

MAESTRÍA EN INGENIERÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL

CURSO: ENERGÉTICA AMBIENTAL

PROFESOR: JORGE ANTONIO POLANÍA PUENTES

CONTENIDO DEL CURSO

- **ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE (4)**
- **CALOR Y TRABAJO (8)**
- **APROVECHAMIENTO TÉRMICO DE LA ENERGÍA SOLAR (12)**
- **ENERGÍA DE COMBUSTIBLES (4)**
- **CALOR RESIDUAL Y CONTAMINACIÓN TÉRMICA (8)**

UNIDAD 3. APROVECHAMIENTO TÉRMICO DE LA ENERGÍA SOLAR

- Características de la radiación solar incidente. Arquitectura bioclimática
- Sistemas activos (colectores solares) y pasivos de calentamiento.
- Instalaciones de energía eléctrica solar térmica. Almacenamiento de energía solar térmica.
- Laboratorio

3.1 CARACTERÍSTICAS DE LA RADIACIÓN SOLAR

Video: Radiación solar

<https://www.youtube.com/watch?v=k6vBB92Bye8>

El sol además de proporcionar a la tierra luz y calor, da lugar a que se produzcan agentes atmosféricos, como el viento (energía eólica) por las diferencias de presiones y temperaturas y junto con la luna producen las mareas, las olas y las corrientes marinas.

Colabora con el ciclo del agua como la evaporación y la formación de nubes que el viento desplaza dando lugar a las lluvias, nieve, granizo, rocío.

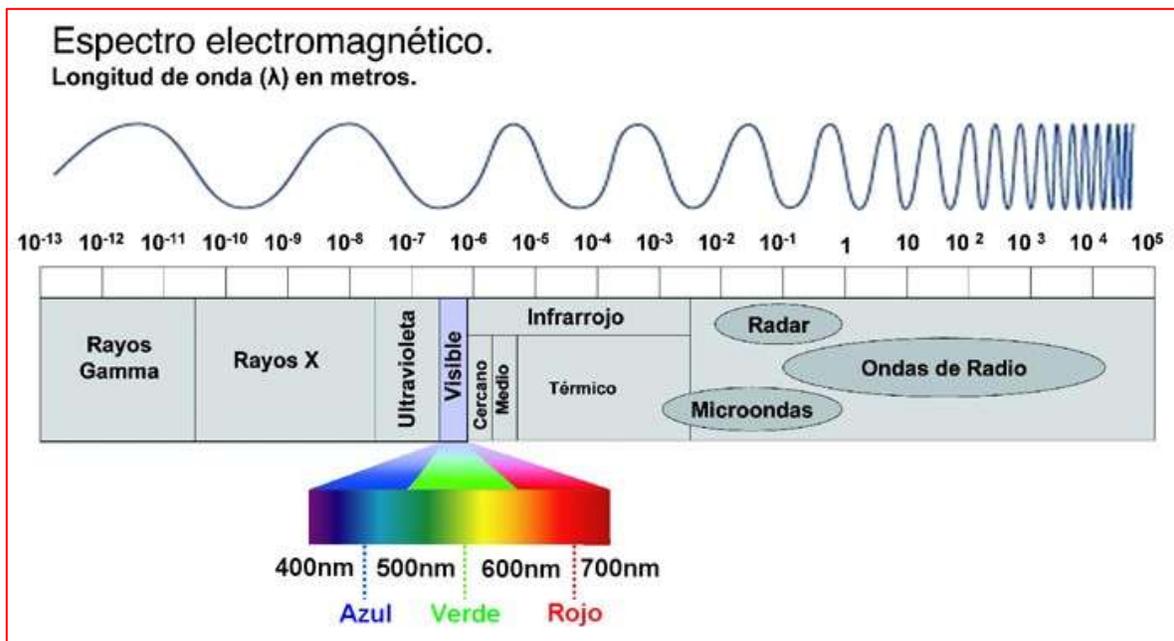
Participa en el desarrollo de las plantas (fotosíntesis) con la luz y el calor (biomasa).

La tierra tiene vida gracias a la energía que nos proporciona el sol.

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL SOL

- Edad: 4600 millones de años
- Diámetro: 1.391.980 km
- Temperatura: En la superficie 5000° K
- Distancia media desde la tierra: 150 millones de km
- Energía: 3.83×10^{26} W (vatios)
- Energía recibida sobre la atmósfera exterior de la tierra: según la NASA 1.367 W/m^2
- Potencia promedio que llega a la tierra: 342 W/m^2

- Composición química: 71% hidrógeno, 27% helio, 2% elementos pesados
- Radiación: 7% ultravioleta, 47% visible, 46% infrarrojo
- Luz emitida: La luz es una radiación electromagnética y es una forma de energía que viaja a una velocidad de 300.000 Km/sg
- Pérdidas de la energía solar: El 50% es reflejada por las nubes y la atmósfera, el 40% se pierde por reflexión especialmente en los mares y océanos, el 10% útil lo emplean las plantas y otros elementos de la naturaleza.



RADIACIÓN SOLAR

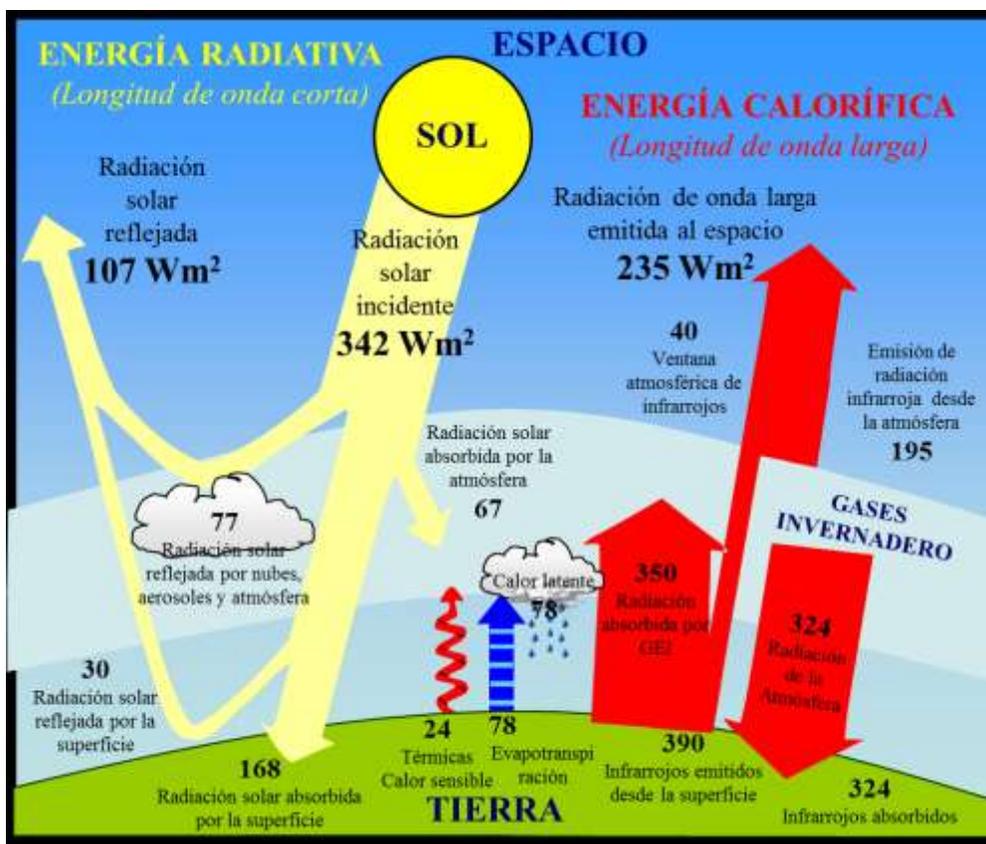
La energía solar proviene del sol donde se producen reacciones de fusión de los átomos de hidrógeno dando lugar a un átomo de helio y liberando gran cantidad de energía, de la cual sólo llega a la tierra una pequeña parte, pues el resto

se refleja hacia el espacio exterior por la presencia de la atmósfera terrestre.

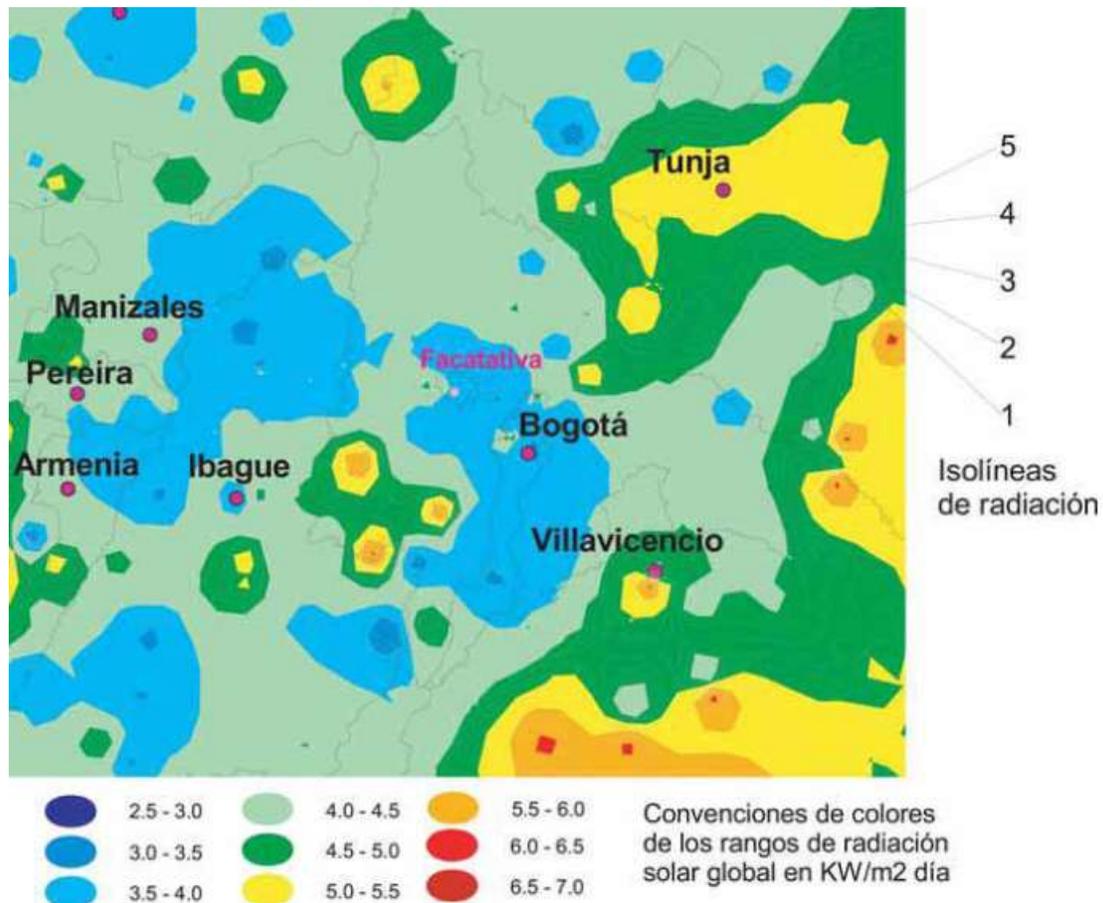
La radiación neta que recibe la tierra es la suma de las radiaciones en onda corta que inciden (SWi) y se reflejan (SWo) y de las ondas largas infrarrojas incidentes (LWi) y salientes (LWo).

$$\text{Radiación solar} = \text{SWi} - \text{Swo} + \text{Lwi} - \text{LWo}$$

La radiación incidente es de 342 W/m^2 , llegando a la superficie el valor promedio de 170 w/m^2 .



La energía solar es intermitente, es cero durante la noche aumentando desde la salida del sol, alcanzando un máximo al mediodía y disminuyendo hasta la puesta del sol. Por eso se habla de un promedio diario. Para el caso de Colombia, se muestra a continuación esta energía por regiones:



La energía solar es un recurso renovable y por lo tanto puede con los demás recursos renovables, reducir el consumo de combustibles fósiles.

No produce ruidos, ni humos, ni residuos difíciles de tratar o de eliminar, no exige medidas de seguridad sofisticadas, no

genera emisiones contaminantes y por tanto contribuye a cumplir con los objetivos de la Cumbre de Kioto.

En Colombia los logros son aún modestos y el desarrollo actual no corresponde ni al potencial de varias fuentes ni a las posibilidades de un desarrollo local, que permita al país realizar tecnologías energéticas liberadas de las tradicionales dependencias de tecnologías foráneas.

La evaluación del potencial solar de Colombia se ha realizado empleando principalmente información de estaciones meteorológicas del IDEAM (Instituto de Estudios Ambientales), procesada para ser transformada de información meteorológica en información energética. La energía solar se ha evaluado para varias regiones del país y la más reciente se encuentra en el *Atlas de Radiación Solar de Colombia*.

El potencial de la energía solar en el país en $\text{Kw/m}^2/\text{año}$ se muestra a continuación:

Región del país	Radiación Solar
Guajira	2000 – 2100
Costa Atlántica	1730 – 2000
Orinoquia-Amazonia	1550 – 1900
Región andina	1550 – 1750
Costa Pacífica	1450 – 1550

Si se tiene en cuenta que el máximo mundial es de aproximadamente $2500 \text{ Kwh/m}^2/\text{año}$, el potencial en Colombia en relación con este máximo varía entre 58 % en la Costa Pacífico y 84 % en la Guajira. Pero más importante aún que los valores es que la variación mensual de la radiación global frente a la media anual es pequeña comparada con las

Ecuaciones para calcular la radiación solar

Variación energética en función del día del año d_n . Es uno para el 1 de enero y 365 para el 31 de diciembre,

$$E_o = 1 + 0.033 \cos \frac{2\pi d_n}{365}$$

Para el 16 de mayo ($31+28+31=30+16=136$),

$$E_o = 1 + 0.033 * \cos \frac{2\pi * 136}{365} = 0.977$$

Radiación sobre un plano con un ángulo θ con la horizontal,

$$I_o = I_{sc} * E_o * \cos \theta$$

Para un I_{sc} es la constante solar igual a 1367 w/m^2 . Para un ángulo de 15°

$$I_o = 1367 * 0.977 * \cos 15^\circ = 1290.1 \text{ w/m}^2$$

ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA

<https://www.youtube.com/watch?v=8DuGtX653Rk>

La arquitectura bioclimática puede definirse como la arquitectura diseñada sabiamente para lograr un máximo confort dentro de un edificio o vivienda con el mínimo gasto energético.

Aprovecha las condiciones climáticas de su entorno, transformando los elementos climáticos externos en confort interno gracias a un diseño inteligente. Si en algunas épocas

del año fuese necesario un aporte energético extra, se recurriría si fuese posible a las fuentes de energía renovables.

A igualdad de confort la mejor solución es la más simple y si además es sana para el planeta, mucho mejor. A esta simplicidad se llega a través del conocimiento y la buena utilización de los elementos reguladores del clima y de las energías renovables.

Se suele decir que las personas se sienten confortables en hogares cuya temperatura esté entre los 18 y los 24° C. dependiendo del vestuario y la actividad que desarrollen en ella. También depende de la edad, los bebés y ancianos necesitan temperaturas más elevadas.

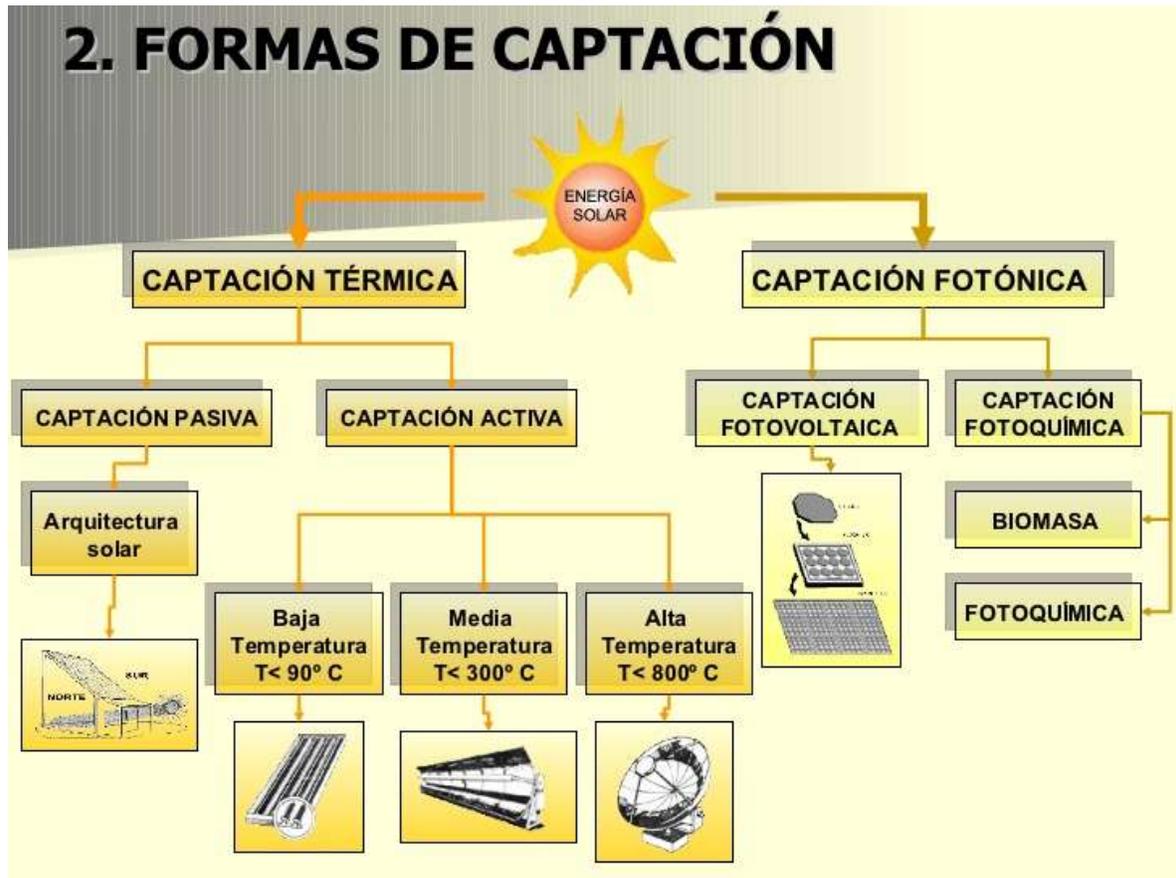
Una habitación cuya temperatura del aire sea de 20° C y la temperatura de las paredes esté a 16° C da una sensación de confort equivalente a otra cuya temperatura del aire sea de 12° C y las paredes estén a 24° C. La humedad relativa del aire debe estar entre el 30 y el 70%. No debe superar el 70%.

Los sistemas de captación de energía del entorno para su aprovechamiento en arquitectura bioclimática comprenden: La captación solar pasiva, captación solar activa y mecanismos para obtener energías renovables del entorno. Existe la captación solar pasiva y captación solar activa.

3.2 SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE ENERGÍA SOLAR

Video: energía solar térmica

<https://www.youtube.com/watch?v=4EEoti4L80U>

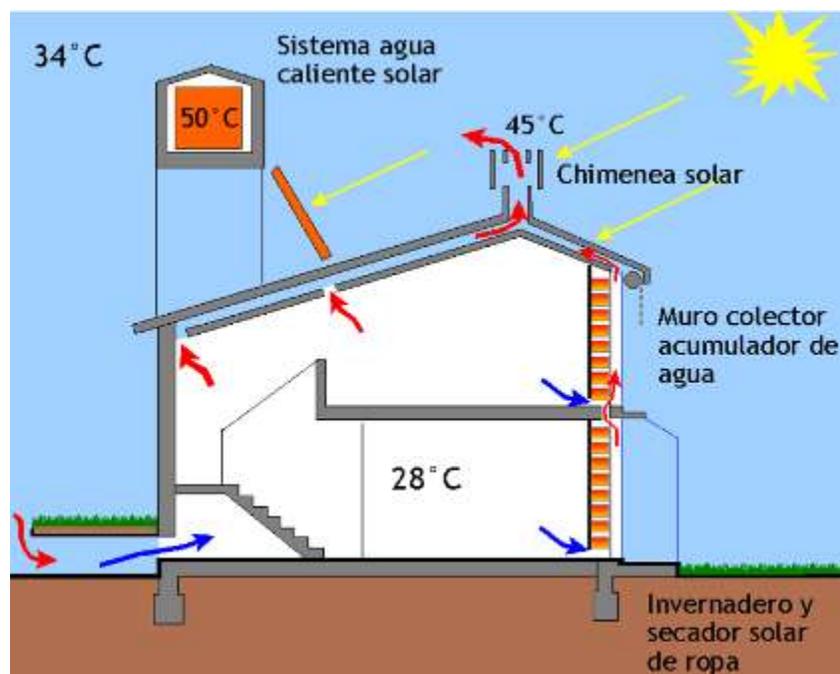


3.21 CAPTACIÓN SOLAR PASIVA

Se denomina así al método de captación de la radiación solar que funciona sin necesitar aporte energético externo. Los sistemas captadores pasivos precisan combinarse con mecanismos de ocultación para proteger al edificio de la entrada indiscriminada de radiación solar en los días calurosos de verano.

La captación solar pasiva abarca dos tipos de elementos:

- Elementos captadores: Recogen la radiación solar mediante sistemas captadores directos, indirectos y añadidos.
- Elementos acumuladores: Tienen la propiedad de almacenar en su interior la energía calorífica de modo que puede ser utilizada con posterioridad. Unos sistemas permiten acumular el calor del día para cederlo durante la noche. Otros son capaces de almacenar el calor durante muchos días, incluso meses.



a) Captación solar directa

Se denominan sistemas de captación directa a aquellos en los que la radiación solar entra directamente en el espacio que se desea caldear. Esto se consigue haciendo que los

rayos solares atraviesen un vidrio y calienten el aire, los suelos y los paramentos interiores.

Una simple ventana orientada hacia el sol es el primer sistema de captación solar pasiva. Todos sentimos más confort un día frío en el que los rayos solares entran por la ventana que un día nublado.

La captación solar se puede hacer a través de un invernadero o terraza cubierta con vidrio. Es un espacio acristalado creado con la finalidad de captar el máximo de radiación solar.

Durante el día, el aire que se calienta en el invernadero se distribuye por toda la casa gracias a las corrientes de convección. Después veremos mejoras a este sistema. Por la noche deben evitarse las pérdidas de calor colocando persianas o contraventanas.

En lugares calientes se debe impedir la entrada de la radiación solar y facilitar una buena ventilación para evitar la captación de energía solar y favorecer la refrigeración.

b) Captación solar indirecta

Son modos de captar la radiación solar por medio de elementos constructivos que actúan de intermediarios. Captan y almacenan la energía solar que cederán posteriormente a las habitaciones.

Hemos visto que los sistemas captadores directos consisten en exponer a la radiación solar el espacio constructivo que se desea caldear. Para lograrlo en forma indirecta, se interpone el vidrio de una ventana o galería acristalada entre la radiación solar y el espacio a calentar. Una vez que los materiales de construcción han absorbido la energía solar, van cediendo lentamente la energía sobrante en forma de

radiación infrarroja. La radiación infrarroja no es capaz de atravesar el vidrio, acumulándose dentro del espacio constructivo. Es el llamado efecto invernadero.

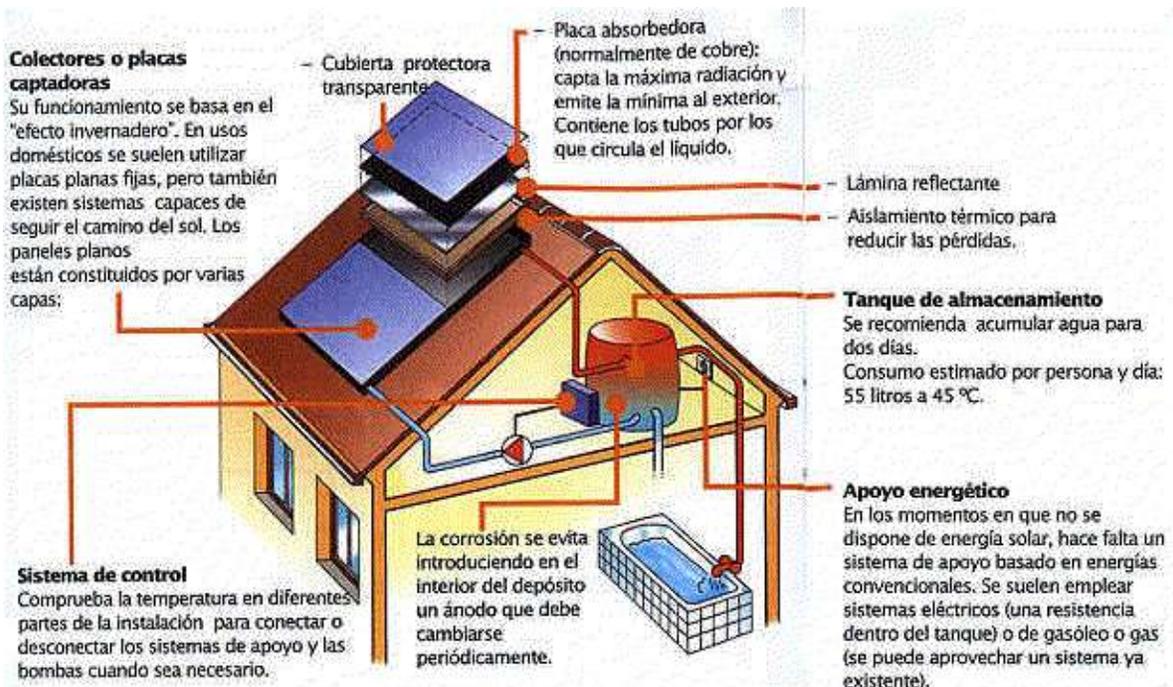
Los suelos, muros y cubierta pueden ser muy útiles para captar y almacenar la energía procedente del Sol, sobre todo si son porosos ya que tienen más superficie de intercambio. En época fría los materiales de construcción acumulan energía solar durante el día que van cediendo lentamente durante la noche. El agua es también un excelente material para captar y almacenar calor.

Esta forma de captación requiere de elementos acumuladores y de depósitos acumuladores. Los elementos acumuladores, son elementos constructivos que realizan una doble función constructiva y de almacenamiento de calor. Son los sistemas constructivos de inercia térmica como: muros, soleras, etc.

Los depósitos de acumulación, tienen como misión es exclusiva la de almacenamiento del calor. Son depósitos de cualquier material utilizable como almacén de calor: grava, ladrillos, recipientes llenos de agua, sales especiales en disolución, etc. Acumuladores de calor subterráneos de piedra o grava han sido muy utilizados en viviendas unifamiliares.

3.2.2 CAPTACIÓN SOLAR ACTIVA

Se llaman sistemas activos a los artefactos mecánicos que complementan la construcción bioclimática y permiten captar las energías del entorno con un mayor aprovechamiento y un mínimo consumo energético.



Los sistemas activos son una mejora de los sistemas pasivos de aprovechamiento de la radiación solar que se han venido utilizando desde hace algunos siglos en invernaderos que facilitaban el crecimiento de las plantas.

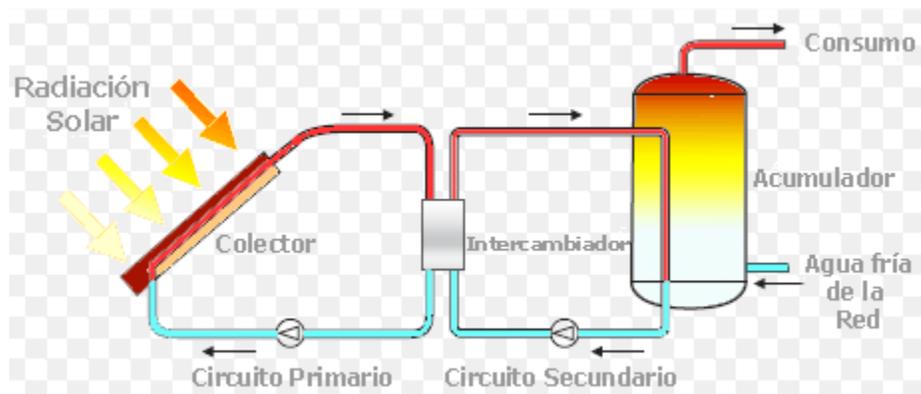
La primera vivienda que se construyó empleando sistemas activos de calentamiento de agua fue la "Casa solar M.I.T. nº 1", construida en el Instituto Tecnológico de Massachusetts en el año 1.939.

De una manera esquemática puede decirse que un colector solar es una caja cerrada, tapada en su parte superior por un vidrio transparente, atravesado por los rayos del sol que calientan un fluido que circula por su interior.

Los sistemas activos incorporan una bomba de circulación para impulsar el movimiento del fluido y un intercambiador de calor para poder ceder la energía captada a los locales o elementos que se desea caldear.

Como el sol no brilla siempre, se hace necesario incorporar sistemas de almacenar el calor solar, como son materiales de gran masa térmica o depósitos que contengan agua o disoluciones de sales eutécticas. De este modo puede disponerse del calor absorbido por el día para utilizarlo por la noche o en días que no luzca el sol.

Los sistemas de captación solar por medio de colectores se pueden utilizar para abastecer la vivienda de agua caliente sanitaria, dotarla de calefacción y también de refrigeración.



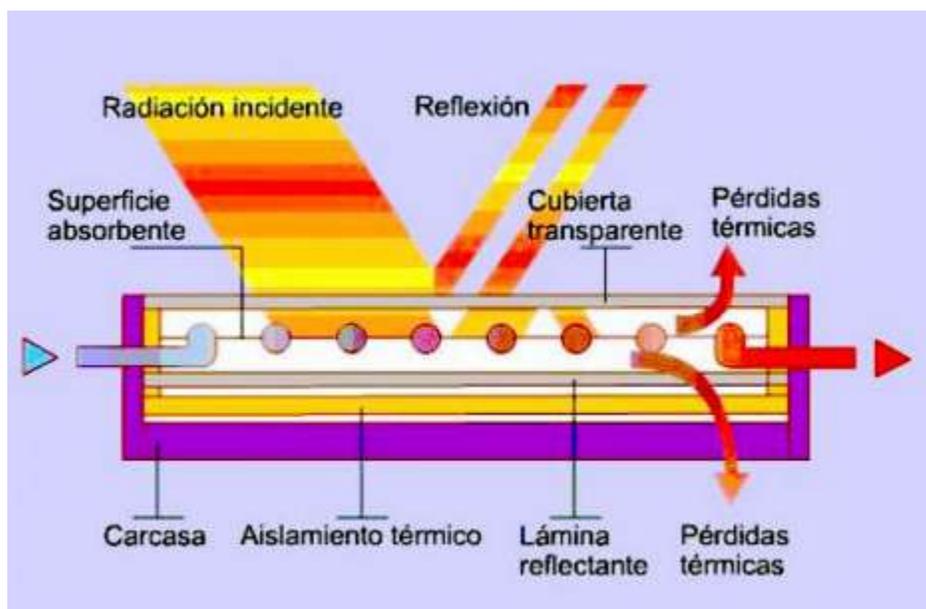
Un sistema de captación solar pasiva muy sencillo que funciona por termosifón, consiste en poner colectores solares a un nivel más bajo que la vivienda. El fluido, aire o agua, al calentarse en el captador solar o en un colector baja su densidad y asciende por los conductos hasta el edificio. Allí cede su calor, se enfría y regresa por la tubería de retorno al colector. Es pues un sistema de circulación por gravedad. Los sistemas de aire son más simples y precisan menos mantenimiento.

Colocando los captadores a un nivel más bajo que la vivienda se puede disponer de aire o agua caliente que ascenderá hasta los puntos de consumo sin necesidad de ayuda externa.

Los sistemas activos de captación solar añaden a esta instalación algunos elementos para poder colocar los colectores en el tejado en vez de a ras de suelo, para instalar refrigeración y para mejorar su rendimiento.

En forma general se puede decir que el sistema activo está constituido por un colector solar, un intercambiador de calor y un depósito acumulador.

a) Colector solar

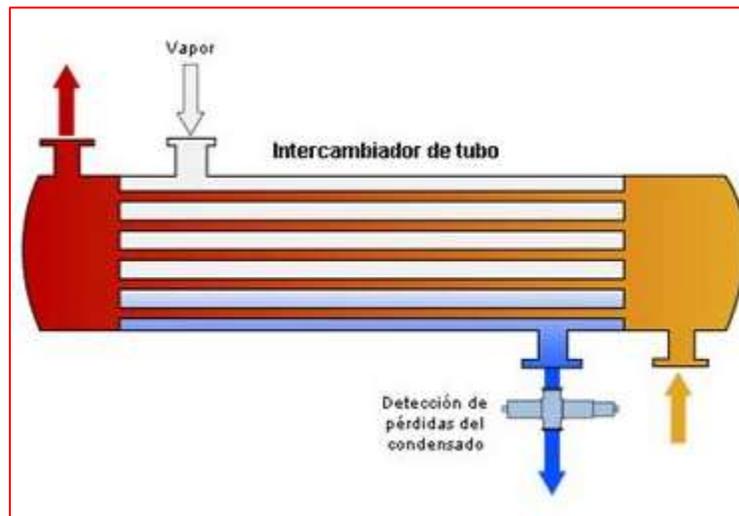


Funciona por efecto invernadero. El colector solar plano consiste en una caja cerrada por su parte superior con un vidrio para producir el efecto invernadero. Se trata de un vidrio solar de seguridad resistente al granizo y muy bajo grado de reflexión para evitar que los rayos del sol se reflejen en él. Este vidrio asegura la entrada dentro del colector del máximo de rayos solares. También se han obtenido muy buenos resultados con cierres superiores de láminas de teflón, material muy resistente a la rotura y a la intemperie.

En el fondo del colector hay un absorbedor de calor, generalmente una lámina de cobre o aluminio con un recubrimiento selectivo que facilita la absorción de las ondas cortas y evita la emisión de ondas largas. Así se consigue un máximo aprovechamiento de la radiación solar. El absorbedor cede su calor a un fluido, aire, agua que o a una mezcla de agua y anticongelante si existe riesgo de heladas. El fluido puede circular por tuberías o sobre el absorbedor. Las paredes y el fondo del colector plano llevan un revestimiento aislante para evitar pérdidas de calor.

Algunos fabricantes succionan el aire del interior del colector para reducir la irradiación térmica y evitar corrientes de convección. Estos colectores llevan un indicador para comprobar el vacío interior y en caso necesario poder restaurarlo con una bomba de vacío.

b) Intercambiador de calor



En los colectores se capta la radiación solar para calentar un fluido. Este fluido se transporta a través de conductos, pero

en algún punto de su recorrido debe ceder este calor. Esta cesión se realiza en los sistemas activos por medio de un intercambiador.

Un intercambiador de calor es un aparato en el que circulan dos fluidos que no entran en contacto físico, pero que permite la transmisión de calor de un fluido al otro a través de las paredes de los conductos por los que circulan.

El fundamento de un intercambiador de calor es la barrera de separación entre los dos fluidos que debe estar constituida por un material muy buen conductor de calor.

Un tipo de intercambiador sencillo consiste en un espacio ocupado por uno de los fluidos en cuyo interior se disponen haces tubulares o un serpentín por el que circula el otro fluido. Los tubos pueden llevar aletas para aumentar la superficie de contacto.

En los sistemas de captación solar activa es frecuente que los intercambiadores de calor estén incorporados en el depósito acumulador. Si el depósito acumulador tiene gran capacidad es conveniente colocar el intercambiador de calor independiente del mismo y se sitúa entre los colectores y el depósito.

Para compensar la dilatación de los fluidos que circulen en circuito cerrado, como suele suceder en los circuitos primarios es necesario colocar un vaso de expansión.

c) Depósito acumulador

En el colector se capta la radiación solar y por medio de un fluido se lleva a un depósito para acumular el calor absorbido y de esta manera disponer de agua caliente o calefacción cuando el sol ya no brilla por la noche. Normalmente se le da al depósito la capacidad suficiente para abastecer las

necesidades caloríficas de la vivienda a lo largo de un día entero y en la época más fría del año.

Ecuaciones de diseño

(a) Potencia térmica de la instalación:

$$P_t = \eta \cdot S \cdot G_{ref} (W)$$

η : rendimiento del sistema de captación

S: Superficie del sistema de captación

G_{ref} : Radiación solar de referencia igual a $1000W/m^2$

(b) Demanda térmica energética a aportar

$$Q = m \cdot C_e \cdot (T_s - T_e) \cdot n$$

Q: energía calorífica necesaria

M: Masa diaria consumida en kg/día=litros/día

C_e : Calor específico del agua= $4,18Kj / ^\circ CKg$

T_s : Temperatura del salida del agua caliente en $^\circ C$

T_e : Temperatura de entrada del agua en $^\circ C$

n: Número de días del mes

Parámetros de diseño

(a) Superficie total de captación (S) en m^2 , cumplirá

$$50 \leq M/S \leq 80$$

(b) Volumen de acumulación solar (V) en litros, cumplirá

$$0.8 \leq V/M \leq 1$$

Efectividad del intercambiador

Las instalaciones calientan el agua de la red en forma indirecta, utilizando intercambiador de calor. El panel térmico calienta un fluido y este el agua de la red

$$\varepsilon = \frac{Q_{real}}{Q_{m\acute{a}x}} = \frac{T_s - T_e}{T_{s1} - T_{e1}}$$

Volumen del acumulador

El volumen del acumulador se determina en función de la superficie de los captadores, se considera:

- 100 litros/persona, para pequeña instalación
- 60 litros/persona, para gran instalación

3.3 INSTALACIONES DE ENERGÍA ELÉCTRICA SOLAR

ENERGÍA FOTOVOLTAICA

Video: Energía fotovoltaica

<https://www.youtube.com/watch?v=6-uHVh5DLY4>

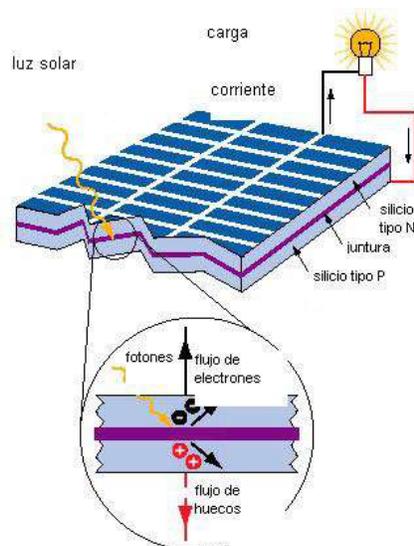
La energía fotovoltaica tiene origen en la luz del sol (fotones) y puede transformarse en energía eléctrica por medio de células fotoeléctricas. No es muy grande la energía que se recupera pero puede ser importante en muchas aplicaciones, especialmente para lugares aislados en los que es costoso llevar la red eléctrica tradicional. La energía primaria (luz) es

una energía renovable y gratuita y nada contaminante. El problema principal es que sólo hay energía durante el día y para suministrar energía eléctrica por la noche se debe acumular la energía generada mediante baterías eléctricas.

La conversión de energía lumínica a energía eléctrica se presenta por el efecto fotovoltaico (descubrimiento de Alexandre Becquerel en 1832). En 1955 se comienza la construcción de paneles solares y tres años después se lanza el primer satélite con paneles solares. En la década de lo 80's y 90's se aplican estos paneles a la solución de energía en viviendas.

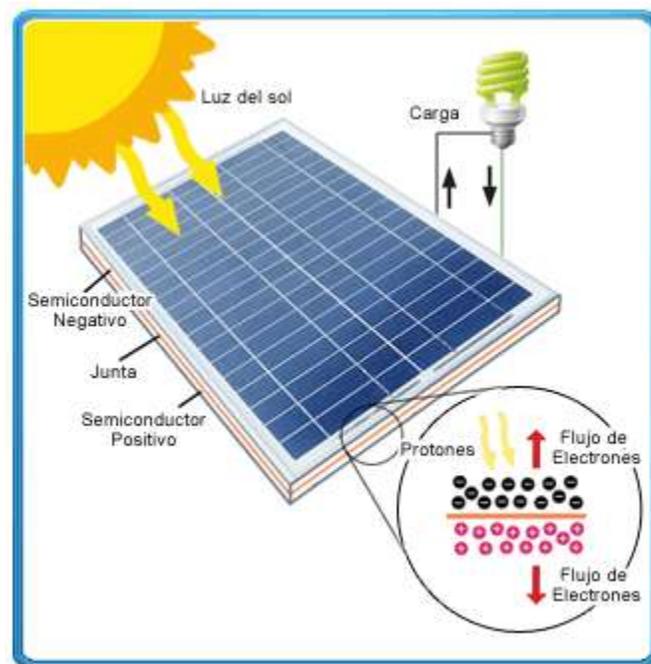
PANELES FOTOVOLTAICOS

La celda fotovoltaica es un semiconductor formado por una fina capa de material generalmente de silicio que por el efecto fotoeléctrico genera una pequeña cantidad de voltaje entre sus caras tipo P y tipo N aproximadamente de 0.4V



Los paneles fotovoltaicos están constituidos por celdas fotovoltaicas construidas con cristales de silicio, los cuales son de tres clases:

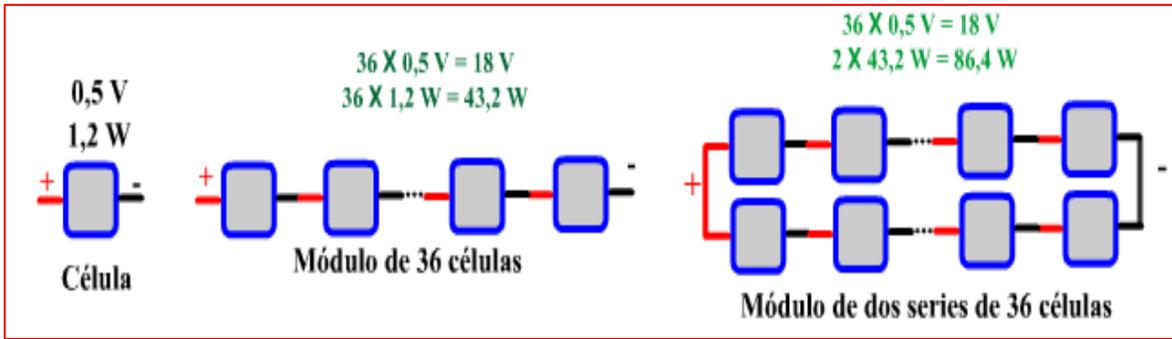
- Silicio monocristalino con eficiencia entre el 14 y el 18%
- Silicio policristalino con eficiencia entre el 10 y el 15%
- Silicio amorfo con eficiencia menor al 10%



Características generales

Los paneles tienen una eficiencia media del 15% en óptimas condiciones de irradiación puede convertir 150 W/m^2 . Con día bien soleado puede llegar hasta 250 W/m^2 .

Las células fotovoltaicas se unen entre sí en conexiones serie o paralela para obtener un voltaje de 12V o 24V o agrupadas en serie – paralelo para alcanzar un voltaje requerido E en voltios y una corriente I en amperios para una determinada potencia P en vatios.



Características físicas

- Longitud: 1.200 mm
- Anchura: 526 mm
- Espesor: 35 mm
- Peso: 8,2 kg

Características eléctricas

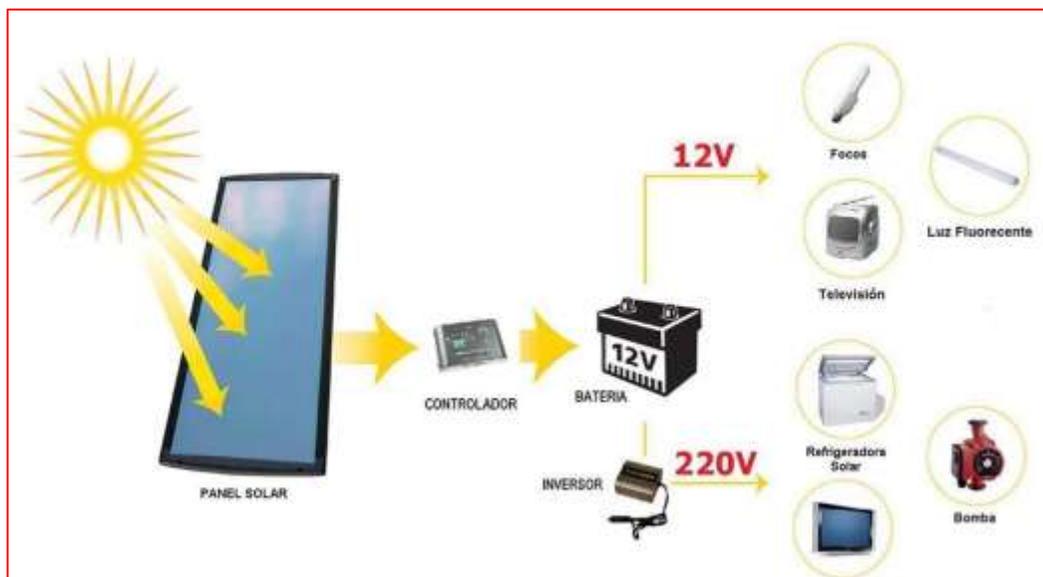
- Potencia (W en prueba + 10%): 75 W
- Número de células: 33 de 5"
- Corriente (en punto de máxima potencia): 4,4 A
- Tensión de (en punto de máxima potencia): 17 V
- Corriente de cortocircuito: 4,8 A
- Tensión de circuito abierto: 21 V

Especificaciones en condiciones de prueba standard de: 1.000 W/m², temperatura de la célula 25°C y masa de aire de 1,5.

INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS

Las instalaciones fotovoltaicas incluyen los siguientes elementos:

- Paneles o módulos fotovoltaicos. Elementos generadores de corriente continua.
- Regulador de corriente. Regula la corriente que recibe de los paneles para suministrarlo a las baterías
- Acumulador eléctrico. Acumula y guarda la energía a lo largo del tiempo, para suministrarla cuando no haya generación. Según el voltaje requerido las baterías se pueden conectar en serie o en paralelo.
- Inversor. Equipo convertidor que adapta la corriente continua recibida a corriente alterna para la conexión de aparatos que funcionan a 110V o 220V.



DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

Una instalación fotovoltaica depende básicamente de la energía consumida, de las pérdidas o eficiencia de la instalación, de la radiación solar del sitio, número de días de autonomía y del ángulo de inclinación del panel.

Ejemplo instalación para una vivienda rural.

Consumo de energía en Kwh/mes:

$$E = \sum P(kw) * Cantidad * hr \frac{\text{consumo}}{\text{día}} * \text{días consumo}$$

Elementos pueden ser: televisores, radios, lavadora, computador, electrodomésticos, etc.

Por ejemplo este consumo puede ser de E=100 Kwh/mes

La necesidad diaria de energía,

$$\text{Energía diaria} = E_d = \frac{100}{30} = 3.3Kwh$$

Corriente instalación,

$$I_{inst} = \frac{E_d * 1000}{V_{bateria}} = \frac{3.3 * 1000}{12} = 275Ah/día$$

Corriente máxima,

$$I_{max} = I_{inst} * 1.2 = 275 * 1.2 = 330Ah/día$$

Corriente proporcionada por el panel,

$$I_{panel} = 0.9 * I_{max\ panel} * HSP = 0.9 * 8.07 * 4.64 = 33.7Ah/día$$

HSP: La hora solar pico es una unidad que mide la irradiación solar y se define como el tiempo en horas de una hipotética irradiación solar constante de 1000 W/m² equivale a 3600 KJ/m². Depende de la radiación y del ángulo de inclinación del panel (ejemplo, para 34° y radiación de 5350 KJ/m², HSP=4.64). Se obtienen mediante tablas o un software específico.

Capacidad max de la batería,

$$C_{max\ bat} = \frac{I_{max}}{k_t(pérdidas)} = \frac{330}{0.73} = 452Ah/día$$

Capacidad de la batería,

$$C_{bat} = \frac{C_{max\ bat} * D_{autonomía}}{descarga} = \frac{452 * 4}{0.7} = 2582.8Ah$$

D_{autonomía}=Días nublados promedio en un mes

Número de paneles en paralelo,

$$N_{paneles\ paralelo} = \frac{C_{max\ bat}}{I_{panel}} = \frac{452}{33.7} = 13.4 \text{ (escoger 15)}$$

Número de paneles en serie,

$$N_{paneles\ serie} = \frac{V_{baterías}}{V_{panel}} = \frac{48}{48} = 1$$

Número de baterías en paralelo,

$$N_{baterías\ paralelo} = \frac{C_{bat}}{C_{nominal}} = \frac{2582.8}{749} = 3.45 \text{ (escoger 4)}$$

Número de baterías en serie,

$$N_{baterías\ serie} = \frac{V_{instalación}}{V_{batería}} = \frac{48}{12} = 4$$

Se escoge un Inversor de 48Vcc a 110 Vac de 5 Kw.

ENERGÍA EÓLICA

Video: Energía eólica

<https://www.youtube.com/watch?v=UV3yLeu4OAY>

La energía eólica tiene su origen en la fuerza del viento. Es una energía renovable y poco contaminante y ha contribuido a la generación de energía eléctrica. Es una fuente de energía intermitente, pues depende de si hay o no hay viento. Desde la década delo 70's se empezó con la aplicación de los aerogeneradores para la producción de la energía eléctrica. En 1975 se construye en estados unidos un aerogenerador bipala de 35 metros de diámetro, palas de metal, que daba una potencia de 100 Kw.

Actualmente la única planta eólica que tienen Colombia está ubicada en la Guajira que tiene 19.5 Mw de potencia. Mediante la Ley 1715 sancionada en marzo del 2014 (Tiene como objeto promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético

nacional mediante su integración al mercado eléctrico) la *Unidad de Planeación Minero Energética*, UPME ha aprobado tres nuevos proyectos. Se trata de tres parques eólicos propuestos por la empresa Jemeiwaa ubicados en el municipio de la Guajira. Según la entidad, la instalación de estos 474 Mw, reemplazarían unos 300 Mw de generación térmica a base de carbón.

Conceptos

El viento es una forma de energía que a través de un aerogenerador se transforma en energía mecánica rotativa y en energía eléctrica por medio de un generador.

La potencia de los generadores eólicos depende de:

- Superficie o área barrida por las palas del rotor en m^2
- Densidad del aire en Kg/m^2
- Velocidad del viento en m/sg

El viento se clasifica según su velocidad (m/sg),

Tipo	Km/h	Nudos	Altura de las olas /metros
Brisa	1 - 5	0,5 - 2,7	0,0 a 0,1
Suave	6 - 11	3,2 - 5,9	0,2 a 0,3
Leves	12 - 19	6,5 - 10,3	0,7 a 1,0
Moderados	20 - 28	10,8 - 15,1	1,0 a 1,5
Regulares	29 - 38	15,7 - 20,5	2,0 a 2,5
Fuertes	39 - 49	21,1 - 26,5	3,0 a 4,0
Ventarrón	50 - 61	27,0 - 33,0	4,0 a 5,5
Temporal	62 - 74	33,5 - 40,0	5,5 a 7,5

1 m/s = 3,6 km/h = 2,237 millas/h = 1,944 nudos

1 nudo = 1 milla náutica/h = 0,5144 m/s = 1,852 km/h = 1,125 millas/h

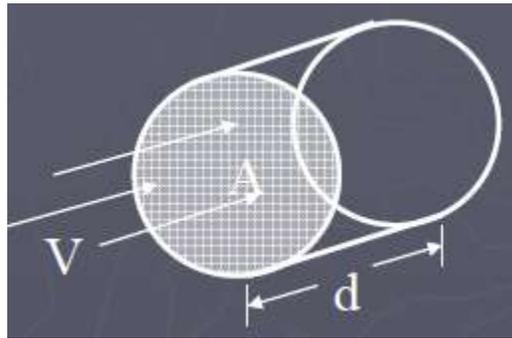
Potencia eólica

La potencia del viento nos da un primer límite para la potencia de un aerogenerador. Para calcularla, se evalúa la energía

cinética (E_k) de la masa de aire (m) que atraviesa, por unidad de tiempo, el área barrida por las palas (A).

$$P = \frac{\text{trabajo}}{\text{tiempo}} = \frac{E_k}{t} = \frac{1/2 mv^2}{t}$$

Como la masa de aire que atraviesa el área A en tiempo t es,



$$m = \rho \cdot A \cdot d, \quad \text{y} \quad d = v \cdot t$$

$$P_{\text{viento}} = \frac{1/2(\rho \cdot A \cdot d)v^2}{t} = \frac{1/2(\rho \cdot A \cdot v \cdot t)v^2}{t}$$

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

La potencia depende de la velocidad al cubo.

P : Potencia en W

ρ : Densidad de la masa de aire en Kg/m^3

A : Area circular que barre las palas en m^2

v = Velocidad de la masa de aire en $\frac{m}{sg}$

- Velocidad mínima del viento para girar: 19 Km/hr (5 m/s)
- Velocidad para máximo rendimiento: 40 a 48 Km/hr (11 a 13 m/s)
- Velocidad máxima de funcionamiento: 100 Km/hr (28 m/s)

En los cálculos eólicos (industria eólica) se utiliza como densidad del aire seco a la presión atmosférica sobre el nivel del mar a 15° C, esto es, $\rho = 1.225 \text{ Kg/m}^3$

Potencia de la turbina

La fracción de energía del viento que una turbina convierte en la práctica en energía mecánica de rotación se llama *coeficiente de potencia* (C_p), por tanto, la potencia de la turbina es,

$$P_{turbina} = C_p * Potencia\ del\ viento$$

$$P_{turbina} = C_p * \frac{1}{2} \rho A v^3$$

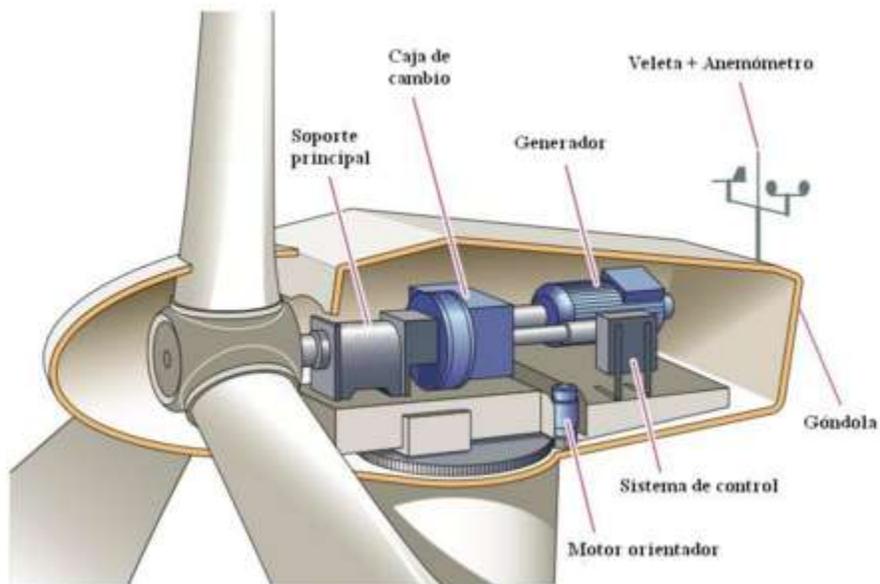
El máximo coeficiente con que puede trabajar una turbina se llama *Límite de Betz* y es igual al 59.3%.

Además de este límite de Betz se debe tener en cuenta el rendimiento de los diferentes mecanismos que componen el aerogenerador, de la siguiente forma:

Rendimiento de Betz	59.3%
Rendimiento de la hélice.....	85%
Rendimiento del multiplicador.....	98%
Rendimiento del alternador.....	95%
Rendimiento del transformador.....	98%

En resumen, se obtiene un rendimiento global de la instalación del orden del 46%.

Componentes de un aerogenerador



Aerogeneradores de eje vertical



Los aerogeneradores de eje vertical no son afectados por la dirección del viento. Esto es útil en áreas donde el viento cambia de dirección rápidamente y constantemente.

A diferencia de aerogeneradores tradicionales de eje horizontal, no se necesita ningún mecanismo para alinear el aerogenerador con el viento.

Los aerogeneradores de eje vertical tienen mejor desempeño que los de eje horizontal en lugares donde una torre alta no es viable, donde hay obstáculos cerca o donde el viento tiende a ser turbulento.

Los aerogeneradores de eje vertical aprovechan más el viento turbulento alrededor de edificios y otros obstáculos; situaciones comunes en el mundo. Los aerogeneradores de eje vertical son ideales para aplicaciones rurales y urbanas incluyendo instalaciones sobre tejados. Dependiendo en la forma del tejado, el flujo del viento se puede concentrar, permitiendo mejor producción de energía.

Aerogeneradores de eje horizontal



Son los aerogeneradores más comunes que existen, y que son los primeros que existieron, funcionan con una tecnología más revisada y probada, y por tanto podemos decir que son en la mayoría de los casos algo más fiables. Este tipo de aerogenerador tiene que orientarse con la dirección del viento para que las palas del ventilador recojan la máxima cantidad de viento y así optimizar su producción eléctrica, aunque este proceso de orientación lo hacen de forma totalmente automática mediante el uso de una aleta de cola fija. Este tipo de aerogeneradores produce algo de ruido, debido más que nada al ruido aerodinámico por la alta velocidad que se consigue en las puntas de las palas, pero también es debido al tipo de pala, ya que hace más ruido una pala a la que le cueste más penetrar en el aire.

BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

CREUS Antonio. Energías renovables, Ediciones de la U. 2014

ROLDÁN José. Energías renovables. Paraninfo. 2013

BERMUDEZ, V. Tecnología energética. Universidad Politécnica de Valencia. España, 2000.

RAU Hans. Energía solar. Marcombo. 1991

http://www.upme.gov.co/Atlas_Radiacion.htm

www.uco.es/~fa1lolur/Docureno/Radiacion.pdf

