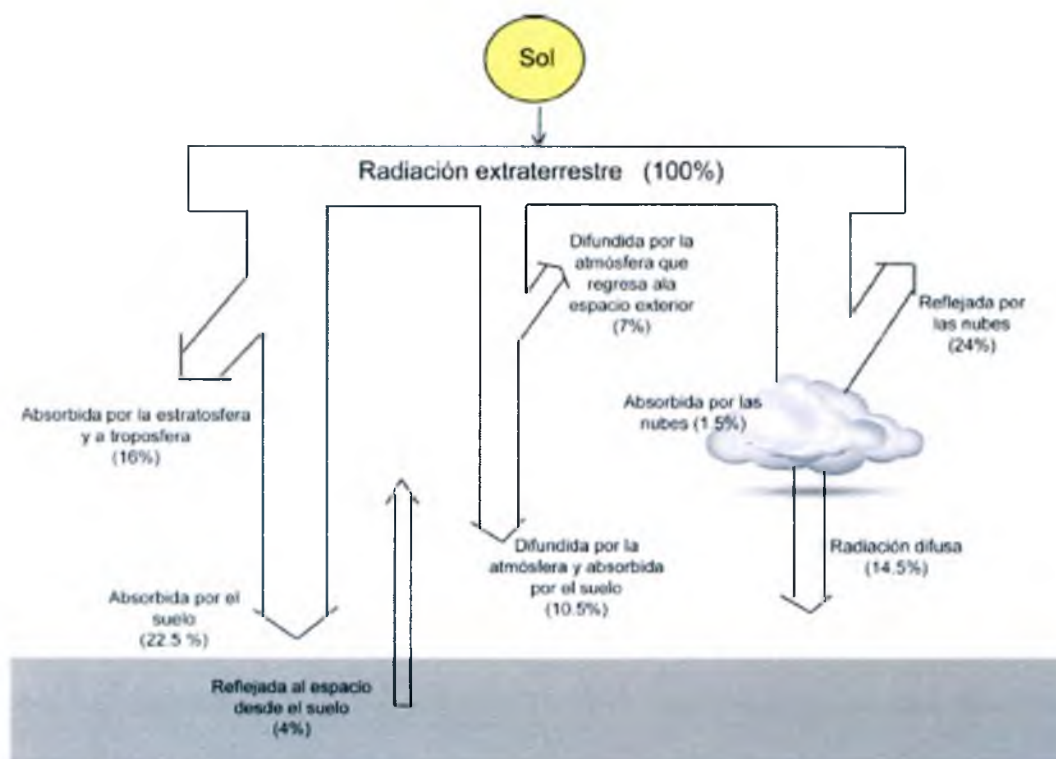


Figura 3.2: Distribución de la energía solar que llega a la tierra

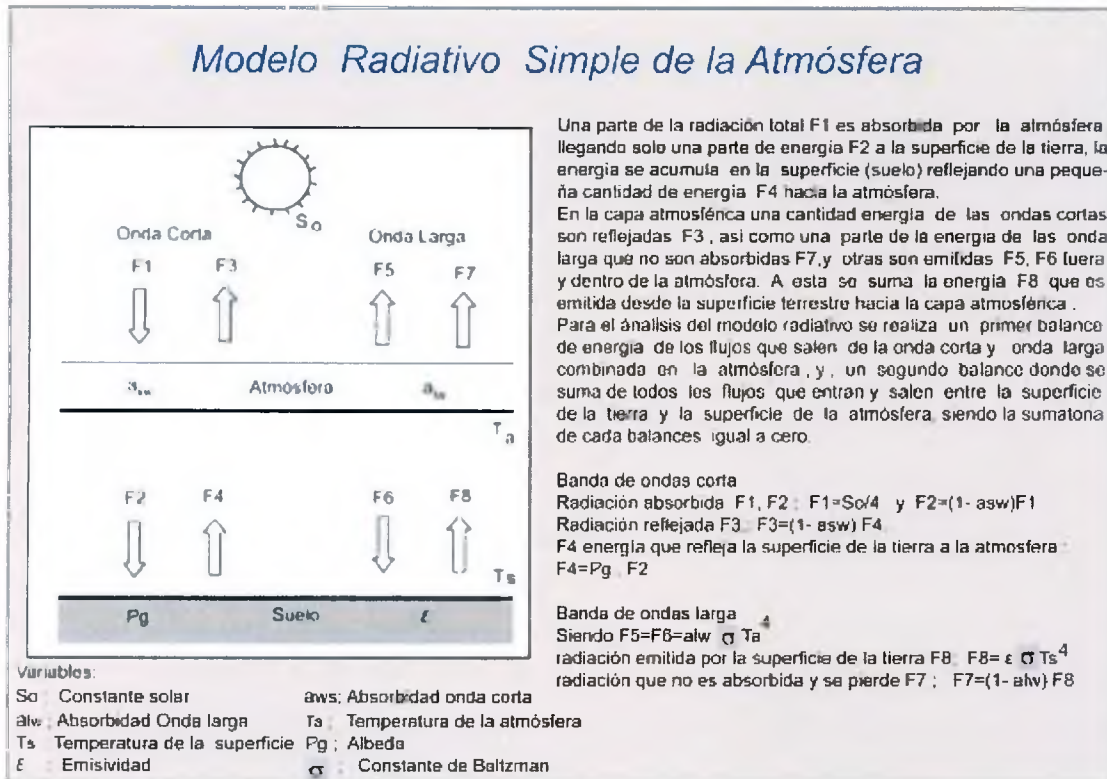


Figura 3.3: Modelo radiativo simple de la Atmósfera

La radiación solar es una fuente de energía permanente que se puede recuperar de varias formas. La energía primaria utilizada es la existente en la radiación solar que se transforma en energía térmica que puede ser utilizada como energía final o transformada en electricidad. Tradicionalmente se ha venido usando para obtener calor y, actualmente se utiliza también para producción de electricidad. Es un recurso importante a largo plazo y una alternativa real para países en desarrollo.

La energía solar es una de las energías renovables con mayor posibilidad de utilización, siendo una de las opciones más acertadas para muchos caso. Al ser una de las alternativas más importantes en la actualidad, es importante analizar sus ventajas y desventajas:

Ventajas:

- No daña al medio ambiente y lo mas impórtate no contribuye al cambio climático. Es considerada como una fuente inagotable.
- No hay dependencia de las compañías suministradoras.
- Capacidad de aprovechar la electricidad en sitios donde el tendido eléctrico es dificultoso y costoso su traslado.
- Los sistemas de captación solar que se suelen utilizar son de fácil mantenimiento.
- Las instalaciones al principio suponen un costo caro, pero a mediano y largo plazo es un gran ahorro en el consumo eléctrico.
- La disponibilidad de energía solar reduce la dependencia de otros países para el abastecimiento de energía de la población.

Inconvenientes:

- En algunos casos se precisa sistema de acumulación (Batería).
- Gran espacio requerido por la extensión requerida para los paneles fotovoltaicos en grandes instalaciones.
- Impacto visual negativo si no se cuida la integración de los módulos solares en el entorno.
- Requiere una fuerte inversión económica para su instalación, sobre todo si se compara con otro tipo de instalación que generan la misma potencia.
- Los equipos solares sólo son capaces de almacenar energía mientras hay luz y depende del grado de insolación.
- El rendimiento es bajo debido a la baja eficiencia.

### **3.2 Definiciones básicas**

#### **3.2.1 Tipo de radiación solar**

**-Radiación solar:** Energía procedente del sol en forma de ondas electromagnéticas.

**-Irradiancia G:** Considerada como una densidad de potencia que incide en una superficie, es decir, es un valor instantáneo para una superficie de  $1 \text{ m}^2$ , se mide en  $\text{W}/\text{m}^2$ .

**-Irradiación I:** Es una densidad de energía que se obtiene a través de la integración de la irradiancia sobre un periodo de tiempo específico, típicamente una hora o un día, Es decir, es el valor durante un tiempo de radiación para una superficie de, mide en  $\text{J}/\text{m}^2$  o  $\text{Wh}/\text{m}^2$ .

**-Radiación solar Directa ( $G_b$ ):** Es la radiación que proviene del sol a través del camino óptico, es decir, es la radiación recibida por el sol sin que se desvíe en su paso por la atmosfera.

**-Radiación solar Difusa ( $G_d$ ):** Es la radiación proviene de sol después de haber sido dispersada por la atmosfera sin ser direccional, es decir, sufre cambios en su dirección principalmente debido a la reflexión y difusión en la atmosfera.

**-Radiación solar Total ( $G_T$ ):** Es la suma de la radiación directa y difusa, que se mide sobre una superficie horizontal.

**-Albedo ( $p_g$ ):** Es la radiación directa y difusa que se recibe por reflexión en el suelo u otras superficies próximas.

### 3.2.2 Geometría de la radiación solar terrestre

#### Latitud ( $\lambda$ )

Angulo que forma la línea del sol con el plano del ecuador en la posición del observador.

#### Declinación ( $\delta$ )

Considerado como la posición angular del sol respecto al plano del ecuador en el mediodía solar, y su valor de este ángulo se suele tomar cada día al mediodía solar. Esto es debido a que el eje de rotación de la Tierra está inclinado un ángulo de  $23^{\circ}45'$  respecto al eje del plano que contiene la órbita que describe alrededor del Sol y de ahí que el valor de la declinación varía entre mas menos  $23^{\circ}45'$  a lo largo del año. Cabe indicar que la declinación al Norte del Ecuador se considera positiva.



Figura 3.4: Declinación de la tierra, solsticios y equinoccios

#### Equinoccios

Los Equinoccios son aquellos momentos en que el sol se encuentra sobre el ecuador lo que produce que los días y las noches tengan la misma duración.

#### Solsticios

Los Solsticios son aquellos momentos en que el sol se encuentra uno de los dos trópicos (trópico de cáncer 21 de junio, trópico de capricornio 21 de diciembre).

Ejemplo el solsticio de diciembre ocurre en el hemisferio norte haciendo que el día sea más corto y la noche más larga en cambio en el hemisferio sur la noche es más corta y el día es más largo, y viceversa cuando ocurre el solsticio de Junio.

### Día juliano

El día juliano será igual al día del mes más los días transcurridos de los meses.

Mes	Año Normal		Año Bisiesto	
	Días del mes	Días transcurrido	Días del mes	Días transcurrido
Enero	31	0	31	0
Febrero	28	31	29	31
Marzo	31	59	31	60
Abril	30	90	30	91
Mayo	31	120	31	121
Junio	30	151	30	152
Julio	31	181	31	182
Agosto	31	212	31	213
Septiembre	30	243	30	244
Octubre	31	273	31	274
Noviembre	30	304	30	305
Diciembre	31	334	31	335

Cuadro 3.1: Día juliano

### Ángulo horario ( $\tau$ )

Comprendido entre el plano meridiano que pasa por un punto considerado y el plano meridiano que pasa por el sol, su valor depende de la hora del día.

Cuando el sol pasa por el punto más alto de su trayectoria (mediodía solar), el ángulo horario es nulo, antes ser negativo y positivo, teniendo en cuenta que una circunferencia completa es de  $360^\circ$  y que un día completo tiene 24 horas y cada hora le corresponderá un ángulo de  $15^\circ$ .

### Ángulo cenital ( $\Theta_s$ )

Es el ángulo comprendido entre la vertical sobre un punto y la línea del sol.

### Ángulo acimutal solar o Azimut ( $\Upsilon_s$ )

Es el ángulo formado por la posición aparente del Sol en el cielo sobre el plano horizontal del observador.

## Ángulo de elevación o altitud solar ( $\alpha$ )

Es el ángulo comprendido entre la posición del sol y su proyección sobre el plano horizontal.

## Duración del día con cielo despejado

Si es necesario conocer las horas que dura un día del año en un sitio específico, se puede determinar a través del orto y el ocaso. En el instante del ocaso su altitud es nula por consiguiente, siendo el ángulo de elevación de cero.

$$\text{Sen } \alpha_s = \cos \delta * \cos \lambda * \cos \tau + \text{sen } \delta * \text{sen } \lambda$$

Despejando la ecuación, nos da que  $\text{Cos } \tau = -\text{tg } \lambda * \text{tg } \delta$ , obtenemos el valor de  $\tau$ . Teniendo en cuenta que  $\tau = (15 t - 180)$

Procedemos a despejar el tiempo considerando primero el ángulo horario como positivo se obtiene un tiempo 1, en horario del ocaso. La hora obtenida se encuentra determinada en T.U.C. (Tiempo Universal Coordinado) por lo que hay que llevar a las horas reales del lugar a donde se encuentren.

Si considerando el ángulo horario como negativa, obtenemos un tiempo 2, siendo la hora de la salida del sol (Orto). Finalmente restamos las horas del ocaso con las horas del orto, se obtiene las horas de sol específico de un día cualquiera.

Para determinar las horas del día que estuvo el cielo despejado es necesario conocer el porcentaje de insolación en ese día en concreto y multiplicarla con las horas del día.

Otra manera también se puede determinar el número de horas del día, utilizando la siguiente ecuación:

$$td = \frac{2}{15} \arccos(-\text{tg } \lambda * \text{tg } \delta)$$

### 3.2.3 Geometría de la radiación solar sobre una superficie inclinada

Los captadores tienen una declinación fija, y para optimizar sus rendimientos se orientan hacia el sentido opuesto del hemisferio donde se realizara la instalación. Por ejemplo si se requiere instalar un panel en un lugar localizado en el hemisferio Norte entonces la inclinación del panel estará orientada con vista al Sur.

## Angulo de incidencia ( $\Theta$ )

Angulo entre la dirección de la radiación directa sobre la superficie de la placa y la normal a dicha superficie. Para una placa en posición horizontal, coincide con el ángulo cenital solar.

### Pendiente ( $\theta$ )

Angulo entre el plano de la superficie de la placa y la horizontal, o entre la normal a la superficie y la vertical.

$0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$ :  $\beta < 90^\circ$ : Hacia el cielo.

$\beta > 90^\circ$ : Hacia el suelo.

### Elevación de placa ( $\alpha$ )

Angulo formado por la normal a la superficie de la placa y el plano horizontal.

### Angulo acimutal de la placa ( $\gamma$ )

Angulo que forma el plano vertical que contiene la normal a la superficie de la placa con el plano vertical meridiano local. O, también, es el ángulo entre la proyección vertical al suelo de la normal a la superficie y la dirección Sur.

### Radiación solar sobre una superficie inclinada

Generalmente la radiación directa y la radiación difusa se mide sobre la superficie horizontal, pero sin embargo es necesario conocer la radiación global que incide sobre una superficie inclinada, por lo que se introduce un factor geométrico de corrección angular  $R_b$ . Modelo de cielo isotrópico, es una representación matemática de la radiación difusa que contiene aproximaciones razonables que consiste en despreciar tanto la componente circunsolar como la dispersión por el horizonte.

### Ecuaciones generales utilizadas para la radiación solar

Ecuación 1: 
$$\delta = 23.45^\circ \text{ sen } \left( 360^\circ \frac{284+d}{365} \right)$$

Ecuación 2: 
$$\tau = (15 t - 180)^\circ$$

Ecuación 3 : 
$$\cos \theta_s = \cos \delta \cos \lambda \cos \tau + \text{sen } \delta \text{ sen } \lambda$$

Ecuación 4: 
$$\text{sen } \gamma_s = \frac{\cos \delta \text{ sen } \tau}{\cos \alpha_s} = \frac{\cos \delta \text{ sen } \tau}{\text{sen } \theta_s}$$

Ecuación 5 : 
$$\text{sen } \alpha_s = \cos \theta_s$$

Ecuación 7:

$$\cos\theta = \text{sen}\delta \cdot \text{sen}\lambda \cdot \cos\beta - \text{sen}\delta \cos\lambda \cdot \text{sen}\beta \cdot \cos\gamma \\ + \cos\delta \cdot \cos\lambda \cdot \cos\beta \cdot \cos\tau + \cos\delta \cdot \text{sen}\lambda \cdot \text{sen}\beta \cdot \cos\gamma \cdot \cos\tau + \cos\delta \cdot \text{sen}\beta \cdot \text{sen}\gamma \cdot \text{sen}\tau$$

Ecuación 8 :  $\alpha = 90^\circ - \beta$

Ecuación 9 :  $\cos\theta = \text{sen}\theta_s \cdot \text{sen}\beta \cdot \cos(\gamma_s - \gamma) + \cos\theta_s \cdot \cos\beta$

### Placa con orientación fija

Ángulo de incidencia al medio día.

Hemisferio Norte  $\theta = \lambda - \delta - \beta$

Hemisferio Sur:  $\theta = \lambda - \delta + \beta$

Pendiente óptima al mediodía ( $\theta = \theta_s$ )

Hemisferio Norte  $\beta = \lambda - \delta - \theta_s$

Hemisferio Sur:  $\beta = -(\lambda - \delta) + \theta_s$

### Seguimiento solar

Objetivo :  $\theta = 0^\circ$  (o mínimo)

### **Movimiento en el eje horizontal**

Ajuste diario a mediodía  $\theta = 0^\circ$

Hemisferio Norte  $\beta = \lambda - \delta$

Hemisferio Sur:  $\beta = -\lambda + \delta$

Ajuste continuo:  $\theta$  mínimo

$$\beta = \arctan(\tan(\theta_s) \cdot \cos\gamma_s)$$

$$\theta \text{ mínimo : } \cos\theta = (1 - \cos^2\delta \cdot \text{sen}^2\tau)^{\frac{1}{2}}$$

**Movimiento en eje vertical**

$$\theta = \theta_s - \beta, \text{ siendo } \beta = \lambda - \delta \text{ (Hemisferio Norte) , } \beta = -(\lambda - \delta) \text{ (Hemisferio Sur)}$$

**Movimiento en doble eje ;**  $\theta = 0, \theta_s = \beta, \alpha = \alpha_s, \gamma = \gamma_s$

**RADIACIÓN SOLAR SOBRE UNA SUPERFICIE INCLINADA**

Ecuación 10  $G_T = G_{b,T} + G_{d,T}$

**RADIACIÓN SOLAR SOBRE UNA SUPERFICIE INCLINADA**

Ecuación 10  $G_T = G_{b,T} + G_{d,T}$

**Radiación solar directa**

Ecuación 11:  $G_{b,T} = G_b \cdot R_b$

Hemisferio Norte.

$$R_b = \frac{\cos(\lambda - \beta) \cdot \cos\delta \cdot \cos\tau + \sin(\lambda - \beta) \cdot \sin\delta}{\cos\lambda \cdot \cos\delta \cdot \cos\tau + \sin\lambda \cdot \sin\delta}$$

Hemisferio Sur

$$R_b = \frac{\cos(\lambda + \beta) \cdot \cos\delta \cdot \cos\tau + \sin(\lambda + \beta) \cdot \sin\delta}{\cos\lambda \cdot \cos\delta \cdot \cos\tau + \sin\lambda \cdot \sin\delta}$$

Al mediodía ( $\tau = 0^\circ$ )

Hemisferio Norte:

$$R_b = \frac{\cos(\lambda - \beta - \delta)}{\cos(\lambda - \delta)}$$

Hemisferio Sur :

$$R_b = \frac{\cos(\lambda + \beta - \delta)}{\cos(\lambda - \delta)}$$

Radiación solar difusa (cielo isotrópico).

Ecuación 12:

$$G_{d,T} = G_d \left( \frac{1 + \cos\beta}{2} \right) + (G_b + G_d) \cdot \rho_g \cdot \left( \frac{1 - \cos\beta}{2} \right)$$

### **3.3 Caracterización del Recurso Solar**

#### **3.3.1 Potencial energético**

Desde el punto de vista energético, la masa solar que por segundo se irradia al espacio en forma de partículas de alta energía y de radiación electromagnética es aproximadamente de 5,6.1035 GeV y de ella, la Tierra recibe en el exterior de su atmósfera un total de 1,73.1014 kW, que analizando por  $m^2$ , a la superficie terrestre llega una irradiancia entre 900 a 1000/ $m^2$ .

La energía solar que llega a la tierra es diversa, por lo que, al querer estimar el potencial solar de una zona, es necesario conocer los diversos factores que intervienen en función de:

- La hora del día
- Época del año
- Latitud del lugar
- Orientación de la superficie receptora
- Situación atmosférica (nubes, nieblas, smog, viento, entre otras)

#### **Disponibilidad de datos de la radiación solar**

La energía solar disponible en un lugar no sólo significa caracterizar la irradiación total recibida, sino también, su distribución espectral, y su naturaleza (radiación directa o difusa).

Como primer punto referencial para conocer valores de radiación solar son las redes nacionales de meteorología, que mantienen un registro de las principales variables meteorológicas locales. En general, la irradiación solar global y la duración de la insolación se encuentran disponibles en sumas diarias o media mensual.

Existen países donde se ha establecido redes de medición automáticas principalmente de carácter meteorológico que dentro de su parámetro de medición permite registrar y cuantificar la radiación solar en diferentes escalas temporales, pero las inversiones y los costos de mantenimiento de cada sitio pueden ser elevados.

Actualmente, existen una amplia gama de software comerciales, bases internacionales con registros históricos e información satelital en diferentes resoluciones espaciales y temporales que abarcan desde a información básica de radiación hasta detalles en la distribución espectral.

Entre los Software comerciales existentes se encuentran: CENSOLAR, METEONORM, siendo los más utilizados.

En un país como Ecuador, la energía solar anual incidente, por  $m^2$ , es de 3.78 a 4.11 kWh/ $m^2$  día, a partir del proyecto OPET para América Latina y el Caribe realizado por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) en el 2005; se estima que las regiones Insular y Litoral presentan un valor medio anual de 4.5 kWh/ $m^2$ , el oriente con 3.8 kWh/ $m^2$  año y finalmente la región Interandina con 3.5 kWh/ $m^2$  año.

La radiación se distribuye en forma homogénea a lo largo del año por consiguiente sabiendo que en el Ecuador existe 11 horas de luz del día continuamente, podemos conocer la irradiación en W/ $m^2$  que incide en una superficie, siendo a razón de 373.63 a 343.63 W/ $m^2$ .

### ***3.3.2 Tecnología para el aprovechamiento de la energía***

Los procesos tecnológicos desarrollados por el hombre para el aprovechamiento de la energía solar directa y convertirla en una forma eficiente de energía se basan en mecanismos fototérmicos y fotoquímicos de conversión, de los cuales se destacan dos grandes grupos: térmicos y fotovoltaicos.

**Tecnología de conversión térmica:** Es el aprovechamiento de la energía solar mediante la conversión de la radiación solar (fotones) en calor, produciendo un aumento de temperatura (efecto foto-térmico) para que el calor suela ser transferido, utilizado o transformarse en diversos modos.

**Tecnología de la energía solar fotovoltaica:** Convierte directamente la luz del sol en electricidad, los fotones suficientemente energéticos con longitud de onda menor que un cierto umbral, se utilizan para hacer saltar un electrón desde la capa "p" a la capa "n" de un semiconductor, produciendo una diferencia de potencial o voltaje eléctrico.

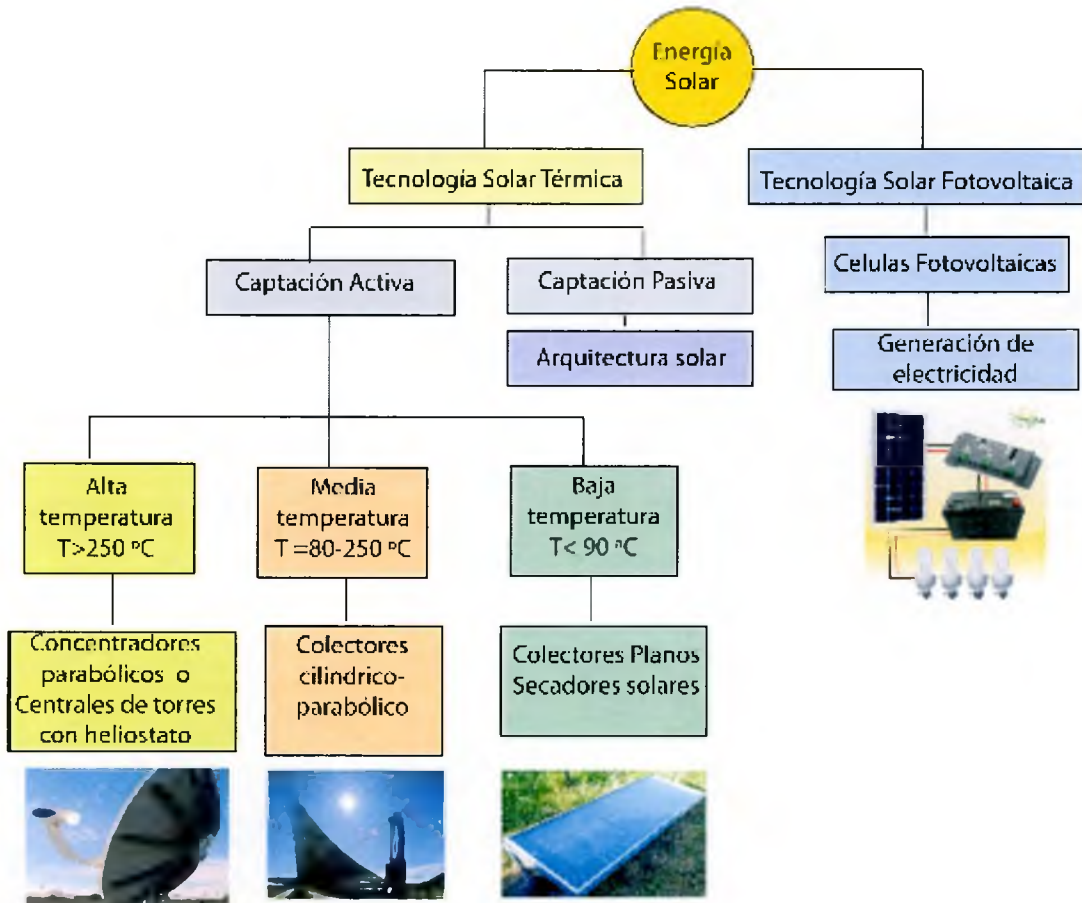


Figura 3.5: Tecnología de aprovechamiento de la energía solar

### 3.3.3 Medidores de radiación solar

Actualmente existe un estándar internacional en los instrumentos de medición solar, clasificados o agrupados de la siguiente forma:

**Piranómetro:** Instrumento que mide la radiación global, directa y difusa ( $W/m^2$ ) que se recibe en todas direcciones habitualmente sobre una superficie horizontal. Si el piranómetro se encuentra protegido de la radiación directa por un anillo protector desvanecedor, entonces mide sólo la radiación difusa.

La banda de frecuencias medida por el piranómetro está comprendida entre 0,3 mm y 3 mm.

**Pirheliómetro:** Este instrumento para medición de la radiación solar directa a incidencia normal. El pirheliómetro recibe energía sólo del disco solar y de un estrecho anillo de cielo contiguo, a través de un tubo largo; este aparato está dotado de un dispositivo automático de seguimiento del Sol. Una medida de interés a nivel climatológico es la heliofanía (también denominada horas de brillo solar o insolación) se define según Organización Mundial de Meteorología (OMM) como la suma de intervalos de tiempo (en horas) durante los cuales la radiación solar directa (normal al

sol) supera el umbral de  $120 \text{ W/m}^2$ . Esta medida puede ser empleado para estimar los promedios mensuales de irradiación solar global. Los instrumentos de medición son los Pirheliómetros y el más conocido es el heliógrafo de Campbell-Stokes.

**Pirgeómetro:** Es un instrumento para medición de la radiación atmosférica neta sobre una superficie negra horizontal orientada hacia arriba, a la temperatura del aire ambiente.

**Pirradiómetro:** Es un instrumento para medir la radiación solar y terrestre.

Adicionalmente, en ocasiones se utilizan las Células calibradas; son células fotovoltaicas que un laboratorio acreditado ha puesto a prueba, iluminándolas con luz artificial y estableciendo una relación proporcional entre la radiación recibida y la producción eléctrica. Son medidores de menor precisión con respecto a los otros antes indicados pero por su bajo coste, son ideales para comprobadores del buen funcionamiento de las instalaciones especialmente de fotovoltaica.



a)



b)



c)

Figura 2.6: Medidores de radiación solar; a) Piranómetro, b) Pirheliógrafos, c) Medición de la difusa

### 3.4 Aplicaciones de la Energía Solar Térmica

#### Energía Solar Térmica

La energía solar térmica es una fuente de energía renovable, inagotable, rentable y fácilmente aprovechable donde la radiación proveniente del sol se la puede convertir en calor, utilizándose para producir agua caliente, climatizar piscina, calefacción, secado de alimentos, cocinar alimentos, entre otras aplicaciones útiles que bien sirven para el ahorro de energías convencionales.

Dependiendo de su utilización la energía solar térmica puede ser pasiva o activa. Se considera energía solar térmica pasiva, aquella que se utiliza directamente mediante la incorporación de materiales transparentes y otros elementos arquitectónicos con elevada masa y capacidad de absorción de energía térmica.

La energía solar térmica activa consiste en el aprovechamiento de la radiación solar para convertirla en calor, calentando un fluido que circulan por el interior de captadores solares.

Las tecnologías solares térmicas son, actualmente, de las más competitivas económicamente entre las tecnologías de energías renovables. Esta competitividad crece en los países que lideran el mercado de las tecnologías solares debido, principalmente a un "factor de escala" que permite producciones en masa o en serie y con ello productos de alta calidad a menores precios.

Tecnología solar	Producto energético	Aplicación
Solar térmica a media y alta temperatura	Calor, vapor, electricidad	Concentradores focos puntuales: Paraboloide de revolución, campo de heliostatos. Concentradores foco lineal: Canal parabólico, concentradores lineales de Fresnel
Solar térmica a baja temperatura	Calor, frío	Colectores solares comerciales (agua caliente sanitaria, climatización de piscinas, apoyo a sistemas de calefacción), cocinas solares, secadores solares, producción de frío.
Uso pasivo de la energía solar en edificios	Calor, frío, luz, ventilación	Demostración y aplicación en viviendas.

Cuadro 3.2: Aplicaciones de la energía solar térmica

Para que este calor sea aprovechado continuamente, es necesario acumular esta energía para cuando se requiera su consumo, por lo que es preciso un sistema solar térmico; considerado como el conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y

eléctricos que permiten captar la energía solar disponible y transformarla en calor de forma que se pueda utilizar en diferentes necesidades.

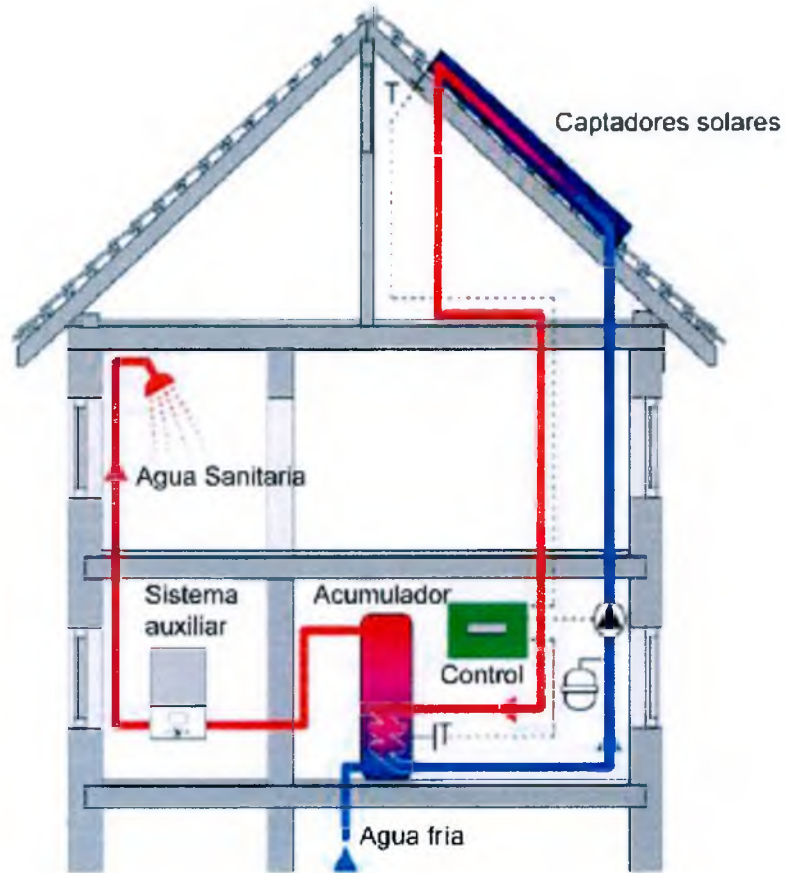


Figura 3.7: Ejemplo de una instalación típica de vivienda con agua caliente sanitaria a partir del uso de tecnología solar

### 3.4.1 Colector Solar. Primera Parte

Un colector solar es un intercambiador de calor que transforma radiación solar en energía calorífica. La irradiancia solar  $G$ , es aproximadamente de  $1100 \text{ W/m}^2$  y varía ampliamente. Un colector puede utilizar líquido o gas para transferir el calor. Los líquidos más frecuentes son el agua, una disolución anticongelante o un aceite térmico. El gas que se suele utilizar como fluido térmico es el aire.

Los colectores solares se clasifican por su rango de temperatura siendo estos de baja (máximo  $50^\circ\text{C}$ ), media (máximo  $90^\circ\text{C}$ ) y alta temperatura (máximo  $150^\circ\text{C}$ ).

#### Tipos de Colectores Solares

Los colectores solares se clasifican en dos grandes grupos:

- **Colectores Solares sin concentrador:** son aquellos considerados de baja temperatura alcanzando temperaturas menores de 70°C, por lo que son usados en las aplicaciones del sector residencial.
- **Los Colectores Solares de Concentración:** utilizan métodos de concentración mediante óptica, alcanzan temperatura a más de 70°C. Estos se aplican en la energía solar térmica de media y alta temperatura.

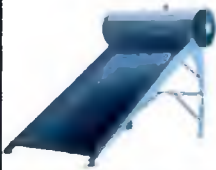


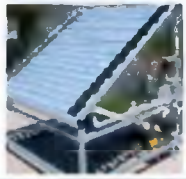

Tecnología	Descripción	Aplicación	
Colector solar placa plana	Estos colectores poseen una cubierta transparente de vidrio o plástico que aprovecha el efecto invernadero calentando una Placa, donde la energía almacenada en la placa es transfenda al fluido.	Producción de agua caliente sanitaria, climatización de piscina y calefacción	
Colectores solares de caucho	Formado por una serie de tubos de caucho, los cuales expuestos al sol absorben la radiación solar y se la transmiten al fluido que atraviesa su interior.	Climatización de piscinas	
Colectores de aire	Son de tipo plano, utilizan como fluido caloportador el aire.	Calefacción	
Colectores de vacío	Son de doble cubierta envolvente, herméticamente cerrada, aislada del interior y del exterior, y en la cual se ha hecho el vacío.	Producción de agua caliente sanitaria y climatización de piscinas	
Tubos de calor	Tienen una simetría cilíndrica, formados por dos tubos concéntricos: uno exterior de vidrio y uno interior pintado de negro o con pintura selectiva	calefacción	

Figura 3.8: Colectores solares sin concentrador

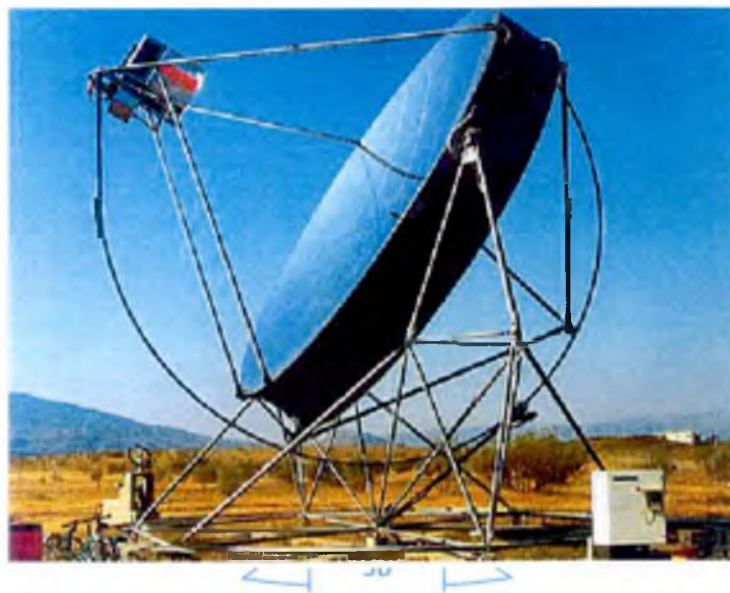


Figura 3.9: Colectores solar con concentrador. Disco parabólico

### 3.4.1.1 Colector Placa plana (CPP)

Los colectores de placa plana (CPP), se diseñan para aplicaciones que requieren suministro de energía de temperatura moderada. Utilizando tanto la energía directa como difusa, generalmente no implementan seguimiento solar y requieren un mantenimiento muy bajo.

Su principal aplicación es para la obtención de agua caliente sanitaria ACS, debido que el consumo de agua caliente debe ser permanente, requiriendo temperaturas bajas (60 °C).

Entre otros usos se encuentran: Calefacción y calentamiento de piscinas pero esto es más problemática, ya que depende de la estación del año. Se han desarrollado maquinas frigoríficas con ciclo de absorción que permite, a partir de la energía solar, aire acondicionado.

#### Funcionamiento

Un colector plano seguirá el mismo principio del efecto invernadero, que consiste en captar la radiación directa como difusa en su interior, transformándola en energía térmica e impidiendo su salida al exterior. La radiación con longitud de onda corta ( $0.23 \mu\text{m} - 3 \mu\text{m}$ ) atraviesa las cubiertas transparentes e incide sobre una plancha termo aislante denominada placa absorbe. El objetivo es transferir la energía absorbida a un fluido caloportador que se encuentra circulando (flujo forzado). La plancha negra, al calentarse, emite radiación de onda larga que no puede salir al exterior debido a que la cubierta transparente es opaca.

Los elementos accesorios están destinados a aumentar el rendimiento reduciendo las pérdidas caloríficas. Es decir, la placa absorbente se encuentra colocada en una base aislada que limita las pérdidas por conducción. Para reducir las pérdidas por convección y radiación se utiliza una cubierta transparente que puede ser sencilla o a veces doble o incluso múltiple.

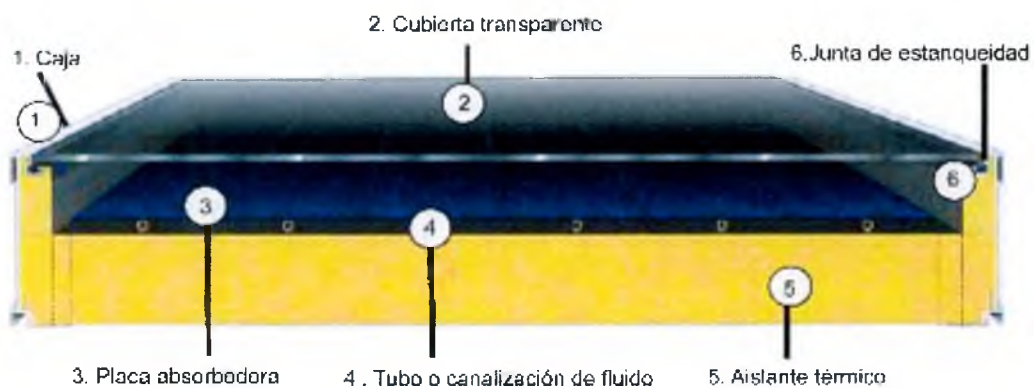


Figura 3.10: Componentes de un colector solar

1. **Caja:** Su principal función es de proteger y soportar todos los elementos que se encuentra formado el captador.
2. **Cubierta transparente:** Los materiales normalmente utilizados son el vidrio y el plástico. Al utilizar una cubierta de vidrio transparente, reduciríamos las perdidas por convección sobre el absorbente, procurando el efecto invernadero. Se debe tener en consideración que el material sea bajo en sales de hierro para tener mejor coeficiente de trasmisión de la radiación. Uno de los problemas del uso de este material es su fragilidad en romperse por los cambios bruscos de temperatura o por algún agente externo. Muchos colectores fabricados industrialmente vienen con una cubierta de plásticos, entre ellos están los policarbonatos. Muchos plásticos sufren por el paso de tiempo deterioros, lo que provoca un descenso del rendimiento del colector. Considerando sus propiedades mecánicas, tiene mala conductividad térmica, alto coeficiente de dilatación, liviano, entre otras.
3. **Placa Absorbadora:** En muchos casos se trata de una plancha metálica de color negro que recibe la radiación solar, la transforma en calor y la transmite al fluido caloportador. Para captadores solares que no realizan efecto invernadero se utilizan absorbedores de plásticos.
4. **Tubo o canalización del fluido:** El sistema de canalización del fluido puede estar formado por una parrilla de tubos y dos colectores que constituyen los conductos de distribución o en su caso solamente compuesto por un tubo en forma de serpentin.
5. **Aislante térmico:** Entre el conjunto formado por el absorbedor, el conducto del fluido y la carcasa del colector, se dispondrá una plancha termoaislante que minimice las perdidas térmicas en su parte posterior. Los aislantes más comunes son los de fibra de vidrio.

Tal como se ha indicado al inicio de esta sección es necesario acumular la energía para cuando se requiera su consumo, por lo tanto a continuación se indica los elementos que componen un sistema solar térmico:

<b>Sistema de Captación</b>	Encargado de captar y convertir la radiación solar en energía térmica aumentando la temperatura del fluido de trabajo.
<b>Intercambiador de calor</b>	Permite transferir el calor del fluido de trabajo que circula por un circuito primario al agua que hay en el circuito secundario.
<b>Sistema de acumulación</b>	Almacena la energía térmica producida en forma de agua para poder utilizarla en periodos en los que la demanda excede la capacidad de producción.
<b>Sistema de control</b>	Encargado del correcto funcionamiento de la instalación dado las ordenes necesarias a las bombas y válvulas para que funcione correctamente la circulación del fluido caloportados alcanzando las temperaturas deseadas.
<b>Sistema hidráulico</b>	Permite la circulación del fluido por los distintos circuitos de la instalación.
<b>Sistema de energía convencional</b>	El Sistema solar va a permitir sustituir una parte de la energía convencional consumida por la instalación, pero no toda.

**Cuadro 2.3: Descripción de los elementos que componen un sistema solar térmico**

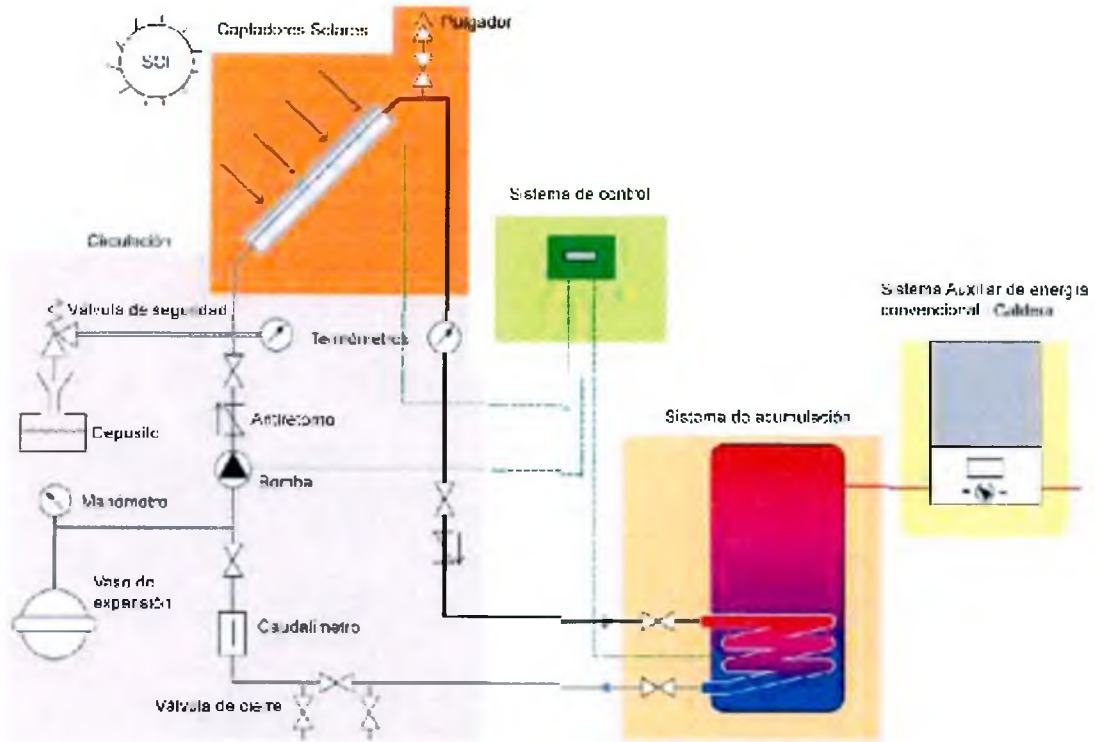


Figura 3.11: Componentes de un sistema solar térmico

### Balance energético del colector solar

El rendimiento de un colector solar, viene descrito por un balance de flujos de calor que refleja la distribución de energía incidente en ganancia energética y pérdida.

La ganancia energética o calor útil es el balance de flujo de calor que refleja la distribución de energía solar incidente, relacionada con el área del colector ( $A_c$ ), un factor de ganancia ( $F_R$ ), radiación solar adsorbida por unidad de área de la placa absorbidora ( $S$ ). Por otro lado, encontramos las pérdidas térmicas hacia el exterior, producto de la conducción, convección y radiación, que son parametrizadas mediante el coeficiente efectivo de transferencia térmica o coeficiente de pérdida global  $U_L$ . Además de la diferencia de temperaturas de entradas del fluido y temperatura ambiente, la cual está definida como:

$$Q_u = A_c \cdot F_R \cdot [S - U_L \cdot (T_{f\theta} - T_a)]$$

Si no colocáramos el factor  $F_R$ , en la ecuación anterior, esta se encontraría en término de la temperatura media de la placa  $T_{p,m}$  y la temperatura ambiental  $T_a$ .

$$Q_u = A_c \cdot [S - U_L \cdot (T_{p,m} - T_a)],$$

Llegando a ser una ecuación casi ineficaz debido a que, la temperatura media de la placa es una magnitud difícil de medir, ya que las partes del colector se encuentran a

distintas temperaturas. Para ello se mide la temperatura a la entrada y a la salida calculando un valor promedio. Al hacer esto, es necesario añadir este coeficiente FR que corrige esta diferencia de temperatura.

La ganancia también puede ser expresada con respecto al flujo interno del fluido que consiste en medir el incremento de temperatura del fluido caloportador. "Tfe" representa la temperatura de entrada y "Tfs" es la temperatura de salida del fluido, "m" representa el flujo másico del fluido (kg/s), "cp" es el calor específico en (kcal /kg °K o kJ/ kg °K).

$$Q_u = \dot{m} c_p \cdot (T_{fs} - T_{fe})$$

FR, es el análogo de la eficiencia de un intercambiador de calor convencional, definido como el cociente entre la transferencia real y la máxima transferencia posible.

$$F_R = \frac{\dot{m}(T_{fs} - T_{fe})}{A_c(S - U_L(T_{fo} - T_c))} = \frac{S - U_L(T_{p,m} - T_a)}{S - U_L(T_{fs} - T_a)}$$

La radiación solar adsorbida S, se encuentra dada por el factor de transmitancia – absorptancia efectivo (t x alfa) y la intensidad de la radiación denominada la irradiancia solar total GT.

$$S = (\tau \alpha) G_T$$

Para el análisis teórico del colector el Coeficiente de pérdidas caloríficas o coeficiente global UL, se determina a través de las pérdidas superior a través de la cubierta Ut, pérdidas por la base o soporte Ub y el coeficiente de pérdidas por los bordes Ue.

$$U_L = U_t + U_b + U_e$$

Aplicando las ecuaciones de transferencia de calor, podemos determinar las pérdidas por resistencia térmicas del sistema completo, es decir, habrá pérdidas de radiación, convección y conducción desde el cielo hasta la superficie de la placa.

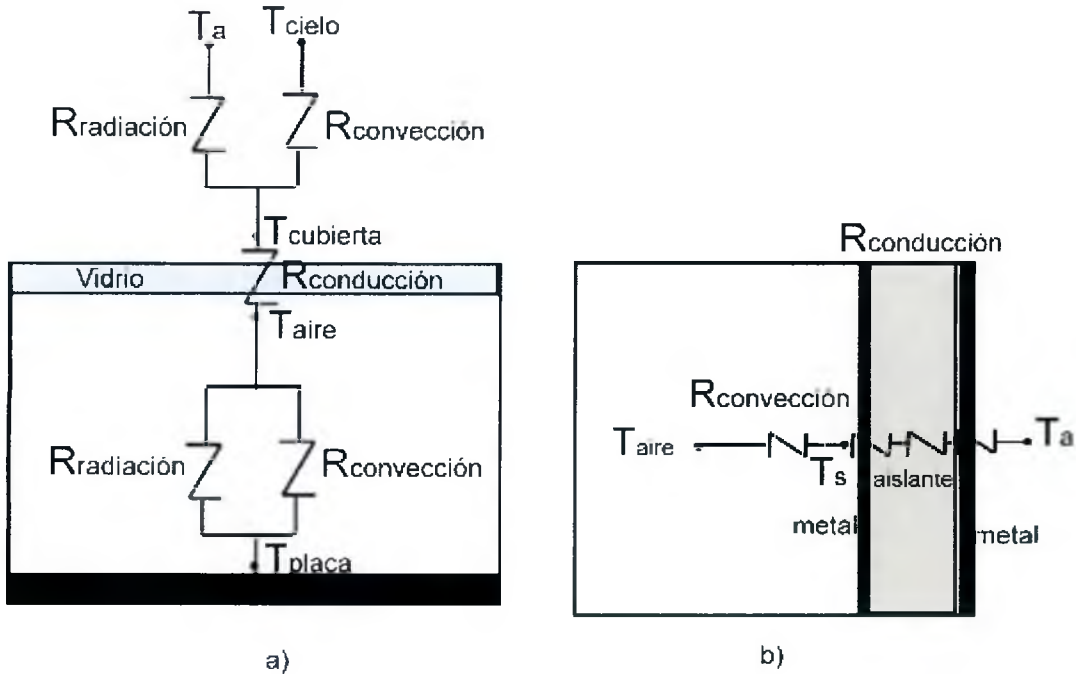


Figura 3.12: Esquema de resistencias térmicas (conducción, convección, radiación) en el colector. (a) Pérdidas dentro de la cámara, vidrios y exterior. (b). Pérdidas por paredes.

**Resistencia térmica de conducción:**  $h_t = k / L$ , donde  $k$  es el valor de la conductividad,  $L$  es el espesor.

**Resistencia térmica convección:**  $h_c = k \text{Nu} / L$ , se encuentra en termino del número de Nus- selt ( $\text{Nu}$ ) y este a su vez dependerán del número de Reynolds ( $\text{Re}$ ) y Prandtl ( $\text{Pr}$ ), para esto es necesario conocer si la convección se trata de un flujo forzado o de un flujo laminar.

Para un Colector plano, la ausencia de viento, es razonable un coeficiente de convección libre exterior no menor al  $5 \text{ W/m}^2\text{°C}$ . Cuando hay viento el coeficiente de transferencia aumenta linealmente para valores pequeños.

$H_c \text{ viento.} = a + bV$ , Siendo,  $V$  la velocidad de viento (m/s), donde  $a$  y  $b$  son coeficientes que dependen del caso. Para una placa plana con área de  $0.5 \text{ m}^2$ ,  $a = 2.8$  y  $b=3$ , para aéreas mayores las variables son aproximadamente  $a= 5.7$  y  $b = 3.8$ .

Para un colector tubular, el flujo de aire perpendicular a un tubo exterior el número de Nusselt ( $\text{Nu}$ ) se encuentra dado por:

$$\begin{aligned} \text{Nu} &= 0.4 + 0.54 \text{Re}^{0.52} \text{ para } 0.1 < \text{Re} < 1000 && \text{Si se trata de un flujo laminar} \\ \text{Nu} &= 0.3 \text{Re}^{0.6} \text{ para } 1000 < \text{Re} < 50000 && \text{Si se trata de un flujo turbulento} \end{aligned}$$

**Resistencia térmica por radiación:**

$$h_r = \varepsilon \sigma (T_2^2 + T_1^2) ((T_2 + T_1))$$

Donde, sigma es la constante de Stefan Boltzman.

Si la radiación se da a través de dos placas paralelas se aplica que:

$$h_r = \frac{\sigma (T_2^2 + T_1^2) ((T_2 + T_1))}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$$

La temperatura del cielo se determina aplicando la siguiente expresión,  $T_{\text{cielo}} = 0,0552 T_a^{1.5}$

Una vez definido  $U_t$ , podemos determinar las pérdidas de flujo de calor, siendo:

$$\dot{Q}_{\text{perd}} = A_c U_t (T_{p,m} - T_a)$$

Las perdidas por radiación se generan en la cubierta transparente (vidrio e opaco a los infrarrojos) y en la placa de absorción (plancha negra).

Las pérdidas por conducción, se dan por las paredes y superficie del colector

Las pérdidas por convección, son las pérdidas producidas en la cubierta transparente y paredes.

Una manera empírica que determina el factor de pérdida  $U_t$ , se obtiene utilizando la expresión empírica desarrollada por Klein que intervienen factores como:

**N:** número de cubiertas

**B:** inclinación del panel

**Ep, Ec:** emitancias (0.88 para el cristal, 0.63 para plástico, 0.95 placa negra).

**Ta:** temperatura ambiente

**T p,m:** temperatura media de la placa

**hc<sub>v</sub>:** coeficiente de calor convectivo del exterior

**e:**  $0.430 (1 - 100 / T_{p,m})$

**f:**  $(1 + 0.089 h_{c, \text{ext}} - 0.1166 h_{c, \text{ext}} * e_p) (1 + 0.07866 N)$

Con ayuda de la ecuación de Klein se procede al método de interacción para calcular la temperatura media de la placa, la temperatura de la cubierta y la temperatura media del fluido.

$$U_t = \left[ \frac{N}{\frac{C(\rho)}{T_{p,m}} \cdot \left( \frac{T_{p,m} - T_a}{N + f} \right)^2} + \frac{1}{h_{c, \text{ext}}} \right]^{-1} + \frac{\sigma \cdot (T_{p,m} + T_a) \cdot (T_{p,m}^2 + T_a^2)}{(\varepsilon_p + 0.00591 N \cdot h_{c, \text{ext}})^{-1} + \frac{2N + f - 1 + 0.133 \cdot \varepsilon_p}{\varepsilon_c} - N}$$

Los valores típicos que determinan el factor de eficiencia del colector FR, en el caso de un colector de placa plana, son:

Uc (2 cubiertas de vidrio) .....	= 4 W/m <sup>2</sup> °C
Uc (1 cubierta de vidrio) .....	= 8 W/m <sup>2</sup> °C
k (Placa de cobre de 1 mm de espesor).....	= 0,4 W/°C
k (Placa de acero de 1 mm de espesor).....	= 0,005 W/°C
hcF (Agua en flujo laminar, convección forzada).....	= 300 W/m <sup>2</sup> °C
hcF (Agua en flujo turbulento, convección forzada).....	= 1500 W/m <sup>2</sup> °C
hcF (Aire en convección forzada turbulenta).....	= 100 W/m <sup>2</sup> °C

### 3.4.2 Colector solar. Segunda Parte

#### 3.4.2.1 Rendimiento de un colector solar

El rendimiento de un colector esta dado por la ganancia sobre la intensidad de la radiación incidente durante un cierto periodo de tiempo y por unidad de superficie efectiva del colector.

$$\eta = \frac{\text{calor aprovechado}}{\text{Calor solar}} = \frac{Q_u}{G_T A_c} = F_R \cdot (\alpha) - F_R \cdot U_L \cdot \frac{(T_{fe} - T_a)}{G_T}$$

Con el balance energético se puede representar el comportamiento del captador en función del rendimiento y las variables.

$$(T_{fe} - T_a) / G_T$$

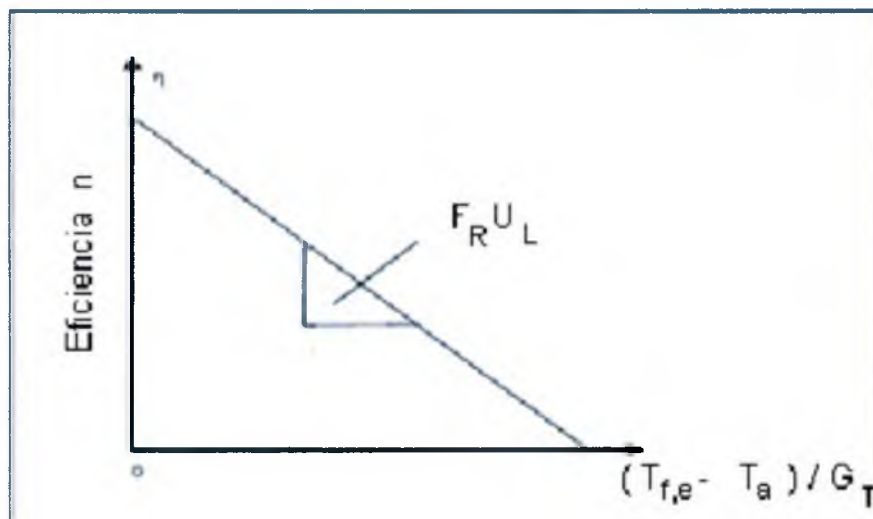


Figura 3.13: Curva Lineal característica del Rendimiento de un colector

Como se puede observar cumple el comportamiento tipo de una recta, por lo que la ecuación caracteriza será:

$$\eta = a - b \frac{(T_{re} - T_a)}{G_T} \quad \text{Donde } a = F_R \cdot (\alpha) \text{ y } b = F_R \cdot U_L$$

Los valores tipos para los colectores placa plana son:

*Captador sin caja, sin aislamiento y sin cubiertas, generalmente de plástico*

$$0,85 < F_R \text{ Is } \alpha_s < 0,90 \quad ; \quad 16 < F_R U_L < 20 \quad , (W^{\circ}C \text{ cm}^2)$$

*Captadores con caja, aislamiento y una cubierta transparente*

$$0,75 < F_R \text{ Is } \alpha_s < 0,85 \quad ; \quad 7 < F_R U_L < 9 \quad , (W^{\circ}C \text{ cm}^2)$$

*Captadores con caja, aislamiento, una cubierta transparente y superficie absorbente selectiva*

$$0,75 < F_R \text{ Is } \alpha_s < 0,85 \quad ; \quad 5 < F_R U_L < 6 \quad , (W^{\circ}C \text{ cm}^2)$$

*Captadores con caja, aislamiento y dos cubiertas transparentes*

$$0,7 < F_R \text{ Is } \alpha_s < 0,8 \quad ; \quad 4 < F_R U_L < 6 \quad , (W^{\circ}C \text{ cm}^2)$$

### Cubiertas transparentes

Para mejorar la eficiencia del captador es mejor utilizar una cubierta transparente a la radiación solar, pero opaca a la radiación infrarroja, además con bajo contenido de sales de hierro.

El proceso de absorción por parte de la placa debe tener en cuenta la radiación que se refleja y vuelve a rebotar en la cubierta, para absorciones altas para una placa absorbente  $\alpha = 0.9$ . Para determinar la cantidad solar absorbida por unidad de área de la placa (S) se debe conocer la energía que incide sobre la cubierta transparente, por absorción, reflexión y transmisión de la radiación. Para ello se determina el ángulo  $\theta_2$  que está relacionado con el índice de refracción por la ley de Snell.

Ley de Snell

$$n_1 \text{sen } \theta_1 = n_2 \text{sen } \theta_2$$

A través de la ecuación de Fresnel se determina la reflexión de la radiación no polarizada.

$$\rho = \frac{1}{2} \left[ \frac{\text{sen}^2(\theta_2 - \theta_1)}{\text{sen}^2(\theta_2 + \theta_1)} + \frac{\text{tan}^2(\theta_2 - \theta_1)}{\text{tan}^2(\theta_2 + \theta_1)} \right]$$

La transmitancia se obtiene empleando la siguiente ecuación:

$$\tau = \frac{1 - \rho}{1 + (2n - 1)\rho} \cdot e^{-NKL / \cos\theta_2}$$

La radiación que pasa a través de la cubierta y que llega al absorbente, alguna se refleja hacia la cubierta, sin embargo no toda esta radiación se pierde, ya que una parte se refleja de nuevo hacia el adsorbedor, por lo tanto la energía incidente ( $t \times \alpha$ ) es la reflexión múltiple de la radiación difusa continua y la energía total absorbida por la placa absorbente.

$$(\tau\alpha) = \frac{\tau\alpha}{1 - (1 - \alpha)\rho_d}$$

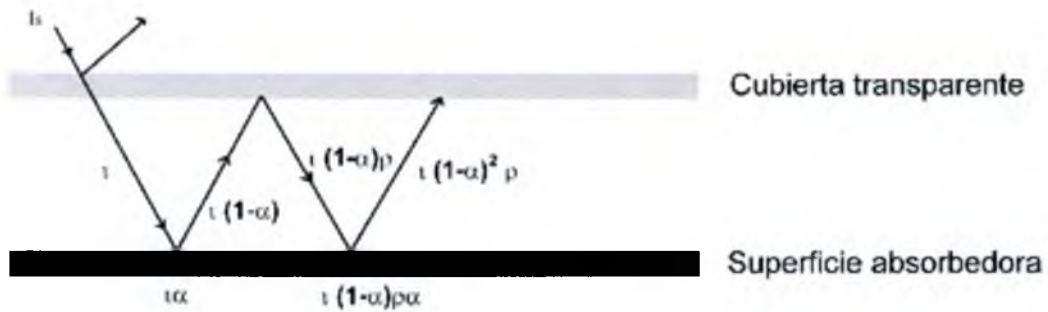


Figura 3.14: Flujo de la energía radiante que incide sobre un colector solar

### 3.4.2.2 Captadores de tubo al vacío

Esta tecnología se aplica especialmente para procesos industriales donde se necesita que la energía sea liberada a media y altas temperaturas. Esto no se puede lograr con los colectores solares planos como los colectores de vacío que suelen emplear una superficie de captación formada por una serie de tubos con aletas, recubiertos de una superficie selectiva y circulando el fluido calo portador en su interior. Estos tipos de colectores tienen un buen rendimiento por lo que puede compensar su costo debido a su utilización.

COLECTORES	RANGO T (°C)	h <sub>o</sub>	UL (W/ m <sup>2</sup> °C)
Sin cubierta	10-40	0.9	15-25
Cubierta simple	10-60	0.8	7
Cubierta doble	10-80	0.65	5
Superficie selectiva	10-80	0.8	5
Tubos de vacío	10-130	0.7	2

Cuadro 3.4: Comparación de parámetros característicos de los tipos de colectores: Eficiencia óptima (h<sub>o</sub>) y coeficiente general de pérdidas (UL).

Al reducir el coeficiente UL (Se retira el aire que se encuentra entre el absorbedor y la cubierta, para eliminar la pérdida de calor por conducción y convección, quedando

únicamente las pérdidas por radiación), se puede obtener una temperatura de fluido más alta, alrededor de 100°C.

En estos colectores la cubierta será un tubo de vidrio (a veces doble) en el que se ha hecho al vacío. El absorbedor es un tubo que se prolonga a lo largo del eje del tubo de vacío, transportando el fluido caloportador.

Una de las desventajas de este sistema es el mantenimiento, que al perder el vacío también va perdiendo el revestimiento aislante, alcanza un valor de UL superior.

Existen dos tipos de colectores tubulares de vacío, según sea el método de empleo para el intercambiador de calor.

**Intercambio directo:** Consiste de un tubo de vidrio al que se le ha hecho el vacío, e internamente se encuentra un tubo de cobre por donde circula el fluido caloportador. El fluido del circuito primario es el mismo que circula por dentro de cada absorbedor. La disposición puede ser en serie o en paralelo. Cada tubo del sistema es dependiente del otro, si en caso uno falla (pierde el vacío) conduce al enfriamiento del fluido del circuito primario.

**Intercambio mediante tubos de calor (heat pipe):** Consiste de un tubo hueco cerrado por los extremos, cada colector es un circuito cerrado por el que circula un fluido vaporizante como el agua que en ciertos casos es mezclada con algún tipo de alcohol. La radiación solar que incide en el colector calienta el tubo produciendo que el fluido en su interior se evapore y ascienda hasta un bulbo de contacto con el fluido del circuito primario que al estar frío el vapor se condensa descendiendo nuevamente por el tubo del absorbedor para calentarse de nuevo. El fluido del circuito primario no se mezcla con el tubo de calor. Cada tubo del sistema es independiente del otro, si en caso un tubo falla, no influirá al conjunto en general.

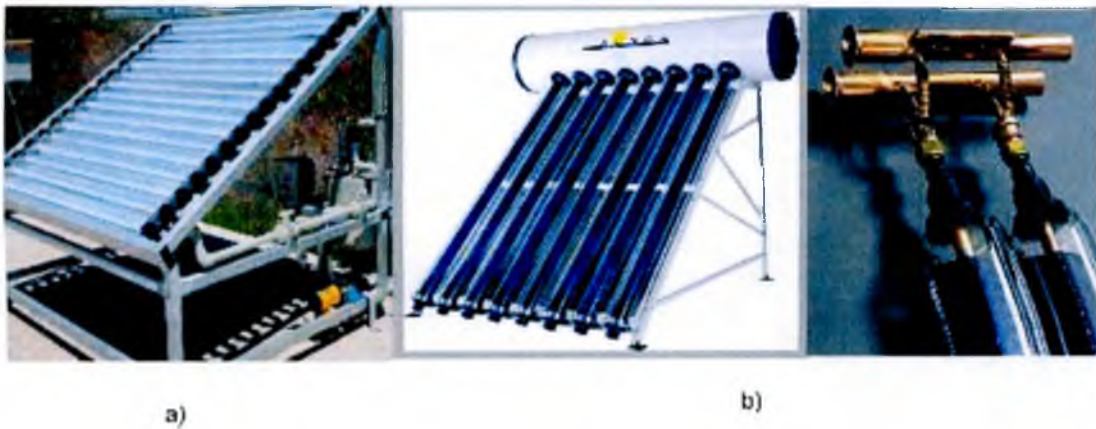


Figura 3.15: Captadores de tubo al vacío. a) Intercambio directo. b) Tubo de calor heat pipe

### 3.4.2.3 Conexión entre colectores

La instalación solar está constituida por un conjunto de colectores solares conectados de tal manera que el caudal que circula por todos los colectores debe ser

el mismo, para que trabajen con un rendimiento similar, evitando de esta manera pérdidas en el sistema.

Los captadores se pueden conectar en serie, paralelo o mixto, dependiendo del espacio en donde serán colocado el sistema y las limitaciones que marca el fabricante por lo que siempre es necesario analizar estas configuraciones para llegar a la energía deseada.

Para una conexión correcta la entrada del fluido del captador debe estar en la parte inferior de este, y la salida del fluido será por la parte superior, siempre opuesta a la entrada, además de instalar válvulas de seguridad.

**-Conexión en serie:** Se conecta los colectores en serie solo cuando se requiere conseguir altas temperaturas, pasando el fluido de un colector a otro siempre, sumando así los saltos térmicos.

**-Conexión en paralelo:** Son las conexiones más habituales para obtener bajas temperaturas, formando fila con el mismo número de captadores. El caudal total es la suma de los caudales de los distintos módulos.

**-Conexión mixta serie-paralelo:** Este tipo de instalación se realiza en grandes superficies de captación en la que es necesario temperaturas altas.

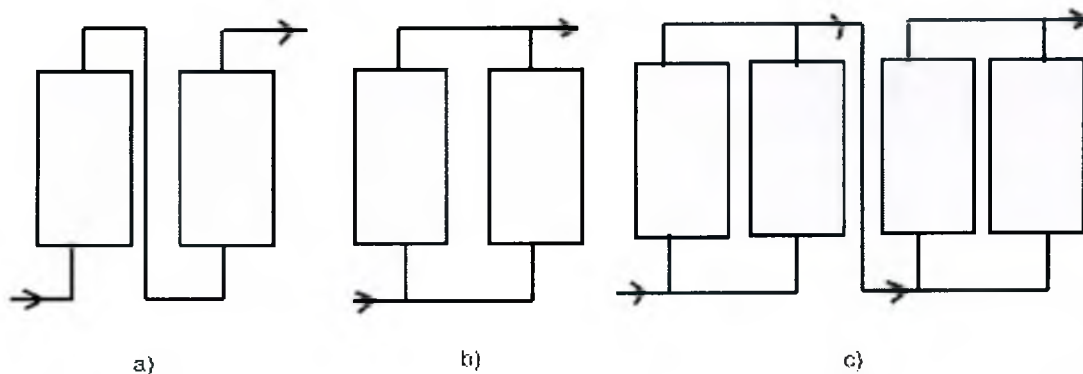


Figura 3.16: Configuración de las instalaciones. a)serie b) paralelo c) mixta

### 3.4.3 Destilador solar

Esta alternativa solar se basa en calentar el agua salubre, condensar el vapor sobre una superficie fría y recoger el condensado. Este proceso quita las sales, elimina residuos de hongos, bacterias, virus y demás contaminantes, obteniendo agua apta para consumo humano.

Los destiladores solares no son adecuados para purificar aguas negras ni residuos industriales.

Las dos partes fundamentales que componen el diseño básico de un destilador solar son la piscina o estanque y la cubierta.

Los destiladores se pueden clasificar en:

**Destilador solar térmico directo:** El destilado se realiza directamente en el colector solar, es un solo complemento.

**Destilador solar térmica indirecta:** Compuesto por dos subsistemas, uno para la captación solar de energía, y otro para efectuar la desalación.

Un ejemplo simple en la construcción de este sistema, es colocando una cubierta transparente encima de una piscina somera de agua salada (base de hormigón formado por canales poco profundo). El efecto se da cuando el sol incide sobre las cubierta inclinada que por efecto invernadero el agua salobre se calienta evaporando en parte, la cubierta al encontrarse en contacto con el aire frío el vapor se condensa sobre su cara interior, debido a la inclinación del vidrio el agua líquida cae y gotea sobre los canales de drenaje de agua destilada.

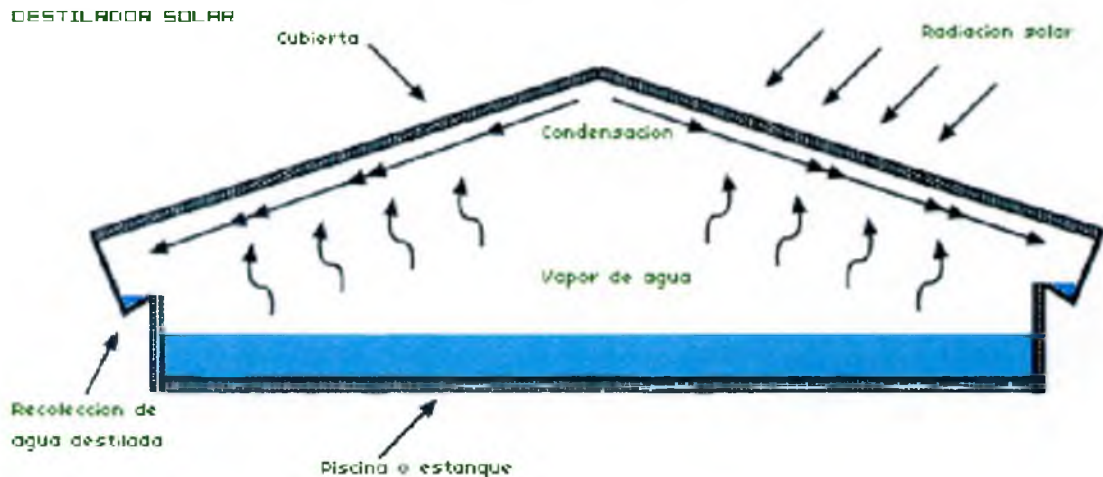


Figura 3.17: Ejemplo típico de un destilador solar

### 3.4.4 Cocina Solar

El propósito básico de una cocina solar es calentar cosas, cocinar comidas, purificar el agua y esterilizar instrumentos, entre otros. Una de las desventajas de las cocinas solares es la dependencia de las condiciones climáticas.

Los diseños de cocinas solares pueden clasificarse en función de la incorporación de elementos de concentración solar; tipo caja (utiliza efecto invernadero), cocinas de paneles y cocinas parabólicas (incorporan elementos de concentración).

#### La cocina solar tipo caja u horno solar:

Es una caja bien aislada donde solo ingresa la radiación solar por una cubierta transparente (parte superior), en el interior de la cocina se encuentra una plancha negra que absorbe la energía solar y la transfiere en forma de calor. El efecto de la

cocina solar tipo horno es el resultado del calor en espacio cerrados en que el sol incide fácilmente a través del cristal y es absorbida y reflejada por los materiales utilizados , La energía de la luz que es absorbida por el cuerpo negro se convierte en energía calorífica que tiene una mayor longitud de onda debido en que la energía que viene del sol son microondas que están en longitudes entre 0.3 y 2.5 micrones, e irradia desde el interior de los materiales, permitiendo que la mayor parte de la energía radiante no pueda atravesar el cristal y por consiguiente es atrapada en el interior del espacio cerrado.

El calor que se genera se transfiere parte a la comida y en parte se emite como energía infrarroja con longitudes de ondas que van de los 3 a los 80 micrones, esto servirá para calentar el aire dentro de la cocina, y una parte mínima de este calor se pierde hacia el exterior. La temperatura que puede alcanzar una cocina solar de caja es de 150 °C.

El balance energético de estos tipos de cocina, es similar a la de un colector plano de cubiertas transparentes.

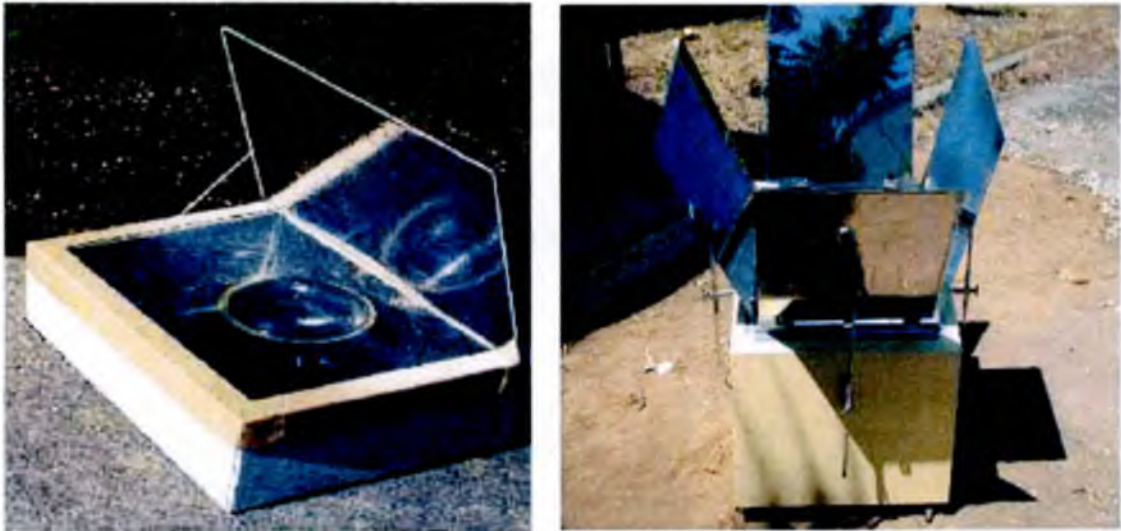


Figura 3.18: Cocina tipo horno

#### Cocina de panel:

La cocina es formada por varios paneles planos que concentran los rayos del sol sobre un recipiente dentro de una bolsa de plástico o debajo de un bol. La ventaja de este diseño es que puede ser montado en una hora, con bajo costo. La temperatura que puede alcanzar una cocina solar de panel es de 90-110 °C.



Figura 3.19: Cocina solar tipo panel

**Cocinas Parabólicas:**

Se encuentra formado por un disco cóncavo que concentra los rayos del sol sobre el recipiente (olla). Una ventaja de la cocina es su rápida cocción de los alimentos, y como desventaja se da por su geometría por lo que son complicadas de elaborar, además, deben estar siempre mirando el sol.

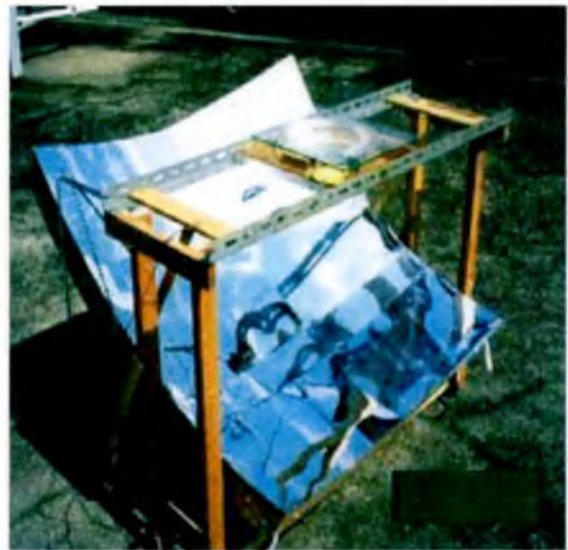


Figura 3.20: Cocina solar parabólica

### **3.4.5 Secador Solar**

El secado es uno de los métodos más antiguos utilizados por los productores agrícolas con el fin de deshidratar el producto, permitiendo su conservación por un tiempo más prolongado.

Generalmente, el sistema de secado solar consiste de una cámara aislada del exterior, en cuyo interior se encuentran bandejas con producto húmedo; internamente se hace circular aire caliente entre las bandejas para extraer el agua evaporada del producto, esta circulación puede darse de manera natural o forzada. Entre los elementos básicos que forman un secador solar se encuentra el colector y la cámara de secado. Cuanto más seco y más caliente esté el aire, mayor será la velocidad de secado. El objetivo del procesos de secado es reducir el contenido de humedad del producto, el valor de la humedad suele expresarse como el cociente entre el peso del agua y el peso total.

Los secadores solares simples utilizados en zonas rurales se encuentra contruidos de materiales transparentes (plástico), siendo más fácil que la radiación ingrese a través de las paredes del material transparente, calentando el volumen de aire y la plancha absolvedora que se encuentra en el interior de la cámara de secado. El aire caliente que ingresa a la cámara proviene del colector solar plano (aire por circulación de convección natural) aportando calor adicional al secado.

Desde el punto de vista artesanal, un secador renovable permitirá un mejor control y calidad del producto evitando el secado en tendales donde el producto se encuentra expuesto a la contaminación de la zona, así como la putrefacción y pérdida. Desde el punto de vista semi-industrial un secadero renovable reducirá las emisiones de monóxido de carbono generada por el uso de fuentes de energías tradicionales.

Actualmente existe diversos modelos de secaderos solares, siendo los más característicos los sistemas de: gabinete directo, tienda, túnel, arcón además de sistemas híbridos que utilizan simultáneamente fuentes de energías alternativas como convencional.

#### **Secador solar indirecto.**

La cámara y el colector solar se encuentran separados. El aire es calentado en el colector y llevado a la cámara de secado donde esta no permite la entrada de radiación sobre el producto, en muchos secaderos rurales la cámara se encuentra recubierta internamente con un plástico negro que permitirá un mejor efecto invernadero. Este sistema permite secar en forma conveniente productos que se puedan dañar o perder calidad de aspecto por una exposición directa al sol.

#### **Secador solar directo:**

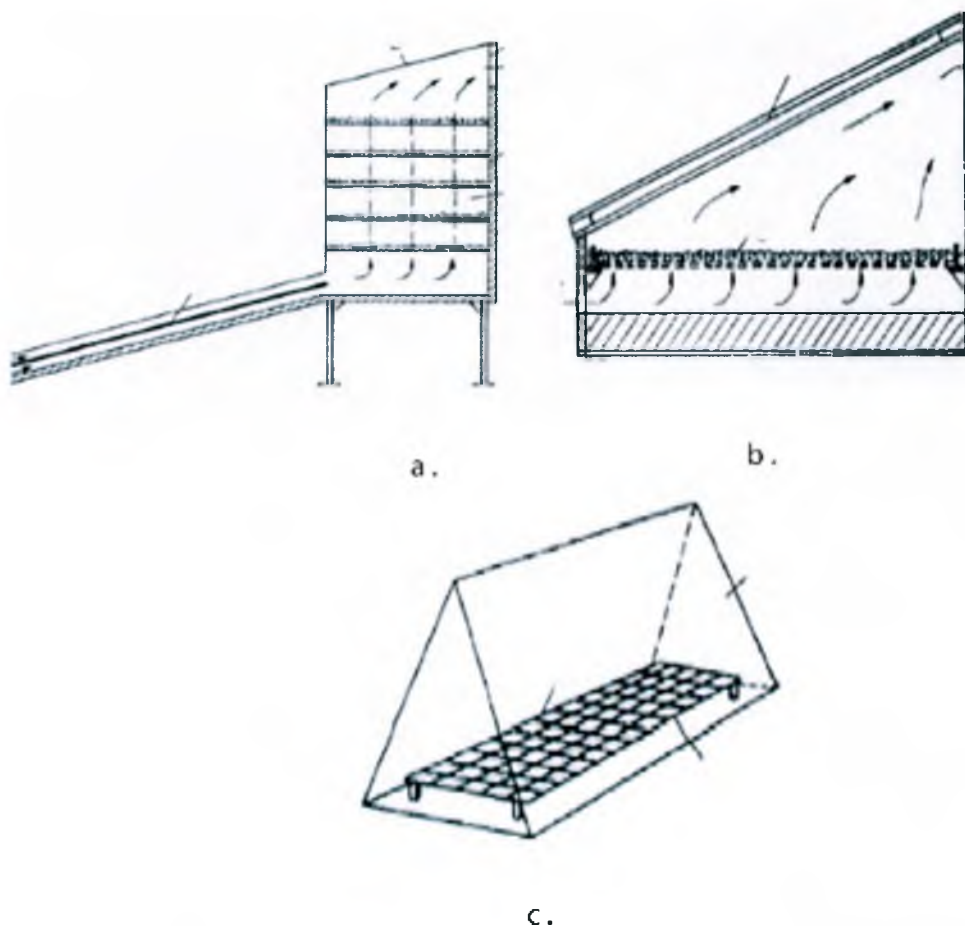
La cámara que contiene el producto también cumple la función de colector solar recibiendo la radiación solar directa. En ciertos casos es muy ventajosa por su bajo costo, pero por otro lado al no tener un mejor control del producto puede perder la calidad del mismo.

**Secador solar mixto:**

La radiación solar incidente ingresa tanto en el colector solar como en la cámara de secado.

Es necesario tener en cuenta que el aire que circula dentro del secador para eliminar la humedad del producto sea el adecuado, Esta circulación se logra por dos métodos: circulación convección natural o circulación forzada.

El primer método consiste en mover el aire por diferencias de temperatura entre las distintas partes del equipo, que promueven la convección térmica del mismo. Por lo que no necesita de una energía externa. El segundo método, el aire es movido por un ventilador que consume energía mecánica o eléctrica.



**Figura 3.21: Modelo de secadores solares: a. Gabinete indirecto, b. Gabinete directo c. Tienda**

Previo al diseño de los secaderos solares se debe considerar parámetros significativos que influyen en el funcionamiento como lo son:

- Característica del aire de secado: temperatura, humedad, caudal másico.
- Propiedad del producto a secar.
- Característica física del secadero: tipo, forma, tamaño, dimensionamiento.

- Variables sobre el funcionamiento térmico:** tiempo y ratio de secado, temperatura y humedad relativa del aire, flujo másico del aire, etc.
- Eficiencia del secador.**
- Costo de inversión y operación.**
- Manipulación y fácil construcción**
- Condiciones meteorológicas del entorno.**
- Recursos energéticos renovables a disposición**

Uno de los parámetros representativos es la velocidad de aire adecuada, que típicamente oscila entre valores de 0.5 a 3 m/s dependiendo del material a secar y la longitud del secadero. Para sistema con circulación por convección natural se encuentran entre 0.3 – 1 m/s. Con circulación forzada entre 0.5 – 2 m/s. La temperatura óptima de secado estará en función del producto a deshidratar.



a.



b.



c.

**Figura 3.22: Tipo de secaderos: a) Secador solar directo con colector solar b) Secador solar Tipo túnel c) Modelo híbrido**

### 3.4.6 Concentrador Solar

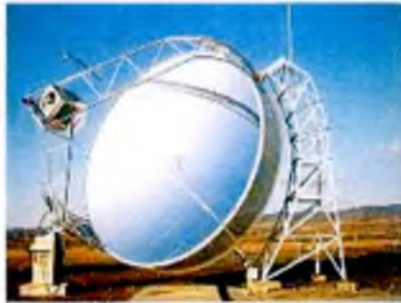
Los concentradores solares utilizan sistemas ópticos reflectores y en algunos casos refractores, para aumentar la intensidad de la radiación solar que se dirige sobre una superficie receptora absorbente. Estos sistemas solo funcionan con la radiación directa y no aprovecha la radiación difusa. Así mismo, requiere una superficie óptica de

grandes dimensiones. Los concentradores suelen ser una superficie cóncava lineal de sección parabólica (paraboloide de revolución). Para el caso de sistemas grandes como las centrales solares térmicas el focalizador es una agrupación de espejos (heliostato) que se orientan individualmente para concentrar la radiación en un punto situado en la cúspide de una torre donde se encuentra un horno.

La tecnología solar térmica a media y altas temperaturas como son los cilindros parabólicos o las centrales de torres, alcanzan temperaturas entre 80 y a 1000 °C, que son aprovechadas especialmente para la producción de electricidad, refrigeración por absorción y vapor . Con respecto a la producción eléctrica generada a partir de centrales solares térmicos (rendimiento global 16-20 %) se realiza a partir de la conversión termodinámica (ciclo Rankine o Brayton) y electromecánica (turbina-generador) de la potencia térmica absorbida en un fluido calentado mediante radiación solar concentrada.



a.



b.



c.

**Figura 3.23: Concentradores solares a) heliostatos y torre con receptor central b) disco parabólico c) cilindro parabólico**

Los concentradores solares pueden clasificarse en función de lo siguiente:

- 1 Principio óptico
- 2 Forma del foco
- 3 Razón geométrica de concentración

**-1 Concentración basada en principio óptico:**

Entre los concentradores basados en varios principios ópticos tenemos

<b>Concentradores por refracción (lentes)</b>	Son de tipo lentes clásicos o tipo Fresnel. Las lentes de tipo Fresnel proyecta los rayos sobre una superficie plana o curva, reflejando la radiación sobre el receptor.
<b>Concentradores por reflexión (espejos)</b>	Formada por una superficie reflectora usualmente de forma parabólica, donde los rayos solares paralelos al eje de esta son concentrados en el foco que contiene el fluido a calentar.
<b>Luminiscentes</b>	Estos concentradores son dispositivos ópticos para captar y concentrar luz, basados en un elemento óptico plano, normalmente un plástico transparente al que se ha añadido un pigmento luminiscente durante su proceso de fabricación.

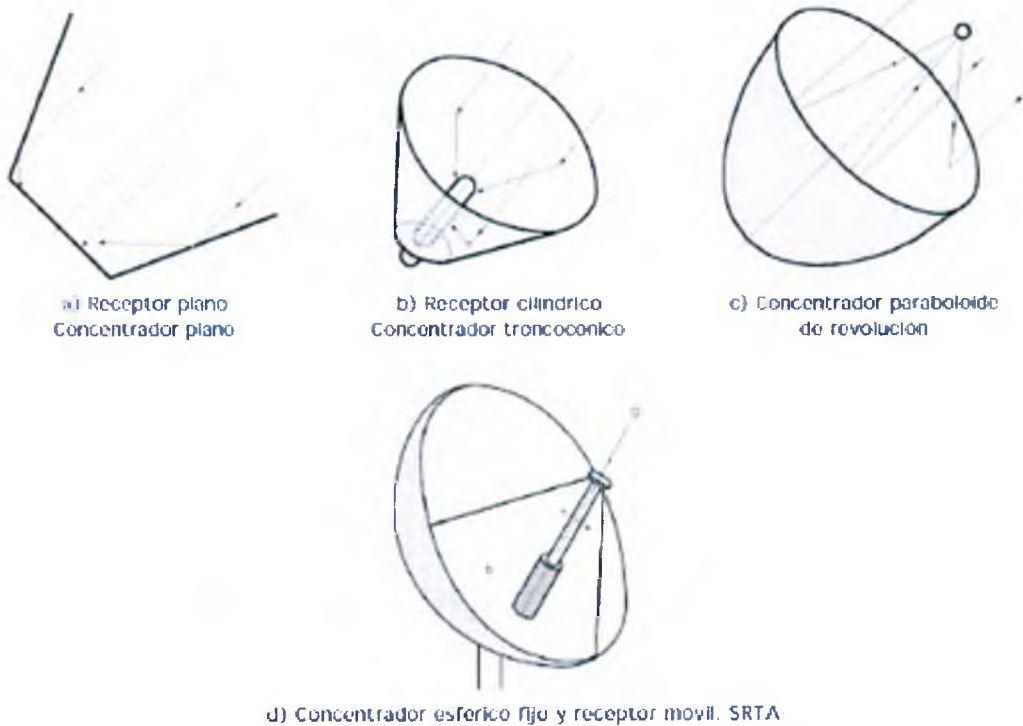
**-2 Concentradores focalizados**

En función de la forma del foco, los colectores concentradores pueden ser:

**Concentradores de foco puntual**

Los concentradores enfocan la radiación solar sobre un receptor que puede ser puntual en una zona central con una simetría de revolución o pueden tener una geometría determinada por las características del concentrador. Entre ellos se encuentran:

- Receptor plano y concentrador-reflector plano
- Receptor cilíndrico y concentrador-reflector cónico
- Receptor cilíndrico y concentrador-reflector esférico
- Concentrador-reflector tipo paraboloides de revolución



**Figura 3.24: concentradores de foco puntual**

### Concentradores de foco lineal.

La concentración de la radiación solar sobre una línea. Tienen una simetría lineal. Concentradores de este tipo pueden obtenerse mediante proyección lineal de diseños bidimensionales, entre los concentradores de foco líneas se encuentran:

**Colector con concentrador-reflector cilíndrico parabólico y receptor Tubular:** El tubo receptor se encuentra a lo largo de toda la posición focal. Temperatura aproximada de 300 °C.

**Concentrador de reflexión Fresnel y concentrador refractor Fresnel:** Su superficie puede ser plana o curva diseñada cada una para que la radiación sea refleja individualmente al receptor.



Figura 3.25: Concentrador Fresnel

### 3) Relación de concentración y de interceptación.

La relación de concentración de flujo es la relación del cociente entre el flujo de radiación que incide sobre el receptor, y el flujo que incide sobre la apertura. En ciertos casos para el análisis de estos tipos de concentradores depende exclusivamente de la geometría, indicando que la concentración de flujo es similar a la relación de concentración geométrica, si los espejos son perfectos, no existen sombras o ninguna pérdida.

Relación de concentración geométrica es el cociente entre el área de apertura y del receptor.  $C_g = A_c/A_{abs}$ , donde  $A_c$  área de captación,  $A_{abs}$  área del receptor. La

máxima relación de concentración efectiva de un concentrador se obtiene a través de la siguiente ecuación:

$$C_{max.3D} = n^2 / (n^2 * \text{sen}^2 \theta_s)$$

Donde  $n$  y  $n$  son los índices de refracción de los medios y posterior a la superficie concentradora.

Para los concentradores de foco puntual, la máxima concentración se determina a través de la siguiente ecuación:

$$C_{max.3D} = 1 / \text{sen}^2 \theta_s$$

### **3.5 Energía Solar Fotovoltaica**

La Tecnología solar fotovoltaica se encuentra formada de materiales semiconductores, especialmente de silicio, y consiste en la conversión directa de la radiación solar en energía eléctrica. Esta conversión se realiza mediante unos dispositivos llamados células solares.

La energía solar fotovoltaica es muy conveniente para zonas geográficas aisladas donde no llega la red eléctrica, como islas o zonas rurales, y en el denominado sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica.

#### **3.5.1 Funcionamiento de la célula solar**

La célula solar basa su funcionamiento en el efecto fotoeléctrico y se encuentra formada por tres elementos: dos laminas de silicio que hacen a la vez de semiconductor tipo n (exceso de carga negativo) y tipo p (exceso de carga positiva), y una capa intermedia de unión np.

El semiconductor tipo n tiene en su última capa 4 electrones, que al liberarse se unen con otros átomos de su alrededor formando un enlace covalente (8 electrones), la red cristalina formada no permite el paso de corriente, por esta razón se le añade una cantidad de boro y fósforo, creándose dos zonas una faltando electrones y otra sobrando electrones. Al unirse se crea una unión de electrones-huecos que provoca un campo eléctrico que no permite el paso de corriente, salvo cuando los fotones proveniente de la luz solar chocan contra la lamina tipo n rompe esta unión liberando una cantidad de electrones. Estos electrones al estar en movimiento pasan a la capa intermedia np que deja pasar el flujo de electrones en una única dirección llevándolos a la lamina tipo p. Al no tener la misma cantidad de electrones se crea una diferencia de potencial entre ambos semiconductores, que cuando se cierra externamente el circuito, es capaz de hacer circular una corriente eléctrica.

### **3.5.2 Tecnología de Fabricación de las células solares de silicio cristalino**

Los paneles fotovoltaicos están formados de un conjunto de celdas solares que se fabrican por medio de una serie de procesos industrializados:

**-El silicio de grado metalúrgico**, se obtiene a partir de los elementos como arena o cuarzo con una pureza mayor del 98 %. Reaccionando carbono con sílice en polvo a 1800 grados Celsius reduciendo de esta manera el  $\text{SiO}_2$ .

**-Purificación del silicio:** Se hace reaccionar el silicio con ácido clorhídrico, obteniéndose triclosilano, después se purifica y se procede a reaccionarlo con hidrogeno puro obteniendo silicio ultrapuro y ácido clorhídrico. Obteniendo barras de polisilicio no cristalizado (2 metros de largo y 30 cm de ancho).

**-Crecimiento de los cristales de silicio:** Parte del polisilicio anterior se le introduce una impureza del tipo P o N, denominados dopantes.

**-Corte de la oblea:** Se parte la barra de material monocristalino o bloque de policristalinos. Se cortan los bordes creando una geometría cuasi cuadrada o se fraccionan en barra. Han de cortarse en delgadas obleas de silicio, de espesor igual al espesor de una célula (0.2 -0.5 mm)

**-Ataque químico y textura:** Las obleas al salir muy dañadas son puestas en acido o bases para eliminar las capas dañadas. La texturizarían se realiza mediante ataque anisotrópico creando en la superficie una rugosidad pseudo periódica en forma de pirámide invertida en el caso del sílice cristalino.

**-Soldadura de las células y laminado:** En etapa se realiza la formación de la unión P-N en la cual el exceso de electrones de N pasa al otro cristal y ocupa los espacios libres en P.

**-Colocación de los contactos metálicos:** Se conecta la célula con el exterior, la cara no luminosa se extiende los contactos por toda la zona, mientras que en la parte iluminada se colocan en la superficie contactos de anchura de hilo 300  $\mu\text{m}$ .

**-Tratamiento antirreflexivo:** se colocan capas antirreflexivas para reducir las pérdidas por reflexión (menor al 1 %), deben de presentar un índice de refracción óptimo de 2,3 entre el cristal que cubre las células y el silicio.

### **3.5.3 Tipos de paneles fotovoltaicos**

Los paneles fotovoltaicos, son construidos con materiales ópticos, y cuyos materiales son dispuestos de tal forma que retienen la energía solar para transformarla en energía eléctrica.

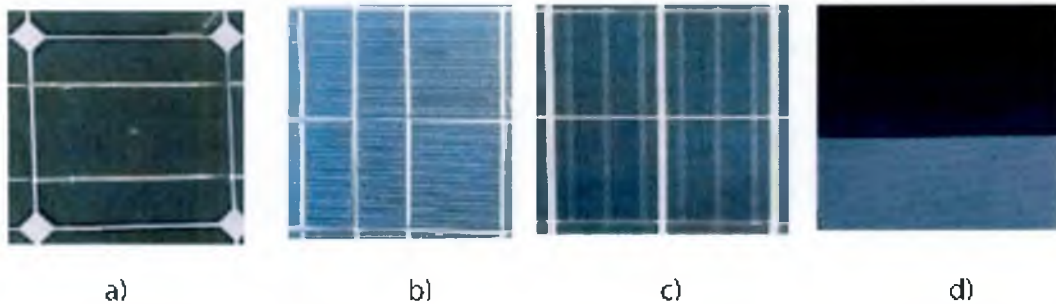
La potencia que puede suministrar un módulo FV dependerá del número de células que posea. Un valor típico para módulos compuestos por 36 células conectadas en serie oscila entre los 50 y 100 W, dependiendo del área de cada una de las células. Si esta potencia de un módulo resulta insuficiente para una determinada aplicación, el instalador conecta los módulos necesarios, en serie y en paralelo, hasta obtener la potencia requerida. Los módulos fotovoltaicos se pueden adaptar a diferentes tamaños, potencias y diseños, de modo que pueden instalarse en prácticamente

cualquier lugar. Además, son sólidos, fiables y robustos, y tienen una vida útil de más de 40 años. Según la conformación del modulo se pueden clasificar en tres grupos:

**Silicio Monocristalinos:** Sus células se obtienen cortando obleas de un solo cristal de silicio puro, reconocibles por su forma circular o hexagonal. Debido a su simplicidad estructural son económicos y ligeros. Su rendimiento se encuentra entre el 15 % y el 20 %, su color es monocromático (azul oscuro y brillo metálico).

**Silicio Policristalinos:** Sus células están formadas por pequeñas partículas cristalizadas, por el agrupamiento de cristales de silicio, tienen el aspecto de una amalgama de cristales de diferentes tonos de azules y grises. La efectividad del conjunto aumenta cuanto mayor es la sección de estas partículas. El rendimiento es del 15 % en modelos comerciales.

**Silicio Amorfo:** Desaparece la estructura cristalina ordenada y el silicio se deposita formando una capa fina, sus colores son el marrón y el gris oscuro. Rendimiento no sobrepasa el 9 %



**Figura 3.26: Tipos de paneles fotovoltaicos. a) Monocristalinos, b) policristalinos, c) UGM d) CIS**

Existen en el mercado otros tipos de células solares finas como son: CIS, CIGS, telurio de cadmio, Arseniuro de Galio.

P-Si: Rendimiento máximo 15.3 %, rendimiento típico 11-14 %, rendimiento de la célula 19.8 %

CdTe: Rendimiento máximo 10.5 %, rendimiento de la célula 16 %. Absorbe casi todo el espectro visible. Las células de capa fina de telurio de cadmio.

CIS: Rendimiento máximo 12.1 %, rendimiento de la célula 18.2 %, absorbe el 99 % de la luz. Son películas finas de selenio, cobre e indio.

CIGS: Eficiencia del 20 % en el laboratorio y 11 % en fábrica, aleación de indio, galio y selenio con el azufre

GaAs: Es el material de capa fina de mayor eficiencia real y teórica, se emplea con módulos de concentración mediante lentes de Fresnel. Rendimiento 30-35 %.

### Tipos de conectores para paneles



Figura 3.27: Conectores para paneles fotovoltaicos

### Parámetros eléctricos

Los paneles fotovoltaicos se definen por una serie de características eléctricas:

**Intensidad de cortocircuito:** es la máxima intensidad que un dispositivo fotovoltaico puede entregar sin que tenga conectado a él ningún receptor.

**Tensión a circuito abierto:** es el máximo valor de tensión que se obtiene en los extremos del panel fotovoltaico, cuando a él no hay conectado ningún receptor.

**Potencia máxima:** corresponde al máximo valor de potencia eléctrica que puede generar el dispositivo sin que se deteriore.

**Intensidad a máxima potencia:** este valor es utilizado como el valor de intensidad nominal del aparato. Corresponde a la intensidad que entrega el dispositivo cuando trabaja a potencia máxima.

**Tensión a máxima potencia:** este valor es utilizado como el valor de tensión nominal del aparato. Corresponde a la tensión que aparece entre los extremos del dispositivo cuando este trabaja a máxima potencia.

**Tensión máxima del sistema:** corresponde al máximo valor de tensión que pueden soportar las células fotovoltaicas que componen el panel.

## **IV. ENERGÍA EÓLICA**

### **4.1 ¿Cómo se produce el viento?**

El Sol calienta de forma desigual las diferentes zonas del planeta, provocando el movimiento del aire que rodea la Tierra y dando lugar al viento. El viento es, por tanto, energía en movimiento, gracias al cual los barcos de vela han podido navegar durante siglos y se ha podido transformar el movimiento de las aspas de un molino en energía útil, ya sea para bombear agua, moler cereales o para producir electricidad.

La rotación terrestre, la diferencia de temperatura y la presión atmosférica influyen en la dirección del viento. La energía del viento depende de su velocidad y, en menor medida, de su densidad (disminuye con la altitud). Cerca del suelo, la velocidad es baja, pero aumenta rápidamente con la altura. Cuanto más accidentada sea la superficie del terreno, más frenará al viento. Sopla con menos velocidad en las depresiones terrestres y con mayor velocidad sobre las colinas, aunque en grandes valles rodeados de montañas aparece el denominado efecto túnel, que puede proporcionar buenas velocidades de viento.

A escala local lo que sucede es que durante el día el Sol calienta el aire sobre tierra firme más que el que está sobre el mar. El aire continental se expande y eleva, disminuyendo así la presión sobre el terreno y haciendo que el viento sople desde el mar hacia la costa.

### **4.2. ¿Cómo se caracteriza el potencial eólico de una zona?**

Los parámetros fundamentales a la hora de evaluar la energía del viento son la velocidad y la dirección predominante. La velocidad y la dirección del viento varían para una zona determinada durante el año y también entre los distintos años. Es importante disponer de información eólica que abarque un número determinado de años. En muchos casos no es posible disponer de información de varios años, por lo que se ha de tener, al menos, un año completo de datos. Para la recopilación de la información eólica se debe instalar, como mínimo, un aparato que mida la velocidad (anemómetro) y otro para la dirección (veleta).

La altura más estandarizada para ubicar estos sensores es de 10 metros (aunque la tendencia es colocarlos a 20 metros).

### **4.3 ¿Cómo se puede aprovechar la energía eólica?**

La energía eólica es la que contiene el viento en forma de energía cinética ( $E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ ). Esta energía se puede transformar en otro tipo de energía como la mecánica, eléctrica, hidráulica, etc. Una de las formas más utilizadas en la actualidad para el aprovechamiento a gran escala de la energía eólica es a través de las denominadas aeroturbinas. Estas pueden transformar la energía eólica en:

- Energía mecánica: aeromotores.
- Energía eléctrica: aerogeneradores

Los aeromotores se han utilizado desde hace siglos para la molienda de grano, el bombeo de agua, etc. Actualmente siguen utilizándose en menor proporción para estos usos, además de incorporarse también en sistemas de desalación de agua.

Los aerogeneradores son los sistemas de aprovechamiento eólico más utilizados hoy en día, observándose un crecimiento muy pronunciado en su utilización a partir del año 1990. Su funcionamiento se basa en que al incidir el viento sobre sus palas se produce un trabajo mecánico de rotación que mueve un generador que produce electricidad.



Figura 4.1: Parque eólico Rawson, Chubut. Aerogeneradores de 1.8MW.

#### 4.4 ¿Cuáles son las partes fundamentales de un aerogenerador?

Un aerogenerador consta de los siguientes elementos:

1. **Rotor:** El rotor es el conjunto formado principalmente por las palas y el buje (elemento de la estructura al que se fijan las palas). En el rotor se transforma la energía cinética del viento en energía mecánica.  
El diseño de palas se parece mucho al de las alas de un avión y suelen estar fabricadas con plásticos (poliéster o epoxy), reforzados internamente con fibra de vidrio o de carbono.

2. **Torre:** La torre se utiliza fundamentalmente para aumentar la altura del elemento que capta la energía del viento (rotor), ya que el viento sopla a mayor velocidad según aumenta la altura.
3. **Góndola:** En su interior se encuentran los elementos que transforman la energía mecánica en energía eléctrica: los ejes del aerogenerador, el multiplicador, el generador y los sistemas de control, orientación y freno. En su exterior se ubican el anemómetro y la veleta. La góndola suele estar ubicada en la parte superior de la torre de la máquina.
4. **Multiplicador:** Elemento mecánico formado por un sistema de engranajes cuyo objetivo es transformar la velocidad del giro del rotor (velocidad del eje principal) a la velocidad de trabajo del generador eléctrico. El multiplicador funciona de forma parecida a la caja de cambios de un coche, multiplicando entre 20 y 60 veces la velocidad del eje del rotor y alcanzando una velocidad de 1500 revoluciones/minuto en el eje del generador, lo que hace posible el funcionamiento del generador eléctrico, permitiendo así convertir la energía mecánica del giro del eje en energía eléctrica.
5. **Generador eléctrico:** Máquina eléctrica encargada de transformar la energía mecánica en energía eléctrica. El eje del generador lleva acoplado un sistema de freno de disco (similar al de los coches). Además, para frenar un aerogenerador, se pueden girar las palas colocando su superficie en la dirección del viento (posición de bandera).



Figura 4.2: Componentes de un aerogenerador.

Finalmente, la electricidad producida en el generador baja por unos cables hasta el transformador del parque eólico, donde se eleva la tensión hasta alcanzar la tensión nominal de la red eléctrica. Esto es necesario dado que para inyectar energía en la red, esta electricidad ha de tener la misma tensión que la red eléctrica.

#### 4.5 ¿Cómo se pueden clasificar los aerogeneradores?

Los aerogeneradores se pueden clasificar según las siguientes características:

##### 1. Potencia nominal:

**Aerogenerador de pequeña potencia:** turbinas de hasta 30 kW. Sus aplicaciones más comunes son la carga de baterías, instalaciones remotas de telecomunicaciones, instalaciones domésticas, caravanas, yates, pequeñas granjas aisladas, etc. La mayoría de estas aplicaciones son sistemas aislados y se instalan cerca del centro de consumo.

**Aerogenerador de mediana potencia:** turbinas entre 30 kW y 300 kW. Se utilizan fundamentalmente para alimentar demandas eléctricas importantes. Si bien existen casos de sistemas aislados, se trata por lo general de instalaciones interconectadas con la red eléctrica.

**Aerogenerador de gran potencia:** turbinas de más de 300 kW. Se utilizan fundamentalmente en la producción de electricidad, para inyectarla en las redes eléctricas.

##### 2. Orientación del rotor:

**Eje vertical:** en estas máquinas, el eje que transmite el movimiento de las palas es vertical. Al no necesitar orientarse (por la simetría de las palas) permite aprovechar los vientos de cualquier dirección. El generador eléctrico se instala a la altura del suelo, por lo que es menor la complejidad a la hora de efectuar labores de mantenimiento. El más desarrollado en el mercado es el tipo Darrieus. Este tipo de máquinas eólicas también tienen desventajas, entre las que se encuentran la necesidad de utilizar un motor, debido a que su configuración no permite el autoarranque y a que reciben menos viento al estar más cerca del suelo.

**Eje horizontal:** en estas máquinas el eje que transmite el movimiento de las palas es horizontal. Se trata de la constitución más común de las máquinas eólicas

##### 3. Número de palas

Según el número de palas se pueden diferenciar máquinas: bipalas (2 palas), tripalas (3 palas) y multipalas (más de 3 palas).

#### 4. Mecanismo de regulación de potencia

**Paso fijo:** las palas se mantienen en una posición fija con respecto a su eje, se ajustan durante el montaje y permanecen invariables durante el funcionamiento. Debido al uso completamente pasivo de las palas, esta regulación es simple y fiable en cualquier condición. Con este sistema se producen variaciones en la producción según sea la intensidad del viento. Un extremo de la pala se puede girar 90° en torno a su eje. Este movimiento se utiliza como sistema principal de frenado y es lo que se denomina aerofreno.

**Paso variable:** las palas pueden girar sobre su propio eje para regular el paso. A altas velocidades de viento se ajusta el ángulo de la pala, por lo que se puede mantener la potencia de salida prácticamente constante en dichas condiciones. La regulación de potencia con este último sistema es más fina que con el sistema de paso fijo, pudiéndose mantener, una vez alcanzada, la potencia nominal de la máquina prácticamente invariable, aún cuando aumente la intensidad del viento. Este sistema, además de regular la potencia de salida de la máquina, se utiliza como aerofreno.

#### 4.6. ¿Cómo se puede estimar la energía eléctrica generada por un aerogenerador?

La eficacia de un aerogenerador se caracteriza por los siguientes parámetros:

1. **Disponibilidad:** Indica las horas que la máquina está “disponible” para producir y suele ser de un 98%.
2. **Horas equivalentes:** Miden el rendimiento energético de un aerogenerador en un emplazamiento dado. Las horas equivalentes representan el número de horas al año que la máquina eólica estaría produciendo a su potencia nominal. El número de horas equivalentes será tanto mayor cuanto más elevado sea el potencial eólico del emplazamiento así como cuanto mejor se adapte el aerogenerador a las condiciones eólicas del emplazamiento.

$$\text{Horas equivalentes} = \frac{\text{Energía total obtenida por el aerogenerador en un año}}{\text{Potencia nominal del aerogenerador}}$$

3. **Factor de capacidad:** Representa el porcentaje de energía realmente producida en un año dividida por la teóricamente producible en el mismo periodo. El factor de capacidad de una zona media buena suele oscilar alrededor de un 28%.

$$\text{Factor de capacidad} = \frac{\text{Horas equivalentes}}{\text{Horas totales del periodo}}$$

Un factor importante que ha de considerarse a la hora de calcular la producción de una máquina eólica es el régimen de vientos: cuanto más constante sea el viento tanto mejor para la producción. Hay que tener en cuenta que un aerogenerador empieza a producir a partir de una velocidad de viento de unos 3 m/s y va incrementando su producción progresivamente a medida que aumenta el viento hasta su velocidad nominal. La velocidad de corte del aerogenerador (velocidad a partir de la cual se detiene para evitar posibles roturas) se sitúa en torno a los 25 m/s. Cuanto más constante sea el viento, dentro del rango en el que produce la máquina, tanto mejor, ya que las fluctuaciones serán menores y la producción aumentará.

#### 4.7. ¿Cuáles son las últimas tendencias en energía eólica?

La tecnología en el sector eólico está evolucionando con gran rapidez, dando lugar a un aumento de la rentabilidad. Algunas de las últimas tendencias en el sector eólico son las siguientes:

1. **Parques eólicos en el mar:** Estos parques eólicos se ubican en el mar, normalmente en lugares donde la plataforma marina no es muy profunda. En el mar, los vientos son más fuertes y constantes; por este motivo, y pese a que los parques marinos son más caros, se está alcanzando una alta rentabilidad, de ahí que esta tecnología esté proliferando rápidamente.
2. **Repotenciación de parques antiguos:** En los países en los que hay mucha energía eólica instalada, las zonas con los mejores vientos (no sólo veloces sino también constantes) empiezan a escasear, por lo que la instalación de nuevos parques eólicos en lugares con peores condiciones de viento, hace que disminuya su rentabilidad. Por esta razón, la política de repotenciación está imponiéndose paulatinamente en estos países. La repotenciación consiste en sustituir parques eólicos obsoletos por nuevos, con lo que se pasa a aprovechar las mejores zonas eólicas con máquinas de última tecnología, consiguiendo así una mejor rentabilidad. Los países que en 2003 ya habían sustituido aerogeneradores fueron Dinamarca, Australia, Alemania y Holanda. Dinamarca es el país líder a nivel mundial en repotenciación y ha desarrollado una política que favorece el reemplazo de máquinas eólicas de más de 10 años.
3. **Aerogeneradores de gran potencia:** La tecnología eólica avanza rápidamente, de hecho, los precios de los aerogeneradores han bajado más del 30% desde 1990, y las empresas industriales parecen haber desatado una batalla mundial por desarrollar el aerogenerador de mayor potencia. Estos aerogeneradores de gran potencia permiten aprovechar más las zonas con mejores condiciones eólicas reduciendo los costes de instalación (es más barato instalar un aerogenerador de 1 MW que 10 de 100 kW).

#### 4.8. ¿Cómo afecta la energía eólica al medioambiente?

Al estudiar, desde el punto de vista medioambiental, el empleo de aerogeneradores, debemos entender su incidencia en dos sentidos. El primero es considerar la generación de energía eólica como un beneficio, ya que evitamos emisiones contaminantes. El segundo es estudiar cómo afecta la implantación de aerogeneradores al medioambiente.

El impacto medioambiental que puede producir un parque eólico va a depender fundamentalmente del emplazamiento elegido para su instalación, del tamaño del parque y de la distancia a los núcleos poblacionales. Los principales impactos son:

1. **Impacto visual:** El impacto visual de estas instalaciones depende de criterios fundamentalmente subjetivos. Un parque de unos pocos aerogeneradores puede llegar a ser atractivo para algunas personas mientras que una gran concentración de máquinas obliga a considerar el impacto visual y la forma de disminuirlo. En cualquier caso provocan un impacto paisajístico, pero mientras que para unos ese impacto es positivo para otros no es asumible; se trata de una cuestión de percepciones subjetivas e individuales.
2. **Impacto sobre las aves:** Los estudios realizados concluyen que este impacto es muy pequeño frente al producido por causas naturales. Un estudio español ha determinado que la tasa de colisiones de aves es del 0,1%. Estudios similares realizados en Dinamarca han concluido que las aves se acostumbran rápidamente a los aerogeneradores y desvían su trayectoria de vuelo para evitarlos.
3. **Impacto acústico:** El origen del ruido en los aerogeneradores de los años 80 se debía a factores de tipo mecánico; en las últimas décadas se ha investigado mucho este aspecto y se ha logrado rebajar el nivel de ruido por debajo de la mitad. La experiencia obtenida permite señalar que en las poblaciones más cercanas a las instalaciones no se detecta ningún incremento de ruido, resultando más importante el producido por el propio viento.

#### 4.9 Ventajas de la generación de energía Eólica en la Argentina

La energía eólica es una de las más convenientes por 5 importantes razones:

- 1- Es la que produce el menor impacto ambiental. La fuerza del viento es una energía que no contamina. Para producir la misma cantidad de energía eléctrica que aporta un aerogenerador moderno de 2MW sería necesario quemar el equivalente a 1,6 millones de litros de gasoil cada año.
- 2- Es la energía renovable de mejor desarrollo técnico. Se ha elevado la altura de las torres para alcanzar una mayor velocidad del aire y más energía.

Los aerogeneradores modernos tienen una altura que equivale a un edificio de entre 20 y 30 pisos y cada aspa puede llegar a medir 60 metros de longitud. El diseño es aerodinámico y se dispone de sofisticados sistemas de control de potencia y predicción de vientos.

3- Su generación presenta costos competitivos. Los precios de los aerogeneradores han bajado gracias a los avances tecnológicos que permiten aumentar su potencia y eficiencia, y reducir los costos de operación y mantenimiento.

4- Gracias a los 8 mil componentes que tiene cada aerogenerador es una industria altamente creadora de empleo calificado y un gran motor del desarrollo regional.

5- El viento es un recurso abundante y de excelente calidad en Argentina. La región patagónica es una de las regiones de mayor potencial eólico del planeta. Para muchos especialistas el viento patagónico es el de mejor calidad en todo el mundo. El viento en la Argentina se puede aprovechar no solo en la Patagonia sino también en la costa atlántica y diversas zonas del centro y oeste del país.

## V. OTRAS ENERGIAS RENOVABLES

### 5.1 Aprovechamiento de la energía hidráulica

#### 5.1.1. ¿Cómo se genera la energía hidráulica?

El Sol evapora el agua de los océanos, mares, lagos y ríos, formando nubes; cuando éstas se enfrían, se condensan formando la lluvia y la nieve que se vierte sobre la tierra, reaprovisionándola y cerrando el ciclo.

En la actualidad, la energía hidráulica se utiliza fundamentalmente para producir electricidad en las denominadas centrales hidroeléctricas. El agua, retenida en un embalse o presa, se deja caer por una tubería, a cuya salida se coloca una turbina, el eje de la cual comienza a girar al caer al agua; este giro pone en marcha el generador eléctrico obteniéndose así la electricidad. Una de las grandes ventajas de la producción de electricidad con energía hidráulica es que puede ser constante y previsible, al contrario que la gran mayoría de las renovables y, por lo tanto, se puede utilizar para satisfacer la demanda eléctrica base. Las centrales hidroeléctricas se pueden situar junto al cauce de un río o al pie de una presa.

#### 5.1.2. Clasificación de las centrales hidráulicas

Las centrales hidroeléctricas se clasifican según su potencia:

1. **Centrales hidráulicas:** Son centrales mayores de 10 MW. A gran escala presentan algunos inconvenientes como puede ser la evacuación de zonas pobladas o de interés natural debido a la construcción de grandes infraestructuras y al desvío de ríos. Por estos inconvenientes, que pueden generar un gran impacto ambiental y humano, la energía hidráulica no es considerada estrictamente una energía renovable, pero sí lo es la energía mini hidráulica. En todo caso, la energía hidráulica tiene la gran ventaja de no contribuir al cambio climático, al no emitir CO<sub>2</sub> ni otros gases de efecto invernadero. Por otra parte, si se tiene especial cuidado en la selección de la ubicación y en el respeto del medioambiente, el impacto se puede reducir de forma considerable, hasta ser, de hecho, prácticamente nulo, como es el caso del aprovechamiento de presas ya existentes destinadas a otros fines y el aumento de la potencia en centrales en explotación.
2. **Centrales minihidráulicas:** Son centrales con una potencia instalada menor de 10 MW. Comenzaron a construirse a principios del siglo XX y solían ser instalaciones modestas que generaban electricidad a pequeñas poblaciones. En su mayoría son instalaciones de agua fluyente, lo que quiere decir que generan

electricidad mientras tienen un caudal superior a un mínimo técnico (según instalación) y se paran cuando el caudal baja de ese nivel. Además de aprovechar los cauces de los ríos o pequeños embalses, las instalaciones minihidráulicas pueden situarse en galerías de agua o simplemente en las tuberías que se utilizan para transportar el agua desde cotas altas a bajas (para su consumo agrícola o urbano).

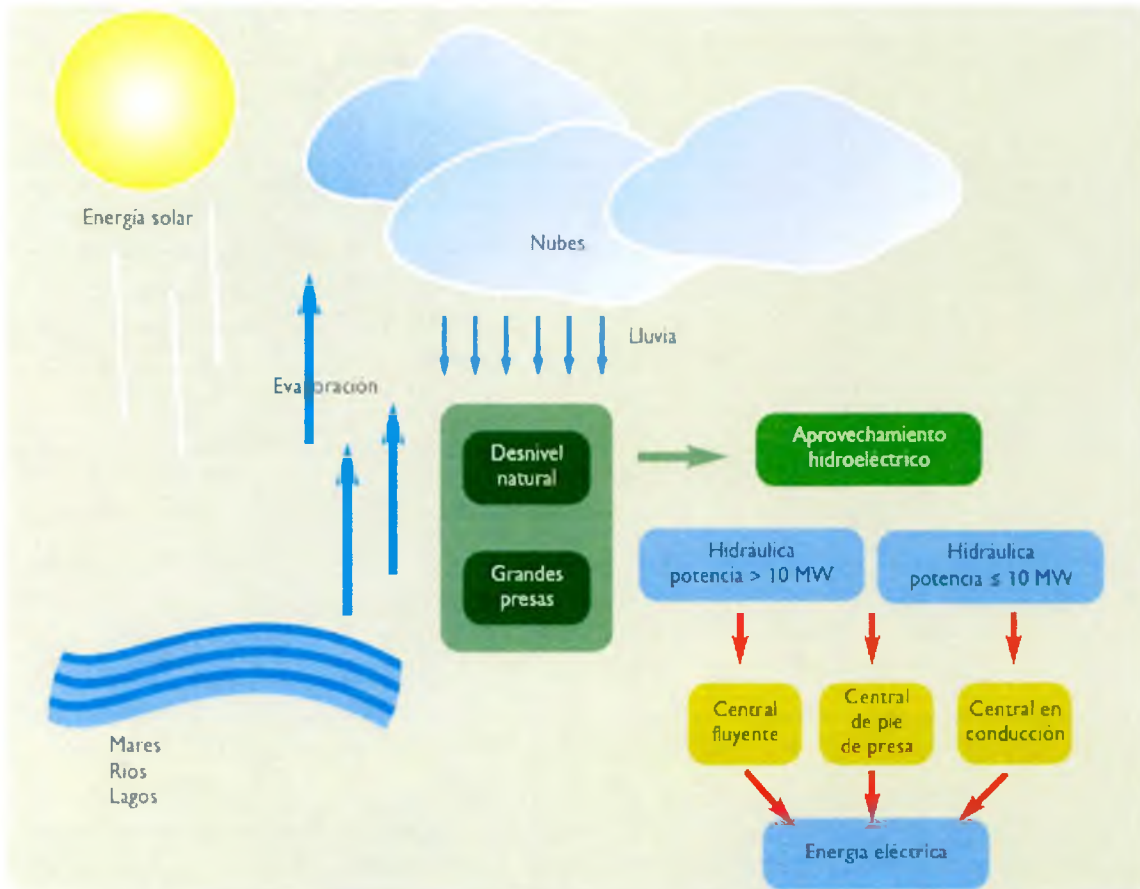


Figura 5.1: Ciclo de agua y producción de electricidad

## 5.2 Energía generada por biomasa

### 5.2.1 ¿Qué es la biomasa?

La energía del Sol es utilizada por las plantas para sintetizar la materia orgánica mediante el proceso de fotosíntesis. Esta materia orgánica puede ser incorporada y transformada por los animales y por el hombre. El término biomasa abarca un conjunto muy heterogéneo y variado de materia orgánica y se emplea para denominar a una fuente de energía basada en la transformación de la materia orgánica utilizando, normalmente, un proceso de combustión.

### 5.2.2. Fuentes de biomasa (aptas para la generación eléctrica)

Las fuentes de biomasa que se utilizan para la obtención de energía son:

- 1- **Biomasa natural:** Fundamentalmente la leña procedente de árboles que crecen de forma espontánea (sin ser cultivados), la cual ha sido tradicionalmente utilizada por el hombre para calentarse y cocinar. Sin embargo, no se debe hacer un aprovechamiento sin control de este tipo de biomasa ya que se podrían destruir sus ecosistemas, que constituyen una reserva de incalculable valor. Sí se pueden, y deben, utilizar los residuos de las partes muertas, restos de podas, puesto que, además, así se evitan posibles incendios.

La biomasa natural constituye la base del consumo energético de muchos países en vías de desarrollo, pero su sobreexplotación está ocasionando el aumento de la desertización.

- 2- **Biomasa residual:** Se produce en explotaciones agrícolas, forestales o ganaderas; también se generan residuos orgánicos en la industria y en núcleos urbanos, denominados en este último caso RSU (Residuos Sólidos Urbanos).

Además de producir electricidad, que puede hacer que las instalaciones sean autosuficientes aprovechando sus propios recursos, generan un beneficio adicional, a veces más valorado que la propia generación de electricidad, que es el evitar la degradación del medioambiente eliminando estos residuos

3. **Cultivos energéticos:** En estos casos los terrenos y los agricultores no se dedican a producir alimentos sino a obtener cultivos que se aprovechan energéticamente. Entre otros, podemos distinguir los siguientes tipos:
  - a. **Cultivos tradicionales:** son cultivos que normalmente se utilizan para la alimentación. Este tipo de explotaciones tiene el inconveniente de que compiten con el uso alimentario.
  - b. **Cultivos no alimentarios:** son cultivos que pueden plantarse en terrenos en los que es difícil cultivar productos tradicionales.

### 5.2.3. ¿Qué son los biocombustibles?

Los productos procedentes de la transformación física, química o biológica de las fuentes de biomasa y que se utilizan como combustibles se denominan biocombustibles. Los biocombustibles pueden ser sólidos, líquidos y gaseosos.

### 5.2.3.1. Biocombustibles sólidos

Dentro de este grupo se encuentran principalmente los procedentes del sector agrícola y forestal, como, por ejemplo, la leña, la paja, los restos de la poda de vid, olivo y frutales, cáscaras de frutos secos, huesos de aceitunas, etc. Estos biocombustibles se pueden utilizar directamente, por ejemplo, en chimeneas o en instalaciones modernas para su uso a gran escala, para lo cual se transforman en astillas, aserrín, etc.

### 5.2.3.2. Biocombustibles gaseosos

Entre los biocombustibles gaseosos destaca el biogás.

**Biogás:** está formado principalmente por metano y dióxido de carbono, y se suele producir de forma espontánea en fondos de lagunas, presas o depuradoras (lodos de depuradora), en los que hay depósitos de materia orgánica, y también en los vertederos de basura, o a partir de residuos como los ganaderos. Se suele utilizar para la producción de electricidad. Con su quema se logra un beneficio medioambiental adicional, ya que se consigue evitar que llegue a la atmósfera un gas de efecto invernadero como es el metano ( $\text{CH}_4$ )

### 5.2.3.3. Biocombustibles líquidos

También conocidos como biocarburantes, se utilizan para sustituir el uso de combustibles derivados del petróleo en los motores. Engloban dos tipos de productos:

- 1- **Bioetanol y derivados:** se utilizan para sustituir total o parcialmente la gasolina. Se obtienen a partir de la fermentación de productos ricos en almidón o azúcar.
- 2- **Biodiésel:** se utiliza para sustituir total o parcialmente el gasoil (diésel) de automoción. Se produce a partir de aceites vegetales, naturales o usados.

La producción a partir de aceites usados cobra gran importancia porque, a su vez, se elimina un problema medioambiental como es el tratamiento de aceites usados, que son altamente contaminantes si se vierten al entorno sin tratar. En este sentido existen varias iniciativas en marcha que recolectan, por ejemplo, el aceite usado de restaurantes.

### 5.2.4. ¿Cuáles son las ventajas de utilizar la biomasa?

El uso de la biomasa tiene una serie de ventajas ambientales y económicas:

- 1- Balance neutro de emisiones de  $\text{CO}_2$  ((principal gas responsable del efecto invernadero). La combustión de biomasa produce  $\text{CO}_2$ , pero una cantidad análoga a la que fue captada previamente por las plantas durante su fase de

crecimiento, por lo que su combustión no supone un incremento neto de este gas en la atmósfera.

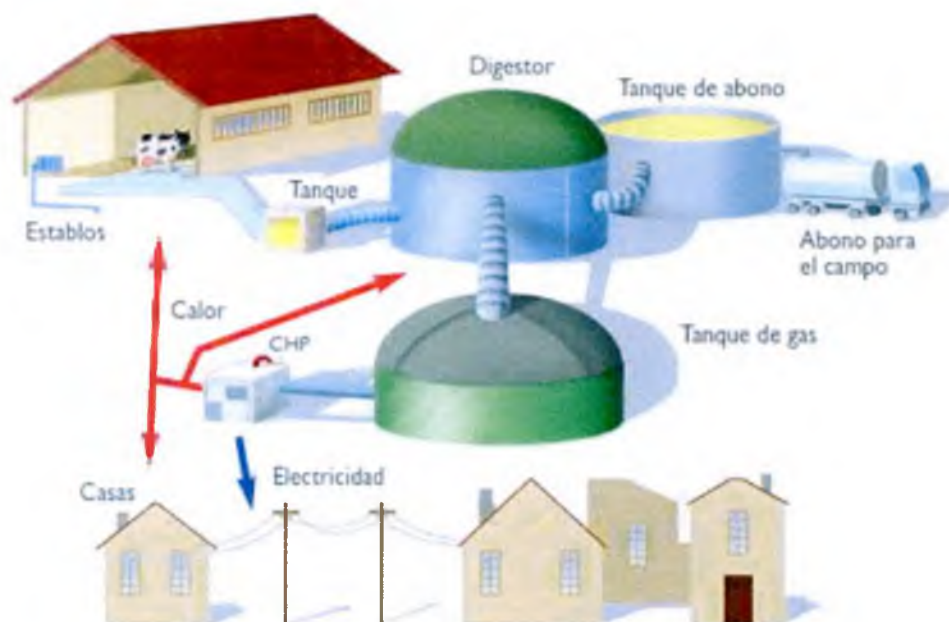


Figura 5.2: Esquema de una planta de producción de biogás

- 2- La biomasa no contiene nada o casi nada de azufre, y por esto su combustión no contribuye a la lluvia ácida.
- 3- Se pueden reutilizar las cenizas de la combustión como fertilizante.
- 4- Gran parte de la biomasa procede de residuos que hay que eliminar, y de ahí que su aprovechamiento haga desaparecer un problema medioambiental a la vez que convierte un residuo en un recurso.
- 5- Favorece el desarrollo del mundo rural y supone una oportunidad para el sector agrícola.
- 6- Favorece la sustitución parcial de los combustibles importados por otros producidos localmente, por lo que, aparte de las ventajas en generación de riqueza (productos, empleos, etc.), supone un ahorro de divisas y un incremento del PBI.

En particular, en el caso de los biocarburantes, además de las ventajas enumeradas, se producen otros beneficios medioambientales añadidos, debido a que el etanol es un producto soluble en agua y más degradable que los hidrocarburos (combustibles derivados del petróleo). Por ello, si se produce un vertido accidental de etanol, su eliminación podría ser cuestión de días y no de

años como en el caso de un vertido de petróleo, siendo además mucho menos tóxico para los seres vivos. En el caso del biodiésel, éste es 100% biodegradable en menos de 21 días.

### **5.3 Energía Geotérmica**

La energía geotérmica procede de la diferencia entre la temperatura de la superficie terrestre y la de su interior, que va desde una media de 15 °C en la superficie a los 6000 °C que tiene el núcleo interno. Esta diferencia de temperatura provoca un flujo continuo de calor desde el interior de la Tierra hacia la superficie. La temperatura de la Tierra suele aumentar unos 3 °C cada 100 metros; aunque en algunas zonas de la corteza existen anomalías geotérmicas que hacen que la temperatura aumente entre 100 °C y 200 °C por kilómetro, estas zonas son las que mejor se pueden aprovechar desde el punto de vista geotérmico. Las profundidades a las que se suelen situar estas explotaciones geotérmicas están entre 300 y 2000 metros.

La energía geotérmica se puede aprovechar en la actualidad de dos formas: directamente, como calor, o para la producción de electricidad.

#### **5.3.1. Producción de electricidad**

Para producir electricidad se aprovecha la salida del vapor de las fuentes geotérmicas, que accionan turbinas que ponen en marcha generadores eléctricos. Para ello es necesario que la temperatura del agua subterránea sea superior a 150 °C; si se usa la tecnología de ciclo binario, la temperatura puede ser de 100 °C (esta tecnología consiste básicamente en que el agua le cede el calor a otro fluido que vaporiza a menor temperatura). Estos yacimientos, que se utilizan para la producción de electricidad, son los denominados de alta temperatura.

En la actualidad se están investigando los yacimientos de roca caliente seca que, a diferencia de los demás, no tienen acuífero (por ello se les inyecta un fluido). Se prevé que sean muy efectivos para la producción de electricidad.

Una de las grandes ventajas de la producción de electricidad con energía geotérmica es que no es intermitente, como ocurre con la gran mayoría de las renovables, sino que la producción es constante y previsible; por esto se puede utilizar para satisfacer la demanda eléctrica base.

#### **5.3.2. Producción de calor**

La producción de calor a partir de energía geotérmica se puede obtener de dos formas distintas:

- 1- **Aplicaciones de baja y media temperatura:** aprovechan directamente el agua subterránea, que ha de estar entre 30 °C y 150 °C. Las aplicaciones más comunes son la calefacción de edificios, de invernaderos, piscinas, balnearios, usos industriales como el secado de tejidos, el secado de pavimentos y para evitar la formación de hielo en pavimentos (con tuberías enterradas al ras del suelo por las que circula el agua de los yacimientos).
- 2- **Aplicaciones de muy baja temperatura:** utilizan una bomba de calor geotérmica (pueden aprovechar aguas de 15 °C). En la Unión Europea hay instaladas unas 356 000 bombas de calor geotérmicas para su uso en calefacción o aire acondicionado.

En cualquiera de los dos casos, el fluido geotérmico, una vez explotado, se devuelve al acuífero para mantener el equilibrio del terreno.

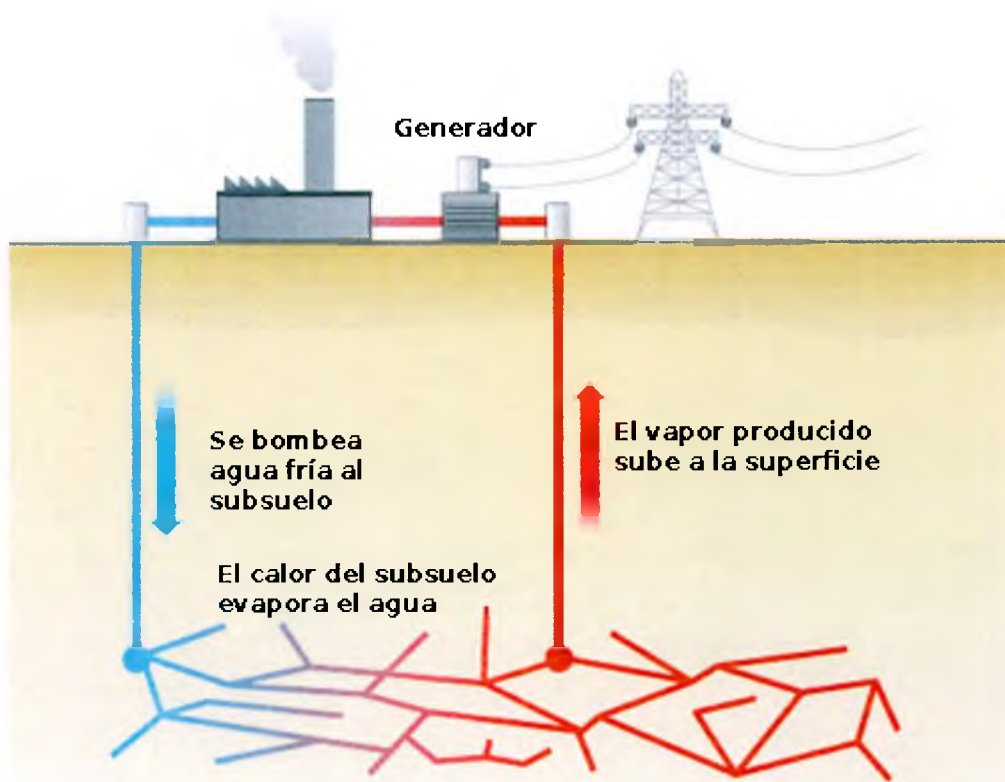


Figura 5.3: Funcionamiento de una central Geotérmica

#### 5.4. ¿Cómo se puede aprovechar la energía del mar?

El mar es un almacén enorme de energía. En la actualidad esta energía se puede utilizar aprovechando las mareas, las corrientes oceánicas, las olas, el gradiente térmico de los océanos o la biomasa marina (con la obtención de gases combustibles a partir de ciertas algas marinas).

En general, estas diferentes técnicas de aprovechamiento de la energía del mar se encuentran en fase de I+D (Investigación y Desarrollo). Entre sus desventajas habría que considerar los eventuales impactos en el medio marino o costero.

### 5.4.1. Las mareas

Las mareas son debidas a las acciones gravitatorias de la Luna y el Sol. La energía mareomotriz utiliza la diferencia entre las mareas para generar electricidad. Para un aprovechamiento rentable es necesario que la diferencia entre marea alta y baja sea, al menos, de 5 metros. Se estima que, en todo el planeta, sólo se localizarían 40 ubicaciones para su explotación rentable, con un potencial total de unos 15 000 MW (algo menos del 0,01% del consumo mundial de electricidad).

El principio de funcionamiento más extendido se basa en construir diques capaces de contener un gran volumen de agua, donde se instalan unas compuertas que retengan el agua durante la subida de la marea. Una vez que la marea baja, las compuertas se abren dando paso a un salto de agua que hace girar una turbina que, a su vez, pone en marcha un generador eléctrico.

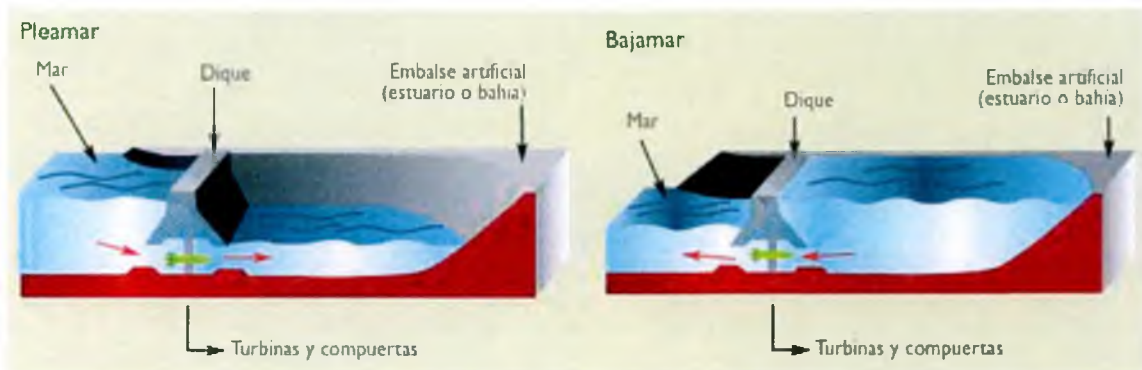
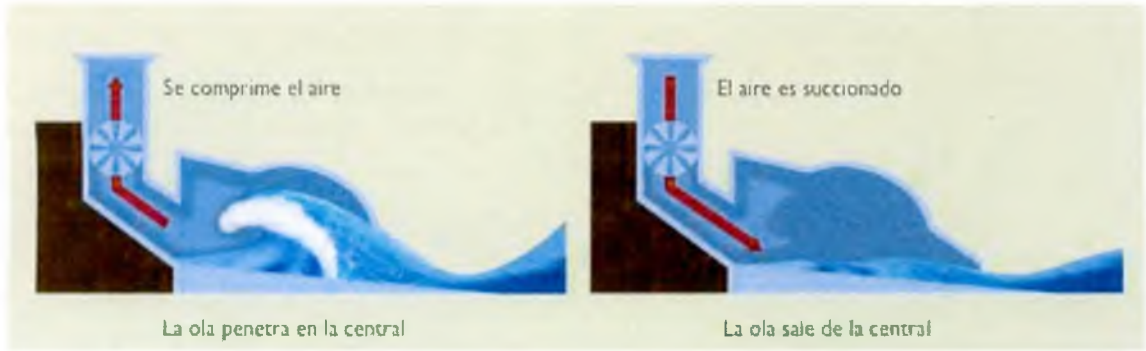


Figura 5.4: Central Mareomotriz de efecto simple

### 5.4.2. Energía de las olas

El viento soplando sobre la superficie del mar puede producir olas de más de 20 metros de altura. El oleaje es otra fuente de energía renovable que alberga un gran potencial generador de energía. La energía cinética contenida en el movimiento de las olas puede transformarse en electricidad de distintas formas. El Consejo Mundial de la Energía (WEC) ha estimado la potencia mundial de este recurso en unos 2000 GW. La mayor parte de esta energía se concentra en los océanos Atlántico y Pacífico.



**Figura 5.5: Central de olas de columna de agua oscilante**

### 5.4.3. El gradiente térmico

El gradiente térmico se produce por la diferencia de temperatura entre la superficie marina ( $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  o más) y la del fondo (puede oscilar entre  $0$  y  $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), aunque estas diferencias son mayores en algunas zonas del planeta como el ecuador. Para que la generación de electricidad sea rentable se necesita que la diferencia de temperatura sea de, al menos,  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  entre la superficie y la capa situada a 100 metros de profundidad, lo que sucede en los mares tropicales y subtropicales.

### 5.4.4. Las corrientes marinas

Las corrientes marinas se producen principalmente por la acción del viento. Estas corrientes se pueden aprovechar utilizando turbinas de baja presión.



**Figura 5.6: SeaGen. Generador de corrientes marinas de un 1.2MW**

## VI. SITUACIÓN ACTUAL DE ENERGÍA RENOVABLE EN LA REPUBLICA ARGENTINA

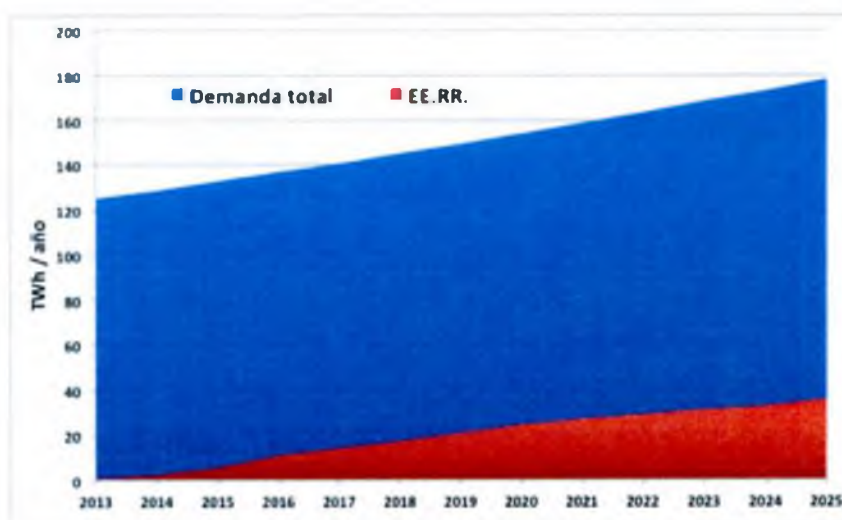
En los últimos 10 años en la Republica Argentina se intentó sin éxito proyectos que fomentaran el aumento de la matriz energética de Energías Alternativa. Algunos de estos proyectos fueron el GENREN, que no logro el objetivo buscado debido a inconvenientes con los crecientes costos y el ineficaz manejo de los fondos destinados al mismo.

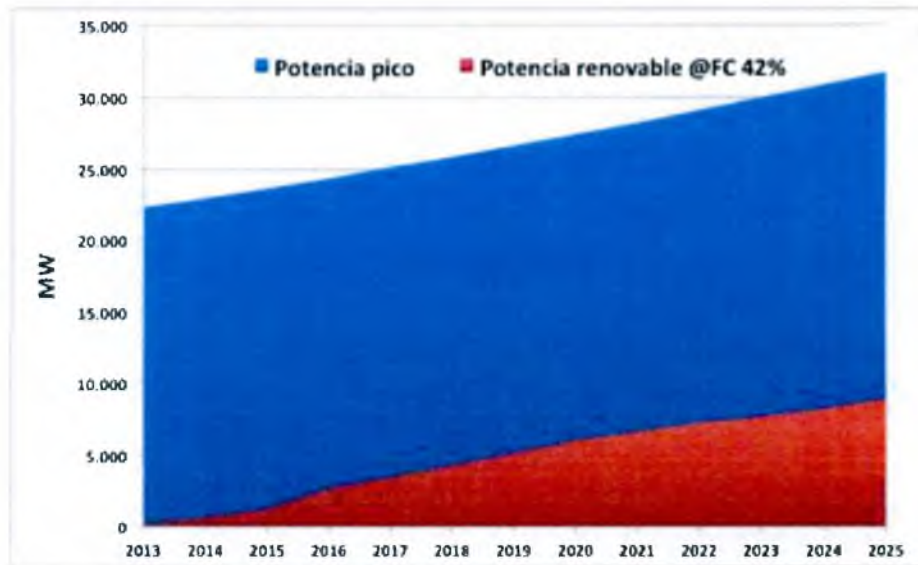
Argentina es un país privilegiado en lo que se refiere a su potencial en Energías Alternativas. En lo que se refiere al recurso eólico, muchos expertos consideran a los vientos patagónicos como los de mejor calidad para generación de energía de todo el mundo. También disponemos de amplias zonas donde la energía solar tiene un potencial extraordinario. Disponemos de zonas volcánicas activas donde se puede aprovechar su potencial Geotérmico, y un amplio recurso hídrico para explotar.

Actualmente solo 0.5% de la energía total consumida en la Argentina, proviene de una fuente de energía renovable. Esto se contrarresta con los países vecinos como Brasil y Chile que actualmente son considerados líderes mundiales en esta materia.

A pesar de este panorama no muy positivo en nuestro país, unos días antes de escribir este texto, se aprobó la reforma de la ley 26.190 con vistas a desarrollar las fuentes alternativas de generación de energía. Consideramos a esta reforma como un avance estratégico que permita generar un plan a largo plazo para aprovechar los beneficios, tanto económicos como ambientales, del uso de este tipo de energía. A continuación vamos a analizar la ley aprobada recientemente.

El corazón de la propuesta tiene como objetivo lograr que un 8 por ciento de la matriz nacional de energía eléctrica sea aportada por fuentes renovables de cara al año 2017 y alcanzar un 20 por ciento para el año 2025.





**Figura 6.1: Valores de potencia y energía renovable como consecuencia del objetivo 2025**

Uno de los aspectos destacados tiene que ver con los mecanismos que conformarían un fondo fiduciario que tendría como objetivo respaldar la financiación de los proyectos de inversión:

- Destinar un mínimo del 50 por ciento del ahorro efectivo en combustibles líquidos causado por las energías renovables (se calcula que las energías renovables ahorrarían al fisco 41.000 millones de dólares hasta el año 2025)
- Cargos específicos a la demanda
- Recupero de capital e intereses de la financiación otorgada
- Dividendos o utilidades percibidas por titularidad de acciones o participaciones en proyectos o ingresos por sus ventas

El proyecto de ley asegura que “El 50 por ciento del ahorro en la importación de hidrocarburos que genera un parque eólico de 100 MW en tan solo 4 años alcanza para financiar el 70 por ciento del costo total de la inversión de un nuevo parque eólico de 50 MW, es decir, el 100 por ciento de las necesidades financieras de deuda bajo esquemas tradicionales de financiamiento”

Se estima que en 2025 la industria de la energía renovable estaría en condiciones de aportar 36 TWh, lo que representa el 20 por ciento de la demanda proyectada. Su potencia equivalente es de 8.900 MW con un Factor de Capacidad promedio estimado del 42 por ciento entre todas las tecnologías.

Otro aspecto importante en la ley radica en establecer una obligación con penalidad en cabeza de los grandes usuarios de energía eléctrica –particularmente en aquellos que tienen un consumo igual o superior a 300 kW– para el cumplimiento individual de las metas de consumo de energías renovables que fija la ley.

Con esta medida se pretende que se contraten volúmenes de energía directamente en el mercado ya sea con generadores de energías renovables independientes, a través de comercializadores o por medio de la ejecución de proyectos propios.

La confiabilidad en el cumplimiento de los contratos permitirá obtener financiamiento a un costo más bajo y a plazos lógicos según la naturaleza del negocio.

En lo que se refiere a la promoción fiscal, el nuevo texto propone:

- a) Amortización acelerada del impuesto a las ganancias, a lo que se suma:
- b) Devolución anticipada del Impuesto al Valor Agregado (IVA).
- c) Exención del Impuesto a la Ganancia Mínima Presunta.
- d) Certificado Fiscal por el 20 % del componente nacional siempre que se integre un mínimo del 30%.
- e) Exención del impuesto sobre la distribución de dividendos (10%) ante la reinversión de utilidades.
- f) Exención de los derechos de importación para bienes de capital y equipos hasta 2017.
- g) No aplicación de tributos específicos, regalías nacionales, provinciales y municipales durante el régimen de fomento.
- h) Traslado de posibles aumentos fiscales a los precios de los contratos.

Otros puntos muy significativos son:

- i) Tratamiento para el despacho como central hidroeléctrica de pasada, lo que brinda prioridad de despacho a los proyectos.
- j) Aporte de la reserva de potencia soportado por todo el sistema.
- k) Límite de 113 us\$/MWh promedio al precio de los contratos suscriptos por los Grandes Usuarios (muy inferior a la penalidad de 200 us\$/MWh).
- l) Prioridad de acceso al financiamiento público (FODER) a proyectos con mayor integración de componente nacional.

## VII. DISEÑO E INTEGRACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA SATISFACER LAS NECESIDADES ENERGÉTICAS BÁSICAS DE POBLADOS RURALES SIN ACCESO AL SISTEMA INTERCONECTADO

### 7.1 Introducción

En esta unidad se afrontará el desafío de diseñar y dimensionar un sistema de generación de energía alternativo para poblados rurales que no tienen acceso al sistema interconectado.

El objetivo es diseñar un proyecto fotovoltaico que este dimensionado de manera de poder satisfacer las necesidades energéticas básicas de una familia tipo. Se eligió un sistema fotovoltaico, ya que en la provincia de Córdoba el recurso solar es muy importante y es bastante constante a lo largo de toda la extensión del territorio. En ubicaciones particulares, el mismo podría ser complementado con Energía Eólica, Biomasa, etc.

El fin social de este proyecto es muy importante, debido a que con estos sistemas podemos mejorar significativamente la calidad de vida de estas poblaciones. En el mundo actual, una población que no tiene energía eléctrica, está destinada a la pobreza y marginalidad. Son personas que se encuentran totalmente fuera del sistema, por ende, sus oportunidades de progresar son casi nulas.

### 7.2 Descripción de un sistema fotovoltaico aislado

Cuando nos referimos a un sistema “aislado” es porque es un sistema que no va a estar conectado a la red eléctrica. De esta manera cuando el sistema tenga excedentes entre lo que se produce y lo que se consume, la energía restante no puede ser volcada a la red. Para no perder esa energía y para poder tener autonomía durante los horarios nocturnos, vamos a necesitar instalar bancos de baterías para almacenarla.

Básicamente un sistema fotovoltaico está compuesto por los siguientes componentes:

- **Panel solar:** La potencia del panel se indica en watts en condiciones de laboratorio, 1000W/m<sup>2</sup> de radiación solar y 25°C de temperatura. En el hemisferio sur se instalan con las celdas hacia el norte, inclinados con respecto a la horizontal: latitud + 10° en invierno y latitud -10° en verano. Si el sistema no es ajustable, se colocan a un ángulo fijo. Según el estudio “Mapa de energía solar colectada anualmente por un plano inclinado. Un ángulo óptimo en la

republica Argentina” el ángulo óptimo anual para la ciudad de Córdoba es de  $26^{\circ}24'$ . Como el sol incide directamente sobre el panel solo algunas horas, se toma que vamos a tener 6 horas de radiación máxima. Por ejemplo un panel de 120W durante 6hs de sol genera 720W-H por día. Se puede esperar que el rendimiento del panel baje un 0.25% por cada grado de temperatura por encima de los  $25^{\circ}\text{C}$ .

- **Regulador de carga:** El propósito del regulador o controlador de carga es controlar que la/s baterías no se sobrecarguen, lo que puede dañarlas por gaseo y pérdida de electrólito. También la función de desconexión de salida por batería baja protege a la batería de una sulfatación por permanecer un tiempo descargada, esto es útil para instalaciones donde no hay gente que advierta que la batería está baja y tome acciones correctivas sobre la limpieza de los paneles, estado del cableado, fusibles, etc. Algunos reguladores previenen que la energía de la batería se descargue sobre los paneles durante la noche, para asegurar que esto no ocurra siempre es aconsejable colocar un diodo a la salida + de cada panel.

Los reguladores se especifican por tensión de la batería a cargar y por la corriente máxima que soportan desde los paneles, al momento de elegir, hay que tener en cuenta que la corriente que indica la etiqueta del panel puede subir hasta un 25% por reflexiones de luz y por condiciones de radiación solar mayor a  $1000\text{W}/\text{m}^2$ . Es mejor que el regulador quede grande, esto no dañará las baterías, pero si es chico se sobrecalentará y se dañará.

- **El convertidor o inversor:** El convertidor es el encargado de convertir la corriente continua de las baterías en alterna que es la utilizada por los electrodomésticos. Existen dos tipos de convertidores: el Senoidal Puro y el Senoidal modificado. El primero genera corriente eléctrica senoidal similar a la de la red eléctrica, son aptos para todos los equipos, motores, lámparas, etc, ya que generan corriente igual a la que provee la red. El segundo es más económico que los de onda senoidal, funciona para muchas aplicaciones pero no son compatibles con el 100% de los aparatos eléctricos, por ejemplo, una UPS necesita senoidal para funcionar, no funcionará con senoidal modificada. Algunos equipos electrónicos de audio antiguos pueden presentar ruido en los altavoces. Los motores eléctricos no aprovechan el 100% de la potencia de estos convertidores, sólo una parte de la energía de la onda senoidal modificada se convierte en torque, el resto produce calentamiento del motor. La potencia del convertidor a elegir debe ser mayor que la suma de la potencia de los equipos a alimentar simultáneamente y hay que tener en cuenta el pico de consumo que se presenta al arranque de heladeras, lavarropas, etc.

- **Baterías:** Las baterías para uso en energía solar son de tipo "ciclo profundo" se diseñan con placas más anchas, de aleación especial y mayor cantidad de electrolito que las baterías comunes o "de arranque". Son baterías diseñadas para ser descargadas en un período largo de tiempo, usualmente se especifican por corriente de descarga en X tiempo y no deben ser descargadas por debajo del 50% de su capacidad o se reducirá su vida útil. Por ejemplo, una batería de 80Ah - 100hrs indica que puede suministrar 0.8 amperes durante un tiempo de 100 horas.

El banco de baterías debe ser cargado como máximo a C/10 para asegurar una larga vida de las baterías, esto es, un banco de 1000AH no debe cargarse a más de 100 amperes de corriente, los paneles no deben ser capaces de generar más de eso. El banco puede ser mayor, nunca menor por que las baterías se degradarán rápidamente al ser sometidas a una carga a ritmo mayor que C/10. También es válido mencionar que deben instalarse en un ambiente ventilado y de temperatura de alrededor de 25°C, más temperatura aumenta la capacidad pero disminuye la vida útil de las baterías al acelerar los procesos químicos y viceversa a menor temperatura.

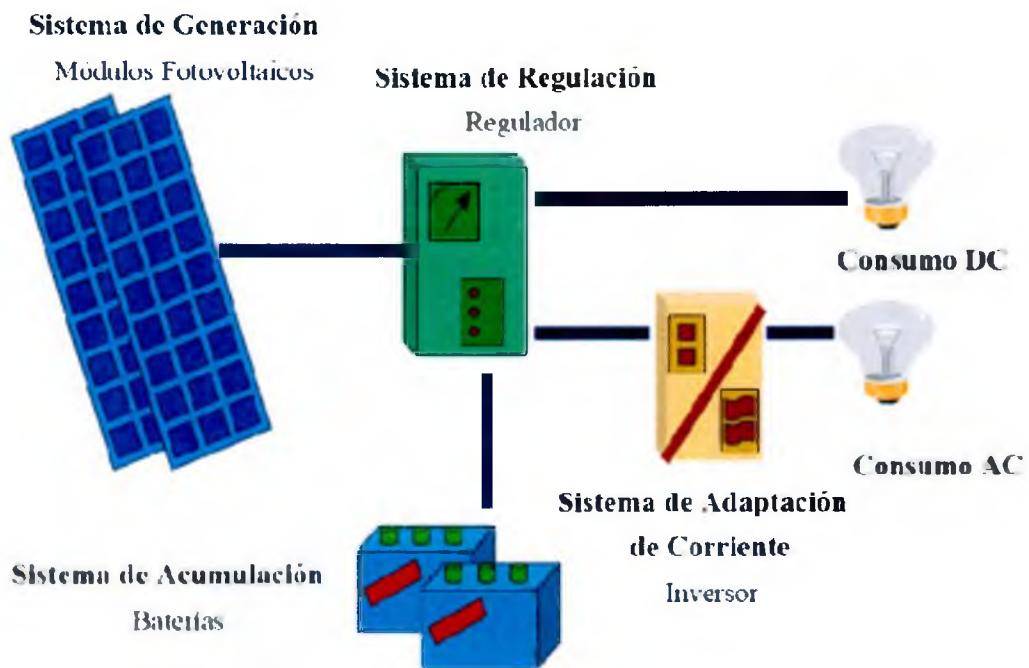


Figura 7.1: Componentes necesarios para una instalación fotovoltaica

### 7.3 Obtención de los datos de partida

El sistema fotovoltaico va a estar diseñado para poblados rurales que se encuentren en el centro del país, pero igual es sencillo, instalarlo en otras zonas del país (solo hay que cambiar los datos de radiación solar incidente y recalcular).

Para comenzar con el diseño del sistema es necesario tener los datos de radiación solar incidente en el lugar donde va a ser instalado el sistema. Debido a la escasa información solar con fines energéticos existentes en la Argentina, tuvimos que extraer estos datos del programa "Atmospheric Science Data Center" de la NASA. Una vez ingresado al sitio web cargamos las coordenadas del punto de interés. En este caso se cargaron las coordenadas **Latitud: -31.49** y **Longitud: -64.22**, correspondientes a la Ciudad de Córdoba, donde se va a realizar el testeado del sistema.

Radiación Solar	
Mes	Radiación kWh/m <sup>2</sup> /d
Enero	7,21
Febrero	6,34
Marzo	5,21
Abril	4,07
Mayo	3,13
Junio	2,81
Julio	3,15
Agosto	4,07
Septiembre	5,31
Octubre	6,22
Noviembre	7
Diciembre	7,41

**Tabla 7.1: Radiación solar diaria promedio en la Ciudad de Córdoba. Datos obtenidos de la "Atmospheric Science Data Center" de la NASA**

También es imprescindible que tengamos los consumos de la instalación, para lo cual se estimo el consumo de una familia tipo:

CONSUMO ESTIMADO				
Equipo	Unidades	Potencia (W)	Horas de funcionamiento (h)	Energía (Wh)
Luminaria	10	10	4	400
Potabilizador de agua	1	20	2	40
Ventilador	1	100	2	200
Televisión	1	60	3	180
Celular	2	3	2	12
Computadora	1	200	1	200
Heladera 80 litros	1	60	24	1440
			<b>TOTAL</b>	<b>2472</b>

**Tabla 7.2: Consumo estimado para una familia tipo.**

El diseño del sistema parte de un consumo estimado inicialmente, y que si el usuario excede habitualmente producirá frecuentes fallos en el suministro.

El método de diseño consiste en estimar las necesidades energéticas, y en función de ello calcular el sistema para que funcione correctamente el mayor tiempo posible, es decir, de forma que sea lo más fiable posible. Lógicamente, cuantos más paneles y baterías se instalen, más energía se podrá captar y almacenar. Esto aumentará la fiabilidad de la instalación, pero también aumentará su costo.

Hay instalaciones fotovoltaicas, por ejemplo el suministro de energía a un equipo de radioenlace en una red troncal, en las que el factor de fiabilidad es más importante que el coste. En una instalación cliente particular el costo va a ser el factor determinante. La búsqueda de un equilibrio entre coste y fiabilidad no es una tarea fácil, lo realmente importante es ser capaz de determinar lo que se espera de una instalación y a qué precio.

Existen diversos procedimientos de cálculo para mantener una fiabilidad dada con el mínimo coste, pero requieren un elevado número de datos de radiación solar para su utilización, no disponibles en la mayoría de las localidades.

Para resolver este problema vamos a utilizar un método llamado “método del peor mes” que consiste en dimensionar el sistema para que pueda funcionar en el caso que la demanda sea la mayor posible en el peor mes de radiación solar. En este caso debido a que la demanda de energía se considera constante a lo largo de todo el año, el mes de Junio será el peor mes.

El método empleado es un método de validez general, que proporciona resultados satisfactorios y es ampliamente utilizado.

#### 7.4 Diseño y dimensionamiento del sistema

Según la tabla 7.2, la potencia total con todos los artefactos encendidos simultáneamente es de 546W y el consumo diario de energía es de 2472Wh.

- **Calculo del inversor:** Teniendo en cuenta que la potencia con todos los artefactos encendidos es de 546W, podríamos pensar que un inversor de 1000W (valor comercial más cercano) sería lo óptimo para nuestra instalación. Pero en este cálculo no estamos teniendo en cuenta el pico de potencia que se genera en el arranque de artefactos que contienen motores. Para tener en cuenta ese exceso de potencia tenemos que sobredimensionar el consumo en

W de esos artefactos. En este caso los únicos electrodomésticos con motor, son la heladera y el ventilador. Para dimensionar la potencia necesaria del inversor tenemos que multiplicar por 6 la potencia en esos electrodomésticos. De esta forma nos queda que la potencia con todos los artefactos encendidos es de 1346W. Para garantizar el funcionamiento del sistema, vamos a aplicar un coeficiente de seguridad del 30%. El resultado es 1750W. Por ende para nuestra instalación nos hace falta un inversor de 2000W (valor comercial más cercano) de potencia o superior.

- **Calculo de los paneles:** Ya tenemos calculada la potencia diaria que necesita nuestra instalación. La misma es de 2472Wh, entonces el o los paneles seleccionados deberían aportar en 6 horas (estimación de las horas de radiación pico usando el método del peor mes) la potencia calculada.

- **$240W \times 6h = 1440Wh$**

Según este cálculo estaríamos necesitando 2 paneles de 240W, lo cual nos daría una potencia diaria de:

**$480W \times 6h = 2880Wh$**

- **Calculo de las baterías:** Para hacer un cálculo de las baterías necesarias para nuestro sistema fotovoltaico, es necesario definir en primera instancia los días de autonomía que necesitamos en caso de que nuestros paneles solares no generen energía, debido a días nublados. Nuestro sistema fotovoltaico va a ser calculado para tener 2 días de autonomía.

**$2472Wh \times 2 \text{ días} = 4944Wh$**

**$4944Wh / 12V = 412Ah$**

Vamos a utilizar un banco de baterías compuesto por baterías de ciclo profundo de 6V de 220Ah. Por ende vamos a armar 2 ramas con 2 baterías en serie cada una, luego cada rama la conectamos en paralelo. Con esta topología logramos tener 12V y 440Ah.

- **Selección del regulador:** Cada panel produce una corriente de máxima potencia de 7.65 A. Por ende nuestro conjunto de paneles que van a estar conectados en paralelo producen una corriente máxima 15.3A. Teniendo un margen de seguridad del 30%, nuestro regulador debe ser de 19.89A o superior. Por ende se vamos a instalar un regulador de 20A.

## 7.5 Instalación y prueba del sistema

Se decidió hacer una prueba piloto del sistema. De esta forma podremos verificar que nuestros cálculos realizados en el apartado anterior, a la hora de instalar nuestro sistema, coincidan con los datos medidos en la puesta en práctica del sistema.

Por cuestiones de costos, se decidió armar un sistema con la mitad de la potencia calculada en el apartado anterior. Con este sistema vamos a ser capaces de verificar nuestros cálculos, siempre teniendo en cuenta conectar cargas al sistema por un total de la mitad de la potencia calculada anteriormente.

Los componentes utilizados para realizar la prueba son:

- 1 Panel Fotovoltaico policristalino 240W Hissuma Solar.
- 1 Inversor 2500W de onda sinusoidal pura marca Enertik modelo IS-2500BP.
- 2 Baterías 6V 220Ah de ciclo profundo marca Trojan modelo T-605
- 1 Regulador de carga de 10 A marca MPPT modelo MPPT15

Según la tabla 7.2, nuestro consumo diario era de 2472Wh. Entonces nuestra prueba se va a realizar cargando nuestro sistema con  $2472\text{Wh} / 2 = 1236\text{Wh}$

A continuación se muestra la tabla con los consumos y aparatos con los cuales procederemos a realizar la prueba:

CONSUMO ESTIMADO				
Equipo	Unidades	Potencia (W)	Horas de funcionamiento (h)	Energía (Wh)
Luminaria Techo	3	40	4	480
Velador	1	10	3	30
Ventilador	1	100	2	200
Televisión	1	100	3	300
Computadora	1	110	2	220
Celular	1	3	2	6
<b>TOTAL</b>				<b>1236</b>

**Tabla 7.3: Consumo con el cual se va a realizar la prueba del sistema.**

Luego de terminar de instalar nuestro sistema, se dejó cargando durante un día completo si colocarle cargas al mismo. Una vez que se hizo de noche, y que verificamos que nuestros paneles ya no entregaban corriente, se procedió a encender todos los

aparatos y luminarias, respetando lo especificado en la tabla 7.3. Este proceso se repitió dos veces y con esto pudimos verificar que el sistema tenía una autonomía de 2 días. Con esta prueba podemos afirmar que los cálculos realizados en el apartado anterior son correctos, ya que se hizo una prueba de campo para corroborarlo.

A continuación mostraremos algunas fotografías del sistema instalado:



Foto 7.1. Inversor Enertik 2500W. Onda senoidal pura.



Foto 7.2. Inversor Enertik 2500W. Onda senoidal pura.



Foto 7.3. Bornes para conexión de las baterías del Inversor



Foto 7.4. Banco de baterías de 220Ah en 12V



Foto 7.5.Regulador de carga



Foto 7.5.Panel solar policristalino 140W



**Foto 7.6. Conectores panel IP67**

Bibliografía:

- [1] Alonso, M. Energía Solar fotovoltaica (Sexta ed.). (Ciemat, Ed.) España: CEDDET.
- [2] Álvarez, C. (Septiembre de 2006). Manuales de Energía Renovable: Energía Eólica. Madrid: IDAE.
- [3] Colección "Energías Renovables para todos". Iberdrola. Haya Comunicación. 2003.
- [4] Guía solar. Greenpeace. 2005. Disponible on-line en:  
<http://archivo.greenpeace.org/GuiaSolar/informes/guiaCompleta.pdf>
- [5] Análisis de Sostenibilidad de Esquemas de Electrificación Rural con Energías Renovables: Opciones e Indicadores. Barriga A; et al. CLER 1999
- [6] Antonio Madrid Vicente (2012) La biomasa y sus aplicaciones energéticas
- [7] Biofuels, Solar and Wind as Renewable Energy Systems, Editor Dr. David Pimentel Cornell University, 2008 Springer Science
- [8] BUN-CA (1995). Aspectos relacionados con la generación eléctrica a partir de residuos biomásicos.
- [9] Emérita Delgado, J. P. (2013). Utilización de energía solar e Intercambiador enterrado como fuente de calor para cámara de secado. INER-ISEREE
- [10] Energy and Sustainable Development in Latin America and the Caribbean: Guide for Energy Policymaking, OLADE- ECLAC- GTZ 2000
- [11] Martínez, J. (2013). Energía Geotérmica (Primera ed., Vol. 1). (U. E. Geotermia, Ed.) Madrid, Madrid, España.
- [12] Juan Peralta, A. L. (2012). Identificación y evaluación del potencial de recursos renovables en el ecuador y su viabilidad de desarrollo local. Buenos Aires, Buenos Aires: CAIM III.