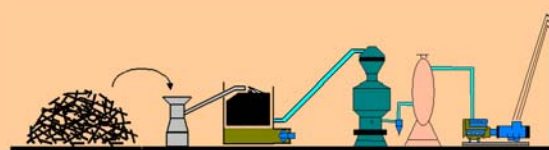
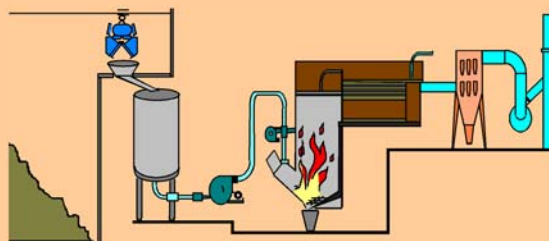
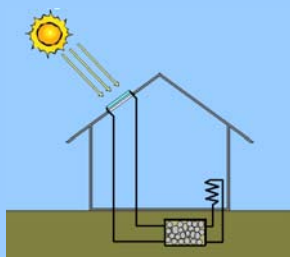
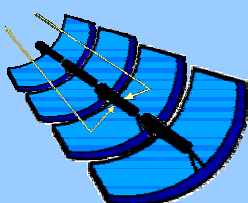


GUÍA DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES APLICADAS A LAS PYMES



GUÍA DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES APLICADAS A LAS PYMES



Autores:

Ángel Antonio Bayod Rújula
Fernando Sebastián Nogués
Igancio Zabalza Bribián
Jesús Sallán Arasanz
José Alfonso Aranda Usón
José Francisco Sanz Osorio
Javier Royo Herrero
David Gimeno Ariella

Coordinador:

José Francisco Sanz Osorio



Indice

1. Energía eólica.....	3
2. Energía hidroeléctrica.....	17
3. Energía solar.....	36
Energía fotovoltaica.....	38
Energía solar térmica.....	56
Energía solar pasiva.....	77
4. Biomasa.....	84
5. Ventajas e inconvenientes de las energías renovables.....	98
6. Legislación.....	104
7. Direcciones de interés.....	107



1.

ENERGÍA EÓLICA

1. ¿Qué es la energía eólica?

La energía eólica, como la mayoría de las energías renovables, tiene su origen en la radiación que alcanza nuestro planeta procedente del Sol. En concreto, entre el uno y el dos por ciento de la energía solar que llega a la Tierra se convierte en energía eólica, lo que supone entre 50 y 100 veces más de la energía que transforman en biomasa todas las plantas del planeta.



La energía eólica se genera debido a que no todas las partes del planeta se calientan de igual modo, lo cual genera diferencias de presión en la atmósfera. A ese fenómeno se une el efecto del movimiento de rotación terrestre a escala global y los factores geográficos y climáticos locales.

Una característica fundamental de ese tipo de energía es su gran aleatoriedad, por lo que resulta complicado estimar la cantidad de energía eólica de la que vamos a disponer en un intervalo determinado de tiempo. Además, presenta una gran variación local, superior a la de la energía solar, por lo que dos vecinos, que muy probablemente tendrán el mismo potencial solar, pueden tener un recurso eólico muy diferente si uno de ellos está en una zona más propicia, más elevada o mejor orientada respecto a la dirección principal del viento.

Un poco de historia

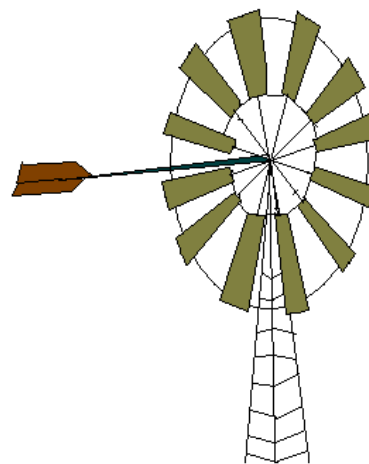
La energía eólica ha sido utilizada por los hombres desde hace muchos años. La primera aplicación que se conoce es la impulsión de barcos de vela, presente en grabados egipcios del quinto milenio antes de Cristo. Sin embargo, el carácter altamente irregular de la energía eólica hizo que su aplicación en sistemas de extracción de energía mecánica fuese bastante posterior. Las primeras referencias son de molinos utilizados para riego en el siglo VII antes de Cristo en Persia. Estos molinos eran muy sencillos y consistían únicamente en unas velas verticales unidas a un eje también vertical. Presentaban una eficiencia muy baja, pero fueron utilizados durante mucho tiempo.



También en China se utilizaban molinos de eje vertical para el bombeo de agua y su origen puede incluso ser anterior al de los molinos persas.

Los primeros molinos de eje horizontal construidos en Europa datan del siglo XIII, y en el siglo XV se utilizaron en Holanda para bombeo. En el siglo XVII se introdujeron los sistemas de control de potencia y de orientación, uno de los principales problemas en este tipo de máquinas.

Durante el siglo diecinueve se desarrollaron en Estados Unidos molinos multipala para bombeo, caracterizados por su robustez y facilidad de reparación, lo que los hizo muy populares y permitió que se fabricasen más de seis millones de unidades.



El comienzo de la utilización de los molinos de viento para generar energía eléctrica se produjo a finales del siglo diecinueve, a partir del trabajo del profesor Lacour en Dinamarca. Diseñó un aerogenerador de 25 metros de diámetro que podía generar un máximo de 25 kilovatios, del cual se fabricaron más de 120 unidades.

A principio del siglo veinte se produjo una revolución en el campo de la energía eólica debido a dos innovaciones: la aplicación de perfiles aerodinámicos al diseño de las palas de los aerogeneradores a partir de 1927, y la aparición de los sistemas que presentaban un paso de pala variable, es decir, que permitían regular la potencia captada modificando el ángulo de incidencia del viento sobre las palas.

El último “empujón” para el desarrollo de la energía eólica se produjo tras la crisis del petróleo en 1973, cuando el encarecimiento del crudo estimuló el estudio de fuentes de energía alternativas. Se crearon mapas eólicos que permitieron cuantificar el potencial eólico disponible y se desarrollaron nuevas máquinas de potencia elevada (hasta 3,2 MW).

En la actualidad existe una industria eólica muy avanzada, y pueden encontrarse aerogeneradores de muy diversos tipos: de paso fijo o variable, de velocidad fija o variable, de pequeña potencia para aplicaciones residenciales o de potencia elevada para generación de energía eléctrica a gran escala, etc.

2. ¿Cuánta energía eólica se puede obtener?



La energía eólica es la energía cinética que posee una masa de aire que se encuentra en movimiento.

Por lo tanto, la variable básica de la que debemos partir para estimar el potencial eólico de un determinado emplazamiento, es la velocidad del aire en ese punto. En este apartado vamos a estudiar como se mide la velocidad de viento y como se calcula la energía disponible a partir de esas medidas.

¿Cómo se mide la velocidad del viento?

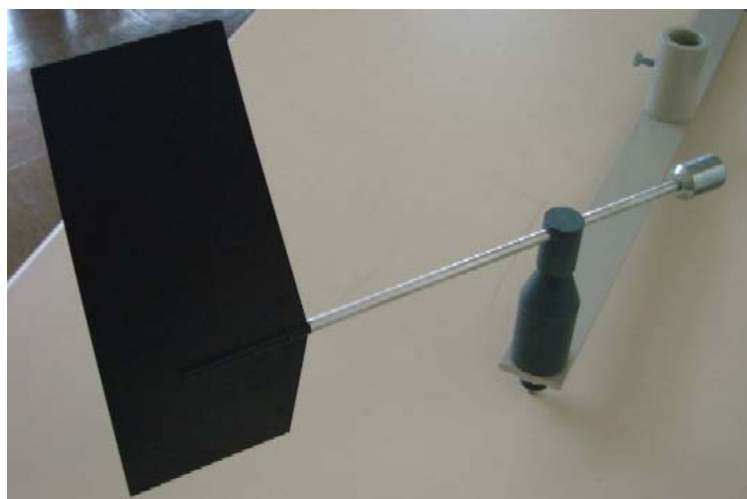
En la mayoría de los casos, la velocidad de viento se mide mediante:

- ➔ Un **anemómetro**, que mide su magnitud. Existen varios tipos:
- Anemómetro ultrasónico
 - Anemómetro de láser
 - Anemómetro de hélice
 - Anemómetro de cazoleta. Es el más utilizado.

El principio de funcionamiento del **anemómetro de cazoleta** es muy sencillo. Se unen a un eje un determinado número de cazoletas (normalmente tres), de tal modo que la incidencia del viento sobre ellas hace que el anemómetro gire a una velocidad proporcional a la velocidad de viento. Posteriormente, esta velocidad de giro es transformada en una señal eléctrica mediante un generador que produce una tensión proporcional a la velocidad de giro o un encoder que genera una secuencia de pulsos de frecuencia proporcional a la velocidad de giro.

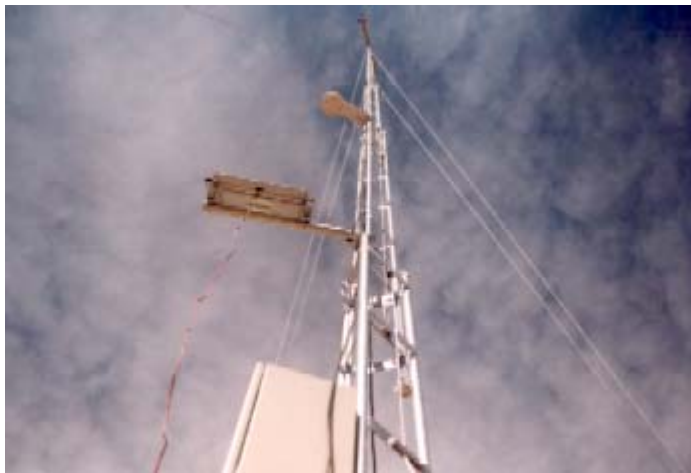


- ➔ Una **veleta** que nos informa sobre su dirección. El funcionamiento de la **veleta** es todavía más sencillo. La veleta está formada por un elemento móvil que puede girar libremente para orientarse en la dirección del viento, y un transductor que permite traducir esa posición a una señal eléctrica. Normalmente este transductor es simplemente un potenciómetro que, cuando se alimenta con una fuente de tensión fija, nos da una tensión de salida proporcional a la posición de la veleta.



Una medida precisa de la velocidad del viento es fundamental para estimar correctamente el potencial eólico de una determinada localización ya que, como veremos más adelante, la energía disponible depende del cubo de la velocidad, por lo que errores pequeños en la medida pueden causar grandes errores en la estimación energética.

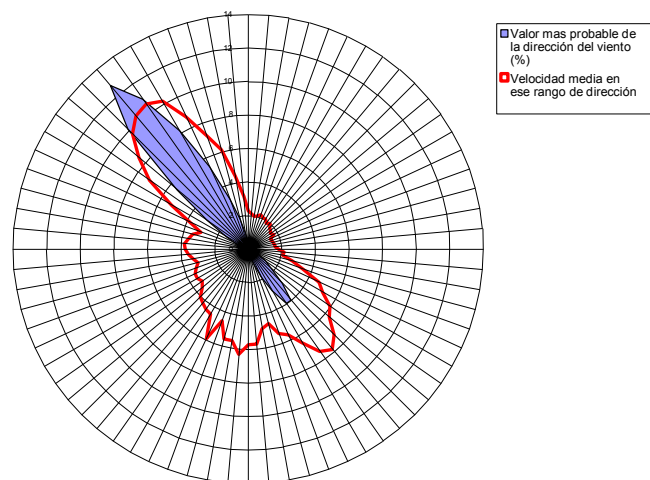
Una vez se dispone de las medidas de velocidad de viento, se requiere un sistema que permita su almacenamiento durante periodos de tiempo prolongados. Dicho sistema se conoce como “data-logger” y además de almacenar los datos correspondientes a la velocidad de viento, suele registrar también otros parámetros meteorológicos, como la presión, humedad, radiación solar, etc.

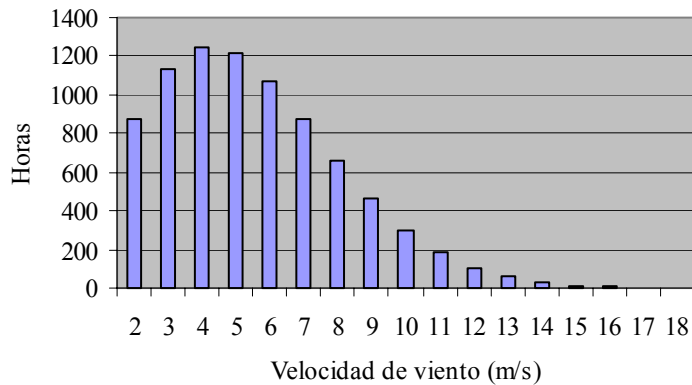


Estos instrumentos de medida se colocan en una torre, que puede ser fija o móvil, y en cuya base se instala el sistema para el almacenamiento de datos.

Con los datos de velocidad se determina la rosa de vientos, que recoge la velocidad media en cada dirección y su probabilidad.

En esta figura se representan en una sola gráfica dos rosas de viento. La azul indica la probabilidad de que el viento sople en una determinada dirección. En ella vemos que la dirección más probable en ese emplazamiento es la noroeste. La roja nos indica la velocidad media de viento en cada una de las direcciones. Podemos observar que, en este caso, la dirección de máxima velocidad media coincide con la que se da más frecuentemente, la dirección noroeste.





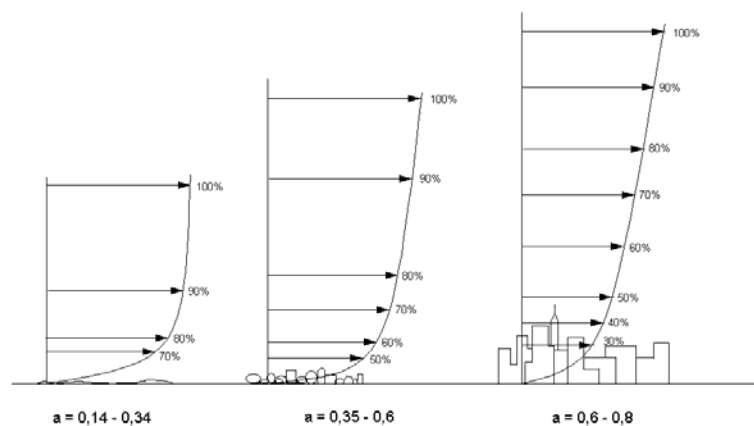
Además, con las medidas de velocidad podemos determinar cual es la distribución de velocidades de viento en un emplazamiento, es decir, el número de horas al año que vamos a tener una determinada velocidad de viento. Estos datos pueden agruparse para obtener un gráfico de barras como el que se muestra en la figura.

Como veremos más adelante, esta gráfica nos resultará muy útil a la hora de estimar la energía que podemos obtener.

¿Cómo varía la velocidad de viento con la altura?

La velocidad de viento no se mantiene constante a medida que nos desplazamos verticalmente dado que cuando nos acercamos al suelo, la velocidad se reduce debido al rozamiento. Por tanto, lo ideal sería realizar la medida de velocidad a la misma altura a la que se va a colocar la turbina, pero esto no suele ser lo más habitual. Lo que se suele hacer es tomar las medidas a una altura normalizada y luego extrapolar a la altura de la turbina.

En el método utilizado para realizar esta extrapolación se supone que el viento sigue una evolución exponencial con la altura, es decir:

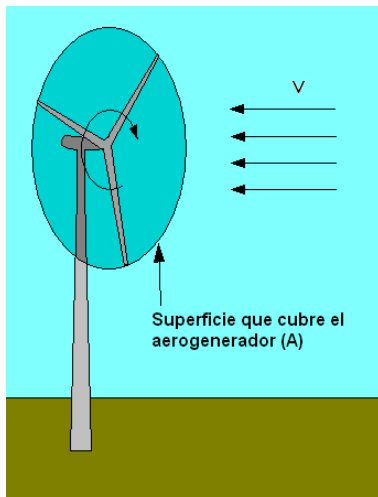


$$v_h = v_0 \cdot (h/h_0)^a$$

v_h velocidad a la altura h
 v_0 velocidad a la altura conocida h_0
 a coeficiente de rugosidad del terreno

El coeficiente de rugosidad a suele variar entre 0,1 y 0,3.

¿Cuanta potencia puedo producir?



La ecuación básica que nos indica la energía cinética que posee un móvil de masa, viene dada por la expresión:

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2$$

E_c	Energía cinética
m	masa de aire móvil
v	velocidad de la masa de aire

En el caso que nos ocupa, no deseamos calcular la energía cinética de un objeto, sino de un flujo de aire que atraviesa la superficie que cubre un aerogenerador. La potencia disponible en el aire es:

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


P	potencia disponible en el aire
A	superficie que cubre el aerogenerador
v	velocidad del viento
ρ	densidad del aire 1,225 kg/m ³

Una turbina eólica nunca va a ser capaz de extraer toda esta energía, por lo que es interesante disponer de un factor que nos indique la eficiencia de una determinada máquina. Ese factor es el coeficiente de potencia C_p , que mide la relación entre la energía captada y la disponible. Es decir:

$$C_p = \frac{\text{Energía captada}}{\frac{\rho \cdot A \cdot v^3}{2}}$$

C_p	Coficiente de potencia
P	potencia disponible en el aire
A	superficie que cubre el aerogenerador
v	velocidad del viento
ρ	densidad del aire 1,225 kg/m ³

Se ha obtenido de forma teórica el máximo valor que puede obtener este coeficiente que se denomina límite de Betz y el de 0,5926.



EJEMPLO:

Disponemos de una turbina eólica de dos metros de diámetro, con su eje situado a una altura de 10 metros. En un instante determinado, la velocidad de viento, medida a una altura de 5 metros, es de 6 metros por segundo. Si para esas condiciones la turbina presenta un coeficiente de potencia de 0,35, ¿cuál es la potencia captada? Suponer un coeficiente de rugosidad de 0,2.

Para calcular la potencia extraída, necesitaremos conocer la potencia total del flujo de aire, y para ello necesitamos la velocidad de viento a 10 m.

Aplicando la fórmula que nos indica la variación de velocidad con la altura, tendremos:

$$v_{10} = v_5 (10/5)^{0.2} = 6 \cdot 2^{0.2} = 6,89 \text{ m/s}$$

El área barrida por las palas es :

$$A = \pi \cdot d^2/4 = 3,14 \text{ m}^2$$

La potencia total será:

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 = \frac{1}{2} \cdot 1,225 \cdot 3,14 \cdot 6,89^3 = 629,06 \text{ W}$$

Por último, la potencia extraída será el producto de la potencia total por el coeficiente de potencia

$$P_{\text{extraída}} = C_p P = 0,35 \cdot 629,06 = 220,17 \text{ W}$$

3. ¿Cómo se transforma la energía del viento? Máquinas eólicas.

En este punto vamos a describir la constitución y el funcionamiento de una máquina eólica. Aunque todas ellas tienen elementos comunes, existen diferencias en función de la aplicación a que están destinadas. Por ello vamos a considerar tres tipos de máquina eólicas:

3.1. Grandes generadores.

Son los aerogeneradores destinados a la producción de energía eléctrica a gran escala. Son máquinas de cientos de kilovatios de potencia nominal (actualmente la mayoría de las máquinas que se instalan presentan potencias nominales entre 600 y 900 kW)

Estas máquinas suelen agruparse en parque eólicos, que pueden observarse en distintas zonas de nuestra Comunidad Autónoma.



El aerogenerador está compuesto por tres partes bien diferenciadas:

➔ **Torre.** Es la estructura que soporta el aerogenerador y se realiza en acero. Se construye en varias secciones para facilitar su transporte, ya que su altura, para un aerogenerador de 600 kW, puede estar en torno a los 50 metros. Las distintas secciones se unen mediante tornillos, y en la superior pueden introducirse depósitos de arena para reducir las vibraciones. En el interior de la torre suelen situarse otros elementos del aerogenerador, como el sistema de control o el centro de transformación.



➔ **Turbina eólica.** Es la parte del aerogenerador que se encarga de captar la energía cinética del viento y transformarla en energía mecánica en su eje. En este tipo de máquinas, el número de palas suele ser tres, debido al compromiso existente entre su coste y el equilibrio de fuerzas en el eje. Se fabrica en políester reforzado con fibra de carbono y puede ser de paso fijo o variable, dependiendo de si se desea variar el ángulo que forman las palas con el viento o no.

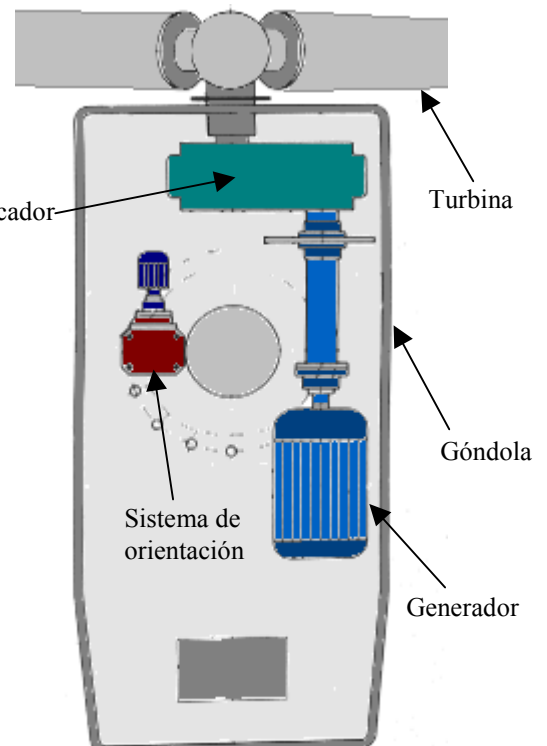


➔ **Góndola.** Es la parte superior del aerogenerador, donde se coloca el resto de elementos que lo componen, como el multiplicador, el generador o el sistema de orientación.

- El **multiplicador** se encarga de elevar la velocidad de giro del sistema, desde la velocidad de la turbina (20-30 rpm) a la velocidad del generador (1000-1500 rpm). En la actualidad existen algunos aerogeneradores provistos de un generador

de baja velocidad, en los que no es necesario utilizar este elemento.

- El **generador** es el elemento que se encarga de transformar la energía mecánica en energía eléctrica. En la



actualidad se utilizan fundamentalmente tres tipos de generadores:

- **Generador asíncrono de jaula de ardilla.** Es el generador más sencillo, barato y robusto, pero presenta problemas en su funcionamiento a velocidad variable.
 - **Generador asíncrono de rotor bobinado.** Es más caro que el anterior, pero su funcionamiento a velocidad variable es más sencillo.
 - **Generador síncrono de imanes permanentes.** Se utiliza casi exclusivamente en sistemas de generación a velocidad variable que no incluyen multiplicador.
- El **sistema de orientación** se encarga de mantener a la turbina en posición perpendicular a la dirección del viento. Suelen utilizarse motores hidráulicos accionados por un autómatas que recibe la información de la dirección del viento a partir de una veleta situada en la parte superior de la góndola.

3.2. Pequeños generadores.

Estos generadores tienen como objetivo abastecer de energía eléctrica a viviendas, granjas o pequeños núcleos rurales alejados de la red de suministro eléctrico. La potencia de estas máquinas suele variar entre 100 W y 10 kW.

Estos aerogeneradores son mucho más sencillos que los descritos anteriormente para sistemas de generación a gran escala. Sus características fundamentales son:

- La turbina puede tener dos o tres palas realizadas en fibra de vidrio y carbono.
- El generador es de imanes permanentes y está acoplado directamente a la turbina (no se utiliza multiplicador)
- El sistema de orientación suele consistir en una cola tal y como la que se ve en la figura.
- La salida del sistema puede ser en corriente continua o alterna, dependiendo del sistema al que se desee abastecer.
- La torre puede ser tubular o de celosía.



3.3. Máquinas de bombeo.

En este tipo de máquinas no se realiza una conversión a energía eléctrica, sino que la energía mecánica es utilizada directamente para impulsar agua.

El bombeo de agua fue una de las primeras aplicaciones de la energía eólica, y sigue utilizándose en la actualidad.

Existen dos posibilidades:

- Utilizar un pequeño aerogenerador de los que hemos descrito en el punto anterior y, con la energía eléctrica obtenida, alimentar una bomba eléctrica.
- Aprovechar directamente la energía mecánica de la turbina para mover la bomba. Las máquinas de este tipo más conocidas son los molinos lentos multipala como el que se muestra en la figura. En este tipo de molinos, la turbina impulsa directamente una bomba de pistón.



Lo primero que debemos hacer para diseñar una instalación de este tipo es estimar cual es nuestra necesidad de agua. Para ello se puede utilizar la siguiente tabla.

Suministro	Litros/día
Persona	400
Caballo	50
Cerdo	15
Oveja	8
Vaca lechera	135
Vaca común	60
Gallina	0,25

Una vez determinado el caudal de agua, podemos calcular la capacidad de bombeo requerida. Para ello se divide el caudal por un factor variable entre 4 y 5, en función de las características de viento de la zona (entre 4 y 5 horas equivalentes de funcionamiento). Esta capacidad de bombeo nos indicará el tamaño de la bomba que debemos utilizar.

Además del caudal, debemos conocer la altura a la que deseamos bombear el agua, para poder calcular la potencia requerida, y con ella la dimensión del molino. Por último, deberemos definir la altura de la torre, que en el caso de instalaciones pequeñas, suele ser de 4,5 metros por encima de los obstáculos que se encuentren en un radio de 120 metros.

4. ¿Cómo se aprovecha la energía del viento?

En este apartado vamos a analizar la forma en que se aprovecha la energía eléctrica producida por los aerogeneradores que hemos descrito en el apartado anterior, distinguiendo entre los sistemas que están conectado a la red de transporte de energía eléctrica (normalmente los grandes generadores) y los aislados (normalmente pequeños generadores).

4.1. Sistemas conectados a red

Como hemos indicado, los sistemas conectados a red corresponden generalmente a grandes generadores destinados a la producción de energía a gran escala para su venta a las compañías eléctricas. En estos sistemas no es necesario disponer de un sistema de almacenamiento ya que toda la energía que se genera, se envía a la red de transporte.

Sin embargo, existe una limitación en la cantidad de potencia eólica que se puede conectar a una red, debido principalmente a dos factores:

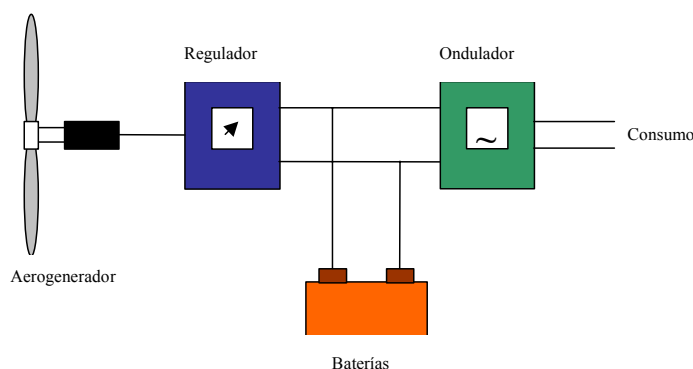
- **Variabilidad.** Una de las características fundamentales de la energía eólica es su gran variabilidad y la dificultad de predecir la potencia que un parque eólico va a poder inyectar a la red en un momento determinado.
- **Tipo de generador.** En la actualidad, la mayoría de los aerogeneradores utilizan máquinas asíncronas, que no pueden fijar la frecuencia de red.

Por estos dos motivos, la máxima potencia eólica que se puede conectar en un punto es el 5% de la potencia de cortocircuito.

4.2. Sistemas aislados

La principal diferencia entre un sistema conectado a red y uno aislado es que este último necesita un sistema de almacenamiento de energía, para adaptar la generación de la energía al consumo.

El esquema general de una instalación eólica aislada es el mostrado en el siguiente esquema.



La salida del aerogenerador se lleva a un regulador que se encarga de extraer la energía del molino y controlar la carga de las baterías. A continuación, si se desea alimentar aparatos convencionales, es necesario utilizar un ondulador que transforme la tensión continua en tensión alterna de 220 V, 50 Hz. Este sistema puede recibir energía procedente de otras fuentes renovables, como paneles solares.

5. ¿Qué instalación me interesa?. Ejemplos.

5.1. Pequeño aerogenerador

En este punto vamos a analizar como podemos estimar la energía que vamos a obtener mediante un aerogenerador, para ver si puede satisfacer nuestras necesidades.

Para poder calcular esta energía, debemos partir de dos datos:

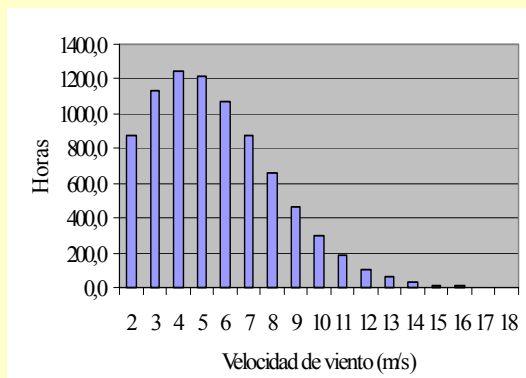
- **Distribución de velocidad de viento en el emplazamiento.** Como hemos visto anteriormente, esta distribución nos indica el número de horas en las que tenemos una determinada velocidad de viento.
- **Curva de potencia del aerogenerador.** Esta es una curva que proporciona el fabricante y que indica la potencia generada para cada velocidad de viento.

Una vez disponemos de esos dos datos, para calcular la producción de energía a lo largo de un año, lo único que tenemos que hacer es multiplicar la potencia obtenida a cada velocidad por el número de horas anuales que tenemos esa velocidad y sumar los resultados.

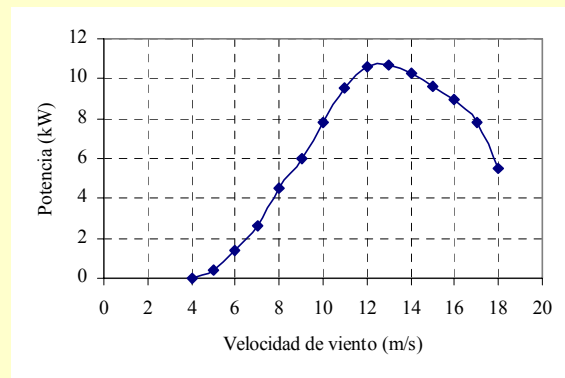


EJEMPLO:

Supongamos que tenemos una localización que presenta la distribución de viento que se muestra en la figura y vamos a instalar un aerogenerador de 10 kW de potencia nominal, que presenta una curva de potencia



Distribución de viento



Curva de potencia del aerogenerador

Si queremos estimar la energía total que obtendremos en un año, debemos hacer los cálculos que se reflejan en la siguiente tabla.

Viento (m/s)	Potencia (kW)	Horas	Producción (kWh)
2	0	871,0	0,0
3	0	1.137,0	0,0
4	0	1.248,2	0,0
5	0,45	1.215,1	546,8
6	1,4	1.074,2	1.503,9
7	2,67	873,4	2.331,9
8	4,5	658,0	2.961,1
9	6	461,6	2.769,9
10	7,8	302,6	2.360,2
11	9,5	185,7	1.764,6
12	10,6	107,0	1.133,8
13	10,7	57,9	619,1
14	10,3	29,4	303,2
15	9,6	14,1	135,3

Viento (m/s)	Potencia (kW)	Horas	Producción (kWh)
16	9	6,4	57,2
17	7,8	2,7	21,1
18	5,5	1,1	5,9
TOTAL			16514,0

Vemos que con el aerogenerador de 10 kW podemos generar 16.514 kWh, energía suficiente para abastecer entre siete y diez casas.

Según la tabla de costes de la siguiente página, la instalación estudiada costaría unos 32.000 euros

¿Cuál sería el coste de la instalación?

Para poder calcular el coste de la instalación, vamos a suponer que se trata de una instalación aislada en la cual necesitaremos, además del aerogenerador, un regulador, unas baterías, y un ondulador.

Los precios orientativos de distintos aerogeneradores se muestran en la siguiente tabla:

Potencia aerogenerador (W)	Precio Aerogenerador + regulador (Euros)	Precio Baterías (Euros)	Precio ondulador (Euros)
250	1.800	1.200	800
600	2.200	1.900	1.200
1.500	3.300	3.500	4.000
3.000	5.200	4.500	5.500
6.000	9.000	6.100	4.600
10.000	15.000	9.000	8.000



EJEMPLO:

En este caso vamos a realizar el cálculo al revés que en el ejemplo anterior. Vamos a estimar el consumo de energía eléctrica de una granja a partir de cual determinaremos la instalación adecuada.

En concreto, se trata de una granja de pollos con los siguientes consumos

Dispositivo	Número	Consumo unitario (W)	Horas diarias de funcionamiento	Energía consumida (Wh/día)
Fluorescentes	10	40	4	1.600
Extractores	1	600	3	1.800
Alimentador comedero	2	300	2,5	1.500
Sinfín	1	750	2,5	1.850
Bebedero	1	500	4	2.000
Total				8.750

Si suponemos que en el emplazamiento del molino disponemos de 3 horas equivalentes de viento al día (es decir, la energía media captada en un día es 3 multiplicado por la potencia nominal del generador), necesitaremos un aerogenerador de:

$$P_{\text{nom}} = \frac{8750}{3} = 2.917 \text{ W}$$

Por tanto, entre los aerogeneradores que se muestran en la tabla de costes, elegiríamos el de 3.000 W.

$$\text{Coste} = 5.200 + 4.500 + 5.500 = 15.200 \text{ euros} = 2.529.067 \text{ pesetas}$$

5.2. Instalación de bombeo



EJEMPLO:

Diseñar la instalación de bombeo que se necesita para abastecer una granja en la que tenemos diez caballos (50l/día) y treinta vacas lecheras (135 l/día). El agua se encuentra a una profundidad de veinte metros y la entrada de agua al depósito se encuentra a tres metros sobre el suelo.

El fabricante nos suministra la siguiente tabla:

Diámetro de la bomba (cm)	Capacidad requerida (l/hora)	Altura de bombeo			
		Diámetro del molino			
		1,8 m	2,4 m	3 m	3,6 m
5.5	650	21	32	50	73
6	800	18	26	41	61
7	1.000	16	24	35	52
7.5	1.150	15	20	30	45

Las necesidades de agua serán:

$$Q = 10 \cdot 50 + 30 \cdot 135 = 4.550 \text{ litros/día}$$

Si suponemos que tenemos cinco horas equivalentes de funcionamiento, el caudal de la bomba será de:

$$q = 4.550/5 = 910 \text{ litros/hora}$$

Si nos fijamos en la tabla, vemos que necesitamos una bomba de 7 centímetros de diámetro.

Por último, vamos a determinar el tamaño del molino. Para ello debemos tener en cuenta que la altura de bombeo es de veintitrés metros (veinte hasta el nivel del suelo más tres hasta la entrada del depósito)

Si acudimos a la tabla vemos que necesitamos un molino de 2,4 metros de diámetro.

Una aerobomba de este tamaño cuesta unos 2.600 euros, incluyendo una torre de 10 metros, a lo que habría que añadir unos 12 euros por metro de tubería.

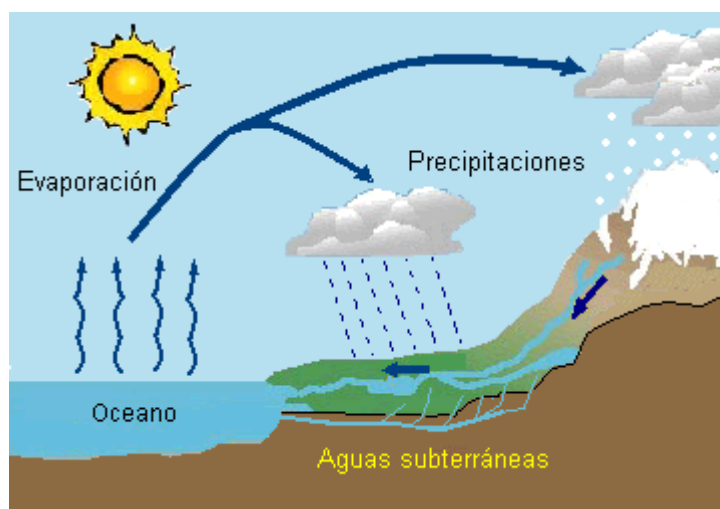
2.

ENERGÍA HIDROELÉCTRICA

1. Introducción

Los antiguos romanos y griegos aprovechaban ya la energía del agua; utilizaban ruedas hidráulicas para moler trigo. Sin embargo, la posibilidad de emplear esclavos y animales de carga retrasó su aplicación generalizada hasta el siglo XII. Durante la edad media, las grandes ruedas hidráulicas de madera desarrollaban una potencia máxima de cincuenta caballos

La energía hidroeléctrica tuvo mucha importancia durante la Revolución Industrial. Impulsó las industrias textil y del cuero y los talleres de construcción de máquinas a principios del siglo XIX. Aunque las máquinas de vapor ya estaban perfeccionadas, el carbón era escaso y la madera poco satisfactoria como combustible. La energía hidráulica ayudó al crecimiento de las nuevas ciudades industriales que se crearon en Europa y América hasta la construcción de canales a mediados del siglo XIX, que proporcionaron carbón a bajo precio.



Las presas y los canales eran necesarios para la instalación de ruedas hidráulicas sucesivas cuando el desnivel era mayor de cinco metros. La construcción de grandes presas de contención todavía no era posible; el bajo caudal de agua durante el verano y el otoño, unido a las heladas en invierno, obligaron a sustituir las ruedas hidráulicas por máquinas de vapor en cuanto se pudo disponer de carbón.

La primera central hidroeléctrica se construyó en 1880 en Northumberland, Gran Bretaña. El renacimiento de la energía hidráulica se produjo por el desarrollo del generador eléctrico, seguido del perfeccionamiento de la turbina hidráulica y debido al

aumento de la demanda de electricidad a principios del siglo XX. En 1920 las centrales hidroeléctricas generaban ya una parte importante de la producción total de electricidad.

2. La energía del agua



Las pequeñas centrales hidráulicas captan la energía cinética y potencial del agua convirtiéndolas en energía eléctrica.

El aprovechamiento de los recursos hidráulicos proporciona una energía eléctrica barata, limpia y fiable. Por otra parte, el impacto medioambiental de las minicentrales hidroeléctricas es mínimo si se busca su integración con el entorno.

La energía del agua es una manifestación más de la energía solar, el sol es el causante del ciclo hidrológico que se inicia con la evaporación del agua contenida en mares y lagos, de su transporte en forma de nubes y de la precipitación sobre la tierra en forma de agua, nieve o hielo.

El agua fluye entonces desde los lugares de mayor altura hacia las zonas bajas, la energía del agua en su descenso es captada por las centrales minihidráulicas y convertida en energía eléctrica.



La energía aprovechable depende de dos factores:

- la altura
- el volumen de agua que circula en m^3/sg .



3. ¿Cuanta energía puedo producir?



La energía que se puede generar en un salto de agua vendrá dado por el producto de la potencia del mismo y el tiempo que esté funcionando.

La potencia de un salto de agua se obtiene de una ecuación muy sencilla:

$P = 9,81 \cdot Q \cdot H \cdot \rho$	P	es la potencia en kW
	Q	es el caudal en m ³ /sg;
	H	es el salto útil en m.
	ρ	es el rendimiento en %, inicialmente se puede tomar un valor entre 0,85 y 0,9

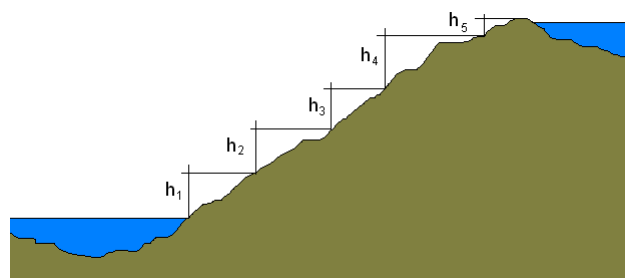
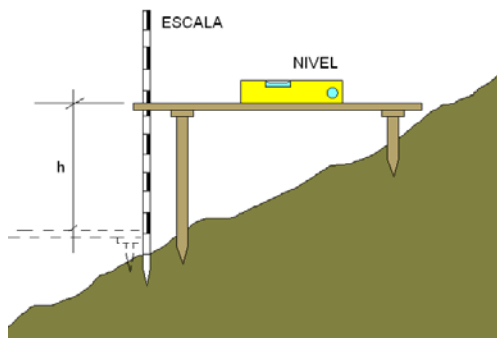
De lo anterior se deduce que es fundamental medir adecuadamente el salto y el caudal

¿Cómo mido el salto?

La medida del salto bruto no es tarea sencilla y depende mucho del nivel de potencia y de las características orográficas del terreno.

Se puede partir, como idea inicial, de las curvas de nivel obtenidas en los mapas de escala 1:25.000 del Ejército, aunque lo mejor y más fiable es realizar un levantamiento topográfico.

En los casos de poco desnivel y en terreno fácilmente accesible, mediante una regla graduada, una tabla y un nivel, se puede medir el salto bruto.



Por último, si el aprovechamiento dispone ya de una tubería, podrá conocerse el salto directamente mediante un manómetro con el agua detenida, teniendo en cuenta que 1 atmósfera equivale a 10 m de altura.

Una vez conocido el salto total del aprovechamiento, conviene descontar una cantidad debida a los rozamientos que sufre el agua desde la captación hasta la turbina. Como norma general se puede considerar una pérdida entre el 4 y el 10 % del total.

¿Cómo mido el caudal?



Conocer el caudal es crítico para la viabilidad de la central, cuantos más datos se disponga mejor.

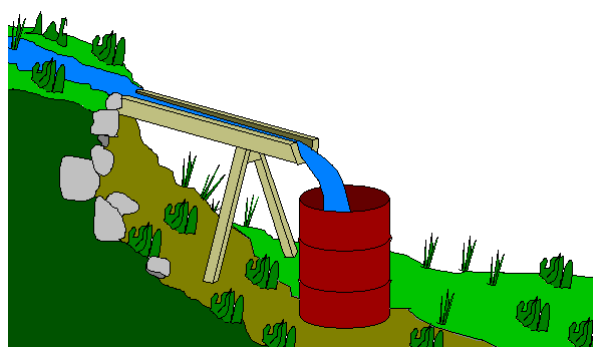
En primer lugar conviene dirigirse a la Confederación Hidrográfica del Ebro, por si hubiera alguna estación de aforo cercana al punto del aprovechamiento, información que es accesible mediante la página Web: WWW.chebro.es. En caso de no disponer de la información será necesario medir el caudal.

Para la medida del caudal existen múltiples métodos, cada uno adecuado a la orografía y volumen de agua que discurre.

Los métodos más sencillos son:

● **Método del llenado de un depósito:**

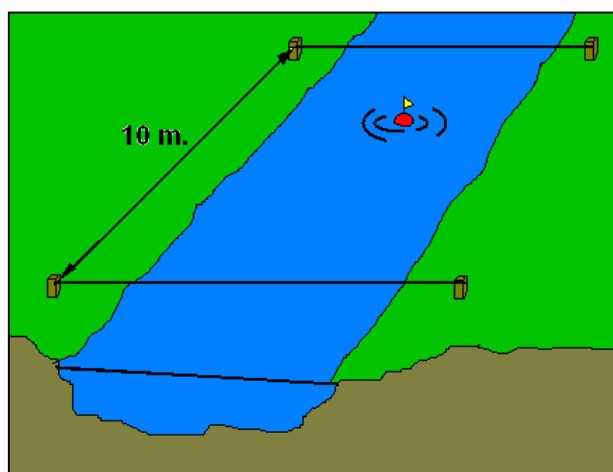
En arroyos pequeños con menos de 20 l/sg, se desvía el agua mediante una canaleta hacia un depósito de capacidad conocida y se cronometra el tiempo que tarda en llenarse. El caudal se obtiene de la siguiente operación.



$$Q(\text{m}^3/\text{s}) = \frac{\text{Volumen del deposito (litros)}}{\text{Tiempo de llenado(segundos)} \cdot 1000}$$

● **Método del flotador:** En los casos en que el nivel del agua tenga la profundidad suficiente y la velocidad del agua no sea excesiva, este método permite unos resultados bastante aproximados.

En primer lugar debe buscarse un tramo de unos 10 m de longitud en el que la sección sea lo más constante posible y medirla. A continuación se coloca un flotador en el centro de la corriente y se mide el tiempo que tarda en recorrer los 10 metros. El caudal se obtiene de:



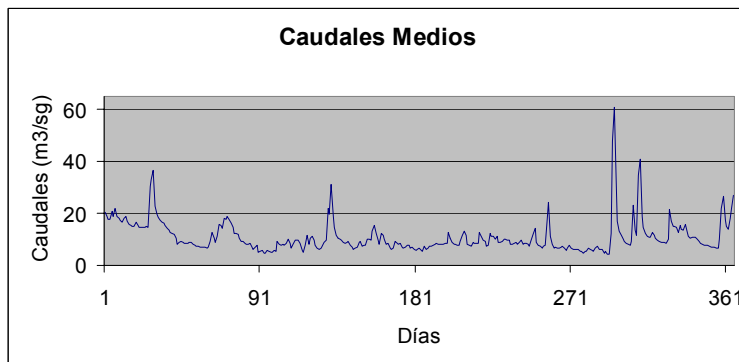
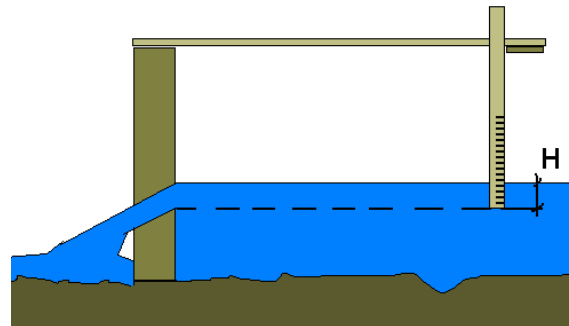
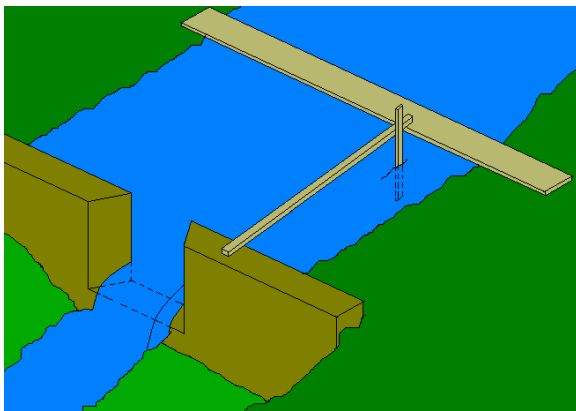
$$\text{Velocidad del flotador} = \frac{\text{Longitud del tramo (metros)}}{\text{Tiempo que tarda en recorrerlo (segundos)}}$$

$$Q(\text{m}^3/\text{s}) = \text{Area de la sección (m}^2) \cdot \text{Velocidad del flotador (m/s)} \cdot 0,75$$

Donde 0,75 es un factor que tiene en cuenta la diferencia de velocidades de agua en los diversos puntos de la sección analizada.

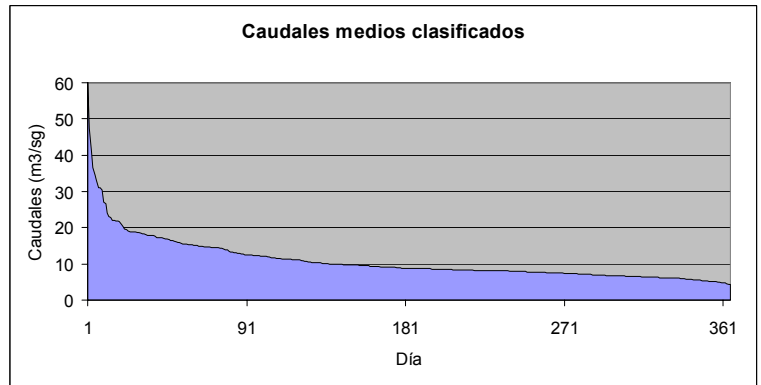
Otro método más exacto se obtiene sustituyendo el flotador por un molinete, que directamente permite conocer la velocidad del agua en m/sg. En este caso conviene realizar varias medidas en diversos puntos de la sección para obtener una velocidad media.

- Método del vertedero:** En arroyos con caudales superiores a los 25 litros por segundo, se puede utilizar un vertedero para determinar el caudal. Este método consiste en colocar una tabla de madera situada perpendicularmente al cauce, con una entalladura de forma que todo el caudal pase por dicha entalladura. Existen diferentes tipos de aliviaderos con distintos métodos para la medida de caudales, todos ellos están normalizados mediante las normas ISO.



La medida del caudal debe realizarse durante el mayor tiempo posible, de manera que se disponga de datos de por lo menos un año. El resultado será un conjunto de caudales cuya representación gráfica es la de la figura.

A continuación se organizan los datos de mayor a menor obteniendo la curva de caudales clasificados, como la que se observa en la figura.



¿Cuánta energía produzco?

Conocida la potencia del aprovechamiento, bastará multiplicarla por las horas de un determinado periodo durante las que va a funcionar la instalación para obtener la energía producida.

La energía producida será:

Si el caudal fuera constante durante un día

$$E_{1\text{día}} = 24 \cdot P \text{ (kWh/día)}$$

Si el caudal es constante durante un mes

$$E_{1\text{mes}} = 30 \cdot 24 \cdot P \text{ (kWh/mes)}$$

Y en un año:

$$E_{\text{anual}} = 8.736 \cdot P \text{ (kWh/año)}$$

4. Tipos de centrales

La clasificación básica se hace atendiendo a dos parámetros:

- Potencia instalada
- Forma de aprovechar el agua



Según la potencia instalada

- **Microcentrales:** con potencias inferiores a 100 kW.
- **Minicentrales:** con potencias entre 100 kW y 10 MW.
- **Centrales:** con potencias superiores a 10 MW.

➔ Según la forma en que aprovechan el agua:

- **Centrales de agua fluyente.** Son instalaciones que mediante un azud y una obra de toma en el cauce del río derivan una porción de agua que es devuelta al mismo tras ser turbinada.
O bien, son centrales directamente situadas en el mismo cauce del río que aumentan el salto de agua mediante un azud.
En ninguno de los dos casos existe la posibilidad de regular el caudal turbinado siendo éste dependiente del caudal del río.
- **Centrales de embalse.** Son la que utilizan lagos o embalses artificiales en los que se acumula el agua que posteriormente será turbinada por la central, situada en el pie de la presa, en función de las necesidades energéticas.
Dentro de éstas se encuentran las:
 - *Centrales de regulación:* capaces de almacenar grandes cantidades de agua para ser utilizada en épocas de bajos caudales o cubrir las necesidades energéticas de horas punta.
 - *Centrales de bombeo:* son instalaciones que elevan agua en momentos de baja demanda energética (horas valle) acumulándola en un embalse y turbinándola en momentos de elevada demanda energética (horas punta).
- **Centrales Mixtas.** Son centrales que disponen de una pequeña presa que cierra una garganta estrecha permitiendo aumentar la altura del salto sin inundar grandes superficies. El edificio de la central se halla situado lejos de la presa y recibe el agua de igual forma que lo hace una central de tipo fluyente.

5. ¿Qué elementos forman una central hidroeléctrica?

Según el tipo de central hidroeléctrica, dispondrá de unos u otros elementos. La clasificación se realiza básicamente en dos grupos:

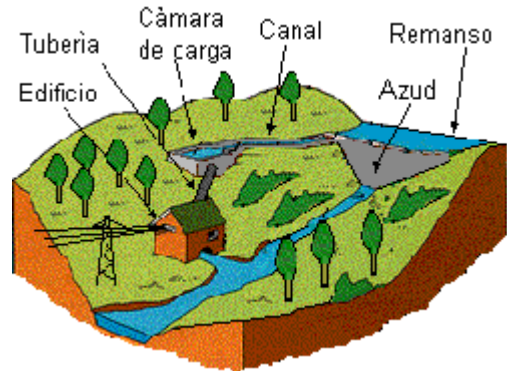
- Obra civil
- Equipamiento electromecánico

Obra civil

Los más habituales en pequeñas centrales son:

- **Azud:** Se trata de un muro transversal al cauce del río con el que se consigue un remanso y una pequeña elevación del nivel del agua.
- **Obra de toma:** Generalmente se trata de un ensanchamiento junto al azud de derivación que permite desviar el volumen de agua necesario hacia el canal o hacia la cámara de carga.

- **Canal:** Es una conducción a cielo abierto que lleva el agua desde la obra de toma hasta la Cámara de carga.
- **Cámara de carga:** es un pequeño depósito de donde parte la tubería, su misión es evitar que entre aire en la tubería
- **Tubería:** es un conducto por el que el agua circula a presión hacia la turbina, debe soportar altas presiones y generalmente se hace de acero o de PVC
- **Edificio:** es la casa de máquinas en la que se instala el equipamiento electromecánico para que se encuentre protegido.



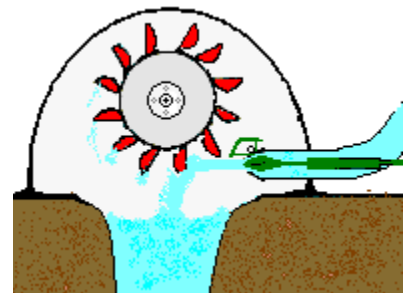
Además de estos elementos, normalmente se dispone de válvulas de cierre para permitir cerrar la entrada de agua hacia la turbina, rejas para impedir la entrada de cuerpos sólidos que puedan dañar la turbina, etc.

Equipamiento electromecánico

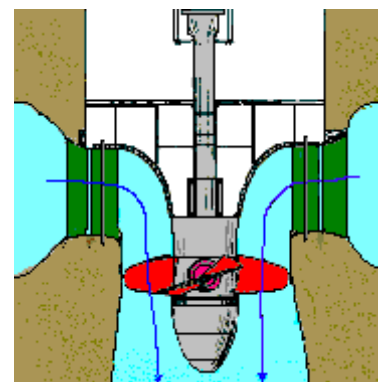
Básicamente está formado por los siguientes elementos:

- **Turbina hidráulica:** es una máquina rotativa que impulsada por el agua procedente de la tubería, convierte la energía que ésta lleva en energía mecánica de rotación. Está formada por una rueda en la que se disponen unos álabes, cangilones o palas. El agua se dirige hacia estos elementos, mediante un dispositivo móvil que permite controlar el caudal turbinado, adaptando de esta forma la potencia. Según como aprovechan la energía del agua se distinguen dos grupos de turbinas:

- **Turbinas de acción**, en las que el agua golpea a la parte móvil de la turbina produciendo su giro. Dentro de éstas están las turbinas Pelton, Turgo y Ossberger



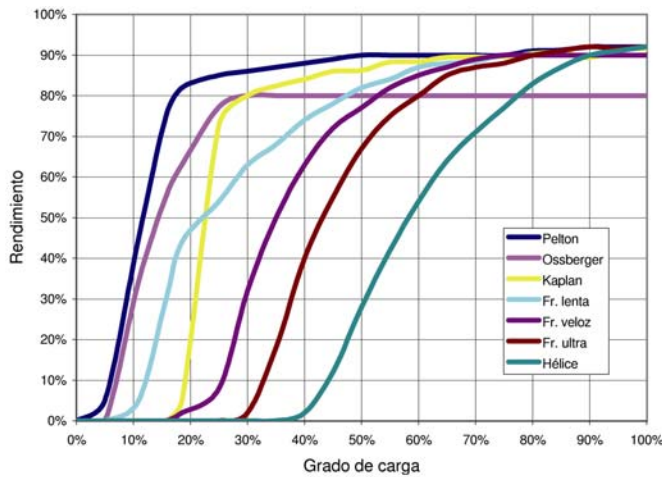
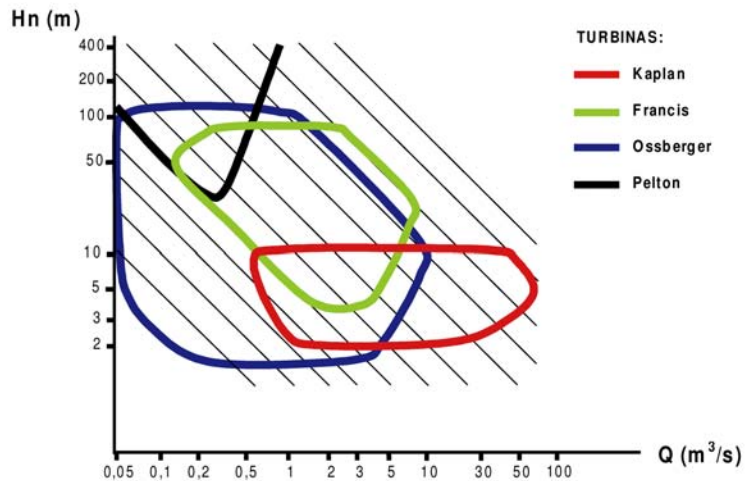
- **Turbinas de reacción**, que funcionan aprovechando la diferencia de presión del agua cuando pasa por ellas. Aquí se sitúan las turbinas Francis, Hélice, Semikaplan y Kaplan.



¿Cómo seleccionar la turbina adecuada?

Como primera aproximación, es suficiente con conocer el caudal y el salto del aprovechamiento, con estos dos parámetros y en la gráfica siguiente, se obtendrá la turbina más adecuada a nuestras necesidades.

A modo de ejemplo, en una instalación con $15 \text{ m}^3/\text{sg}$ y 5 m de salto se deberá instalar una turbina Kaplan.



Otro aspecto a considerar es la variación del rendimiento con el caudal, variación que se refleja en la siguiente gráfica.

- **Multiplicador:** Dado que el generador es más barato cuanto más rápido sea, se utiliza un multiplicador. El multiplicador es una caja de engranajes que adecua la velocidad de la turbina a la velocidad del generador. Cuando sea posible, el multiplicador debe ser eliminado.

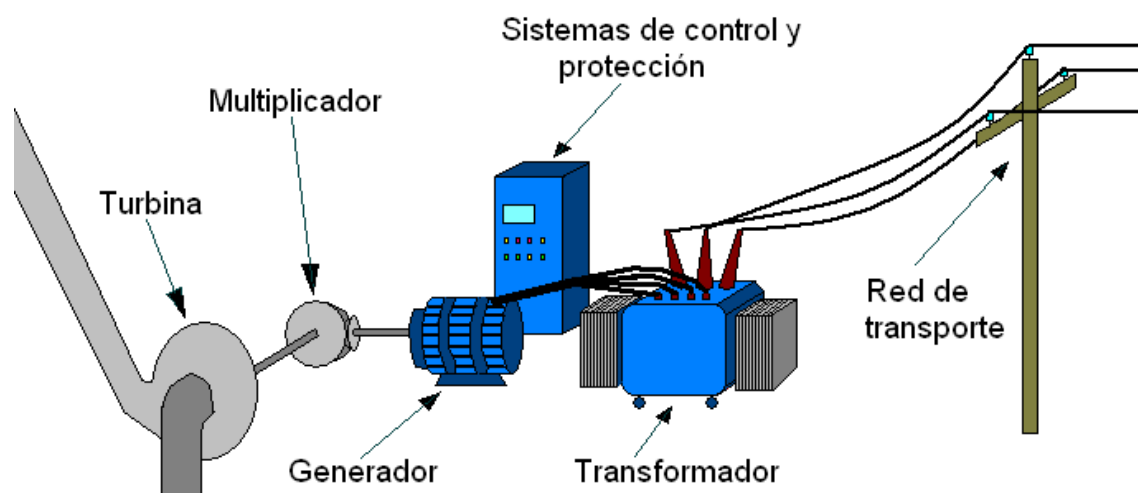
- **Generador:** Es una máquina eléctrica que transforma la energía mecánica producida por la turbina en energía eléctrica. Existen dos tipos de generadores:

- **Asíncronos:** son más baratos y sencillos, pero se hallan limitados por las condiciones de la red eléctrica
- **Síncronos:** son más caros y complejos, pero la energía que entregan es de mayor calidad por lo que no existen problemas en su uso.



- **Transformador:** Es una máquina eléctrica que recibe la energía del generador y la adecua a las características de la red de transporte.

- **Red de transporte:** es la encargada de transmitir la energía eléctrica desde la central hidroeléctrica hasta la red de la compañía a la que se vende.
- **Sistemas de control y protección:** Todos los elementos anteriores van acompañados de elementos que se encargan de controlarlos, tanto para la puesta en marcha, como para el funcionamiento en régimen normal y para la parada. Así mismo, existen dispositivos de protección para evitar que los diferentes elementos puedan sufrir daños ante perturbaciones.



6. ¿Cómo aprovecho la energía?

Una vez conocido los datos básicos de partida: caudal y salto, evaluada la potencia y la energía que se puede producir, existen dos alternativas: conectar la central a la red y vender la energía producida o consumir directamente esta energía en la empresa.

Sistemas conectados a red

Son los más habituales, y los más aconsejables cuando nuestra empresa se halle conectada a la red eléctrica. De esta forma, la instalación será más sencilla y barata. En estas condiciones habrá que solicitar la inclusión el régimen especial de autogeneradores de acuerdo al Real Decreto 2818/1998, y vender la energía a la compañía eléctrica al precio establecido por el Real Decreto correspondiente. En el momento de escribir esta guía, el Real Decreto 1483/2001, de 27 de diciembre es el que establece las tarifa eléctrica para el año 2002

Sistemas aislados

En los casos en que la instalación se encuentre alejada de la red eléctrica, y el coste de su instalación sea excesivo, la energía generada nos permitirá alimentar a la planta de producción, la granja o cualquier otro proceso productivo. En este caso, para mantener la tensión producida dentro de las características deseadas, se requiere instalar un regulador electrónico que conecte o desconecte una

carga secundaria donde disipar la energía sobrante. Esta carga puede ser unas resistencias o una baterías de c.c. donde la energía quedará almacenada. De esta forma se consigue una energía de una elevada calidad que permite independizar la instalación de la empresa de la red eléctrica.

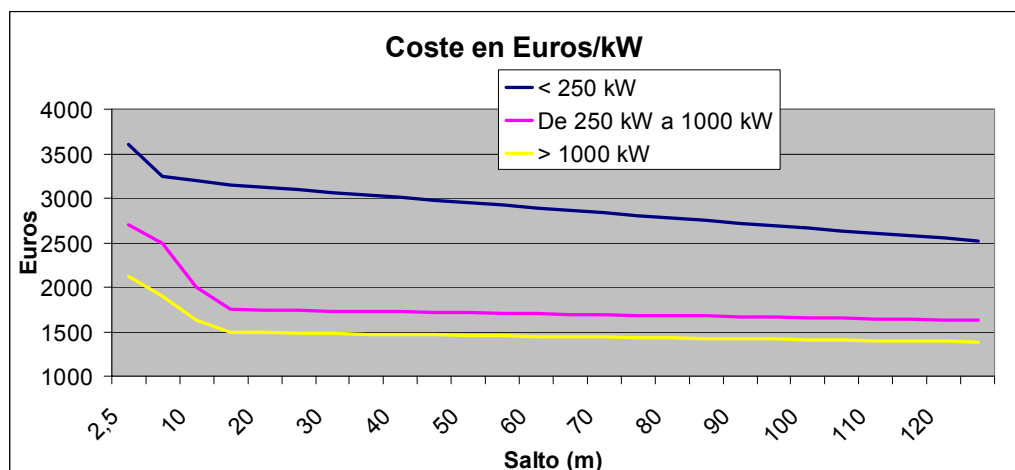


7. ¿Cuánto cuesta?

El coste de una Central hidroeléctrica es difícil de conocer aplicando criterios sencillos, puesto que no existen dos centrales iguales, cada central tiene un salto, un caudal, una orografía distinta, afecta a diferentes terrenos públicos y privados, etc. todo ello dificulta definir unos costes estandarizados.

Existen diversas publicaciones en las que se intenta dar respuesta a esta cuestión, nosotros ofrecemos unos costes que pueden servir como guía inicial, pero que siempre habrá que tomar con mucha cautela.

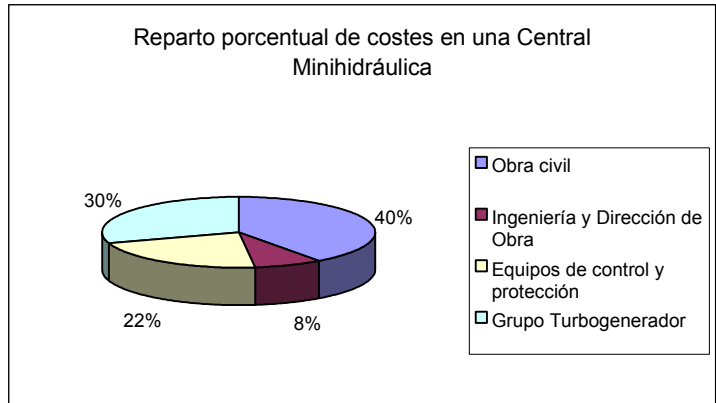
Esta figura se obtuvo en un análisis realizado en un programa Thermie. H.



En el caso de microcentrales, los precios dependen en mayor medida del tipo de aprovechamiento, a modo de ejemplo:

Una turbina de 2 kW que aproveche entre 2 y 6 litros por segundo con un salto entre 8 m y 150m con generador, válvula manual de entrada, cuadros de control y reguladores de carga cuesta en torno a 6.600 euros. Sin embargo, una turbina similar con el mismo equipamiento para una potencia de 80 kW, 80 litros/sg y 100 metros de salto, cuesta del orden de 63.800 euros, lo que supone unos 797,5 euros/ kW, un precio realmente interesante.

El reparto de costes en las centrales, a modo indicativo, puede verse en la figura. Estos porcentajes pueden sufrir fuertes variaciones, sobretodo si se trata de la rehabilitación de una central.



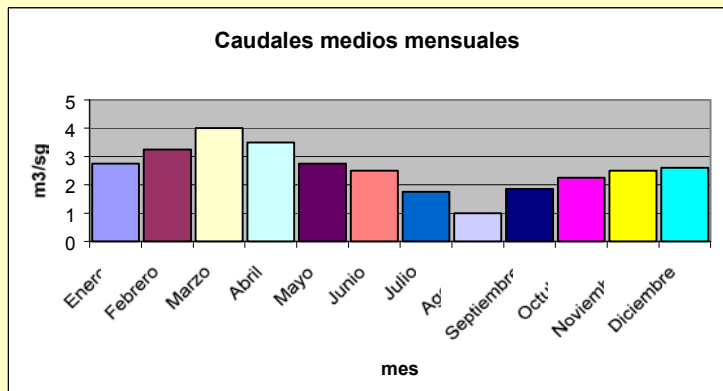
El coste de una central hidroeléctrica depende de múltiples factores: altura, caudal, orografía....



EJEMPLO

Supongamos que disponemos de los datos medidos a lo largo de un año en un aprovechamiento, con los siguientes caudales, y con un salto bruto de 20m.

MES	Caudal en m ³ /sg
Enero	2,75
Febrero	3,25
Marzo	4
Abril	3,5
Mayo	2,75
Junio	2,5
Julio	1,75
Agosto	1
Septiembre	1,85
Octubre	2,25
Noviembre	2,5
Diciembre	2,6



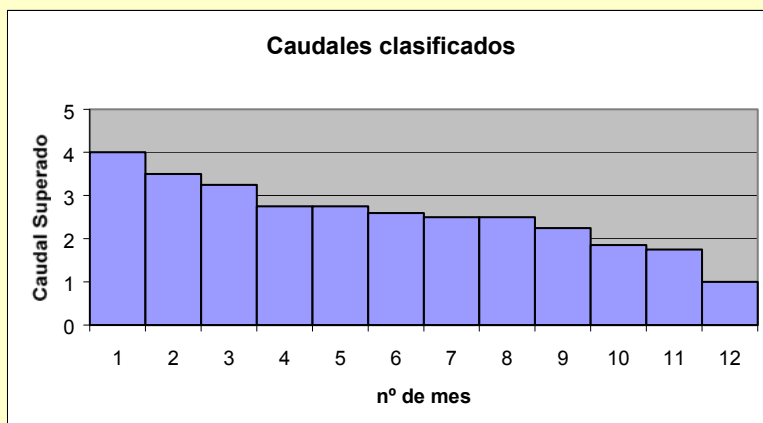
Con estos datos vamos a obtener que caudal nos dará la máxima energía, que potencia supone y cual es su coste.

En primer lugar, obtendremos el salto útil, que obtendremos descontando las pérdidas del 4 %:

$$\text{Salto útil} = \text{Salto bruto} - \text{Pérdidas} = 20 - 20 \cdot 0,04 = 19,2\text{m.}$$

A continuación, procedemos a ordenarlos, obteniendo la curva de caudales clasificados:

Mes	Caudal Clasificado en m ³ /sg
1	4
2	3,5
3	3,25
4	2,75
5	2,75
6	2,6
7	2,5
8	2,5
9	2,25
10	1,85
11	1,75
12	1



A continuación, seleccionamos la turbina más apropiada, observando la figura de la página 25, comprobamos que ésta es una turbina Francis. Estas turbinas pueden funcionar desde un caudal de 0,4 el Caudal nominal hasta el máximo.

De la curva de rendimientos obtenemos:

% Caudal	Rendimiento
100%	0,9
90%	0,92
80%	0,9
70%	0,88
60%	0,85
50%	0,78
40%	0,62

El rendimiento total lo obtendremos multiplicando los anteriores por 0,85, para incluir el rendimiento del generador y el multiplicador.

Ahora hemos de calcular la potencia que podemos obtener con distintos caudales seleccionados. Para ello aplicaremos la fórmula anteriormente expuesta:

$$P = 9,81 \cdot Q \cdot H \cdot \text{Rendimiento}$$

A continuación, construimos una tabla, como las que se muestran a continuación, para varios caudales de equipamiento. Para ellos

- En primer lugar, anotamos el rendimiento para cada caudal mensual.
- A continuación obtenemos la potencia que obtenemos para cada caudal circulante.
- Por último obtenemos la energía mensual, sin más que multiplicar la potencia obtenida por el número de horas en las que circula el caudal correspondiente.

CASO 1: Caudal = 4 m³/sg

A modo de ejemplo, para rellenar la tabla, en el caso del caudal 2,75 m³/sg. El caudal en % es 68%, al que le corresponde un rendimiento de la turbina de 0,85,

que multiplicado por el rendimiento del generador y multiplicador da un rendimiento total de:

$$\text{Rendimiento} = 0,85 \cdot 0,85 = 0,72$$

La potencia será:

$$P = 9,81 \cdot Q \cdot H \cdot \text{Rendimiento} = 9,81 \cdot 2,75 \cdot 19,2 \cdot 0,72 = 374,2 \text{ kW}$$

La energía se obtiene de multiplicar la potencia por el nº de horas de funcionamiento, como se trata de un mes de 31 días.

$$E = 374,2 \text{ kW} \cdot 31 \text{ días} \cdot 24 \text{ horas} = 278.429 \text{ kWh/mes}$$

Caudal Clasificado en m ³ /sg	Caudal en %	Rendimiento de la turbina (%)	Rendimiento total (%)	Potencia (kW)	Energía (kWh)
4	100,0	90	77	576,4	428.810
3,5	87,5	90	77	504,3	363.105
3,25	81,3	90	77	468,3	314.691
2,75	68,8	85	72	374,2	278.429
2,75	68,8	85	72	374,2	278.429
2,6	65,0	85	72	353,8	263.242
2,5	62,5	85	72	340,2	244.952
2,5	62,5	85	72	340,2	244.952
2,25	56,3	78	66	281,0	209.045
1,85	46,3	62	53	183,6	132.216
1,75	43,8	62	53	173,7	29.238
1	25,0	0	0	-	-

La potencia de la instalación es de 576 kW

La energía total para 4 m³/sg es: 2.887.107 kWh/año.

Caso 2: Caudal 3,75m³/sg

Caudal Clasificado en m ³ /sg	Caudal en %	Rendimiento de la turbina (%)	Rendimiento total (%)	Potencia (kW)	Energía (kWh)
4	106,7	90	77	540,3	402.009
3,5	93,3	92	78	515,5	371.174
3,25	86,7	90	77	468,3	314.691
2,75	73,3	88	75	387,4	288.255
2,75	73,3	88	75	387,4	288.255
2,6	69,3	85	72	353,8	263.242
2,5	66,7	85	72	340,2	244.952
2,5	66,7	85	72	340,2	244.952
2,25	60,0	85	72	306,2	227.805
1,85	49,3	62	53	183,6	132.216
1,75	46,7	62	53	173,7	129.238
1	26,7	0	0	-	-

La potencia de la instalación es de 540 kW

La energía total para 3,75 m³/sg es: 2.906.790 kWh/año.

Caso 3: Caudal 3,5m³/sg

Caudal Clasificado en m ³ /sg	Caudal en %	Rendimiento de la turbina (%)	Rendimiento total (%)	Potencia (kW)	Energía (kWh)
4	114,3	90	77	504,3	375.208
3,5	100,0	90	77	504,3	363.105
3,25	92,9	92	78	478,7	321.684
2,75	78,6	88	75	387,4	288.255
2,75	78,6	88	75	387,4	288.255

Caudal Clasificado en m ³ /sg	Caudal en %	Rendimiento de la turbina (%)	Rendimiento total (%)	Potencia (kW)	Energía (kWh)
2,6	74,3	88	75	366,3	272.532
2,5	71,4	88	75	352,2	253.597
2,5	71,4	88	75	352,2	253.597
2,25	64,3	85	72	306,2	227.805
1,85	52,9	78	66	231,0	166.337
1,75	50,0	78	66	218,5	162.590
1	28,6	0	0	-	-

La potencia de la instalación es de 504 kW

La energía total para 3,75 m³/sg es: 2.972.967 kWh/año.

Caso 4: Caudal 3,25m³/sg

Caudal Clasificado en m ³ /sg	Caudal en %	Rendimiento de la turbina (%)	Rendimiento total (%)	Potencia (kW)	Energía (kWh)
4	123,1	90	77	468,3	348.408
3,5	107,7	90	77	468,3	337.169
3,25	100,0	90	77	468,3	314.691
2,75	84,6	90	77	396,2	294.807
2,75	84,6	90	77	396,2	294.807
2,6	80,0	90	77	374,6	278.726
2,5	76,9	88	75	352,2	253.597
2,5	76,9	88	75	352,2	253.597
2,25	69,2	85	72	306,2	227.805
1,85	56,9	78	66	231,0	166.337
1,75	53,8	78	66	218,5	162.590
1	30,8	0	0	-	-

La potencia de la instalación es de 468 kW

La energía total para 3,25 m³/sg es: 2.932.534 kWh/año.

Como se ve, la energía máxima se obtiene para un caudal de 3,5 m³/sg, a partir de este punto la energía empieza a disminuir.

La potencia bruta es:

$$P = 9,81 \cdot 3,5 \cdot 19,2 = 660\text{kW}$$

La potencia neta es:

$$P = 9,81 \cdot 3,5 \cdot 19,2 \cdot 0,77 = 504\text{kW}$$

El coste de esta inversión de acuerdo a la gráfica de la página 27 es de 1.744 Euros/kW. Por lo que el coste total estimado es:

$$\text{Coste} = 1.744 \cdot 504 = 878.976 \text{ Euros}$$

Si la instalación se dedica a la venta de energía, los ingresos por este concepto serán de :

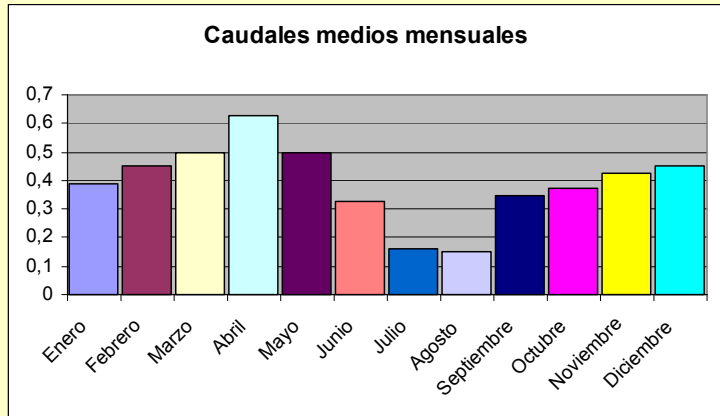
$$\text{Ingresos} = 6,36 \text{ centimos de euro} \cdot 2.972.967 \text{ kWh/año} = 189.221 \text{ Euros/año}$$



EJEMPLO:

Supongamos que disponemos de los datos medidos a lo largo de un año en un aprovechamiento, con los siguientes caudales, y con un salto bruto de 40m.

MES	Caudal en m ³ /sg
Enero	0,39
Febrero	0,45
Marzo	0,5
Abril	0,625
Mayo	0,5
Junio	0,325
Julio	0,16
Agosto	0,15
Septiembre	0,35
Octubre	0,375
Noviembre	0,425
Diciembre	0,45



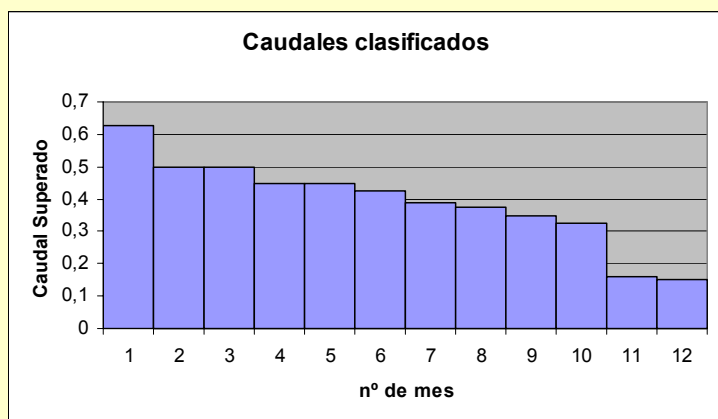
Con estos datos vamos a obtener que caudal nos dará la máxima energía, que potencia supone y cual es su coste.

En primer lugar, obtendremos el salto útil, que obtendremos descontando las pérdidas del 4 %:

$$\text{Salto útil} = \text{Salto bruto} - \text{Pérdidas} = 40 - 40 \cdot 0,04 = 38,4\text{m.}$$

A continuación, procedemos a ordenarlos, obteniendo la curva de caudales clasificados:

MES	Caudal Clasificado en m ³ /sg
1	0,625
2	0,5
3	0,5
4	0,45
5	0,45
6	0,425
7	0,39
8	0,375
9	0,35
10	0,325
11	0,16
12	0,15



Seguidamente seleccionamos la turbina más apropiada, observando la figura de la página 25, comprobamos que ésta es una turbina Pelton. Estas turbinas pueden funcionar desde un caudal de 0,1 el Caudal nominal hasta el máximo.

De la curva de rendimientos obtenemos:

% Caudal	Rendimiento
100%	0,9
90%	0,92
80%	0,91
70%	0,9
60%	0,9
50%	0,9
40%	0,88
30%	0,85
20%	0,82
10%	0,7
	0,4

El rendimiento total lo obtendremos multiplicando los anteriores por 0,85, para considerar el multiplicador, el generador y el transformador.

Ahora hemos de calcular la potencia que podemos obtener con distintos caudales seleccionados. Para ello aplicaremos la fórmula anteriormente expuesta:

$$P = 9,81 \cdot Q \cdot H \cdot \text{Rendimiento}$$

A continuación, construimos una tabla como las que se muestran a continuación, para varios caudales de equipamiento. Para ello:

- En primer lugar, anotamos el rendimiento para cada caudal mensual.
- A continuación obtenemos la potencia que obtenemos para cada caudal circulante.
- Por último obtenemos la energía mensual, sin más que multiplicar la potencia obtenida por el número de horas en las que circula el caudal correspondiente.

Caso1: Caudal =0,6 m³/sg

A modo de ejemplo, para el caudal 0,425. El caudal en % es 71%, al que le corresponde un rendimiento de la turbina de 0,9, que multiplicado por el rendimiento del generador y multiplicador da un rendimiento total de

$$\text{Rendimiento} = 0,9 \cdot 0,85 = 0,77$$

La potencia será:

$$P = 9,81 \cdot Q \cdot H \cdot \text{Rendimiento} = 9,81 \cdot 0,425 \cdot 38,4 \cdot 0,77 = 122,5\text{kW.}$$

La energía se obtiene de multiplicar la potencia por el nº de horas de funcionamiento, como se trata de un mes de 31 días:

$$E = 122,5\text{kW} \cdot 31\text{días} \cdot 24\text{horas} = 91.122\text{kWh/mes}$$

Caudal Clasificado en m ³ /sg	Caudal en %	Rendimiento de la turbina (%)	Rendimiento total (%)	Potencia (kW)	Energía (kWh)
0,625	104,2	90	77	172,9	128.643
0,5	83,3	92	78	147,3	106.050
0,5	83,3	92	78	147,3	98.980
0,45	75,0	90	77	129,7	96.482
0,45	75,0	90	77	129,7	96.482
0,425	70,8	90	77	122,5	91.122
0,39	65,0	90	77	112,4	80.921
0,375	62,5	90	77	108,1	77.808
0,35	58,3	90	77	100,9	75.042
0,325	54,2	90	77	93,7	67.434
0,16	26,7	82	70	42,0	31.255
0,15	25,0	82	70	39,4	29.302

La potencia de la instalación es de 173 kW

La energía total para 0,6 m³/sg es: 979.520 kWh/año.

Caso 2: Caudal 0,5 m³/sg

Caudal Clasificado en m ³ /sg	Caudal en %	Rendimiento de la turbina (%)	Rendimiento total (%)	Potencia (kW)	Energía (kWh)
0,625	125,0	90	77	144,1	107.202
0,5	100,0	90	77	144,1	103.744
0,5	100,0	90	77	144,1	96.828
0,45	90,0	92	78	132,6	98.626
0,45	90,0	92	78	132,6	98.626
0,425	85,0	92	78	125,2	93.147
0,39	78,0	90	77	112,4	80.921
0,375	75,0	90	77	108,1	77.808
0,35	70,0	90	77	100,9	75.042
0,325	65,0	90	77	93,7	67.434
0,16	32,0	85	72	43,5	32.399
0,15	30,0	85	72	40,8	30.374

La potencia de la instalación es de 144 kW

La energía total para 0,5 m³/sg es: 962.151 kWh/año.

Como se ve, la energía máxima se obtiene para un caudal de 0,6 m³/sg, a partir de este punto la energía empieza a disminuir.

La potencia bruta es:

$$P = 9,81 \cdot 0,6 \cdot 38,4 = 226 \text{ kW}$$

La potencia neta es:

$$P = 9,81 \cdot 0,6 \cdot 38,4 \cdot 0,77 = 173 \text{ kW}$$

El coste de esta inversión de acuerdo a la gráfica de la página 27 es de 3.005 Euros/kW. Por lo que el coste total estimado es:

$$\text{Coste} = 3.005 \cdot 173 = 519.865 \text{ Euros}$$

En este caso, se obtiene que la instalación funciona los 12 meses al año, sin embargo conviene descontar uno de ellos para considerar los paros por mantenimiento, descontando el mes de Agosto, la energía total generada es: 931.777 kWh/año

Si la instalación se dedica a la venta de energía, los ingresos por este concepto serán de :

$$\text{Ingresos} = 6,36 \text{ centimos de euro} \cdot 931.777 \text{ kWh/año} = 59.261 \text{ Euros/año}$$

La rentabilidad en este caso no es muy alta, sin embargo hay que tener en cuenta que los costes son genéricos y por ello, generalmente más altos que la realidad. Por otro lado es necesario considerar que una instalación hidroeléctrica con un mantenimiento adecuado puede funcionar durante más de 30 años sin problemas, lo que la hace una inversión atractiva a largo plazo.

Por otra parte, en instalaciones en las que la línea eléctrica se halla a gran distancia el coste de ésta hace inviable instalar una granja o cualquier otra explotación. A modo de ejemplo, una granja situada a unos 10 km de distancia de la línea eléctrica que necesitara una red debería gastar en torno a 300.000 euros en la misma y después pagar el coste de la energía, en torno a 7,2 céntimos de euro por kWh. Si esta instalación dispusiera de un salto como el anteriormente descrito, en menos de un año ha amortizado sobradamente la inversión en la central hidroeléctrica.

3.

ENERGÍA SOLAR

1. La radiación solar

El Sol es una fuente de energía formidable. Como todas las estrellas, el Sol es un gigantesco reactor nuclear (su masa es el orden de 330000 veces la de la Tierra) en el que la masa se convierte en energía radiante continuamente. Está formada por diversos elementos en estado gaseoso, (hidrógeno principalmente). Tiene un diámetro de 1,4 millones de km. En su interior existen elevadas presiones, y temperaturas de varios millones de grados, que hace que en el seno del Sol se produzcan, de manera continua, reacciones nucleares mediante las cuales dos átomos de hidrógeno se fusionan (dando lugar a un átomo de helio) liberando una gran cantidad de potencia (del orden de $389 \cdot 10^{24}$ W). Este es el origen de la energía solar.

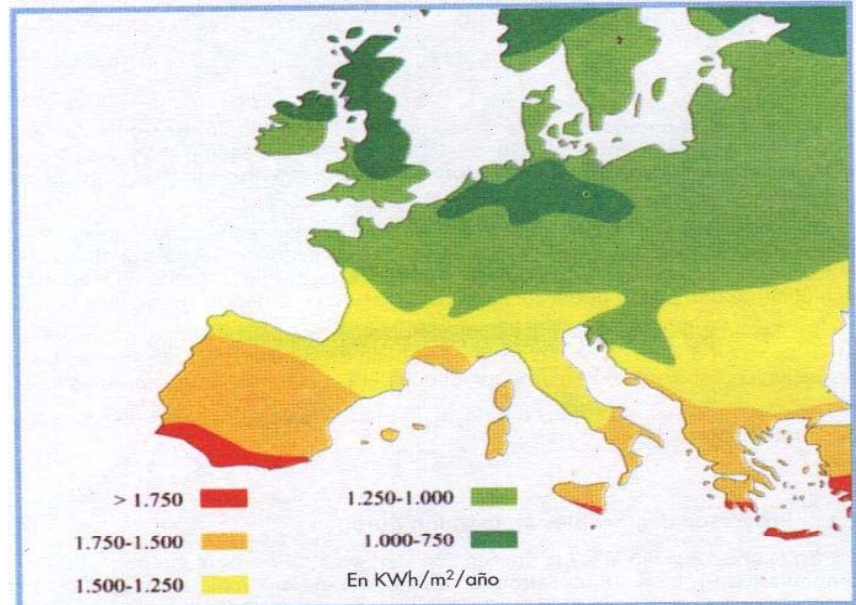


De esta energía, solo una parte llega de manera efectiva a la superficie de la Tierra en forma de radiación ya que constituye una superficie de captación casi insignificante, al encontrarse a 150 millones de km. Aún así, la potencia que llega es unas 10.000 veces mayor que la que proporcionan todas las fuentes energéticas que el hombre emplea.

No obstante, hemos de tener en cuenta algunas dificultades que se nos presentan a la hora de emplear esta energía. En primer lugar, la energía nos llega a la tierra de una manera bastante dispersa, y además presenta oscilaciones. Según las horas del día, las condiciones climatológicas, las coordenadas en que nos encontremos y la estación del año recibiremos cantidades diferentes de radiación solar.

La cantidad de energía solar recibida por unidad de superficie y por unidad de tiempo (por término medio) sobre una superficie enfrentada al Sol (perpendicular a los rayos solares), situada en el límite de la atmósfera, a la distancia media entre la tierra y el Sol, es de unos 1.353 W/m^2 , cantidad que se conoce como constante solar. Viene a indicarnos la energía media que llega a la capa más externa de la atmósfera terrestre. Esta energía que llega en realidad es una radiación electromagnética (por eso la llamamos radiación solar)

Como en la atmósfera se refleja parte de la radiación que llega del sol, y otra parte se absorbe, a la superficie de la tierra llega, lógicamente una cantidad menor que la que se tiene en el exterior de la atmósfera. Viene a ser de unos 900 W/m².



Dependiendo de la forma de aprovechar esta radiación que nos llega del Sol se distinguen tres tipos de energía solar:

- **Energía Solar Fotovoltáica:** La radiación solar se utiliza exclusivamente para generar corriente eléctrica a través de paneles fotovoltaicos.
- **Energía Solar Térmica:** La radiación solar se utiliza fundamentalmente para obtener calor por medio de colectores solares, aunque también puede generarse electricidad a partir de vapor.
- **Energía Solar Pasiva:** La radiación solar se aprovecha para mejorar el confort térmico en un edificio por medio de elementos arquitectónicos bioclimáticos.

Estas tres formas de aprovechamiento no tienen nada que ver entre sí, ni en cuanto a su tecnología ni en su aplicación, por lo que son tratadas separadamente en los siguientes apartados.

2. Energía solar fotovoltaica

2.1. La energía solar fotovoltaica



La conversión fotovoltaica se basa en el efecto fotovoltaico, es decir, en la conversión de la energía lumínica proveniente del sol en energía eléctrica. Para llevar a cabo esta conversión se utilizan unos dispositivos denominados células solares, constituidos por materiales semiconductores.

La tecnología fotovoltaica fue desarrollada a finales de los años 50 como parte de los programas espaciales, con la finalidad de desarrollar una fuente de energía económica e inagotable. Gracias al descenso de los costes y a la mejora del rendimiento, los sistemas fotovoltaicos han extendido su utilización a numerosas aplicaciones.

La transformación directa de la energía solar en electricidad mediante la conversión fotovoltaica presenta ventajas claras dada su sencillez, modularidad, fiabilidad y operatividad. Ello hace que su campo de aplicación sea muy amplio: desde la utilización en productos de consumo, como relojes y calculadoras, hasta la electrificación de viviendas aisladas o pequeñas comunidades de vecinos, pasando por las señalizaciones terrestres y marítimas, las comunicaciones o el alumbrado público.

La tecnología disponible en la actualidad hace que las instalaciones fotovoltaicas tengan un interés y una rentabilidad especiales en aquellos lugares alejados de la red eléctrica, de manera que en muchos casos constituyen la mejor opción en términos económicos, de operatividad y de fiabilidad de suministro.

Los usuarios de las instalaciones fotovoltaicas autónomas tienen que gestionar un sistema de generación, acumulación y transformación de la energía eléctrica, por lo que deben comprender sus características, posibilidades y limitaciones, y participar, aunque sea mínimamente, su funcionamiento.

El comportamiento del usuario junto con el dimensionamiento adecuado de los equipos y un correcto mantenimiento determina fuertemente el rendimiento de la instalación, el buen servicio y la larga vida.

2.2. Aplicaciones

En una primera gran división las instalaciones fotovoltaicas se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- Instalaciones aisladas de la red eléctrica
- Instalaciones conectadas a la red eléctrica

En el primer tipo, la energía generada a partir de la conversión fotovoltaica se utiliza para cubrir pequeños consumos eléctricos en el mismo lugar donde se produce la demanda.

Es el caso de aplicaciones como la electrificación de:

- viviendas alejadas de la red eléctrica convencional, básicamente electrificación rural;
- servicios y alumbrado público: iluminación pública mediante farolas autónomas de parques, calles, monumentos, paradas de autobuses, refugios de montaña, alumbrado de vallas publicitarias, etc. Con la alimentación fotovoltaica de luminarias se evita la realización de zanjas, canalizaciones, necesidad de adquirir derechos de paso, conexión a red eléctrica, etc.
- aplicaciones agrícolas y de ganado: bombeo de agua, sistemas de riego, iluminación de invernaderos y granjas, suministro a sistemas de ordeño, refrigeración, depuración de aguas, etc.;
- señalización y comunicaciones: navegación aérea (señales de altura, señalización de pistas) y marítima (faros, boyas), señalización de carreteras, vías de ferrocarril,...

En cuanto a las instalaciones conectadas a la red se pueden encontrar dos casos:

- centrales fotovoltaicas, en las que la energía eléctrica generada se entrega directamente a la red eléctrica, como en otra central convencional de generación eléctrica.
- sistemas fotovoltaicos en edificios o industrias, conectados a la red eléctrica, en los que una parte de la energía generada se invierte en el mismo autoconsumo del edificio, mientras que la energía excedente se entrega a la red eléctrica. También es posible entregar toda la energía a la red; el usuario recibirá entonces la energía eléctrica de la red, de la misma manera que cualquier otro abonado al suministro.

Los módulos fotovoltaicos utilizados en estos casos son los mismos que los empleados para instalaciones aisladas de la red; la diferencia fundamental radica en los tipos de convertidores utilizados. Además, las instalaciones conectadas a la red no incluyen baterías ni por lo tanto, reguladores.

Por último se encuentran las denominadas aplicaciones singulares: satélites artificiales y aplicaciones espaciales, objetos de bolsillo, relojes, calculadoras, neveras portátiles para el transporte de vacunas a zonas aisladas del Tercer Mundo, producción de hidrógeno, alimentación de vehículos eléctricos, oxigenación de aguas, cloración de aguas (una pequeña bomba conectada a un depósito de hipoclorito sódico, protección catódica de infraestructuras metálicas (gaseoductos, por ejemplo), etc.

En relación a las aplicaciones conectadas a la red en edificios, el hecho más significativo es el desarrollo de un tipo de módulos solares con diferentes grados de transparencia, que pueden ser integrados en fachadas y cubiertas de edificios y que generan energía eléctrica. Además al permitir la penetración de la luz en el edificio, los módulos ayudan también a cubrir una parte de las necesidades térmicas del inmueble.

Los proyectos de demostración de la Biblioteca "Pompeu Fabra" de Mataró, y del edificio Nexus de la Universidad Politécnica de Cataluña, han sido las primeras experiencias. En estas instalaciones se ha cubierto una superficie total de unos 600 m², con una potencia total instalada de 58 kWp.

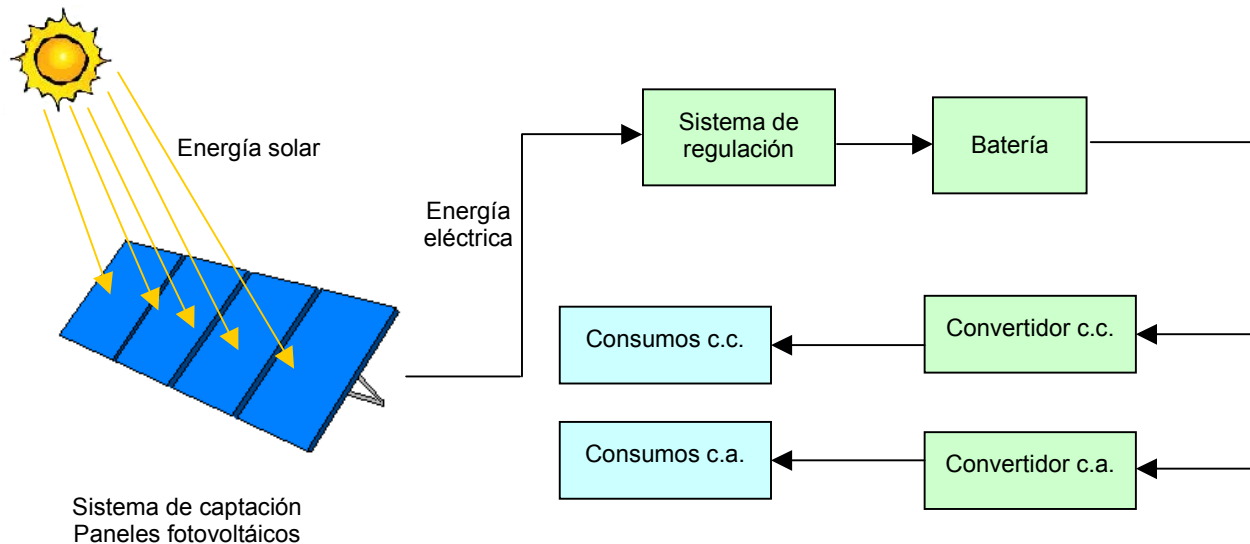
Recientemente ha sido publicado el Real Decreto 1663/2000 sobre conexión de instalaciones fotovoltaicas a la red de baja tensión en donde se establecen normas administrativas y técnicas para el funcionamiento y conexión de sistemas fotovoltaicos a la red eléctrica.

2.3. Elementos que constituyen un sistema fotovoltaico

Un sistema fotovoltaico es el conjunto de elementos que son capaces de realizar el suministro de electricidad para cubrir las necesidades planteadas a partir de la energía procedente del sol.

Para que una instalación solar fotovoltaica funcione correctamente y tenga una elevada fiabilidad de suministro y durabilidad tiene que estar constituida por un conjunto de componentes básicos: placas fotovoltaicas, regulador, baterías eléctricas e inversor

Además de estos subsistemas, las instalaciones fotovoltaicas incluyen otros equipamientos como pueden ser el cableado o los sistemas de protección y, por supuesto, los elementos de consumo de la energía obtenida, denominados también cargas.



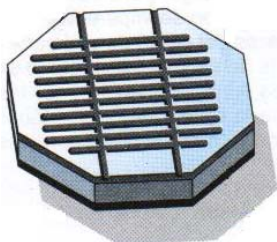
Los usuarios deben ser conscientes de las limitaciones que existen en las disponibilidades de energía. La energía disponible no es ilimitada, por lo que no debe usarse innecesariamente. Hay que tratar de consumir en lo posible coincidiendo con los momentos de mayor insolación y ser especialmente cuidadoso en las épocas de menor insolación, desconectando los consumos cuando no se usen, aplicando medidas de ahorro energético, etc. Por ejemplo, no son recomendable los elementos calefactores resistivos (planchas, cafeteras, etc.)

¿Como se produce la electricidad? Las células y los paneles fotovoltaicos

➔ Células solares

Como se ha indicado, se realiza la conversión de la energía lumínica proveniente del sol en energía eléctrica. Para ello se utilizan unos dispositivos denominados células solares, constituidos por materiales semiconductores

Cuando se expone una célula solar a la luz del sol se hace posible la circulación de electrones y la aparición de corriente eléctrica entre las dos caras de la célula.



El material más empleado es el silicio (monocristalino, policristalino o amorfo), aunque también existen materiales alternativos al silicio. Unos son más baratos de obtener o requieren menos material aunque con menor eficiencia de conversión y otros por el contrario más caros pero de mejores eficiencias.

Si varía la iluminación, la corriente de la célula varía proporcionalmente, en tanto que la tensión se mantiene casi invariable. Es decir, una misma célula proporciona valores diferentes de potencia al variar la intensidad de radiación que recibe. Por este motivo, normalmente la potencia nominal de las células se mide en vatios-pico (Wp), que es la potencia que puede proporcionar la célula con una intensidad de radiación constante de 1000 W/m^2 y una temperatura de la célula de 25° C .

➔ Paneles fotovoltaicos

Para obtener potencias utilizables en aparatos de mediana potencia, hay que unir un cierto número de células con la finalidad de obtener la tensión y la corriente requeridas. A modo de ejemplo, si se desea obtener más tensión hay que conectar varias células en serie. Conectando 36 (dimensiones normales, 7.6 cm de diámetro) se obtienen 18 V, tensión suficiente para hacer funcionar equipos a 12V, incluso con iluminaciones mucho menores de 1kW/m^2 .

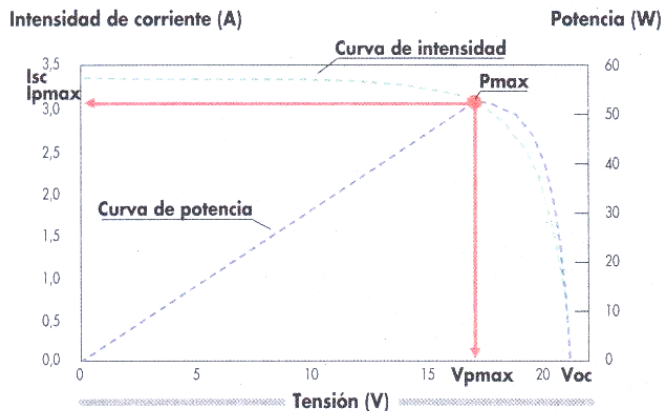
Un panel solar está formado por varias células iguales conectadas en serie y paralelo, de forma que la tensión y la corriente suministrada por el panel se incrementen hasta ajustarse al valor deseado

Otros elementos hacen posible la protección del conjunto frente a agentes exteriores, aseguran una rigidez suficiente, posibilitando la sujeción a las estructuras que lo soportan y permiten la conexión eléctrica. Estos son la cubierta exterior de vidrio, la protección posterior, el encapsulante entre ambas, el marco metálico y las bornas de conexión.



Normalmente los paneles utilizados están diseñados para trabajar en combinación con baterías de tensiones múltiplo de 12 V y tienen entre 28 y 40 células, aunque lo más típico es que cuenten con 36. La superficie del módulo puede variar entre 0.1 y 0.5 m^2 y presenta dos bornas de salida (positiva y negativa) y, a veces, alguna intermedia para colocar los diodos de protección. El comportamiento y las características eléctricas del

módulo fotovoltaico vienen determinados por la curva tensión-intensidad (V-I) del panel. Además de hablar de la potencia pico del módulo, es necesario especificar ciertos parámetros de dicha curva característica con el fin de evaluar el tipo de módulo mejor adaptado a la aplicación de que se trate. Estas características del panel están definidas para unas condiciones estándar de medida, las cuales vienen determinadas por el nivel de irradiación (1 kW/m^2), la temperatura (25°C) y la distribución espectral de la radiación incidente (A.M. 1.5, que es la cantidad de masa de aire que tiene que atravesar un rayo de sol). En la figura se muestra la curva de características de un panel fotovoltaico.



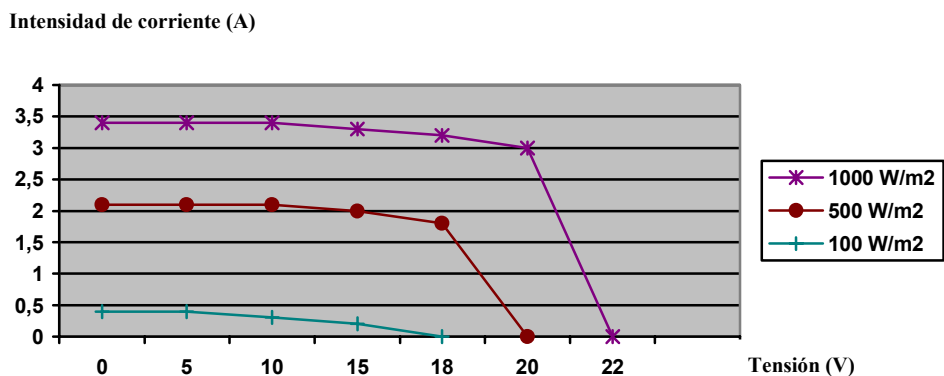
Condiciones 1.000 W/m^2 , luz AM 1,5; 25°C

Si se cortocircuitan los terminales del panel ($V=0$), a través del circuito circulará una intensidad de corriente máxima (I_{sc}) denominada corriente de cortocircuito.

Al dejar los terminales del panel en circuito abierto ($I=0$), entre ellos aparece una tensión máxima (V_{oc}) llamada tensión de circuito abierto.

Si se conecta una carga eléctrica al panel, el punto de trabajo vendrá determinado por la corriente I y la tensión V existentes en el circuito. Estos valores tendrán que ser menores que I_{sc} y V_{oc} . La potencia (P) que el panel entrega a la carga está determinada por $P = V \cdot I$. Este producto ha sido representado por una línea en la figura en función de la tensión (V). A su valor más alto se le denomina potencia máxima (P_{max}) o, más comúnmente, potencia pico. Los valores de la corriente y tensión correspondientes a este punto se conocen, respectivamente, como corriente en el punto de máxima potencia (I_{pmax}) y tensión en el punto de máxima potencia (V_{pmax}).

La corriente de cortocircuito aumenta con la radiación, permaneciendo más o menos constante el voltaje.



Es importante conocer este efecto ya que los valores de la radiación cambian a lo largo de todo el día en función del ángulo del Sol con el horizonte, por lo que es importante colocar adecuadamente los paneles, existiendo la posibilidad de cambiar su posición a lo largo del tiempo, bien según la hora del día o la estación del año (captación con seguimiento solar). Un mediodía a pleno sol es equivalente a una radiación de 1000 W/m^2 ; cuando el cielo está cubierto, la radiación apenas alcanza los 100 W/m^2 .

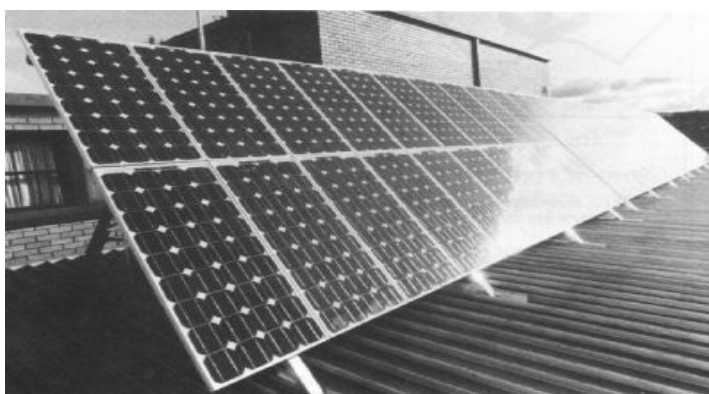
Uno de los elementos auxiliares importantes de un sistema fotovoltaico es la estructura que soporta los paneles. Esta habrá de proporcionar tanto un buen anclaje de los mismos, haciéndolos resistentes a la acción de los elementos atmosféricos - los agentes atmosféricos (viento, nevadas) afectan a las cargas mecánicas que han de soportar las estructuras y a los materiales que las componen -, como una orientación y un ángulo de inclinación idóneos para el mejor aprovechamiento de la radiación.

Otro aspecto de gran importancia de cara a la colocación de los paneles en su posición con respecto al Sol, ya que es necesario tener en cuenta las variaciones que presenta la posición del Sol en el cielo a lo largo del ciclo anual y la incidencia que estas variaciones tienen en la cantidad de radiación solar puesta a disposición de los paneles.

La posición de los paneles está basada en dos ángulos distintos: la orientación y la inclinación.

- La **orientación** de los paneles será siempre al Sur (en el hemisferio norte), al ser la única posición donde aprovecharemos de un modo más completo a lo largo del año la radiación emitida por el Sol. Tan sólo en circunstancias especiales o por el efecto de sombras creadas por otros objetos se podrá variar dicha orientación hacia el Este.
- La energía que, procedente del Sol, capta un panel, depende fundamentalmente del ángulo de **inclinación** que forma con la horizontal (el condicionante es el ángulo de incidencia de los rayos del Sol sobre los paneles, siendo máximo para una incidencia perpendicular, y reduciéndose a medida que nos alejamos de este ángulo). En una instalación real, este ángulo puede adoptar una o varias posiciones a lo largo del año. Si bien esta última posibilidad aumenta la energía recibida en todo el período, en la práctica lo más eficaz es dejarlo en una o dos posiciones, dependiendo de la utilización y según los dos tipos de consumo más extendidos:

En las aplicaciones en las que el consumo de energía es relativamente constante a lo largo del año (equipos de comunicación, viviendas habitadas todo el año...) es suficiente con una posición. El ángulo de inclinación de los paneles debe ser de alrededor de 60°. Las posibles pérdidas de energía derivadas de la variación del ángulo con respecto a la posición del Sol se ven compensadas con creces por el aumento de la radiación disponible en los meses de verano.



En las aplicaciones en las que el consumo de energía es mayor en los meses de verano (riego agrícola, viviendas de fin de semana o vacaciones) puede ser conveniente considerar dos posiciones: una posición de invierno con un ángulo de inclinación de 60° y una posición de verano con un ángulo de inclinación de 15°. Los

dos cambios de posición, que es necesario realizar anualmente, han de hacerse a finales de los meses de marzo y septiembre respectivamente.

¿Cómo se almacena la energía eléctrica? Las baterías

En las instalaciones fotovoltaicas lo habitual es utilizar un conjunto de baterías para almacenar la energía eléctrica generada durante las horas de radiación y poder utilizarla posteriormente en momentos de baja o nula insolación. Hay que destacar que la fiabilidad de la instalación global de electrificación depende, en gran medida, de la del sistema de acumulación, siendo por ello un elemento al que hay que dar la gran importancia que le corresponde.

De cara a su empleo en instalaciones de electrificación fotovoltaica es necesario conocer las siguientes expresiones:

- **Capacidad:** Es la cantidad de electricidad que puede obtenerse mediante la descarga total de una batería inicialmente cargada al máximo. La capacidad de un acumulador se mide en Amperios-hora (Ah) para un determinado tiempo de descarga; es decir, una batería de 130 Ah es capaz de suministrar 130 A en una hora o 13 A en diez horas. Para acumuladores fotovoltaicos es usual referirse a tiempos de descarga de 100 horas.
- También, al igual que para módulos solares, puede definirse el **voltaje** de circuito abierto y el voltaje en carga. Las baterías tienen un voltaje nominal que suele ser de 2, 6, 12 ó 24 V, aunque siempre varíe durante los distintos procesos de operación. Es importante el voltaje de carga, definido por la tensión necesaria para vencer la resistencia que opone el acumulador a ser cargado.
- **Autodescarga:** Es el proceso por el cual el acumulador, sin estar en uso, tiende a descargarse.
- **Profundidad de descarga:** Es el valor, en tanto por ciento, de la energía que se ha extraído de un acumulador plenamente cargado en una descarga. Como ejemplo, si tenemos una batería de 100 Ah y la sometemos a una descarga de 20 Ah, esto representa una profundidad de descarga del 20 %.
A partir de la profundidad de descarga podemos encontrarnos con descargas superficiales (de menos del 20 %) o profundas (hasta el 80 %),

Subsistema de regulación

Para un funcionamiento satisfactorio de la instalación en la unión de los paneles solares con la batería ha de instalarse un sistema de regulación de carga. Este sistema es siempre necesario, salvo en el caso de los paneles autorregulados.

El regulador tiene como misión fundamental impedir que la batería continúe recibiendo energía del colector solar una vez que ha alcanzado su carga máxima.

Otra función del regulador es la prevención de la sobredescarga, con el fin de evitar que se agote en exceso la carga de la batería, siendo éste un fenómeno que, como ya

se ha dicho, puede provocar una sensible disminución en la capacidad de carga de la batería en sucesivos ciclos.

En el mercado existen distintos tipos de reguladores con prestaciones muy distintas. La complejidad o el grado de sofisticación de los reguladores aumenta a medida que aumenta el tamaño global de la instalación, existiendo una relación también entre las prestaciones del aparato y su precio final. Algunos reguladores incorporan una alarma sonora o luminosa previa a la desconexión para que el usuario pueda tomar medidas adecuadas tales como reducción del consumo.

Las características eléctricas que definen un regulador son su tensión nominal y la intensidad máxima que es capaz de disipar.

¿Cómo adaptar la energía de la batería a los equipos a conectar?

En este apartado se va a hacer referencia a los convertidores e inversores, elementos cuya finalidad es adaptar las características de la corriente generada a la demandada total o parcialmente por las aplicaciones.

En determinadas aplicaciones que trabajan en corriente continua no es posible hacer coincidir las tensiones proporcionadas por el acumulador con la solicitada por todos los elementos de consumo. En estos casos la mejor solución es un convertidor de tensión continua-continua.

En otras aplicaciones la utilización incluye elementos que trabajan en corriente alterna. Puesto que tanto los paneles como las baterías trabajan en corriente continua, es necesaria la presencia de un inversor que transforme la corriente continua en alterna.

Un inversor viene caracterizado principalmente por la tensión de entrada, que se debe adaptar a la del generador; la potencia máxima que puede proporcionar y la eficiencia. Esta última se define como la relación entre la potencia eléctrica que el inversor entrega a la utilización (potencia de salida) y la potencia eléctrica que extrae del generador (potencia de entrada).



Otros subsistemas eléctricos

El cableado, tanto del generador como de la utilización, debe atenerse a las instrucciones generales fijadas por el Ministerio de Industria, Comercio y Turismo en el Reglamento de Baja Tensión.

Además del regulador existen otra serie de elementos de protección o de operación eléctrica generales cuya incorporación en muchos casos es muy necesaria o incluso imprescindible. Algunos de ellos son:

- Interruptores de diversos tipos.
- Protecciones fusibles y térmicas.
- Indicadores de nivel de carga de baterías y de corriente en el circuito.
- Puestas a tierra.

2.4. ¿Cómo dimensionar la instalación?

Un adecuado dimensionado de las instalaciones supone, además, asegurar la fiabilidad de las mismas y su utilización a lo largo del tiempo, evitando que queden inservibles al cabo de pocos años al utilizarse con fines para los cuales no habían sido concebidas.

Como ya se ha dicho, en el dimensionado de los sistemas fotovoltaicos es fundamental conocer la radiación incidente sobre el sistema y determinar con precisión el consumo. Como quiera que estos datos son difíciles de conocer con exactitud, surgen distintos métodos aproximados que permiten determinar cuál es el tamaño necesario de paneles, en Wp, y de batería, en Ah, con los que satisfacer un consumo dado en una situación concreta (temporal y espacialmente).

En **el método del mes peor** se realiza un balance de energía seleccionando un período de tiempo, normalmente un mes, en el que se dan las condiciones más desfavorables del sistema. La idea es que si el sistema funciona en este mes, funcionará también los demás meses del año. Se cuenta además con la capacidad de acumulación necesaria para cubrir un cierto número de días de bajo nivel de radiación (días de autonomía).

Para explicar de una forma clara los pasos a seguir, vamos a realizar el cálculo de una instalación conforme se explican los distintos aspectos que se deben considerar. Se trata de calcular la cantidad de paneles fotovoltaicos que hay que instalar, y la capacidad de la batería que debe conectarse para satisfacer por completo las necesidades de energía eléctrica de una vivienda unifamiliar situada en la provincia de Zaragoza.



Evaluación de la energía necesaria (consumo de los equipos)

Para la estimación de la energía consumida por la instalación se habrán de evaluar, por separado, la aportación al consumo total de los equipos de corriente alterna y continua. A la hora de realizar esta estimación deben tenerse en cuenta las variaciones estacionales, ya que la incidencia de determinadas aplicaciones (especialmente los bombeos de agua) es muy importante frente a los consumos en otros usos, por lo que deben calcularse los consumos para varios meses diferentes. En el caso de que se trate de sistemas de electrificación con consumos idénticos a lo largo de todo el año, bastará con realizar una única estimación.

EQUIPO	POTENCIA (W)
Iluminación	10 - 20
Iluminación intensa	20 - 40
Televisor B/N	20 - 30
Televisor color	50 - 100
Radiocassette	5 - 15
Vídeo	50
Lavadora	400
Plancha	600 - 1200
Ordenador	200
Frigorífico	70 - 120
Congelador	90 - 150
Pequeños electrodomésticos	50 - 200
Máquinas herramientas	200 - 500

● Consumo de los equipos en corriente continua (T1)

La energía que la aplicación considerada necesita consumir cada mes va a depender, exclusivamente, del tipo de equipos que componen la carga, así como el tiempo de utilización de los mismos.

Los datos necesarios que habrán de conocerse de cada equipo serán:

- La **potencia**, tomada como la nominal de los equipos, y que aparece en las características de los mismos.
- El **número de horas de funcionamiento diario**.

Como orientación, se incluyen en el cuadro datos sobre el número de horas de funcionamiento típicos en instalaciones fotovoltaicas.

EQUIPO	FUNCIONAMIENTO (HORAS/DÍA)
Iluminación	1
Iluminación intensa	3
Televisor B/N	3
Televisor color	3
Radiocassette	1
Vídeo	1
Lavadora	0.5
Plancha	0.25
Ordenador	0.5
Frigorífico	4
Congelador	5
Pequeños electrodomésticos	0.25
Máquinas herramientas	0.25

La energía necesaria para el consumo del equipo en cuestión será el producto del número de equipos iguales por la potencia y por el número de horas diarias de funcionamiento.

$$T1 = \sum (P \cdot N \cdot H)$$

● Evaluación del consumo mensual en corriente alterna (T2)

Lo consignado como elementos generales en los párrafos anteriores es también de aplicación en el caso del consumo de los equipos de corriente alterna.

Supongamos que en el ejemplo de la vivienda unifamiliar en la provincia de Zaragoza queremos conectar en el salón un equipo de iluminación en corriente continua de 40 W (con lámparas de alta eficiencia) que prevemos puede estar funcionando 4 horas al día. Este equipo supondrá, por tanto, un consumo diario de $40 \cdot 4 = 160$ Wh.

Queremos además disponer de un punto de luz en la cocina, de 20W y consideramos que cada día estará en funcionamiento una hora, es decir, un consumo energético de 20Wh cada día.

Análogamente, en las habitaciones tendremos equipos de 20 W, corriente continua, y cada uno se usará unas 2 horas al día. Si tenemos un total de 4 equipos de estos, supondrá un consumo de $4 \cdot 20 \cdot 2 = 160$ Wh

Además disponemos de una nevera de corriente continua, de 120W de potencia y que durante un día tiene el motor funcionando durante unas 4 horas. Esto supone un consumo diario de $4 \cdot 120 = 480$ Wh

Sumando los consumos diarios de todos los equipos de corriente continua se tiene:

$$T1 = 160 + 20 + 160 + 480 = 820 \text{ Wh}$$

En cuanto a los equipos de corriente alterna están una lavadora, de 450W de potencia y que funciona una media de 0,5 horas al día, lo que supone un consumo de 225Wh, un televisor de 100W, con tres horas diarias de funcionamiento (300Wh al día), un vídeo, de 60 W, 1 horas de funcionamiento al día (60Wh) y diversos pequeños electrodomésticos (batidora, máquina de afeitar, taladradora, etc.) que podemos asignarles 200W, 0,3 h, (60Wh al día).

Sumando los consumos diarios de todos los equipos de corriente alterna se tiene:

$$T2 = 225 + 300 + 60 + 60 = 645 \text{ Wh}$$

Evaluación del consumo total (G_t)

Para la evaluación del consumo total se tienen en cuenta dos factores:

- **Margen de seguridad de captación (E_b):** Corresponde a las pérdidas en el cableado, pérdidas en conexiones, variaciones en los consumos previstos inicialmente, etc. En principio puede estimarse en un 15 % para la mayoría de los casos.
- **Eficiencia del inversor (E_i):** Es la relación entre la energía que se aporta al inversor y la realmente disponible para el consumo. Como ya se mencionó en el capítulo dedicado a los elementos que componen la instalación, el inversor tiene un consumo propio constante y un rendimiento variable en función de la carga a la que

suministre. En principio, y salvo disponer de informaciones más precisas, puede tomarse como valor medio el 85 %.

Los **consumos en continua (G_c)** serán, por tanto, el producto de $(100 + E_b) / 100$ por lo calculado para el conjunto de los equipos de consumo ($T1$):

$$G_c = \frac{(100 + E_b) \cdot T1}{100}$$

Los **consumos en corriente alterna (G_a)** serán el resultado de la operación siguiente:

$$G_a = \frac{(100 + E_b) \cdot T2}{E_i}$$

El **consumo diario total (G_t)** de los equipos será:

$$G_t = G_c + G_a$$

En el caso de nuestro ejemplo, considerando un margen de seguridad de captación del 15% y una eficiencia del inversor del 85%,

Consumos en c.c. $G_c = (100+15) \cdot 820 / 100 = 943 \text{ Wh/día}$

Consumos en c.a. $G_a = (100+15) \cdot 645 / 85 = 873 \text{ Wh/día}$

Considerando que es muy difícil que necesitemos operar todos los equipos de c.a. simultáneamente, puede ser razonable pensar en un inversor de 500W

Consumos totales: $G_t = G_c + G_a = 943 + 873 = 1.816 \text{ Wh/día}$

Evaluación de la radiación solar disponible (R_d)

La energía que capta un panel solar fotovoltaico va a depender tanto de la *climatología* del lugar como del ángulo de *inclinación* que el panel posea respecto a los rayos solares, como ha sido explicado anteriormente.

A continuación aparecen los valores medios de la **energía recibida** durante un día y **por unidad de superficie** correspondientes a las diferentes provincias aragonesas para los distintos meses del año, suponiendo una inclinación de los paneles de 60 grados. Esta energía está expresada en forma de $kWh/m^2/día$.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Huesca	3,43	5,23	5,11	4,60	4,54	4,53	5,00	5,07	4,70	3,56	3,33	2,59
Teruel	3,02	3,98	3,61	3,65	4,07	4,13	4,75	4,87	4,26	3,98	2,69	2,04
Zaragoza	3,39	5,05	4,89	4,64	4,76	4,72	5,09	5,44	4,82	4,62	3,12	3,19

A continuación se calcula para cada mes la relación de **consumos/radiación disponible (P)** según:

$$P = \frac{G_t}{R_d}$$

De las distintas estimaciones de consumos comparadas con la radiación disponible, se tomará el valor mayor, que denominaremos P_{max} .

En el caso de nuestro ejemplo, los consumos son de 1816 Wh. El mes de peor radiación, (que nos dará un valor de relación consumos/radiación mayor) es el Noviembre, que en Zaragoza solo da 3,12 kWh/m²/día, con lo que el P_{max} es

$$P_{max} = 1816/3,12 = 582$$

Tamaño del campo de captación

La **potencia de captación (C)** del panel elegido, en *watios-pico (Wp)*, es necesaria para calcular el tamaño del campo de captación.

A partir de la potencia del panel elegido y del mayor valor de P (P_{max}) se calcula el **número de paneles (N_p)** necesario:

$$N_p = 1.1 \cdot \frac{P_{max}}{C}$$

El factor 1.1 se aplica para compensar posibles pérdidas debidas a errores en la orientación, la limpieza de los paneles, conexiones, etc.

El número de paneles será, entonces, el primer número entero mayor que el N_p calculado según la fórmula anterior.

Supongamos que hemos decido colocar paneles de 90 Wp, el número de paneles necesarios para nuestro ejemplo es:

$$N_p = 1,1 \cdot 582 / 90 = 7,11$$

Si queremos ser conservadores pondríamos 8 paneles.

Dimensionado del sistema de acumulación

Para evaluar el tamaño del *sistema de acumulación* es necesario definir previamente los siguientes factores:

- **Días de autonomía (D):** Corresponden al tiempo que podrá funcionar la instalación sin recibir radiación solar en condiciones adecuadas. Habitualmente, para instalaciones de electrificación rural este factor puede ser de 4 ó 6 días, mientras que para aplicaciones profesionales puede superar los 10.
- **Profundidad de descarga máxima (M):** Corresponde al límite de descarga que puede alcanzar la batería. Para los casos más habituales de electrificación rural,

puede tomarse este valor como de un 70 %. Las baterías empleadas en otro tipo de sistemas pueden permitir profundidades de descarga superiores al 90 %.

- **Tensión de trabajo de la instalación (V):** Elegida en función de las características de la instalación, lo más usual son tensiones de 12 ó 24 V en el caso de instalaciones de electrificación rural.

La **capacidad de acumulación (Q)**, en *amperios-hora (Ah)*, se calcula con la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{110 \cdot G_t \cdot D}{V \cdot M}$$

Volviendo a nuestro ejemplo, supongamos 6 días de autonomía, y que la instalación sea de 12 V, y permitamos una profundidad de descarga de 70%.

$$Q = \frac{110 \cdot 1816 \cdot 6}{12 \cdot 70} = 1427 \text{ Ah}$$

Por tanto, como resumen, se tendrá el siguiente cuadro para la Electrificación de una Vivienda en Zaragoza

Aplicación	Electrificación de una vivienda.
Ubicación	Zaragoza

Consumo de los equipos en corriente continua				
Descripción del equipo	Potencia (W) P	Número equipos N	Horas/día función H	Consumo (Wh/día) P·N·H
Iluminación habitaciones	20	4	2	160
Luz salón	40	1	4	160
Luz cocina	20	1	1	20
Nevera	120	1	4	480
Total T1				820

Consumo de los equipos en corriente alterna				
Descripción del equipo	Potencia (W) P	Número equipos N	Horas/día función H	Consumo (Wh/día) P·N·H
Lavadora	450	1	0,5	225
TV	100	1	3	300
Vídeo	60	1	1	60
Otros	200	1	0,3	60
Total T2				645

Margen de seguridad de captación (E_b)	15	%
Eficiencia del inversor (E_i)	85	%
Consumos en corriente continua ($G_c = (100 + E_b) \cdot T1/100$)	943	Wh/día
Consumos en corriente alterna ($G_a = (100 + E_b) \cdot T2/E_i$)	873	Wh/día
Consumos totales ($G_t = G_c + G_a$)	1.816	Wh/día

Relación consumos/radiación disponible											
Consumos totales Gt (Wh/día)											
E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1816	1816	1816	1816	1816	1816	1816	1816	1816	1816	1816	1816
Radiación disponible Rd (kWh/día)											
E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
3,39	5,04	4,89	4,64	4,76	4,72	5,09	5,44	4,82	4,62	3,12	3,19
Relación consumos/radiación P=Gt/Rd											
E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
536	360	371	391	382	385	357	334	377	393	582	569

Dimensionado del campo de captación		
Potencia de captación del panel elegido (C)	90	Wp
Número de paneles ($N_p=1.1 \cdot P_{m\acute{a}x}/C$)	8	Paneles
Potencia de captación a instalar ($C \cdot N_p$)	730	Wp
Dimensionado del sistema de acumulación		
Días de autonomía (D)	6	Días
Profundidad de descarga máxima (M)	70	%
Tensión de trabajo de la instalación (T)	12	V
Capacidad del sistema de acumulación (Q) ($Q=(110 \cdot G_t \cdot D)/(T \cdot M)$)	1.427	Ah

Costes

Evidentemente para saber el coste definitivo habría que hablar con los suministradores de los distintos dispositivos, pero para darnos una primera aproximación son suficientes los siguientes datos:

Supongamos que cada panel de 90 Wp cuesta 540 euros (los precios suelen rondar los 6 euros/Wp). Al necesitar de 8 paneles, el coste por este concepto sería de 4330 euros. El coste del regulador podríamos cifrarlo en unos 180 euros.

Un inversor de 500 W cuesta alrededor de 480 euros. Y finalmente la batería podría estar en 2100 euros

$$\text{Coste Total} = 4.330 + 280 + 480 + 2.100 = 7.090 \text{ euros.}$$

A esta estimación de costes habría que sumarle el IVA y los costes derivados de estructuras y cableado.



EJEMPLO: Electrificación de un equipo de bombeo en la provincia de Teruel

Para aplicaciones de bombeo, debe tenerse en cuenta que la energía hidráulica diaria, E_H , que requiere el bombeo de un volumen V a una altura H viene dada por la expresión:

$$E_H(\text{Wh/día}) = 2,778 V(\text{m}^3/\text{día}) \cdot H (\text{m})$$

La energía eléctrica que es preciso proporcionar al motor, E_{el} resulta

$$E_{el} = \frac{E_H + P_{\text{fricción}}}{\text{rendimiento}}$$

Donde $P_{\text{fricción}}$ representa las pérdidas por fricción del agua en el sistema de tuberías y el rendimiento es la eficiencia energética del conjunto motor-bomba.

Por tanto, a la hora de diseñar un sistema de bombeo es necesario prestar atención a aspectos energéticos y a aspectos hidráulicos: limitar las pérdidas de fricción, por ejemplo. Especial consideración merece el hecho de que la práctica totalidad de estos sistemas incorporan bombas centrífugas, cuya eficiencia es muy sensible a la altura de bombeo. En otras palabras, un sistema optimizado para trabajar a 20 m puede resultar muy ineficiente a una altura de 40 m. En una aplicación correcta, el rango de alturas reales de trabajo puede variar a lo largo del tiempo como consecuencia de la dinámica del pozo o sondeo, que hace que la altura aumente o disminuya.

Supongamos entonces que se trata de diseñar la instalación fotovoltaica necesaria para elevar 10.000 litros de agua desde una profundidad de 30 metros (un pozo, por ejemplo) en una localidad de la provincia de Teruel.

La energía diaria requerida es, aplicando la fórmula antes expuesta,

$$E_H = 2,778 \cdot 10 \cdot 30 = 833,4 \text{ Wh}$$

Supongamos que el rendimiento de la bomba es del 75 % y que hay unas pérdidas del 10%. Se necesitará por tanto sacar de los paneles diariamente una energía de valor:

$$E_{el} = \frac{833,4 + 83,3}{0,75} = 1222,3 \text{ Wh}$$

Esto es el consumo diario (en corriente continua)

No existen consumos adicionales, por tanto, tomando una margen de seguridad de captación E_b , del 15 %,

$$G_c = \frac{(100 + 15) \cdot 1222,3}{100} = 1405,6 = G_t$$

El mes de peor insolación en Teruel es el de diciembre, con una radiación $R_d = 2,04$, (ver tabla), por lo que el $P_{max} = 1405,6 / 2,04 = 689$

Eligiendo de nuevo paneles de 90 Wp, el número de paneles necesarios es:

$$N_p = \frac{1,1 \cdot 689}{90} = 8,42$$

Por lo que tomaremos 9 paneles. En los sistemas de bombeo puede prescindirse de la batería (y por tanto de regulador) ya que el agua se almacena en el un depósito. Mientras hay sol se bombea tanta agua como se puede (sin que rebose el depósito) que se irá utilizando a medida que se necesite (riego, uso de boca o higiénico, bebida para animales, etc.)

Por supuesto, en los meses de mayor insolación, estos paneles serán capaces de bombear más agua (además suele coincidir con los periodos en que se necesita mayor cantidad de agua)

El coste económico estimado, sin contar impuestos y el precio de estructuras y cableado puede cifrarse en:

$$\text{Coste} = 9 \text{ paneles} \cdot 540 \text{ euros cada uno} = 4.860 \text{ euros}$$



EJEMPLO: Electrificación de un equipo de telecomunicaciones en Huesca

En posición de espera consume 12 W, y en posición de emisión consume 132W y emite 4h al día

$$\text{Total consumos (en corriente continua)} = 12 \cdot 20 + 132 \cdot 4 = 768 \text{ Wh/día}$$

Margen de seguridad de captación 15%

Eficiencia inversor: no hay inversor al estar en c.c.

Consumos totales: 883,2 Wh/día

Radiación disponible en Huesca con una inclinación de paneles de 60 grados

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Huesca	3,43	5,23	5,11	4,60	4,54	4,53	5,00	5,07	4,70	3,56	3,33	2,59

Radiación disponible en el mes peor, 2,59 kWh/día (en diciembre)

Relación consumo/radiación; en diciembre: 341

Potencia de cada panel: escogemos paneles de 75 Wp

Número de paneles necesarios: $(1,1 \times P_{\max} / C) = 1,1 \times 341 / 75 = 5$ paneles, aprox.

Potencia total de captación a instalar: $5 \cdot 75 = 375$ Wp

Días de autonomía: 10 días

Profundidad de descarga máxima: 80%

Tensión de trabajo de la instalación: 12V

Capacidad del sistema de acumulación:

$$Q = 110 \cdot 883,2 \cdot 10 / (12 \cdot 80) = 1.012 \text{ Ah C100}$$

3. Energía solar térmica

3.1. ¿Qué es la energía solar térmica?



La energía solar térmica consiste en la captación de la radiación del Sol y su transformación en calor para su aprovechamiento en diversas aplicaciones. Esta transformación se realiza por medio de unos dispositivos específicamente diseñados denominados colectores solares.

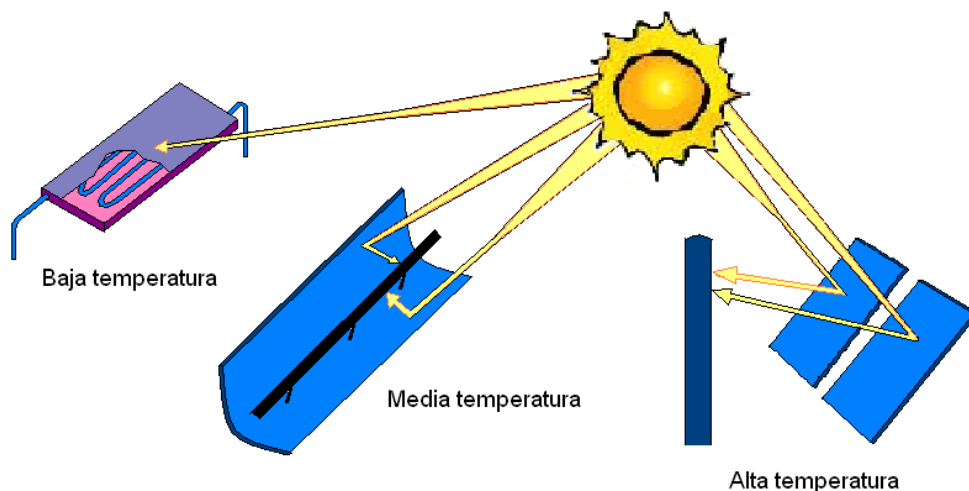


Un colector solar es un dispositivo capaz de captar la energía que aporta la radiación solar, utilizándola para calentar un determinado fluido (generalmente agua) a una cierta temperatura. En función de la misma, los colectores pueden ser de alta, media, o baja temperatura, siendo estos últimos, los que han adquirido un mayor desarrollo comercial.

La aplicación más generalizada de la energía solar térmica es complementar la producción de agua caliente sanitaria, pudiendo llegar a cubrir hasta un 60% de las necesidades de su empresa.

3.2. ¿Qué tipos de colectores solares existen?

En la actualidad existen tres grandes grupos de colectores solares en función de la temperatura a la que sean capaces de calentar el fluido: baja (menos de 100°C), media (entre 100 y 400°C), y alta temperatura (más de 400°C).



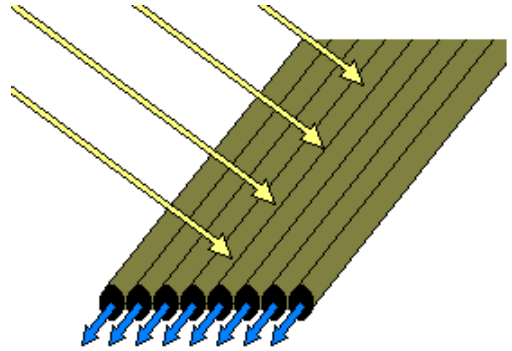
Colectores de baja temperatura

Estos colectores realizan la captación de forma directa, sin concentración de los rayos solares. Además la temperatura del fluido a calentar está siempre por debajo del punto de ebullición del agua. Según los materiales y técnicas de captación empleadas se

pueden distinguir tres tipos de colectores de baja temperatura: colectores de caucho, de placa plana, y de tubos de vacío.

● Colectores de caucho

Los colectores de caucho se componen de una gran cantidad de diminutos tubos de dicho material por los que circula el agua a calentar. Están especialmente recomendados para el calentamiento de piscinas, ya que su temperatura de trabajo es del orden de 25°C-35°C, y no poseen ningún tipo de cubierta exterior, aislante, ni caja; por lo que las pérdidas son grandes, lo que limita su aplicación a otro tipo de instalaciones. Debido a su composición, estos colectores toleran bien el paso de aguas agresivas (agua de piscina clorada), pero aguantan mal las tensiones mecánicas (heladas), y los rasguños superficiales. Su precio oscila entre 90-150 €/m².



● Colectores de placa plana

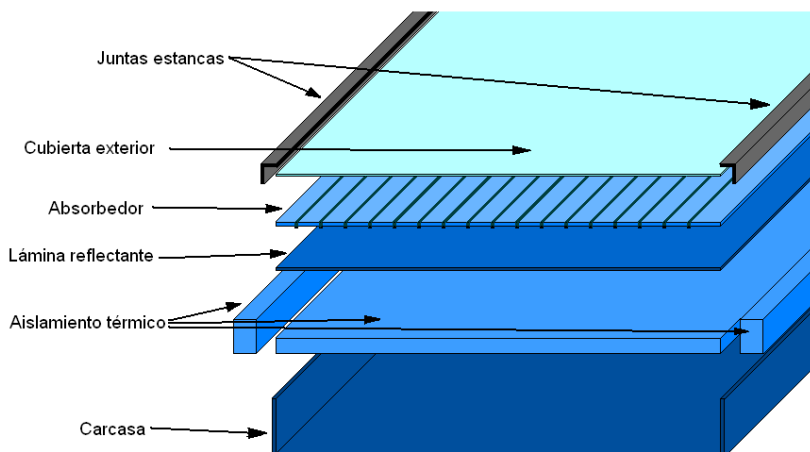
Los colectores de placa plana son en la actualidad los más extendidos comercialmente. Su temperatura de trabajo se sitúa en un rango de 50°C-70°C, por lo que están indicados para producir agua caliente para muy diversas aplicaciones: ACS, calefacción por suelo radiante, precalentamiento del fluido de entrada de una caldera, etc. Su precio es del orden de 240-300 €/m².



¿Qué elementos constituyen un colector de placa plana?

- **La cubierta exterior:** Está formada habitualmente por un cristal de vidrio simple, aunque también pueden encontrarse cubiertas con cristal doble o incluso con materiales plásticos. Su función es producir el efecto invernadero, reducir las pérdidas por convección, y proporcionar estanqueidad al colector.
- **El absorbedor:** Suele estar constituido por una placa metálica sobre la que se encuentra soldada una tubería de cobre formando un 'serpentín', favoreciendo el intercambio de calor entre la placa y el fluido circulante. La función de la placa es absorber la máxima radiación solar posible y ceder el calor acumulado al 'serpentín'. Por ello, la superficie de la placa expuesta al sol se encuentra recubierta de pintura negra o bien ha sido sometida a un tratamiento especial de superposición de capas.
- **El aislante térmico:** Es el material que recubre todos los laterales y la parte posterior del colector. Tiene por objeto minimizar las pérdidas térmicas a través de la carcasa. El material utilizado puede ser lana de vidrio, poliuretano, etc., con un grosor muy variable dependiendo del diseño del colector.

- **La carcasa:** Es la caja exterior que alberga todos los componentes anteriores, proporcionando rigidez al colector y realizando el sellado de su interior. Generalmente es de aluminio, debido a su poco peso y resistencia a la corrosión.

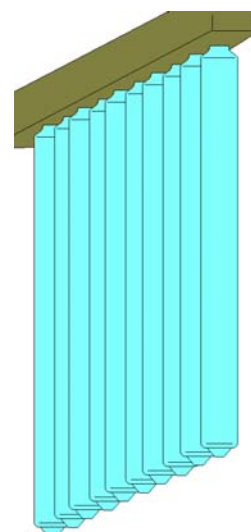


¿Cómo funciona un colector de placa plana?

La mayor parte de la radiación solar incidente atraviesa la cubierta exterior y queda retenida en el interior del colector (efecto invernadero). Esta radiación es captada por la placa absorbedora, aumentando su temperatura, por lo que la placa comienza a ceder calor al 'serpentín' de tubos que está soldado a la misma. Progresivamente el fluido que circula por el interior del 'serpentín' aumenta su temperatura hasta alcanzar la temperatura de trabajo del colector.

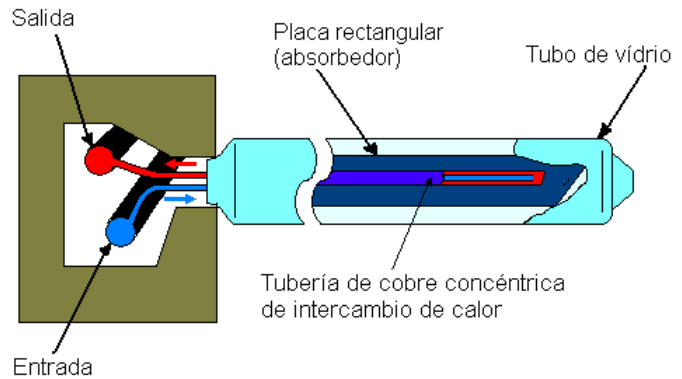
● Colectores de tubos de vacío

Los colectores de tubos de vacío poseen un mejor rendimiento y proporcionan mayores temperaturas que los colectores de placa plana, pudiendo llegar a temperaturas de trabajo de 100°C. Por ello, la aplicación más habitual de este tipo de colectores es la generación de agua caliente para su aprovechamiento en procesos industriales o bien en una instalación de calefacción por radiadores convencionales, y para el precalentamiento del fluido de entrada de una caldera. Los principales inconvenientes que presentan estos colectores frente a los de placa plana son su elevado precio, y la mayor laboriosidad y cuidado que requiere su montaje. Su coste oscila entre 570-630 €/m².



¿Cómo funciona un colector de tubos de vacío?

Estos colectores están formados por 10-20 tubos de vidrio en cuyo interior se ha hecho el vacío. En el interior de cada tubo hay una tubería de cobre soldada a una placa rectangular, que absorbe la radiación solar y cede calor al fluido que circula por la tubería. Al igual que los colectores de placa plana, el funcionamiento de este tipo de colectores se basa en el efecto invernadero que se produce cuando la radiación solar atraviesa un vidrio. La diferencia, en este caso, está en que no se requiere de un material aislante, ya que el propio vacío de los tubos elimina totalmente las pérdidas térmicas hacia el exterior del vidrio. Por ello su rendimiento es siempre superior al de los colectores de placa plana, especialmente en condiciones de baja radiación solar.

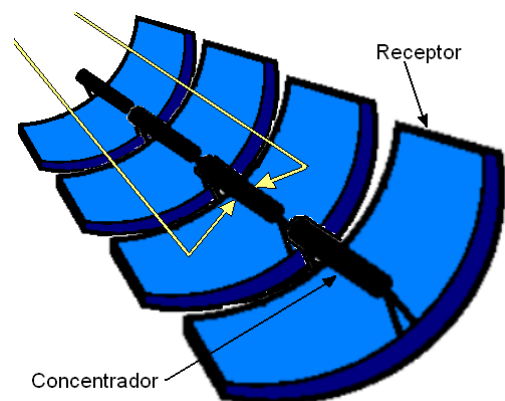


Colectores de media temperatura

Estos colectores tienen un bajo índice de concentración de los rayos solares, consiguiendo, de este modo, temperaturas más elevadas al aumentar la radiación por unidad de superficie. La temperatura de trabajo se sitúa en un rango de 100°C-400°C. Los más representativos son los colectores cilíndrico – parabólicos.

● Colectores Cilíndrico-Parabólicos (CPC)

Los CPC son colectores que concentran la radiación solar incidente, por medio de una superficie reflectora con forma cilíndrica, en un receptor lineal (tubería) por el que circula el fluido (aceite) a calentar. Su temperatura de trabajo típica es de 390°C, lo que permite la puesta en marcha de un ciclo termodinámico. Por ello, su principal aplicación es la generación de vapor para la producción de electricidad.



Aunque con este tipo de colectores se pueden obtener altas temperaturas de operación, su uso no está muy generalizado, debido al elevado coste de los materiales y a diversos problemas de operación:

- Deben orientarse continuamente al sol de manera precisa mediante un mecanismo de seguimiento adecuado.

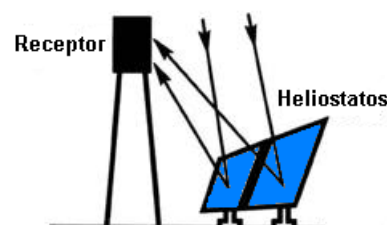
- El acabado de las superficies que constituyen el sistema óptico debe ser de buena calidad y ha de mantener sus propiedades por largos períodos de tiempo sin ser deteriorado por los agentes exteriores.
- Los materiales utilizados en el receptor (aislante térmico, fluido de trabajo, tubos absorbedores y cubiertas) deben aguantar perfectamente las altas temperaturas que se alcanzan.

Colectores de alta temperatura

Estos colectores tienen un alto índice de concentración de la radiación solar, consiguiendo temperaturas de trabajo por encima de 400°C. En la actualidad se utilizan sólo en instalaciones de ensayo y demostración aplicadas a la generación eléctrica, el ensayo de materiales industriales, la desalinización de agua marina por evaporación, etc. Los más representativos son los heliostatos y los discos parabólicos.

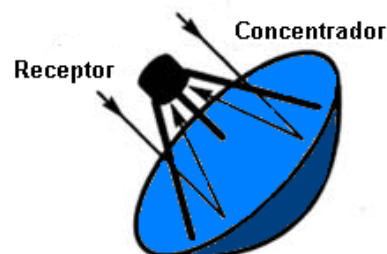
• Heliostatos.

Son espejos muy pulidos que focalizan la radiación solar concentrándola en un receptor situado en la parte superior de una torre, para lo cual están dotados de un preciso mecanismo de seguimiento solar. En la torre, el receptor convierte la radiación en calor, alcanzándose temperaturas superiores a 1000°C.



• Discos parabólicos.

Están formados por una superficie reflectora en forma de paraboloide que concentra los rayos solares sobre un receptor puntual que contiene un gas (helio, aire), consiguiendo elevar su temperatura hasta 900°C.



3.3. Consejos para elegir un buen colector

Las recomendaciones siguientes se centran en los colectores de placa plana, ya que al ser los más desarrollados comercialmente, hay una mayor diversidad de modelos a elegir en el mercado.

- Las características radiantes de una buena cubierta son: un alto coeficiente de transmisión de la radiación solar para las ondas cortas (de 0,3 a 3 μm), una baja transmisividad a las ondas largas (más de 3 μm), un alto coeficiente de reflexión a las ondas largas en su cara interior, y un bajo coeficiente de conductividad térmica.

- Las cubiertas de vidrio han de tener un espesor mínimo es de 4 mm y haber sido sometidas al templado térmico para aumentar su resistencia a roturas y deformaciones.
- En general, las cubiertas plásticas no son aconsejables, ya que resisten peor los sobrecalentamientos y son más deformables. Además, bajo la acción de los agentes exteriores se rayan y se deterioran con más facilidad que las cubiertas de vidrio. Las únicas ventajas de las cubiertas plásticas son la menor fragilidad y peso, lo que disminuye los riesgos de ruptura y facilita el mantenimiento.
- Las cubiertas de doble vidrio reducen las pérdidas por convección, si bien su transmisividad es algo inferior. Por ello, en general, la doble cubierta es mejor para zonas con alta radiación, baja temperatura exterior y fuerte viento. En la zona geográfica aragonesa, este tipo de cubiertas sólo se recomienda para zonas de alta montaña.
- El revestimiento del absorbedor por medio de “superficies selectivas” ofrece un mejor comportamiento general frente a la pintura negra convencional, ya que presenta un menor deterioro con el paso del tiempo, y un coeficiente de emisión mucho más bajo, manteniendo un coeficiente de absorción similar.
- El material del bloque tubos – absorbedor debe ser resistente a la corrosión interna. Además, en los tubos en contacto con el absorbedor no debe haber tramos mixtos cobre-hierro, con objeto de evitar la corrosión del hierro.
- La pérdida de carga del colector que se produce en sus tubos internos deberá ser lo más pequeña posible, especialmente para instalaciones que funcionen por termosifón (sin circulación forzada), donde dicha pérdida debe ser inferior a 3 mm de col H₂O /m² de colector.
- La placa absorbadora debe transmitir bien el calor al fluido a calentar, lo que implica una buena ejecución de las soldaduras y acoplamientos, una adecuada conductividad y espesor del metal que forma la placa absorbadora, una correcta separación entre los tubos, etc.
- La carcasa ha de ser suficientemente rígida para poder resistir la presión del viento dominante y debe evitar la retención de agua, hielo o nieve en el exterior del colector.
- La carcasa debe resistir correctamente las variaciones térmicas del exterior, a fin de evitar dilataciones irregulares que puedan producir el arqueamiento de la carcasa con la consiguiente pérdida de estanqueidad, la desunión de ensamblajes, y la desarticulación del colector.
- La carcasa tiene que ofrecer resistencia contra la corrosión e inestabilidad química. Las carcasas de plástico deben soportar la degradación química producida por la acción de los rayos ultravioletas de la radiación solar, mientras que las carcasas metálicas deben estar protegidas mediante galvanizado o pinturas especiales.

- El aislante interior del colector ha de poseer un buen comportamiento a altas temperaturas (150°C), ofreciendo un mínimo desprendimiento de vapores bajo la acción del calor. Además debe presentar una mínima degradación ante la humedad que pueda formarse dentro del colector, y el envejecimiento.
- Finalmente, para elegir un colector es fundamental tener en cuenta la curva característica o curva de rendimiento del colector.

¿Cómo se calcula el rendimiento de un colector?

El rendimiento de un colector se calcula por medio de su curva característica, la cual debe ser proporcionada por el fabricante.

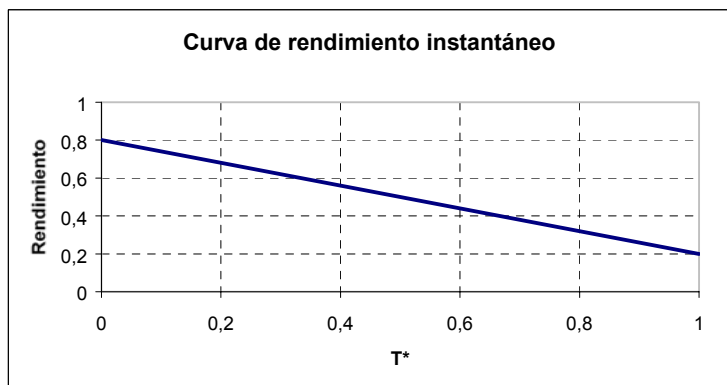
Esta curva (en realidad es prácticamente una recta) muestra en el eje vertical el rendimiento del colector, y en el eje horizontal un parámetro adimensional T^* .

La fórmula para calcular dicho parámetro es proporcionada también por el fabricante, si bien, la mayoría de las veces adopta la expresión:

$T^* = \frac{U_0 \cdot (t_m - t_a)}{I}$	U_0	es una constante incluida por el fabricante y que suele ser 10 W/m ² °C.
	t_m	es la temperatura de trabajo del fluido a calentar en °C.
	t_a	es la temperatura ambiente en °C
	I	es la radiación solar incidente total por unidad de superficie en W/m ² .

Calculado el valor del parámetro T^* , la obtención del rendimiento es inmediata, sin más que entrar en la curva característica con dicho valor.

Como se puede observar, si la diferencia entre la temperatura del fluido a calentar y el ambiente es alta (T^* es alto), el rendimiento es menor, ya que las pérdidas que se producen son mayores, mientras que si hay poca diferencia entre la temperatura del fluido y el ambiente (T^* es bajo), el rendimiento es más elevado, al producirse menores pérdidas.



Por otra parte, como parece evidente, a mayor radiación solar incidente por superficie (T^* es bajo), el rendimiento del colector es superior y viceversa.

Por último, examinando la curva característica, se puede concluir que un colector será mejor conforme menor sea la pendiente de la curva, y mayor sea el valor de la ordenada en el origen (es decir, el rendimiento cuando $T^*=0$).

3.4. Aspectos a considerar en la instalación de colectores

Los colectores de media y alta temperatura están orientados continuamente al sol ya que disponen de un mecanismo de seguimiento adecuado. Sin embargo, los colectores de baja temperatura se instalan en una posición fija. Por ello una adecuada instalación de los mismos es imprescindible para asegurar un aprovechamiento óptimo de la radiación solar.

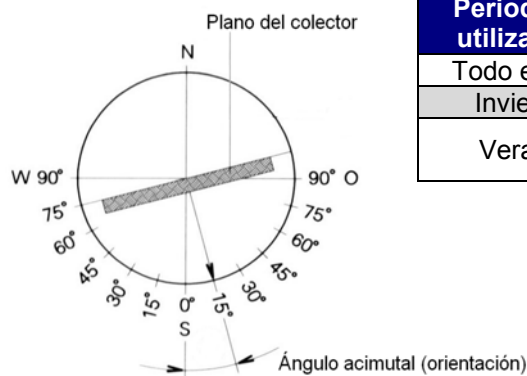
El montaje de los colectores es una de las operaciones más importantes en este tipo de instalaciones, y debe caracterizarse por la rapidez y la seguridad en el anclaje y sujeción. El tipo de anclaje de un colector depende de su ubicación (en cubierta o terraza) y tiene que ser capaz de soportar las fuerzas que actúan sobre él debidas a la presión del viento a que se encuentra sometido (fuerzas de tracción sobre los anclajes).

En el montaje se debe buscar también la integración arquitectónica de los colectores, buscando la continuidad y uniformidad del edificio y su entorno, con objeto de minimizar el impacto visual y conseguir un diseño estético.

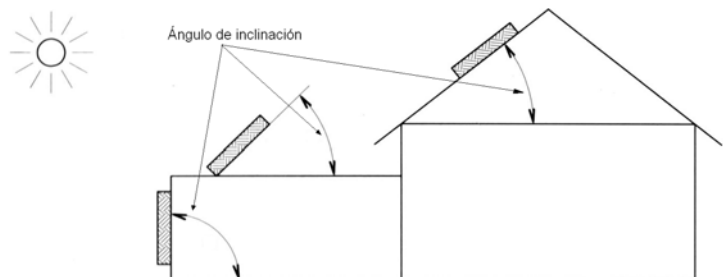
Ángulos de orientación e inclinación

El posicionamiento de los colectores está definido por el ángulo de inclinación, es decir, el ángulo entre la horizontal y el colector; y el ángulo acimutal, el cual describe la desviación del plano del colector con respecto a la dirección sur.

En la siguiente tabla se muestran las inclinaciones orientativas que se suelen dar a los colectores, según la época del año y el uso a que se destinan. No obstante hay que señalar que variaciones de $\pm 10^\circ$ con respecto al ángulo de inclinación indicado no afectan sensiblemente al rendimiento del equipo.



Periodo de utilización	Utilización	Ángulo de inclinación
Todo el año	Agua Caliente Sanitaria	Latitud del lugar + 10°
Invierno	Calefacción	Latitud del lugar + 20°
Verano	Piscinas descubiertas, hoteles temporada	Latitud del lugar - 5°

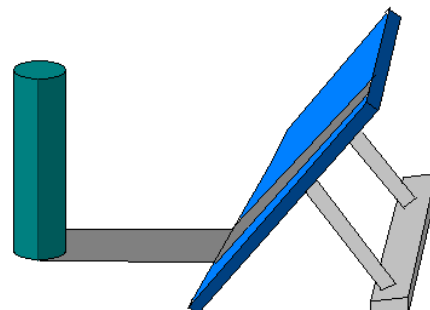


Por su parte, generalmente el ángulo acimutal óptimo para una instalación de colectores solares es de 0° (plano de los colectores orientado hacia el Sur), si bien desviaciones de $\pm 20^\circ$ con respecto a la orientación Sur no afectan mucho. Así una orientación hacia el Este adelanta el periodo diario de captación (1 hora cada 15°), mientras que una orientación hacia el Oeste retarda dicho periodo (1 hora cada 15°) mejorando ligeramente el rendimiento por funcionar más horas con temperatura ambiente más alta.

Identificación de las sombras

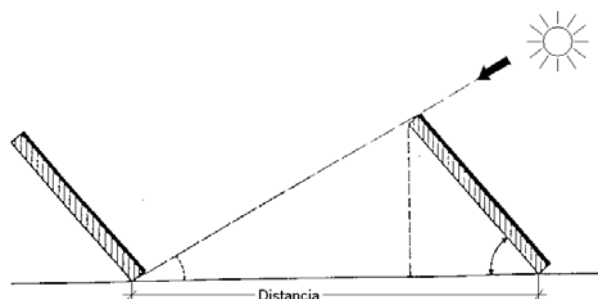
Si tenemos más del 20% de la superficie del colector solar con sombras, nuestro colector estará inoperativo. Por ello es aconsejable que el día más desfavorable, en cuanto a operatividad se refiere, no tenga más del 5% de sombra.

Para hallar las sombras proyectadas sobre nuestros colectores debido a obstáculos próximos se debe observar el entorno desde el punto medio de la arista inferior del colector, tomando como referencia la línea Norte-Sur y haciendo un barrido angular a ambos lados de dicha línea. Si la ubicación es adecuada no se deberían ver obstáculos frente al campo de colectores, con una altura angular superior a 15° (válido para latitudes en torno a los 40°).



Distancia entre filas de colectores

Si se instalan varias filas de colectores hay que dejar una separación suficiente entre dichas filas para que no se hagan sombra entre sí. Para fijar esta distancia, el criterio más utilizado es que en el mediodía solar del día más desfavorable (altura solar mínima) del periodo de utilización, la sombra de la arista superior de una fila se proyecte como máximo, sobre la arista inferior de la fila siguiente. En los equipos que se utilicen todo el año, la altura solar mínima al mediodía solar se producirá el 21 de Diciembre.



3.5. Esquema y componentes de una instalación solar térmica

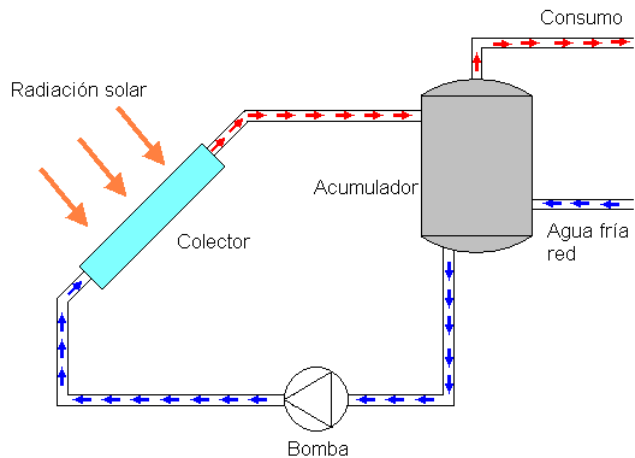
En general, una instalación de baja temperatura está formada por un subsistema de captación formado por varios colectores solares conectados en serie y/o paralelo que capta la energía solar, un subsistema de acumulación formado por uno o más depósitos de almacenamiento de agua caliente que adapta en el tiempo la disponibilidad de energía y la demanda, y un subsistema de distribución formado por el equipo de regulación, tuberías, bombas, elementos de seguridad, etc., que traslada a los puntos de consumo el agua caliente producida.

Además, considerando que en la zona climática aragonesa este tipo de instalaciones no suele cubrir el 100% de las necesidades térmicas, habitualmente se incorpora un sistema convencional auxiliar (caldera, resistencia eléctrica) que entra en funcionamiento para apoyar a los colectores cuando la temperatura del agua de salida del acumulador es inferior a los requerimientos de la demanda.

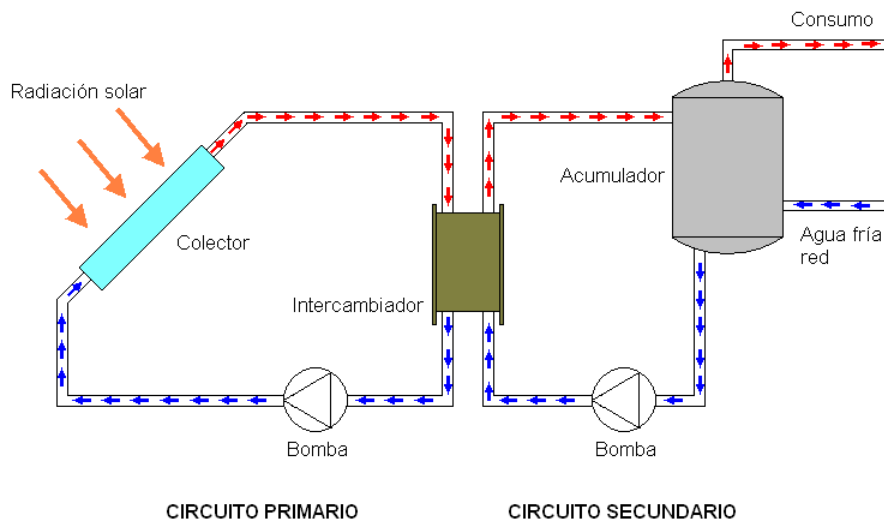
Tipos básicos de instalaciones

Según el sistema de termotransferencia utilizado, las instalaciones pueden ser de circuito abierto o de circuito cerrado:

- En las instalaciones de circuito abierto, no hay intercambiador de calor, ya que el propio fluido que circula por los colectores es el que luego va al depósito para su posterior utilización. Es decir, el circuito primario está comunicado directamente con el acumulador.

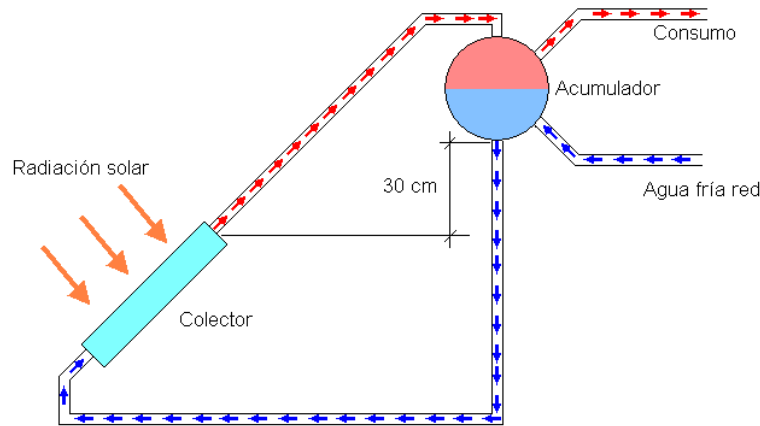


- En las instalaciones de circuito cerrado, existen dos circuitos diferenciados e incomunicados: el primario y el secundario. El circuito primario está compuesto por los colectores y la bomba de impulsión (en caso de circulación forzada) por los que circula el fluido caloportador. El calor ganado por dicho fluido a través de los colectores es cedido por medio de un intercambiador de calor al circuito secundario, que está formado por el depósito de acumulación y la correspondiente bomba.



Por otra parte, según el modo de circulación del fluido caloportador, las instalaciones pueden ser con circulación natural (termosifón) o con circulación forzada:

- En las instalaciones con circulación natural, el fluido caloportador circula por convección libre (termosifón) debido a la diferencia de temperatura (y por tanto de densidad) existente entre el depósito y el colector, lo que origina de forma natural una corriente circulatoria, sin necesidad de una bomba de impulsión.



- En las instalaciones con circulación forzada, el fluido caloportador circula por el impulso de una bomba.

	Circulación Natural		Circulación Forzada	
	Circuito Abierto	Circuito Cerrado	Circuito Abierto	Circuito Cerrado
Aplicación típica	Vivienda unifamiliar aislada	Climatización de piscinas	Vivienda unifamiliar	Vivienda multifamiliar
Tamaño de la instalación	Pequeño	Mediano	Mediano	Grande
Sencillez y bajo coste	Sí		No	
Ubicación del depósito	Predeterminada (por encima de los colectores)		Cualquiera	
Regulación de temperatura del depósito	Imposible		Posible	
Necesidad de bomba de impulsión	No		Sí	
Adición de anticongelante como protección contra heladas	Imposible	Posible	Imposible	Posible
Riesgo de corrosión	Alto	Bajo	Alto	Bajo
Presión de trabajo de los colectores	Alta	Media – Baja	Alta	Media – Baja

3.6. Elementos de una instalación solar de baja temperatura

Fluido caloportador

El fluido caloportador es aquél que pasa por los tubos del absorbedor, transfiriendo la energía térmica absorbida a otra parte del sistema (intercambiador de calor o depósito acumulador).

Los principales problemas a considerar en la elección de un determinado tipo de fluido son los riesgos de congelación y de ebullición. Los tipos de fluido caloportador más utilizados son los siguientes:

- **Agua natural:** La característica fundamental es que es el único tipo de fluido que se puede utilizar en circuito abierto.

- **Agua con adición de anticongelante (20-30%):** El fluido resultante protege al circuito primario contra la congelación, si bien presenta algunos inconvenientes con respecto al agua natural como son la toxicidad, el aumento de la viscosidad y del coeficiente de dilatación, la disminución del calor específico, y el mayor riesgo de corrosión.
- **Fluidos orgánicos:** Engloban tanto a líquidos orgánicos sintéticos como a ciertos derivados del petróleo. Son químicamente estables a altas temperaturas y protegen el circuito primario de la congelación, aunque presentan una alta toxicidad y viscosidad, además de ser inflamables.
- **Aceites de silicona:** Se caracterizan por su gran calidad y estabilidad, y por no ser tóxicos, ni inflamables. El único inconveniente para su utilización generalizada es su elevado coste.

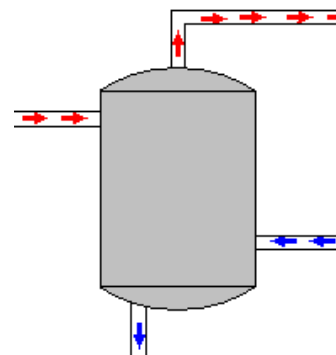
Red de tuberías

En una instalación solar, el dimensionamiento del diámetro de las tuberías debe ser el mínimo posible que haga que las pérdidas de carga no superen un límite razonable. Los materiales más frecuentemente empleados para las tuberías son el cobre, por sus buenas cualidades técnicas y bajo coste, y los materiales plásticos siempre que puedan soportar temperaturas de hasta 120°C.

Acumuladores de ACS

La función del depósito acumulador es almacenar el agua caliente generada en los colectores para posibilitar su uso posterior.

Los materiales más comúnmente utilizados en su construcción son el acero inoxidable, la fibra de vidrio reforzada, y el acero con protección interior contra la corrosión (ánodo anticorrosión, pintura especial o galvanizado).



¿Cómo dimensionar la capacidad del acumulador?

El dimensionado del depósito depende de la superficie de colectores instalada, de la temperatura de utilización, y del desfase que se produzca entre la captación – almacenamiento y el consumo:

- Coincidencia captación – consumo: 35 a 50 l por m².
- Desfases no superiores a 24 h.: 60 a 90 l por m².
- Desfases entre 24 y 72 h.: 70 a 150 l por m².

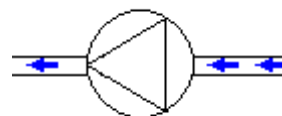
- Desfases superiores a 72 h.: se calcula por medio de un balance energético específico.

Como tamaño estándar se suele dimensionar con 70 – 75 litros por m² de colector, teniendo en cuenta siempre que a menor volumen de acumulación, la temperatura del agua almacenada es mayor y el rendimiento menor, y viceversa.

Otros elementos de la instalación

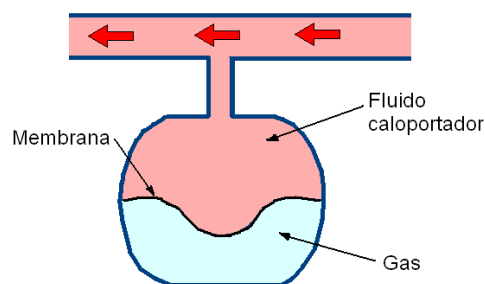
● Bombas de impulsión

Su función es impulsar el fluido de tal forma que se puedan vencer las pérdidas de carga existentes, proporcionándole a la vez la presión adecuada para el correcto funcionamiento de la instalación. El caudal mínimo necesario debe ser de 50 litros por hora y m² de colector, optando por mayores caudales en caso de que el fluido a impulsar no sea agua.



● Depósito de expansión

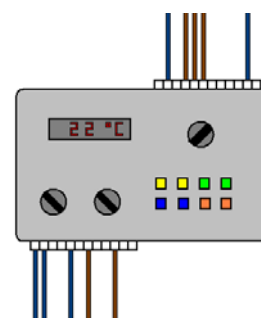
Su función es absorber las dilataciones del fluido caloportador que se producen con el aumento de temperatura. Puede ser de tipo abierto o cerrado, dependiendo de si tiene contacto con la atmósfera.



● Sistema de regulación

El sistema de regulación está compuesto por termostatos, reguladores proporcionales, sensores (termopares y/o termoresistencias), y elementos actuadores (relés y contactores).

Existe una gran diversidad de sistemas de regulación para una instalación solar en función de su aplicación, si bien, el sistema más usual es por medio de termostato diferencial. En este método, el regulador compara la temperatura del colector con la del acumulador, y en caso de que la sobrepase en más de un cierto nivel (5-6°C) pone en marcha la bomba del primario, mientras que cuando la temperatura baja por debajo de ese nivel, apaga dicha bomba.

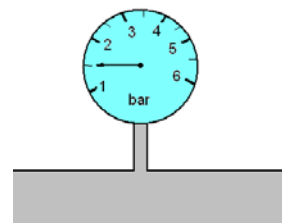


3.7. Operaciones de mantenimiento básico de la instalación

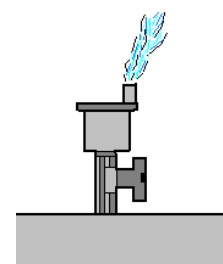
Acciones a realizar por el usuario de la instalación

El usuario deberá realizar dos operaciones básicas de mantenimiento y control preventivo:

- Comprobar la presión del circuito de forma periódica, y si es posible, antes de la bomba, realizando dicha operación en frío (por la mañana temprano), de tal forma que si la presión es inferior a la establecida por el fabricante (generalmente de 1,5 kg/cm²), en los sistemas cerrados hay que abrir la llave para hacer que entre agua de la red en nuestro circuito, y si el sistema es de vaso de expansión abierto, habrá que averiguar la causa del fallo del sistema de relleno.

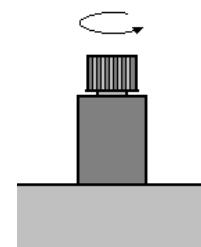


- Purgar de forma periódica el sistema (con una periodicidad no superior a un mes), y conocer las operaciones mínimas necesarias para la actuación del sistema, como puedan ser el arranque y parada del sistema, así como la operación de los termostatos de control de temperatura de salida del agua.



Acciones a realizar por personal cualificado

- Es preciso controlar la mezcla y la cantidad de anticongelante - agua del sistema, especialmente a principios del invierno, para equilibrarla si es necesario.
- Con el circuito en frío y parado, es conveniente comprobar periódicamente la presión del aire en el vaso de expansión cerrado mediante un manómetro.
- Hay que calibrar el sistema de control para asegurar la correcta regulación de la instalación, asegurando además que todos los sensores y termostatos funcionen correctamente.
- Se deben revisar todas las tuberías y demás elementos para reparar cualquier rotura, así como el aislamiento o protecciones que dejen la tubería al descubierto.
- Es necesario comprobar la correcta estanqueidad al agua de los colectores, inspeccionando la junta del cristal del colector, las juntas de las salidas de las conexiones del colector y el cofre y comprobando que la caja del colector no presente ningún tipo de deformación.
- Hay que actuar sobre todas las válvulas manuales y de seguridad para asegurar su funcionamiento. El máximo período recomendado sin ser accionadas es de tres meses o antes en caso de mala calidad del agua.



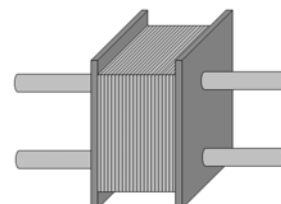
- Durante los períodos en que el sistema solar de agua caliente no esté en funcionamiento deberá cubrirse el colector con el fin de minimizar la corrosión y la formación de sales en los tubos del absorbedor.

- En lugares próximos a zonas industriales, la cubierta transparente del colector deberá ser lavada con agua limpia al menos cada tres meses, si durante este período no ha llovido. Además, las cubiertas deterioradas o rotas deberán ser sustituidas inmediatamente.



- Se debe estar siempre atento al fenómeno de corrosión en colectores, tuberías y depósitos, realizando una limpieza periódica especial de los circuitos.

- Hay que desmontar periódicamente los intercambiadores de placas existentes en la instalación para limpiarlos de las incrustaciones calcáreas que se forman en los mismos.



3.8. ¿Qué subvenciones existen para una instalación solar térmica?

A continuación se presentan los principales organismos y entidades nacionales e internacionales que ofrecen subvenciones para instalaciones de energía solar térmica.

Ámbito Europeo. Unión europea.



Desde la Unión Europea, y especialmente a través de la Dirección General de Transportes y Energía (DG-TREN) de la Comisión, se están desarrollando numerosos proyectos relacionados con la promoción del uso racional de la energía y de las fuentes de energía renovables. Entre los diversos programas desarrollados hay que destacar el programa Altener.

Altener es un programa de fomento de las energías renovables en la Unión Europea que financia actividades destinadas a aplicar y complementar las medidas adoptadas por la Comunidad y los Estados Miembros para desarrollar el potencial de las fuentes de energía renovables, proyectos piloto destinados a crear o ampliar infraestructuras e instrumentos para el desarrollo de fuentes de energía renovables, medidas de fomento y difusión y acciones cuyo objetivo sea facilitar y acelerar la inversión en nuevas capacidades operativas de producción de energía a partir de fuentes renovables. La dotación financiera del programa para el período 2000-2002 es de 77 M€.

Ámbito Nacional.

IDAE – Instituto para Diversificación y Ahorro de la Energía



La función básica del IDAE es promover la eficiencia energética y el uso racional de la energía en España, así como la diversificación de las fuentes de energía y la promoción de las energías renovables. Todo ello mediante acciones de difusión, asesoramiento técnico y el desarrollo de proyectos de innovación, dentro de las directrices formuladas por el Ministerio de Ciencia y Tecnología.

En el marco del Plan de Fomento de las Energías Renovables 2000 - 2010, el IDAE ofrece anualmente, en convocatoria pública, un programa de ayudas a las instalaciones de energía solar térmica de baja temperatura para usuarios finales. La ejecución de la instalación ha de ser efectuada por las empresas colaboradoras, acreditadas por el IDAE, en calidad técnica y correcto mantenimiento; y la subvención puede llegar hasta el 50% del coste de la instalación.

Ámbito Autonómico.

Gobierno de Aragón. Servicio de Energía.

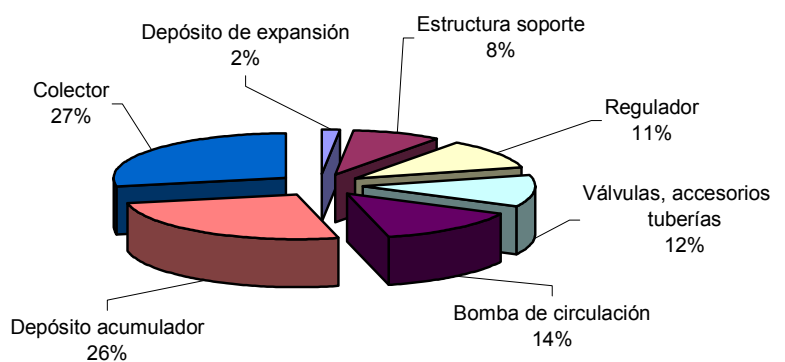


Se encarga de la planificación y gestión de la energía en la Comunidad Autónoma, la promoción de inversiones en materia de ahorro y eficiencia energética, y el fomento del aprovechamiento de los recursos autóctonos y de las energías renovables. Actualmente las subvenciones disponibles se recogen en el Decreto 52/2000, de 14 de Marzo de 2000, del Gobierno de Aragón, sobre ayudas económicas a las Empresas Industriales en la Comunidad Autónoma de Aragón. (BOA Nº 34 22 de Marzo de 2000). Así mismo, en el DECRETO 68/1998, de 31 de marzo, del Gobierno de Aragón, se establecen subvenciones en materia de ahorro y diversificación energética, uso racional de la energía, aprovechamiento de los recursos autóctonos y renovables e infraestructura energética en el medio rural. Este decreto es desarrollado actualmente mediante la ORDEN de 19 de octubre de 2001, del Departamento de Industria Desarrollo y Comercio

3.9. ¿Cuánto cuesta una instalación solar?

El coste de los materiales de una instalación solar completa para calentar agua supone por término medio un desembolso de 420-480 € por cada metro cuadrado de colector solar, en caso de tratarse de instalaciones pequeñas o medianas. Para grandes instalaciones, el coste es algo inferior, situándose en las 300-420 € por metro cuadrado de colector solar.

El reparto del coste de la instalación por equipos varía según el tipo de aplicación, calidad de los materiales, etc. No obstante para una instalación típica, el coste se podría distribuir entre los distintos equipos según indica la figura.



3.10. Cálculo aproximado de instalaciones solares. Ejemplos.

A continuación se presenta una forma rápida y sencilla de calcular dos tipos de instalaciones solares comúnmente extendidos. Evidentemente los resultados obtenidos son aproximados; un cálculo preciso requeriría de un estudio detallado en el que habría que obtener la demanda térmica mensual de la instalación, la aportación mensual de los colectores, y los ahorros mensuales conseguidos; a partir de numerosos datos tales como el grado de utilización de la instalación, orientación de los colectores, datos climatológicos y de radiación, caudales, características técnicas de los colectores, fluido caloportador, acumulador, e intercambiador, etc.

Instalaciones solares para producción de ACS

Las instalaciones de agua caliente sanitaria (ACS) son la aplicación más extendida de la energía solar. A continuación se explica mediante un ejemplo como se puede realizar un cálculo aproximado de este tipo de instalaciones, con objeto de poder hacer una primera evaluación del tamaño de la instalación y una estimación simplificada de su posible rentabilidad.

Nº ocupantes / camas [1]			
Consumo diario ACS por persona o cama [2]			
Consumo diario ACS en l/día [3]	[1]x[2]	Volumen de acumulación en l [4]	≈ [3]
Nº colectores [5]	[4]:150	Superficie colectora en m ² [6]	[5]x1,88

Importe del sistema totalmente instalado (€) [7]	[6]x(420 ó 480)
Subvención a fondo perdido (€) [8]	[6]x150
Coste real de la instalación (€) [9]	[7]-[8]
Pago inicial (€) [10]	[9]+([7]x0,16)
Ahorro anual (termias) [11]	[5]x1.350
Ahorro anual (€) [12]	[11]x0,06
Periodo de amortización (años) [13]	[9]:[12]

- Los consumos medios orientativos de A.C.S. a considerar en [2] se pueden extraer de la siguiente tabla:

Viviendas unifamiliares:	40 litros por persona y día
Viviendas multifamiliares	30 litros por persona y día
Hospitales	80 litros por cama y día
Hoteles (***) o más)	80 litros por cama y día
Duchas colectivas	20 litros por servicio

- En caso de conocer de antemano el consumo diario de ACS, éste se anota directamente en [3], prescindiendo de las casillas [1] y [2].

- En principio, la capacidad de acumulación [4] que se escogerá será aproximadamente igual al consumo diario de ACS [3].
- Hay que señalar que el IVA, al ser desgravable, no figura como coste de la instalación, por lo que debe ser abonado por el usuario junto con el pago inicial [10].
- En cuanto al periodo de amortización resultante [13], cabe destacar que la vida media de una instalación solar de ACS es de 20 años, siempre que se realice un correcto mantenimiento.



EJEMPLO

Sea un hotel de 2 estrellas con 98 camas que está interesado en instalar colectores solares para producir ACS. El consumo de ACS del hotel se estima en 60 litros por cama y día.

Simplemente con estos datos es posible realizar una primera valoración de la instalación, por medio de la tabla anterior:

Nº ocupantes / camas [1]	98		
Consumo diario ACS por persona o cama [2]	60		
Consumo diario ACS en l/día [3]	5.880	Volumen de acumulación en l [4]	6000
Nº colectores [5]	40	Superficie colectora en m ² [6]	75,2

Importe del sistema totalmente instalado (€) [7]	33.897
Subvención a fondo perdido (€) [8]	11.299
Coste real de la instalación (€) [9]	22.598
Pago inicial (€) [10]	28.021
Ahorro anual (termias) [11]	54.000
Ahorro anual (€) [12]	3.245
Periodo de amortización (años) [13]	7

Instalaciones solares para precalentamiento de agua de entrada a caldera

A diferencia del caso anterior, en este tipo de instalaciones se produce una coincidencia entre la captación y su uso. Mediante la siguiente tabla se puede analizar la conveniencia de implantar un sistema de energía solar térmica de baja temperatura para precalentamiento de agua de entrada a cualquier tipo de caldera hasta

temperaturas del orden de 60°C. En este caso, el ahorro se genera como consecuencia del combustible no quemado para aumentar la temperatura del agua hasta dicho valor. El resto del calor necesario por la aplicación dada deberá ser aportado por el sistema de calderas que se disponga.

Consumo mensual de combustible en l, kg, termia o m ³ al mes [1]		l/mes	Consumo mensual combustible en kJ al mes [2]	[1] x DENSIDAD x PCI
		kg/mes		[1] x PCI
		termia/mes		[1] x 4.180
		m ³ /mes		[1] x PCI x 4.180
Horas de funcionamiento al mes [3]				
Temperatura de retorno del agua a calentar en °C [4]				
Caudal de agua a calentar en kg/h [5]				[2] : (167,6196 x [3])
Potencia necesaria precalentamiento agua en kJ/mes [6]				4,187 x [5] x (60 – [4]) x [3]
Combustible ahorrado en kJ/mes [7]	[6] : 0,9	Combustible líquido ahorrado en kg/mes [8]		[7] : PCI
		Combustible gas ahorrado en termia/mes [8]		[7] : 4.180
Ahorro anual en €/año [9]		Combustible Fuel-oil, Gasoil o Propano		[8] x PRECIO x 12
		Combustible Gas Natural		(([8] x PRECIO + 130) x 12
Número de colectores solares necesarios [10]				(([6] : 2592) : 502,76
Coste de la instalación en €/W [11]				3,0255 x ([10]) ^{-0,32143}
Coste de la instalación en € [12]				(([11] x [6] x 1,1) : 2.592
Periodo de amortización en años [13]				[12] : [9]

- Los datos de PCI, DENSIDAD y PRECIO del combustible utilizado se pueden extraer de la siguiente tabla.

Combustible	PCI	Densidad (kg/l)	Precio
Fuel-oil	40.128 kJ/kg	0,96	26 cent/kg
Gasoil	42.636 kJ/kg	0,86	44 cent/kg
Gas natural	9,6 termia/m ³ N	-	3 cent/termia
Propano	22,9 termia/m ³ N	-	6 cent/termia



EJEMPLO

Sea una empresa interesada en instalar colectores solares para precalentar el agua de entrada a su sistema de calderas hasta una temperatura de 60°C. El combustible utilizado para las calderas es gasoil y el consumo mensual es de 350 l/mes. Las calderas funcionan una media de 700 h/mes y la temperatura media de retorno del agua a calentar es de 49°C.

Con estos datos es posible realizar una primera valoración de la instalación, por medio de la tabla anterior:

Consumo mensual de combustible en l, kg, termia o m ³ al mes [1]	350	l/mes	Consumo mensual combustible en kJ al mes [2]	12.833.436
	-	kg/mes		-
	-	termia/mes		-
	-	m ³ /mes		-
Horas de funcionamiento al mes [3]				700
Temperatura de retorno del agua a calentar en °C [4]				49
Caudal de agua a calentar en kg/h [5]				109,4
Potencia necesaria precalentamiento agua en kJ/mes [6]				3.526.255,7
Combustible ahorrado en kJ/mes [7]	3.918.061,8	Combustible líquido ahorrado en kg/mes [8]		91,9
		Combustible gas ahorrado en termia/mes [8]		-
Ahorro anual en €/año [9]		Combustible Fuel-oil, Gasoil o Propano		485,2
		Combustible Gas Natural		-
Número de colectores solares necesarios [10]				2,7 (≈3)
Coste de la instalación en €/W [11]				2,19
Coste de la instalación en € [12]				3.287
Periodo de amortización en años [13]				6,8



EJEMPLO

Sea una empresa interesada en instalar colectores solares para precalentar el agua de entrada a su sistema de calderas hasta una temperatura de 60°C. El combustible utilizado para las calderas es gas natural y el consumo anual es de 5.700 m³/año. Las calderas funcionan una media de 650 h/mes y la temperatura media de retorno del agua a calentar es de 40°C.

Con estos datos es posible realizar una primera valoración de la instalación, por medio de la tabla anterior:

Consumo mensual de combustible en l, kg, termia o m ³ al mes [1]	-	l/mes	Consumo mensual combustible en kJ al mes [2]	-
	-	kg/mes		-
	-	termia/mes		-
	475	m ³ /mes		19.060.800
Horas de funcionamiento al mes [3]				650
Temperatura de retorno del agua a calentar en °C [4]				40
Caudal de agua a calentar en kg/h [5]				174,95
Potencia necesaria precalentamiento agua en kJ/mes [6]				9.522.462,7
Combustible ahorrado en kJ/mes [7]	10.580.514,1	Combustible líquido ahorrado en kg/mes [8]		-
		Combustible gas ahorrado en termia/mes [8]		2.531,2
Ahorro anual en €/año [9]	Combustible Fuel-oil, Gasoil o Propano			-
	Combustible Gas Natural			2.471
Número de colectores solares necesarios [10]				7,3 (≈7)
Coste de la instalación en €/W [11]				1,59
Coste de la instalación en € [12]				6.451
Periodo de amortización en años [13]				2,6

4. Energía solar pasiva

4.1. ¿Qué es la Arquitectura Bioclimática?



Es aquella que trata de adaptar el edificio a las condiciones climáticas particulares del lugar, logrando mantener las mejores condiciones de confort en el interior del mismo, con el menor apoyo posible de fuentes de energía auxiliar.

La arquitectura bioclimática no es algo nuevo, sino que gran parte de la arquitectura tradicional funcionaba según los principios bioclimáticos, cuando las posibilidades de climatización artificial eran escasas y caras.



Es importante para un aprovechamiento máximo de las fuentes de energía naturales que haya un planeamiento urbanístico total en el cual se estudien aspectos tales como la situación y distribución de los edificios, las distancias entre ellos y las alturas de construcción para evitar sombras en invierno, las zonas de arbolado necesarias para el aprovechamiento de la radiación solar y la

protección del viento, la temperatura, velocidad del viento y la humedad del clima, ... Esta planificación debe de tener en cuenta así mismo los desplazamientos diarios de las personas, en los distintos medios de transporte, para facilitarlos.

El confort térmico es una sensación que varía de unas personas a otras aunque depende de la temperatura seca, de la humedad, de la velocidad del viento, de la temperatura superficial de los cerramientos y del metabolismo y la vestimenta de las personas. Por tanto en cada punto de la geografía existen casos particulares distintos dependiendo de multitud de factores naturales.

En invierno es interesante aprovechar la radiación solar mediante sistemas activos y pasivos, protegerse de las bajas temperaturas exteriores mediante adecuados materiales aislantes y paliar el efecto del viento predominante. En verano el efecto es contrario, hay que protegerse contra la radiación solar mediante zonas de sombras próximas a los edificios, y de las altas temperaturas exteriores mediante aislamientos adecuados y aprovechar la ventilación natural.

4.2. ¿Cuánto cuesta?

La casa bioclimática no necesita de la compra y/o instalación de extraños y costosos sistemas, sino que juega con los elementos arquitectónicos de siempre para incrementar el rendimiento energético y conseguir confort de forma natural. Por ello, el

diseño bioclimático supone un conjunto de restricciones, pero siguen existiendo grados de libertad para el diseño según el gusto de cada cual.

4.3. ¿Cómo funciona?

Las necesidades de calefacción de un edificio se calculan mediante la diferencia entre las pérdidas de calor del mismo y las ganancias. Las primeras se producen por los cerramientos que lo separan del exterior y por la necesidad de renovación de aire. Las segundas son debidas a la radiación solar incidente sobre el edificio y las ganancias energéticas provenientes de electrodomésticos, iluminación, metabolismo humano, ...

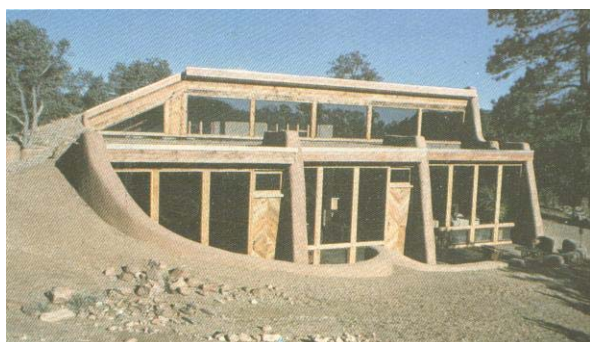


La distribución de los edificios deben ser tales que los espacios de residencia estén orientados al sur, dejando para la orientación norte los espacios reservados a cocinas, baños, escaleras, talleres, despensas, ...

4.4. ¿Cuánto se puede ahorrar con el empleo de estas técnicas?

Las ventajas obtenidas en la aplicación de las técnicas de arquitectura bioclimática reducen la necesidad de calefacción y de refrigeración en los edificios a una tercera parte de las necesidades de un edificio tradicional.

4.5. ¿Qué materiales se deben emplear en la construcción?



No todos los materiales utilizados en la construcción tienen las mismas repercusiones medioambientales ni el mismo coste energético. Mediante el Análisis del Ciclo de Vida de los mismos se pueden realizar comparativas entre los materiales para saber cuál más o menos solidario con el medio ambiente. La elección de los materiales adecuados también entra a formar parte de la Arquitectura

Bioclimática. Es recomendable la utilización de madera autóctona y sin tratamientos artificiales, la utilización de vidrio doble (salvo en invernaderos) y de protecciones solares, la restricción de la superficie pavimentada favoreciendo la utilización de pavimentos verdes, evitar el empleo de poliuretano, no utilizar PVC sin reciclar, no usar plomo en la fontanería, ...

4.6. ¿Qué elementos existen para el aprovechamiento bioclimático?

Los elementos que existen los podemos clasificar en pasivos y en activos. Los activos hacen referencia al aprovechamiento de la energía solar mediante sistemas mecánicos y/o eléctricos: colectores solares (para calentar agua o para calefacción) y paneles fotovoltaicos (para obtención de energía eléctrica).

En los siguientes apartados nos centraremos en los sistemas pasivos.

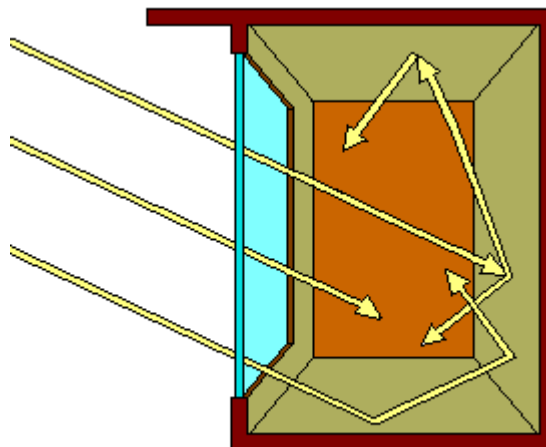
Elementos solares pasivos. Ganancia directa



Están constituidos por una superficie captadora formada por vidrios, materiales plásticos transparentes, ... y por una superficie de almacenaje formada por muros, suelos y techos del edificio. Las superficies captadoras más habituales son las ventanas, atrios y lucernarios. Cabe citar como dato que en Zaragoza y Huesca la proporción de superficie de ventanas respecto a la superficie de suelo es de entre 0.13 m² y 0.21 m² de ventana por cada m² de suelo en las viviendas, mientras que en Teruel, por ser zona más fría, la proporción es de entre 0.16 m² y 0.25 m² de ventana por cada m² de suelo. Por lo general la relación área de acristalamientos/área de suelo debe estar entre 0 y 0,33 en una zona de acristalamiento al sur.

En Zaragoza el aislamiento es el parámetro más importante con ahorros de hasta un 58% en calefacción dependiendo del tipo elegido y su espesor. El ahorro obtenido por ganancia solar cuando se dispone de un 60% de acristalamientos en la fachada principal orientada al sur está entre un 15% y un 40% dependiendo del aislamiento elegido. Sin embargo esta misma superficie acristalada en la misma orientación sur requiere una necesidad de refrigeración en periodos estivales un 55% superior. Por eso son importantes los cálculos de aleros en las ventanas y la existencia de arbolado de hoja caduca alrededor de la casa que nos faciliten la sombra en verano y la ganancia solar en invierno. Sin embargo el consumo de refrigeración no depende apenas del aislamiento. El favorecer la ventilación cruzada es otro factor importante de refrigeración en verano.

Por otro lado el color de las superficies captadoras influyen notablemente en el resultado final. El negro es el color de mayor capacidad de captación, mientras que el blanco es el de menor.



En cuanto a las superficies de almacenaje, en los suelos el espesor para acumulación térmica debe ser de 5 a 15 cm y en los muros verticales de 5 a 10 cm.

Este tipo de sistemas reaccionan muy rápidamente al efecto del sol, por lo que serán eficaces en edificaciones cuya utilización sea matinal, por ejemplo escuelas. Por otra parte el incremento de coste en la obra es muy bajo.



Elementos solares pasivos. Ganancia indirecta.

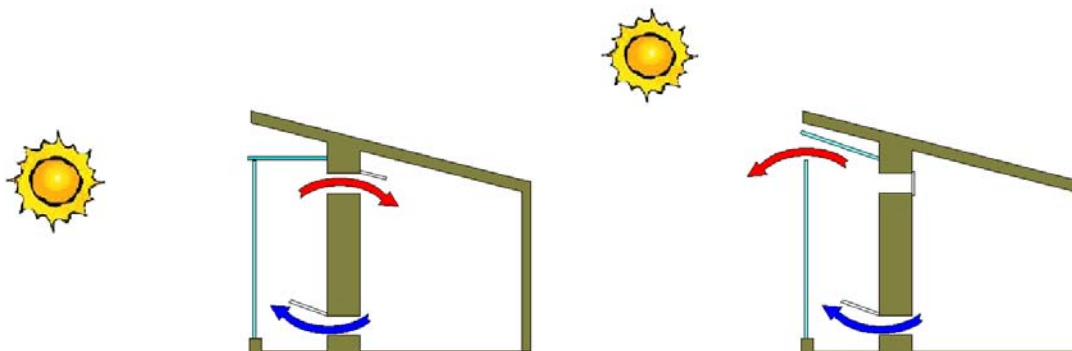


Con estos elementos se pueden conseguir temperaturas más elevadas que con los anteriores, llegando hasta los 70°C frente a los 27°C de los elementos de ganancia directa. Es importante tener en cuenta estas altas temperaturas a la hora de diseñar la estructura. Al alcanzar temperaturas tan elevadas se convierten en buenos almacenadores de energía aunque la reacción de los edificios es lenta por lo que son adecuados para ocupaciones en horario de tarde-noche

preferentemente y atendiendo a esta ocupación se dimensionan los muros correctamente. Normalmente el retardo térmico oscila entre 6 y 8 horas. Necesitan entre un 50% y un 90% más de superficie captadora que los elementos de ganancia directa y de un alero protector en las fachadas para evitar sobrecalentamientos en periodos estivales. Afectan al diseño general del edificio por lo que no son recomendables para construcciones prediseñadas. Los elementos más representativos son:

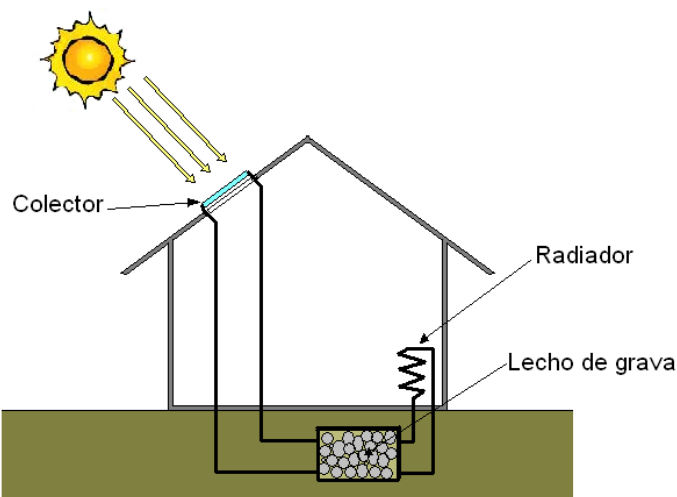
- **Muros térmicos con precalentamiento de aire:** se trata de un muro en contacto con el espacio a calentar que por el lado exterior tiene un acristalamiento con una cámara de aire entre ambos. En la parte inferior del acristalamiento se practican unos orificios y en la parte superior del muro otros de manera que pueda circular el aire exterior previamente calentado en su paso por la cámara de aire ya que entre el vidrio y el muro se produce el efecto invernadero. Para una mayor eficiencia es conveniente que el muro tenga un color oscuro ya que como hemos dicho tienen una mayor capacidad de captación. Además del aire caliente también hay ganancia de calor por la conducción a través del muro. Los muros térmicos se suelen construir de un espesor entre 20 y 25 cm. El espacio entre el muro y el cristal oscila entre 5 a 15 cm. En cuanto al tamaño de las aberturas, la relación entre el área total de las mismas y el área del muro es de 0.01.

- **Muros Trombé:** son similares a los muros térmicos con precalentamiento de aire pero en este caso en el acristalamiento exterior no se practican orificios, sino que se hacen en el muro tanto en la parte superior como en la parte inferior. De esta manera el aire del interior del habitáculo se calienta al recircular por la cámara de aire existente. Por la noche es necesario cerrar los orificios para que no ocurra el efecto contrario al deseado.



- **Muros Másicos:** es como un muro Trombé al que no se le han practicado ningún tipo de orificios por lo que las ganancias de calor se producen por conducción a través del muro.

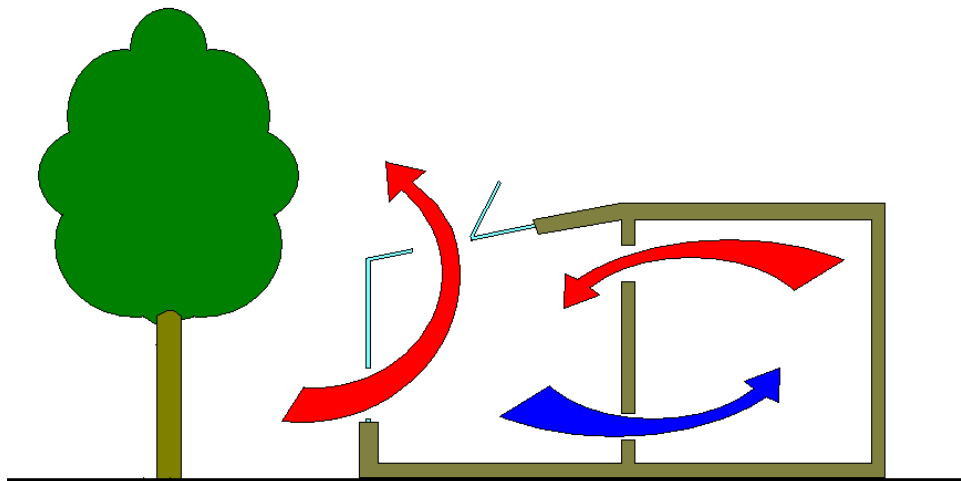
- **Colectores y Lechos de Grava:** Los colectores de aire hacen circular por el interior de la dependencia un flujo de aire que previamente ha sido calentado en el colector mediante un acristalamiento externo que crea el efecto invernadero en su interior. Los lechos de grava son sistemas de almacenamiento de energía que captan calor gracias a la circulación de aire caliente.



Elementos solares pasivos. Invernaderos.

Es resultado de la combinación de sistemas de ganancia directa e indirecta. Están compuestos de un gran acristalamiento y de un espacio libre entre éste y el muro mucho más grande que en el muro Trombé. El funcionamiento es similar en ambos casos. En verano es importante cubrirlo con aleros masa arbórea u otros elementos puesto que son capaces de conseguir temperaturas muy altas. Este efecto se puede

paliar también practicando aberturas en la superficie acristalada para que circule el aire. La superficie de almacenaje está constituida en este caso por muros y suelos. Puede existir varios tipos de invernaderos dependiendo del espacio y de la estética del edificio. Así, pueden estar adosados al edificio, integrados en el edificio, de ventana, o bien formando atrios o galerías.



El cuanto al dimensionamiento, la relación área acristalamiento/área de suelo suele estar entre 0.1 y 0.5. Si la orientación es sur (que es la adecuada) la relación área del



suelo/área acristalada oscila entre 0.6 a 1.6. Por otro lado la temperatura media en el invernadero de noche está entre 5° y 16°C y 30°C de día en invierno, llegando a estar entre 15° y 25°C de noche y más de 35°C de día en verano. En el caso de que no hubiera abertura en el acristalamiento para la circulación de aire, esta temperatura podría sobrepasar los 50°C por el día en verano fácilmente.

4.7. Ejemplos de instalaciones

Residencial Parque Goya (Zaragoza).

Están construidas 3500 viviendas de protección oficial con una orientación sur en el 90% de las parcelas. Se han instalado 600 m² de colectores solares para agua caliente sanitaria (ACS) y se han aplicado medidas de arquitectura bioclimática como las que se han expuesto anteriormente. Con esto se ha obtenido un ahorro energético en calefacción, ACS y refrigeración de un 60%.

Edificio Proyecto Hombre (Zaragoza).

Edificio destinado a residencia para el tratamiento de drogodependientes con una capacidad para 96 residentes con una superficie total construida de unos 2000 m². Se ha intentado maximizar la superficie de fachadas orientadas al sur y se han empleado invernaderos y muros trombe en la fachada sur, lecho de gravas en el salón, refrigeración por humectación y ventilación cruzada y 10 m² de colectores solares para ACS. Todo ello ha repercutido en un sobrecoste del edificio en un 17% pero se obtiene un 80% de ahorro energético, por lo que dicho sobrecoste se amortiza en un periodo de tiempo de 7 u 8 años.



Edificio destinado a Centro de Interpretación de la Naturaleza en el Galacho de Juslibol (Zaragoza).

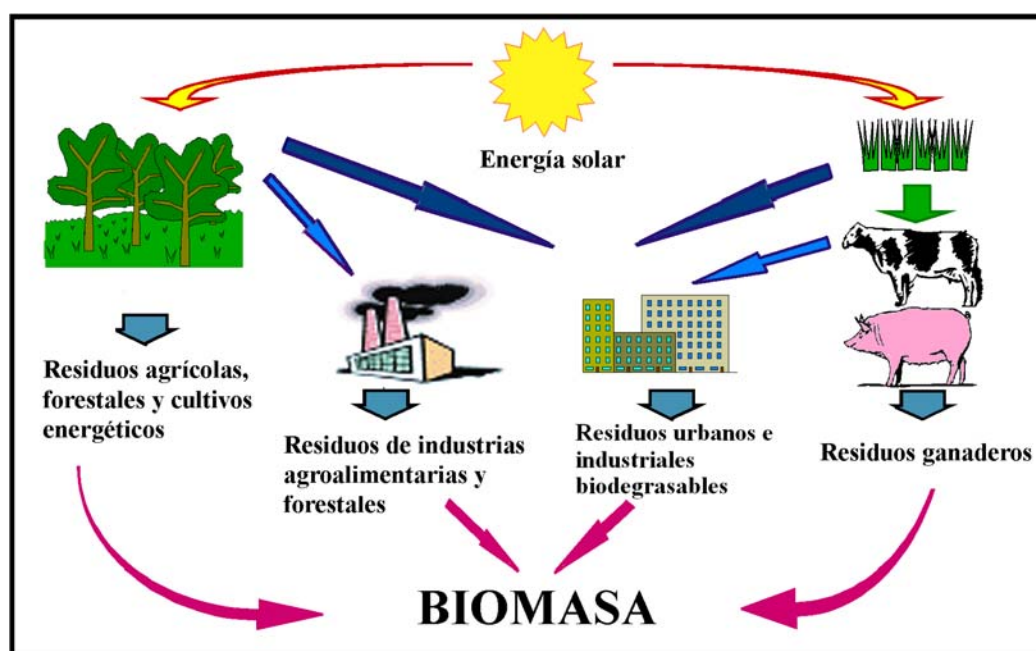
Funciones de recepción e información a los visitantes del Galacho. 210 m² de superficie construida en donde se le da prioridad a la iluminación natural. Para evitar la entrada de calor en horas de máxima exposición en verano existe protección solar mediante toldos en la cubierta del edificio además de una chimenea de ventilación por tiro natural para refrigerar en verano. Para el suministro eléctrico hay instalados 28 paneles fotovoltaicos que hacen que el edificio sea autosuficiente energéticamente hablando.

4.

BIOMASA

1. La biomasa

La biomasa, sustancia orgánica renovable de origen animal o vegetal, era la fuente energética más importante para la humanidad y en ella se basaba la actividad manufacturera hasta el inicio de la revolución industrial. Con la introducción de los combustibles fósiles el aprovechamiento energético de la biomasa fue disminuyendo progresivamente, llegando a caer prácticamente en desuso en el sector industrial.



No obstante, en los últimos años el panorama energético mundial ha variado notablemente. El elevado coste de los combustibles fósiles y los avances técnicos que han posibilitado la aparición de sistemas de aprovechamiento energético de la biomasa cada vez más eficientes, fiables y limpios, han causado que esta fuente de energía renovable se empiece a considerar por las industrias como una alternativa, total o parcial, a los combustibles fósiles.

En este capítulo se va tratar la biomasa desde el punto de vista del consumidor final, no se analiza el caso de la instalación de una industria cuyo objetivo fuera la transformación de la biomasa para la posterior comercialización del producto energético generado (por ejemplo, las centrales eléctricas de biomasa, plantas de elaboración de carbón vegetal o de briquetas).

2. Tipos de biomasa

Existen diferentes tipos o fuentes de biomasa que pueden ser utilizados para suministrar la demanda de energía de una empresa, una de las clasificaciones más generalmente aceptada es la siguiente:

- **Biomasa natural:** es la que se produce espontáneamente en la naturaleza sin ningún tipo de intervención humana. Los recursos generados en las podas naturales de un bosque constituyen un ejemplo de este tipo de biomasa. La utilización de estos recursos requiere de la gestión de su adquisición y transporte hasta la empresa, lo que puede provocar que su uso sea inviable económicamente.



- **Biomasa residual seca:** se incluyen en este grupo los subproductos sólidos no utilizados en las actividades agrícolas, en las forestales y en los procesos de las industrias agroalimentarias y de transformación de la madera y que, por tanto, son considerados residuos. Este es el grupo que en la actualidad presenta un mayor interés desde el punto de vista del aprovechamiento industrial. Algunos ejemplos de este tipo de biomasa son la cáscara de almendra, el orujillo, las podas de frutales, el serrín, etc.



- **Biomasa residual húmeda:** son los vertidos denominados biodegradables: las aguas residuales urbanas e industriales y los residuos ganaderos (principalmente purines).



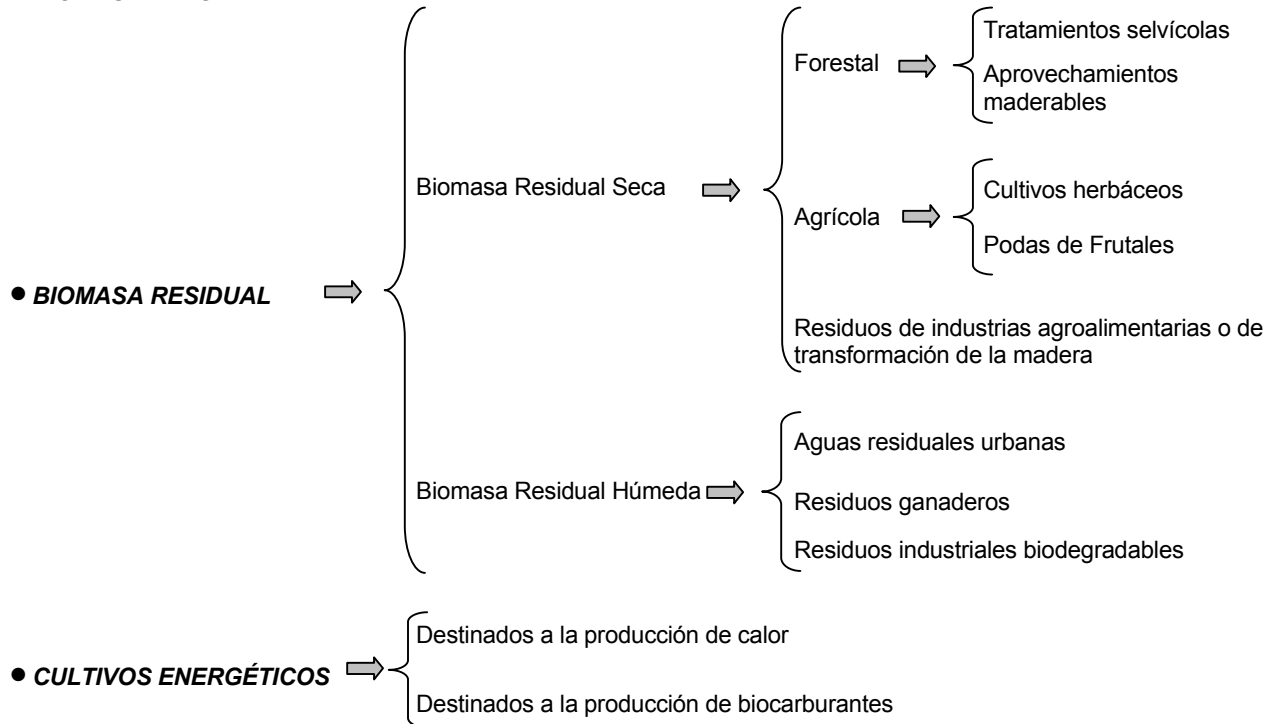
- **Cultivos energéticos:** son cultivos realizados con la única finalidad de producir biomasa transformable en combustible. Algunos ejemplos son el cardo (*cynara cardunculus*), el girasol cuando se destina a la producción de biocarburantes, el miscanto, etc.



- **Biocarburantes:** aunque su origen se encuentra en la transformación de la biomasa residual húmeda (por ejemplo reciclado de aceites), de la biomasa residual seca rica en azúcares (trigo, maíz, etc.) o de los cultivos energéticos (colza, girasol, pataca, etc.), por sus especiales características y usos finales, este tipo de biomasa exige una clasificación distinta de las anteriores.



● **BIOMASA NATURAL**



El aprovechamiento energético de los recursos biomásicos puede suponer para su industria importantes beneficios económicos.

3. Características energéticas de la biomasa

En muchas ocasiones, la biomasa se elimina por ser molesta para la instalación que la produce o porque entorpece las labores agrarias o ganaderas que la generan. Cuando esto ocurre, se está desperdiciando una fuente de energía importante, basta recordar que considerando que, por término medio, un kilogramo de biomasa permite obtener 14.630 kJ y que un litro de gasolina tiene aproximadamente 41.800 kJ, por cada tres kilogramos que desperdiciamos de biomasa, se desaprovecha el equivalente a un litro de gasolina.

Habitualmente, el contenido energético de la biomasa se mide en función del poder calorífico del recurso, aunque para algunos de ellos, como es el caso de la biomasa residual húmeda o el de los biocarburantes, se determina en función del poder calorífico del producto energético obtenido en su tratamiento. La siguiente tabla recoge el poder el poder calorífico inferior (P.C.I.) a distintos contenidos de humedad de algunos de los recursos de biomasa más habituales.

PRODUCTO	P.C.I. a humedad x (%) (kJ/kg)					
	x	P.C.I.	x	P.C.I.	x	P.C.I.
Leñas y ramas	0	19.353	20	15.006	40	10.659
Serrines y virutas	0	19.069	15	15.842	35	11.537
Orujillo de oliva	0	18.839	15	15.800	35	11.746
Cáscara de almendra	0	18.559	10	16.469	15	15.424
Cortezas						
Coníferas	0	19.437	20	15.257	40	11.077
Fronosas	0	18.225	20	14.087	40	9.948
Poda de frutales	0	17.890	20	13.836	40	9.781
Paja de cereales	0	17.138	10	15.173	20	13.209
	30	11.286	-	-	-	-
Vid						
Sarmientos	0	17.765	20	13.710	40	9.656
Ramilla de uva	0	17.263	25	12.331	50	7.399
Orujo de uva	0	18.894	25	13.543	50	8.193

Por otra parte, como no se puede llevar a cabo la combustión directa de la biomasa residual húmeda, su contenido energético puede determinarse en función del que posee el biogás generado en su digestión anaerobia (ver apartado 6). La cantidad de biogás producido y su contenido energético dependen de las características del sustrato tratado y de la tecnología empleada. En la siguiente tabla se muestra el potencial energético medio del biogás obtenido en la digestión anaerobia de algunos recursos.

Sustrato	Cantidad de gas a 30 °C en l/kg de residuo seco	Contenido en metano (%)	P.C.I. (kJ/m ³ N de biogás)
Estiércol con paja	286	75	25.498
Excrementos de vaca	237	80	27.170
Excrementos de cerdo	257	81	27.588
Agua residual urbana	100 (por m ³ de agua tratado)	65	22.154

Por último, en el caso de los biocarburantes, éstos presentan un P.C.I. ligeramente inferior al de los combustibles fósiles tradicionales, aproximadamente el 10%.

4. ¿En qué industrias es posible utilizarla?

Como se ha visto hasta ahora, multitud de recursos quedan agrupados bajo el término genérico “biomasa”. Esta enorme variedad unida a la capacidad de adaptación de las tecnologías de aprovechamiento energético a los diferentes recursos existentes, causan que, en la actualidad, muchas de las actividades industriales podrían satisfacer toda o parte de su demanda energética con biomasa.

No obstante, para poder utilizar esta energía renovable es preciso cumplir dos condiciones:

● **Disponer de una fuente de biomasa cercana a precios razonables.**



Las empresas que disponen en sus propias instalaciones de biomasa residual son las que, con mayor facilidad, pueden plantearse la posibilidad de un aprovechamiento energético puesto que suelen ser unos recursos con valor de mercado bajo o muy bajo, pudiendo incluso suponer el tener que deshacerse de estos residuos sea un coste para la empresa.



Las empresas que no disponen de biomasa residual propia pueden adquirir ésta en el mercado. Aunque todavía no del todo desarrolladas, ya existen cadenas de distribución de estos recursos que permiten adquirirlos a un coste enormemente competitivo frente al de los combustibles tradicionales.

● **Tener unos consumos energéticos suficientes para que la instalación sea rentable.**



Mientras que para el aprovechamiento de algunos tipos de biomasa en la generación de energía térmica, cualquier tamaño de instalación suele ser rentable, en el caso de producción de energía eléctrica o mecánica son necesarios unos consumos mucho más elevados.

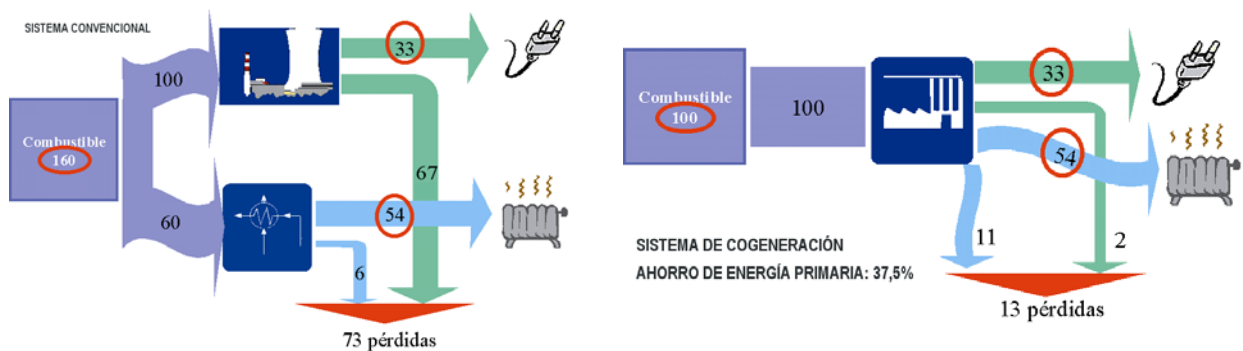
5. ¿Qué aplicaciones energéticas tiene?

Con biomasa se puede generar energía térmica (agua o aire caliente, vapor, etc.), energía eléctrica e incluso mecánica mediante el uso de biocarburantes en motores de combustión interna:

- **Generación de energía térmica:** El sistema más extendido para este tipo de aprovechamiento está basado en la combustión de biomasa sólida, aunque también es posible quemar el biogás procedente de la digestión anaerobia de un residuo líquido o el gas de síntesis generado en la gasificación de uno sólido. Todos los procesos de aprovechamiento de la biomasa mencionados en este punto y en el siguiente se describen en el apartado 6.
- **Generación de energía eléctrica:** En función del tipo y cantidad de biomasa disponible varía la tecnología más adecuada a emplear para este fin:
 - *Ciclo de vapor:* está basado en la combustión de biomasa, a partir de la cual se genera vapor que es posteriormente expandido en una turbina de vapor.
 - *Turbina de gas:* utiliza gas de síntesis procedente de la gasificación de un recurso sólido. Si los gases de escape de la turbina se aprovechan en un ciclo de vapor se habla de un “ciclo combinado”.
 - *Motor alternativo:* utiliza gas de síntesis procedente de la gasificación de un recurso sólido o biogás procedente de una digestión anaerobia.

TECNOLOGÍA	BIOMASA	TAMAÑO	COMENTARIOS
Ciclo de vapor	Sólida	> 4 MWeleéctricos	
Turbina de gas	Gas de síntesis	> 1 MWeleéctricos	Sobre todo para cogeneración
Ciclo combinado	Gas de síntesis	> 10 MWeleéctricos	
Motor alternativo	Gas de síntesis o biogás	> 50 kWeleéctricos	Sobre todo para cogeneración

- Cogeneración:** Cuando una entidad presenta consumos térmicos y eléctricos importantes se puede plantear la instalación de un sistema de cogeneración, consistente en la producción conjunta de energía térmica y eléctrica. Esta tecnología presenta como gran ventaja la consecución de rendimientos superiores a los sistemas de producción de energía térmica o eléctrica por separado.



El principio de funcionamiento de la cogeneración se basa en el aprovechamiento de los calores residuales de los sistemas de producción de electricidad comentados en el epígrafe anterior.



Aunque cada caso debe ser estudiado en detalle, en general la cogeneración es adecuada para empresas con consumos de energía eléctrica importantes, con un factor de utilización elevado (más de 5.000 h/año) y donde sea posible aprovechar energía térmica a temperatura media (alrededor de 400-500° C).



Un sistema de cogeneración basado en la utilización de biomasa permite disminuir el coste de la factura, tanto la eléctrica (existiendo la posibilidad añadida de venta del excedente de electricidad) como la de combustibles fósiles.

Tanto los sistemas de generación de energía eléctrica como los de cogeneración requieren inversiones importantes, por lo que es preciso realizar un estudio muy cuidadoso y detallado antes de decidir implantarlos.

- Generación de energía mecánica:** Los biocarburantes (ver apartado 6) pueden ser empleados en los motores alternativos de automóviles, camiones, autobuses, etc., sustituyendo total o parcialmente a los combustibles fósiles.



La utilización de biocarburantes es especialmente interesante en industrias agrarias que dispongan de una adecuada materia prima para su producción (aceites reciclados, colza, girasol, maíz, trigo, patata, etc.) y que puedan autoconsumirlos (por ejemplo en tractores), llegando a suponer importantes ahorros en la factura de los combustibles.

6. Sistemas de aprovechamiento energético de la biomasa

Cuando se desea generar energía con biomasa se puede optar por diferentes sistemas tecnológicos. La elección entre uno y otro depende de las características de los recursos, de la cuantía disponible y del tipo de demanda energética requerida. En general, los sistemas comerciales existentes en el mercado para utilizar la biomasa residual seca se pueden clasificar en función de que estén basados en la combustión del recurso o en su gasificación; los que aprovechan el contenido energético de la biomasa residual húmeda están basados en su digestión anaerobia y, por último, para ambos tipos de recursos, existen tecnologías que posibilitan la obtención de biocarburantes.

TIPO DE RECURSO	SISTEMA DE APROVECHAMIENTO	PRODUCTO OBTENIDO
Biomasa residual seca	Basado en la combustión del recurso	Vapor Aceite térmico Agua caliente Aire caliente
	Basado en la gasificación del recurso	Gas combustible ⁽¹⁾ Gas de síntesis ⁽¹⁾
	Producción de biocarburantes	Aceite vegetal ⁽²⁾ Biodiesel ⁽²⁾ Etanol ⁽²⁾ ETBE ⁽²⁾
Biomasa residual húmeda	Compostaje	Compost
	Digestión anaerobia Biogás	Biogás ⁽¹⁾
Cultivos energéticos	Basado en la combustión del recurso	
	Basado en la gasificación del recurso	
	Producción de biocarburantes	Aceite vegetal ⁽²⁾ Biodiesel ⁽²⁾ Etanol ⁽²⁾ ETBE ⁽²⁾

⁽¹⁾ Estos productos se pueden emplear para producir energía térmica o mecánica en un eje

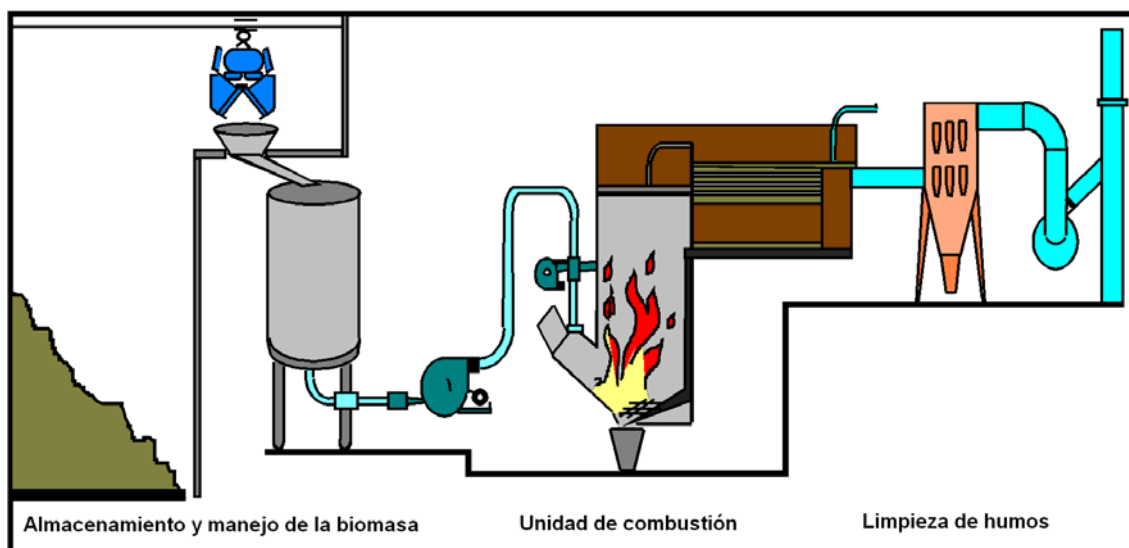
⁽²⁾ Estos productos se pueden emplear para generar energía mecánica en un eje (motor de combustión interna)

Sistemas basados en la combustión del recurso

Con los equipos que en la actualidad existen en el mercado se pueden conseguir rendimientos de combustión muy elevados, que pueden alcanzar en instalaciones de elevada potencia hasta el 95% si se acoplan equipos de recuperación de calor. Los avances tecnológicos conseguidos, tanto en los sistemas de alimentación de la biomasa como en los equipos de combustión, hacen que, en estos momentos, si se dispone de biomasa y es necesario cubrir una demanda térmica en la empresa, los equipos de combustión de estos recursos renovables sean tan eficientes, cómodos y competitivos como los basados en combustibles fósiles.

En general, una planta de combustión de biomasa consta de los siguientes sistemas:

- Almacenamiento de combustible
- Transporte y dosificación del combustible al equipo de combustión
- Equipos y cámara de combustión
- Caldera (vapor, agua caliente, aceite térmico)
- Recuperadores auxiliares de calor
- Depuración de gases
- Extracción de cenizas



Existen diferentes tecnologías para llevar a cabo la combustión de la biomasa, caldera de parrilla, cámara torsional, combustor en lecho fluido, etc. En función de las características del recurso y de la demanda (energía a baja o a alta temperatura y cantidad de la misma a suministrar) es más idóneo uno que otros, pero en todos los casos, los avances tecnológicos antes mencionados, proporcionan tanta seguridad y confort como los sistemas basados en combustibles fósiles.

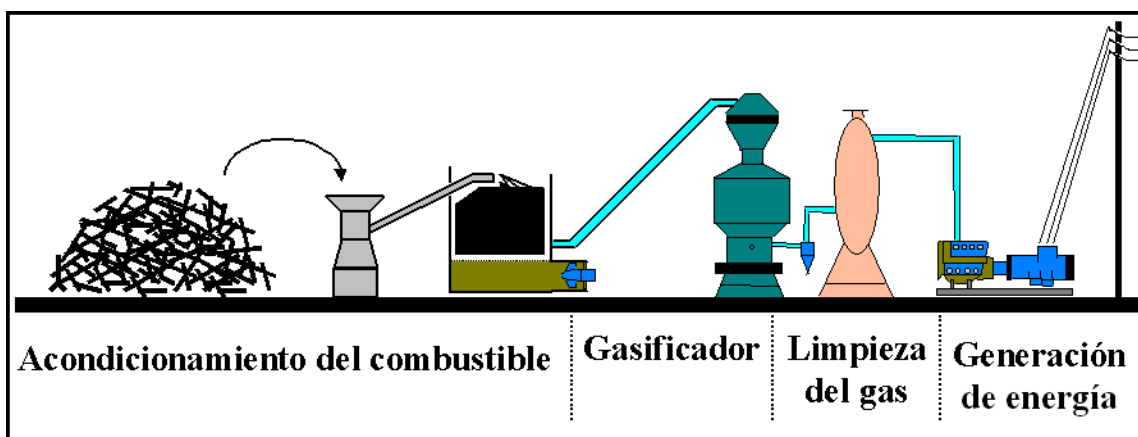


Los últimos avances tecnológicos relacionados con el transporte y la alimentación de los recursos de biomasa a una planta de combustión, así como las mejoras de eficiencia y disminución de emisiones alcanzadas en las calderas, proporcionan tanta seguridad y confort como los sistemas basados en combustibles fósiles (gas natural, gasoil, propano, fuel, etc.)

Sistemas basados en la gasificación del recurso

Cuando se desea generar energía térmica y/o eléctrica con biomasa, ésta se puede introducir en equipos en los que por la acción del calor y la ausencia de oxígeno producen, al descomponer térmicamente el recurso, un gas combustible que puede emplearse de forma similar a como se utilizan el gas natural u otros combustibles gaseosos tradicionales. Estos equipos presentan la ventaja de que poseen, cuando se trabaja con potencias reducidas o con potencias muy elevadas, mayor rendimiento que los sistemas de combustión, por lo que en esos casos pueden ser mucho más adecuados.

Aproximadamente, una planta de gasificación consta de los mismos sistemas que una planta de combustión, salvo que la caldera se sustituye por el gasificador y el sistema de limpieza del gas.



Como ocurre con los sistemas de combustión, existen diferentes tecnologías de gasificación de un recurso: *gasificador de corrientes paralelas*, *gasificador en contracorriente*, *gasificador de lecho fluido*, etc. En función de las características del combustible y del destino del gas generado, es más conveniente un tipo de aplicación u otro.

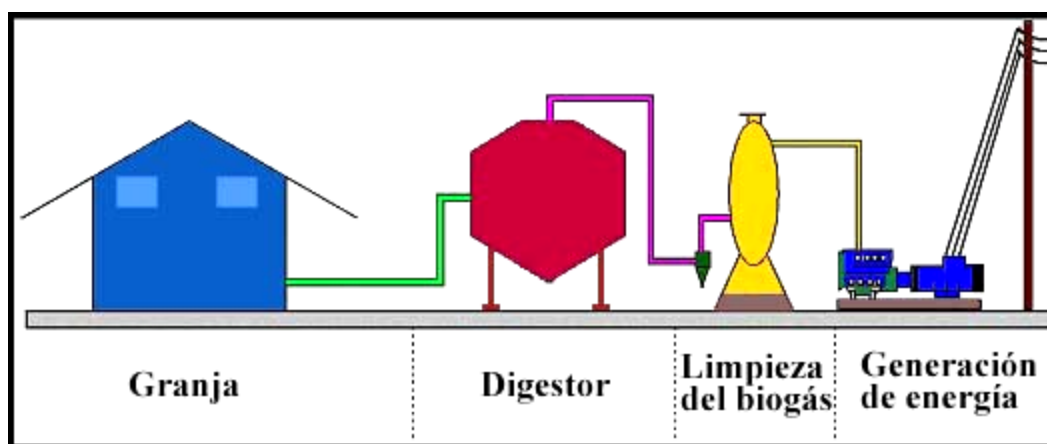
Digestión anaerobia.

La biomasa residual húmeda, o lo que es lo mismo, las aguas residuales de origen orgánico (purines, agua residual urbana, residuos de mataderos, vertidos industriales orgánicos, etc.), es aquella que aparece como resultado de la actividad humana en instalaciones agropecuarias, urbanas e industriales y que, por su contenido en agua y materia orgánica, puede ser tratada mediante un proceso biológico.

Estos procesos biológicos permiten el aprovechamiento del potencial energético de este tipo de biomasa, disminuyen su carga contaminante y generan subproductos estabilizados con valor fertilizante. De todos los procesos, el compostaje y la digestión anaerobia son los más empleados y ya se encuentran a escala comercial.

Mediante la digestión anaerobia, la materia orgánica del residuo, en ausencia de oxígeno, se degrada o descompone por la actividad de unos microorganismos específicos transformándose en un gas de alto contenido energético denominado habitualmente como “biogás” y en los “fangos”, que contienen además de la mayor parte de los componentes minerales, los compuestos de difícil degradación.

El biogás, cuyos componentes principales son el metano y el anhídrido carbónico, puede emplearse para producir energía térmica, eléctrica o ambas de forma conjunta en sistemas de cogeneración. El metano es el componente que confiere el valor energético a este gas, 1 m³ de biogás con un contenido de metano del 60% tiene un poder calorífico próximo a las 22.900 kJ. Los fangos se utilizan como fertilizante en la agricultura.



Para que el proceso tenga lugar con la máxima eficiencia se deben controlar una serie de factores como el pH, la alcalinidad, la acidez volátil, la temperatura, los nutrientes, los inhibidores y los tiempos de residencia.

Existen en la actualidad diferentes sistemas para llevar a cabo la digestión anaerobia, que se clasifican según el sistema de carga utilizado y por el estado de la biomasa bacteriana dentro del digestor. La implantación de una tecnología u otra depende de las características del vertido a tratar (DQOI, DBO, etc.).

Composición media del biogás y poder calorífico inferior de sus componentes (15,55°C y 1 atm)		
CH ₄	60-80 %	34.046 kJ/m ³
CO ₂	20-40 %	-
H ₂	1-3 %	10.203 kJ/m ³
O ₂	0,1-1 %	-
CO	0-0,1 %	11.988 kJ/m ³
N ₂	0,5-3 %	-
SH ₂ , NH ₃	0,5-1 %	23.207 kJ/m ³ (SH ₂)
H ₂ O	Variable	-



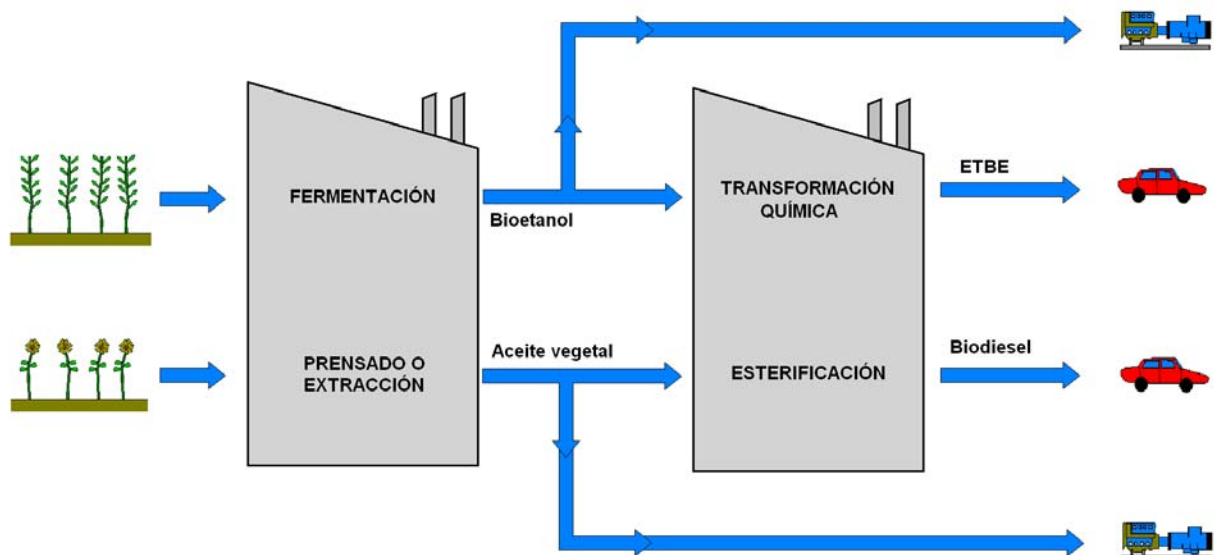
La digestión anaerobia de la biomasa residual húmeda permite, además de reducir la carga contaminante del vertido, aprovechar el contenido energético del mismo (biogás) para generar energía térmica, eléctrica o mecánica en un eje, y utilizar los subproductos generados (fangos estabilizados) como fertilizante en la agricultura.

Producción de biocarburantes

Se puede distinguir entre la producción de biocarburantes destinados a su utilización en vehículos con motor de encendido por compresión (diesel) y los destinados a su empleo en vehículos con motor de encendido provocado (gasolina). Los primeros se obtienen de cultivos o especies vegetales oleaginosas (girasol, colza, cacahuete, etc.) y sustituyen al diesel tradicional y los segundos de cultivos o especies vegetales ricas en azúcares (remolacha, patata, caña de azúcar, maíz, trigo, etc.) y sustituyen a las gasolinas o a los aditivos de las gasolinas sin plomo.

Los aceites obtenidos de las especies oleaginosas se pueden emplear como aditivo en un motor diesel convencional o se pueden utilizar como único combustible en motores especiales. No obstante, debido a los inconvenientes técnicos que estas opciones plantean, habitualmente se transforman químicamente mediante una reacción de esterificación del aceite con un alcohol (generalmente metanol) en un éster metílico que se denomina biodiesel. Este biodiesel se puede emplear directamente o como aditivo del diesel tradicional en los motores convencionales.

Por otra parte, los alcoholes obtenidos de la fermentación de especies ricas en azúcares se pueden utilizar como aditivo en un motor de gasolina convencional o se pueden emplear como único combustible en motores especiales, pero como en el caso de biodiesel, lo más usual es que se usen una vez transformados químicamente mediante su combinación con un reactivo orgánico (isobuteno) en lo que se denomina habitualmente como ETBE (etil-ter-butil éter). Este compuesto se puede utilizar como aditivo de las gasolinas sin plomo sustituyendo al MTBE (metil-ter-butil éter) que normalmente se obtiene de un combustible fósil.



Desde el punto de vista industrial los procesos de obtención de biocarburantes se hallan suficientemente desarrollados, no existiendo a nivel técnico ningún tipo de barrera para su producción de biocarburantes. La principal limitación existente para su elaboración es de origen económico ya que presentan un coste de obtención superior al de los derivados del petróleo. No obstante, la producción de biocarburantes puede ser competitiva frente a la de los combustibles fósiles a los que sustituyen con el

mantenimiento de exenciones fiscales especiales o en el caso de su fabricación para autoconsumo en empresas o cooperativas agrarias con elevadas cantidades de maquinaria agrícola o en empresas o instituciones con flotas de transporte cautivas (transportes urbanos, recogida de basuras, taxis, etc.).

7. Ejemplo práctico

Sin duda alguna, el sistema de mayor utilización en la actualidad a escala industrial es el basado en la combustión del recurso, por lo que este es el ejemplo que se va a desarrollar. No obstante, como ya se ha comentado anteriormente, existen otras posibilidades de aprovechamiento de la biomasa como la gasificación, la digestión anaerobia o la producción de biocarburantes.

Datos de partida

El primer paso que toda industria debe dar para valorar la posibilidad del aprovechamiento energético de la biomasa, es evaluar la cantidad y calidad de los recursos de biomasa propios o los de los productores cercanos. Para ello, es necesario rellenar cuidadosamente la siguiente tabla.

	A	B	C = A x B	D	E	F	$G = A \times D \times F \times 10^4$
Tipo de biomasa	Cantidad disponible anual	Coste unitario (1)	Coste total anual	PCI a humedad cero (ver tabla apartado 3)	Humedad	Factor corrector por humedad (ver figura 1)	Energía anual disponible
	kg	€/kg	€	kJ/kg	%		GJ
	kg	€/kg	€	kJ/kg	%		GJ
	kg	€/kg	€	kJ/kg	%		GJ
	kg	€/kg	€	kJ/kg	%		GJ
	kg	€/kg	€	kJ/kg	%		GJ
TOTAL	kg		€				GJ

(1) Precio de compra si se trata de un recurso externo a la industria o de venta si se trata de uno propio

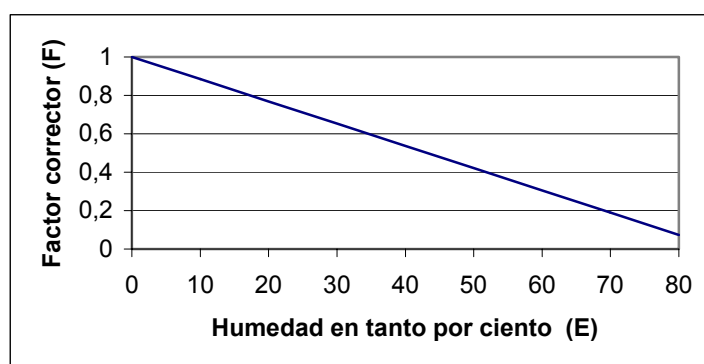


Figura 1.- Factor corrector (columna F) en función de la humedad (columna E)

Producción de calor:

La producción de calor en una caldera (ya sea para el calentamiento de agua o aceite térmico así como para la producción de vapor de agua) o en un aerotermo (calentamiento de aire), sustituyendo total o parcialmente a los combustibles fósiles

actualmente utilizados por la industria, es la más sencilla de las posibilidades de aprovechamiento energético de los residuos de biomasa. Para estudiar esta posibilidad es necesario conocer el consumo anual de dichos combustibles fósiles.

	H	I	J	K = H x J	L = H x I
Combustible	Cantidad anual	Precio de compra	PCI	Energía térmica consumida anualmente	Coste anual total
Gas Natural	m ³ N o termias	€/m ³ N o €/termia	0,038 ó 0,0038	GJ	€
Propano	m ³ N	€/m ³ N	0,096	GJ	€
Gasoil	kg	€/kg	0,042	GJ	€
Fuel-oil	kg	€/kg	0,040	GJ	€
Otros				GJ	€
TOTAL				GJ	€

En el caso de que la energía total disponible (total columna G) sea mayor que la energía térmica total consumida (total columna K) es necesario eliminar de la tabla de recursos aquellos que sean más caros o más problemáticos (fuerte estacionalidad, problemas de almacenamiento, etc.).

Hay que tener en cuenta que si la producción de biomasa es fuertemente estacional, sería conveniente rellenar las tablas anteriores con datos mensuales en vez de anuales. Además, es posible que la disponibilidad de biomasa no coincida con los períodos de mayor demanda térmica, lo que obligaría a estudiar las posibilidades de almacenamiento.

Teniendo en cuenta que el rendimiento de una caldera de tamaño pequeño o mediano de combustible fósil puede rondar el 90% y el de una caldera de biomasa el 85% (aunque depende mucho del tipo de residuo y de su humedad), se puede estimar que el ahorro económico de la industria es:

$$\text{Ahorro económico(€/año)} = \left(\frac{\text{Energía total biomasa (total G)} \cdot 0,85}{0,9} \right) \cdot \left(\frac{\text{Coste total combustible (total L)}}{\text{Energía total consumida (total K)}} - \frac{\text{Coste total biomasa (total C)}}{\text{Energía total biomasa (total G)}} \right)$$

Por supuesto, es necesario evaluar la inversión necesaria para conseguir este ahorro (cambio de caldera). No obstante, si las actuales calderas de combustible fósil necesitan una reparación o se está pensando en renovarlas, puede ser un buen momento para estudiar la posibilidad de instalar nuevas calderas de biomasa.

Producción de electricidad

Si la cantidad de biomasa disponible anualmente (total columna G) es superior a unos 300.000 GJ puede plantearse la posibilidad de instalar una planta de producción de energía eléctrica con biomasa.

Hay que tener en cuenta que por cada GJ de biomasa, se puede producir aproximadamente 60 kWh de electricidad (para la mayoría de los residuos biomásicos puede realizarse una estimación de 1 kWh generado por cada kg de residuo). Esta electricidad se dejaría de comprar a la compañía eléctrica e incluso puede darse el caso de vender a dicha compañía los excedentes.

Si además la industria tiene un elevado consumo de energía térmica (total columna K superior a 150.000 GJ) puede plantearse la instalación de un sistema de cogeneración con biomasa.



Dado lo elevado de las inversiones necesarias para la instalación de una planta de producción de energía eléctrica o de cogeneración, así como las particularidades de cada industria y tipo de biomasa disponible, es necesario realizar en cada caso un estudio detallado que permita conocer la viabilidad real de estas opciones.

5.

VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES

1. Ventajas de las energías renovables

Las energías renovables representan sin duda alguna la opción de futuro más acorde con el medio ambiente. Este es el aspecto más positivo que aportan aunque no el único, ya que realizan la explotación de recursos inagotables, tienen un moderado impacto ambiental en su explotación, e incorporan aspectos sociales como reequilibrio territorial, creación de empleo en los lugares de explotación posibilitando la fijación de la población, etc.

Otro aspecto favorable es la eficiencia energética asociada a la generación eléctrica con fuentes renovables, al presentar elevados rendimientos en el proceso de generación frente a las energías tradicionales. La eficiencia energética con fuentes renovables es comparativamente alta, cercana al 90% para la hidráulica, y cercana al 60% para los sistemas avanzados de producción con biomasa, frente a un valor medio del 35% de la generación con energía térmica convencional; la energía eólica y solar fotovoltaica aún teniendo unos rendimientos de generación más bajos, aprovechan los recursos disponibles sin agotarlos. Durante el período 1986-1995 la mejora en la eficiencia global del parque de producción eléctrica, como consecuencia de la producción con renovables y de la cogeneración, fue del orden del 5%.

Las energías renovables están siempre asociadas a ventajas medioambientales por parte de la sociedad, basándose en la idea de no utilizar recursos limitados. Aún siendo muy importante este aspecto, el aspecto medioambiental más positivo proviene de la ausencia de emisión de contaminantes a la atmósfera, con lo que no se contribuye al efecto invernadero, lluvia ácida, etc.

El CO₂ es el principal causante del efecto invernadero, contribuyendo aproximadamente al 55% del calentamiento de la biosfera por este efecto. De entre todas las energías renovables solamente la biomasa realiza una emisión de CO₂, en los procesos de combustión. Sin embargo, todo el CO₂ emitido en la utilización energética de la biomasa ha sido previamente



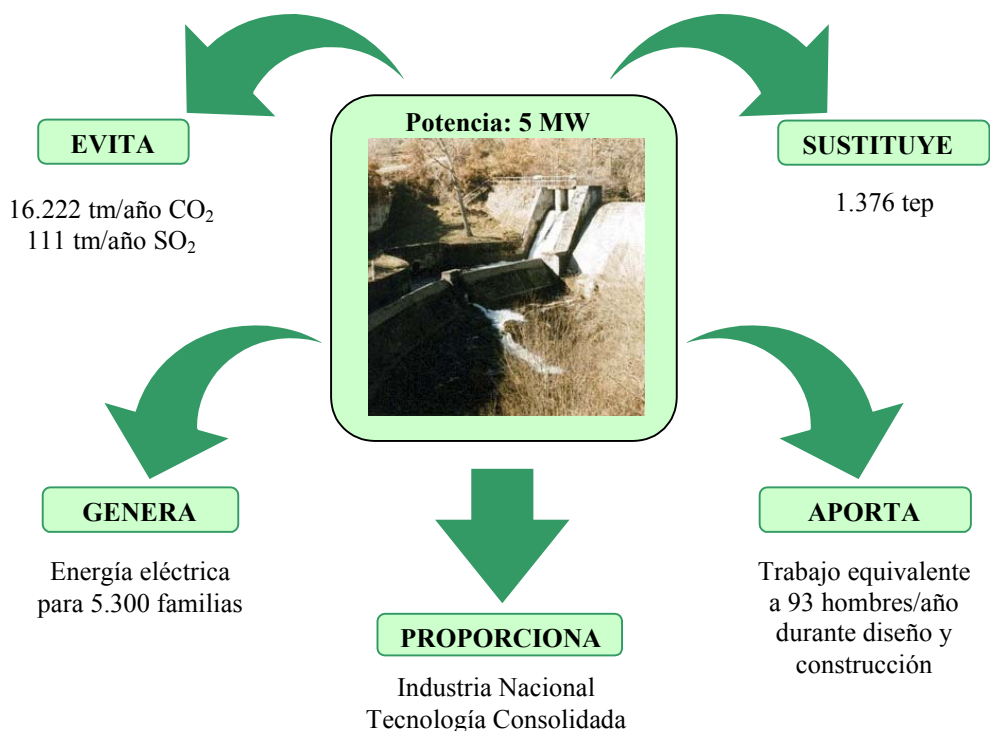
fijado en el crecimiento de la materia vegetal que la ha generado. Esto implica que el uso energético de la biomasa presenta un balance neutro respecto al CO₂, por lo que no contribuye al incremento de su proporción en la atmósfera, y por lo tanto, no es responsable del aumento del efecto invernadero.

2. Ventajas e inconvenientes de la energía hidroeléctrica

Ventajas

- Una central hidroeléctrica a pesar de aprovechar los recursos naturales que ofrece un río, si su sistema de explotación es adecuadamente gestionado, no tiene porqué causar ningún cambio en la calidad y cantidad de agua, siendo una de las más baratas en cuanto a explotación.
- La calidad del agua puede, incluso, verse mejorada gracias a los procesos de sedimentación que se producen en los embalses, donde también se favorecen las funciones de autodepuración.
- Otros aspectos favorables son la eliminación de avenidas e inundaciones; los grandes embalses permiten abastecimiento en épocas de sequía, tanto para la población como para los ríos o regadíos, acelera el desarrollo del turismo por usos recreativos, etc.

Un esquema que recoge los beneficios asociados a una minicentral hidroeléctrica puede observarse en la figura siguiente:



Inconvenientes

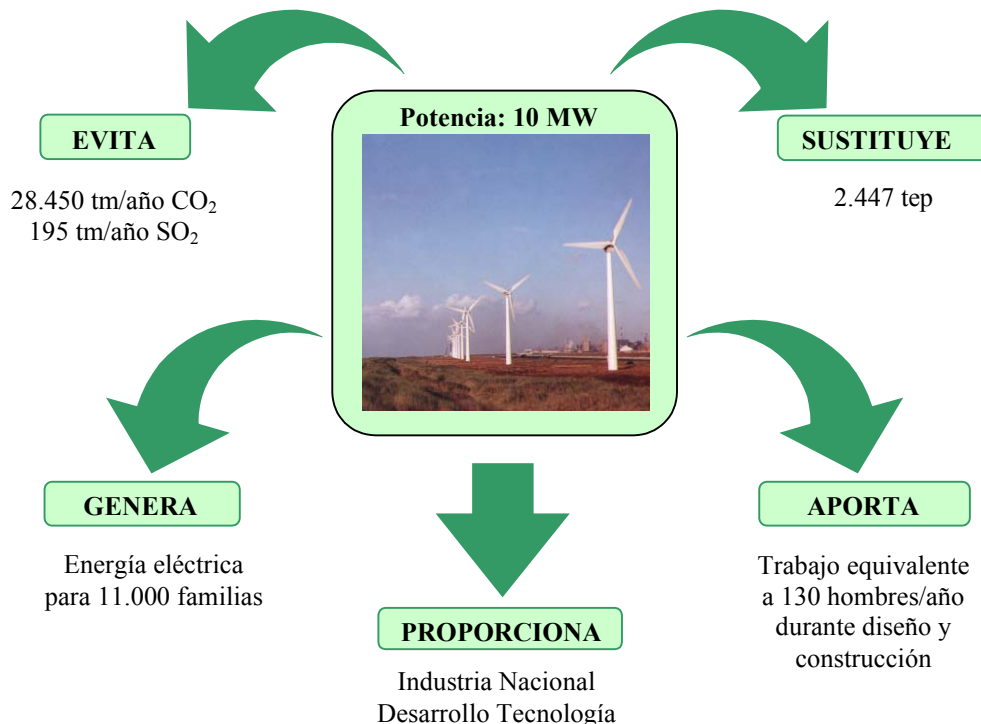
- Se puede provocar inundación de tierras, con el consiguiente impacto visual, o desplazamiento de núcleos habitados, efectos sobre las especies piscícolas al reducir el caudal en ciertas zonas e incrementarlo en otras, etc. Estos aspectos quedan minimizados en el caso de pequeños aprovechamientos, donde no sea necesario realizar grandes infraestructuras. Sin embargo y a pesar de estos aspectos, el balance global es claramente positivo.

3. Ventajas e inconvenientes de la energía eólica

Ventajas

- La energía eólica no modifica en ningún caso el recurso utilizado.
- Una vez finalizada la vida útil de la instalación, no incorpora ningún cambio con respecto al entorno.

Un esquema de aspectos medioambientales de la energía eólica queda reflejado en la figura siguiente:



Ventajas

- Los parques eólicos también suponen un cambio paisajístico importante, aunque un tanto subjetivo de evaluar.
- Otros aspectos negativos pueden ser el nivel de ruido generado o la todavía no demostrada incompatibilidad con la convivencia de la avifauna.

4. Ventajas e inconvenientes de la energía solar térmica

Ventajas

- La energía solar térmica es una fuente energética gratuita e inagotable; y mucho más respetuosa con el medio ambiente que las energías convencionales, ya que en el medio físico no existen afecciones, ni sobre la calidad del aire, ni sobre los suelos, como tampoco se provocan ruidos ni se afecta a la hidrología existente. Además los posibles impactos medioambientales en la fase de instalación no tienen un carácter permanente, desapareciendo en la fase de explotación.



**2 m² evitan la
emisión de 1 tm
de CO₂ al año**

- Las instalaciones solares térmicas tienen un carácter autónomo y descentralizado, lo que representa un equilibrio estratégico sobre el suministro de energía y un desarrollo más sostenible.
- La utilización de la energía solar térmica proporciona una alta rentabilidad económica. La vida útil de las instalaciones se encuentra en torno a los 15-20 años y los requerimientos de operación y mantenimiento son mínimos. En general, la instalación tiene unos gastos de mantenimiento comprendidos entre el 4% y el 10% de los ahorros económicos derivados del ahorro de combustible.
- Por término medio una instalación de colectores para generar ACS conlleva una reducción del combustible consumido por los equipos convencionales del 40-60% dependiendo de varios factores de diseño, con el consiguiente ahorro energético y disminución del impacto medioambiental.

Inconvenientes

- El uso generalizado de la energía solar térmica se ve dificultado por los altos costes de la instalación, y la técnica aún insuficiente en cuanto al almacenamiento de la energía, y la calidad y eficiencia de los materiales.

- La necesidad de una inversión inicial elevada es uno de los condicionantes que más influyen, ya que realizar una instalación de energía solar térmica representa adelantar el pago de la energía futura a obtener del sistema, lo que constituye ya de por sí una barrera.
- En el sentido legislativo y normativo, el mercado solar térmico, hasta el momento, no se ha encontrado suficientemente regulado por prescripciones que aseguren su correcto desarrollo. La falta de una normativa específica para este tipo de instalaciones produce frecuentemente un cierto recelo frente a la adopción de esta nueva tecnología.
- Todo el proceso necesario relacionado con las subvenciones que se han venido otorgando al sector durante años sufre de cierta rigidez. Igualmente, muchos programas de desarrollo y subvención no poseen la suficiente estabilidad, por lo que dan a lugar a ciertas incertidumbres en el mercado por falta de claridad en las condiciones de la inversión.

5. Ventajas e inconvenientes de la biomasa

El empleo energético de la biomasa presenta numerosas ventajas, no sólo para el propietario de la instalación de aprovechamiento, también para el conjunto de la sociedad. En el primero de los casos, las ventajas mencionadas son fundamentalmente económicas ya que se disminuye la factura energética al reducir la cantidad de combustibles que se debe adquirir del exterior. En el segundo de los casos, el uso de la biomasa presenta, al igual que ocurre con otras energías renovables, numerosas ventajas medioambientales y socioeconómicas.

Ventajas ambientales

- Se considera que todo el CO₂ emitido en la utilización energética de la biomasa había sido previamente fijado en el crecimiento de la materia vegetal que la había generado, por lo que no contribuye al incremento de su proporción en la atmósfera y, por tanto, no es responsable del aumento del efecto invernadero.
- La biomasa tiene contenidos en azufre prácticamente nulos, generalmente inferiores al 0,1%. Por este motivo, las emisiones de dióxido de azufre, que junto con las de óxidos de nitrógeno son las causantes de la lluvia ácida, son mínimas.
- Por otra parte, el uso de biocarburantes en motores de combustión interna supone una reducción de las emisiones generadas (hidrocarburos volátiles, partículas, SO₂ y CO).
- Por último, el empleo de la tecnología de digestión anaerobia para tratar la biomasa residual húmeda además de anular su carga contaminante, reduce fuentes de olores molestos y elimina, casi en su totalidad, los gérmenes y los microorganismos patógenos del vertido.



Los fangos resultantes del proceso de digestión anaerobia pueden ser utilizados como fertilizantes en la agricultura.

Ventajas socioeconómicas

- El aprovechamiento energético de la biomasa contribuye a la diversificación energética, uno de los objetivos marcados por los planes energéticos, tanto a escala nacional como europea.
- La implantación de cultivos energéticos en tierras abandonadas evita la erosión y degradación del suelo.



La Política Agraria Comunitaria (PAC) permite la utilización de tierras en retirada para la producción de cultivos no alimentarios, como son los cultivos energéticos.

- El aprovechamiento de algunos tipos de biomasa (principalmente la forestal y los cultivos energéticos) contribuyen a la creación de puestos de trabajo en el medio rural.

Inconvenientes

La utilización energética de la biomasa presenta, debido a sus características, pequeños inconvenientes con relación a los combustibles fósiles:

- Los rendimientos de las calderas de biomasa son algo inferiores a los de las que usan un combustible fósil líquido o gaseoso.
- La biomasa posee menor densidad energética, o lo que es lo mismo, para conseguir la misma cantidad de energía es necesario utilizar más cantidad de recurso. Esto hace que los sistemas de almacenamiento sean, en general, mayores.
- Los sistemas de alimentación de combustible y eliminación de cenizas son más complejos y requieren unos mayores costes de operación y mantenimiento (respecto a las que usan un combustible fósil líquido o gaseoso). No obstante, cada vez existen en el mercado sistemas más automatizados que van minimizando este inconveniente.
- Los canales de distribución de la biomasa no está tan desarrollados como los de los combustibles fósiles (sólo aplicable en el caso de que los recursos no sean propios).
- Muchos de estos recursos tienen elevados contenidos de humedad, lo que hace que en determinadas aplicaciones puede ser necesario un proceso previo de secado.

6.

LEGISLACIÓN

A continuación se recogen las leyes, Reales Decretos y órdenes que afectan a la generación de energía.

- Ley 82/1980 de 30 de Diciembre sobre conservación de la energía. BOE núm. 23 de 27 de Enero de 1981. Regula los beneficios para las nuevas instalaciones de producción de energía hidroeléctrica. Aunque sus contenidos en algunos aspectos ya resulta obsoleto y no aplicable porque ulteriores disposiciones regulan sobre estas materias, la Ley actual 54/97 del sector eléctrico hace referencia a que “a las instalaciones que a la entrada en vigor de la presente Ley les fueran aplicables los beneficios de la Ley 82/1980 les seguirán siendo de aplicación”.
- Orden de 5 de Septiembre de 1985 por la que se establecen normas administrativas y técnicas para el funcionamiento de conexión a redes eléctricas de centrales hidroeléctricas hasta 5000 KVA y centrales de autogeneración eléctrica. BOE núm. 219 de 12 de Septiembre de 1985.
- Ley 32/1992 de 28 de Diciembre de Impuestos Especiales.
(Aunque antes no afectaba a la producción de energía eléctrica, a partir de la Ley 66/1997 hay que remitirse a ella porque regula todos los aspectos generales).
- Real Decreto 2366/1994 de 9 de Diciembre, sobre producción de energía eléctrica por instalaciones hidráulicas de cogeneración y otras abastecidas por recursos y fuentes de energía renovables. BOE. Núm. 23 de 27 de Enero de 1995.
- Real Decreto 1165/1995 de 7 de Julio de 1995 por el que se establece el reglamento de los Impuestos especiales. BOE núm. 179 de 28 de Julio de 1995.
- Ley 54/1997, de 27 de Noviembre, del Sector Eléctrico. BOE núm. 285 de 28 de Noviembre de 1997.
- Modificaciones de la Ley 54/97 del Sector Eléctrico:
 - 7.1.- Ley 50/1998, de 30 de Diciembre de Medidas Fiscales Administrativas, y del Orden Social. BOE núm. 313 de 31 de Diciembre de 1998.
 - Artículo 106: Modifica el artículo 33.1. de la Ley 54/97.

- Artículo 107: Modifica la Disposición transitoria sexta de la Ley 54/97.
- Real Decreto 2017/1997, de 26 de Diciembre, por el que se organiza y regula el procedimiento de liquidación de los costes de transporte, distribución y comercialización a tarifa, de los costes permanentes del sistema y de los costes de diversificación y seguridad de abastecimiento. BOE núm. 310 de 27 de Diciembre de 1997.
- Real Decreto 2018/1997, de 26 de Diciembre por el que se aprueba el Reglamento de puntos de medida de los consumos y tránsitos de energía eléctrica. BOE núm. 310 de 27 de Diciembre de 1997.
- Real Decreto 2019/1997, de 26 de Diciembre, por el que se organiza y regula el mercado de producción de energía eléctrica. BOE núm. 310 de 27 de Diciembre de 1997.
- Orden de 29 de Diciembre de 1997, por la que se desarrollan algunos aspectos del Real Decreto 2019/1997, de 26 de Diciembre, por el que se organiza y regula el mercado de producción de energía eléctrica. BOE núm. 313 de 31 de Diciembre de 1997.
- Ley 66/1997 de 30 de Diciembre de Medidas Fiscales y de Orden social, sección 5ª por la que se modifica la Ley 38/1992 de 28 de Diciembre de Impuestos Especiales. Esta Ley 66/1997 añade el IMPUESTO SOBRE LA ELECTRICIDAD. BOE núm. 313 de 31 de Diciembre de 1997.
- Real Decreto 112/1998 de 30 de Enero por el que se modifica el Reglamento de los Impuestos Especiales. BOE núm. 27 de 31 de Enero de 1998.
- Orden de 3 de Febrero de 1998 por la que se aprueba el modelo 560 de declaración-liquidación para la determinación del ingreso del impuesto sobre la electricidad. BOE núm. 30 de 4 de Febrero de 1998.
- Orden de 17 de Diciembre de 1998 por la que se modifica la de 29 de Diciembre de 1997, que desarrolla algunos aspectos del Real Decreto 2019/1997, de 26 de Diciembre, por el que se organiza y regula el mercado de producción de energía eléctrica. BOE núm. 310 de 28 de Diciembre de 1998.
- Real Decreto 2818/1998, de 23 de Diciembre, sobre producción de energía eléctrica por instalaciones abastecidas por recursos o fuentes de energía renovables, residuos y cogeneración. BOE Núm. 312 de 30 de Diciembre de 1998.
- Real Decreto 2819/1998, de 23 de Diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte y distribución de energía eléctrica. BOE núm. 312 de 30 de Diciembre de 1998.
- Real Decreto 2820/1998, de 23 de Diciembre, por el que se establecen tarifas de acceso a las redes. BOE núm. 312 de 30 de Diciembre de 1998.

- Real Decreto 2818/1998 de 23 de Diciembre, sobre producción de energía eléctrica por instalaciones abastecidas por recursos o fuentes de energía renovables, residuos y cogeneración. BOE núm. 313 de 31 de Diciembre de 1998.
- Orden de 12 de Abril de 1999, por la que se dictan las instrucciones técnicas complementarias al reglamento de puntos de medida de los consumos y tránsitos de energía eléctrica. BOE núm. 95 de 21 de Abril de 1999.
- Real Decreto 3490/2000, de 29 de Diciembre, por el que se establece la tarifa eléctrica para el 2001. BOE núm. 313 de 30 de Diciembre de 2000.
- DECRETO 68/1998, de 31 de marzo, del Gobierno de Aragón, por el que se establecen subvenciones en materia de ahorro y diversificación energética, uso racional de la energía, aprovechamiento de los recursos autóctonos y renovables e infraestructura energética en el medio rural
- ORDEN de 19 de octubre de 2001, del Departamento de Industria, Comercio y Desarrollo, por la que se convocan para el ejercicio 2002, ayudas en materia de ahorro y diversificación energética, uso racional de la energía, aprovechamiento de los recursos autóctonos y renovables e infraestructura energética en el medio rural



DIRECCIONES DE INTERÉS

Energías renovables. General

IDAE

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía
Pº de la Castellana, 95 – Planta 21
28046 MADRID
www.idae.es

CIRCE

Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos
Centro Politécnico Superior
C/ María de Luna, 3
50015 ZARAGOZA
<http://circe.cps.unizar.es>

UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA

DEPT. INGENIERÍA ELÉCTRICA
DEPT. INGENIERIA MECÁNICA
Centro Politécnico Superior
C/ María de Luna, 3
50015 ZARAGOZA
www.cps.unizar.es

APPA

Asociación de Productores de Energías Renovables
C/ París, 205
08008 BARCELONA
Telf.: 93 414 22 77
Fax: 93 209 53 07
www.appa.es

GOBIERNO DE ARAGÓN

Departamento de Industria, Comercio y Desarrollo
Servicio de Energía
Pº María Agustín, 36 (Edificio Pignatelli)
50004 ZARAGOZA
www.aragob.es

CIEMAT

Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas
Avda. Complutense, 22
28040 MADRID
Telf.: 91 346 60 00
Fax: 91 346 60 05
www.ciemat.es

ERA SOLAR

Revista Técnica de Energías Renovables, Medio Ambiente y Ahorro Energético
C/ Costa Rica, 13
28016 MADRID
www.erasolar.es

Revista de las energías renovables

www.energies-renovables.com

Revista Energías

www.tecnipublicaciones.com/amdpres

Revista IntecUrbe Digital

www.tecnipublicaciones.com/amdpres

ATE-SISENER INGENIEROS

Paseo Sagasta, 17, 3º Izda. B
50008 ZARAGOZA
Telf.: 976 30 13 51
607 44 88 50
Fax: 976 21 47 60

ABB

Ctra. de Madrid, Km. 314
50012 ZARAGOZA
Telf.: 976 33 25 50
Fax: 976 32 38 65

INDAR S.A.

Avda. Navarra, 20
20200 Beasain (GUIPUZCOA)
Telf.: 943 88 28 00 – 88 28 50
Fax: 943 88 87 93 – 88 75 41

LAYBOX S.L.

Polígono Malpica, C/E, nº 71
50016 ZARAGOZA
Telf.: 976 57 16 60
Fax: 976 57 32 46

SIEMENS S.A.

Ronda de Europa, 5
28760 Tres Cantos (MADRID)
Telf.: 91 514 80 00

SISTEMAS ELECTRICOS THALES

C/ Arias, 26
50010 ZARAGOZA
Telf.: 976 30 41 01

ABENSUR



Abengoa Servicios Urbanos S.A.
 Avda. de la Buhaira, 2
 41018 SEVILLA
 Telf.: 95 493 70 00
 Fax: 95 493 70 21

Energía eólica

NEG-MICON Eólica S.A.

Paseo Independencia, 8, 2º Dch.
 50004 ZARAGOZA
 Telf.: 976 46 87 52
 Fax.: 976 22 31 91

ADES

Aplicaciones de energías
 sustitutivas S.L.
 Polígono Malpica, C/E, nave 9
 50016 ZARAGOZA
 Telf.: 976 57 11 93– 976 57 46 71
 Fax: 976 57 04 65

TAIM – TFG

Ctra. Castellón, Km. 6,3
 50013 ZARAGOZA
 Telf.: 976 50 00 06
 Fax: 976 50 00 38

J. BORNAY

AEROGENERADORES S.R.C.

Avda. de Ibi, 76-78
 03420 Castalla (ALICANTE)
 Telf.: 965 560 025
 Fax: 965 560 752

CONSTRUCCIONES

MECÁNICAS ARAGONESAS

Crtra. de Madrid, Km. 315,8
 50012 ZARAGOZA
 Telf.: 976 40 32 25
 Fax: 976 33 24 91

EBROACERO, S.A.

Argualas, s/n
 50012 ZARAGOZA
 Tel.: 976 56 46 25
 Fax: 976 56 00 48
 E-mail: ebroa@globalnet.es

ESTRUCTURAS METÁLICAS LAZARO S.A.

Autovia Zaragoza-Logroño Km. 16
 50629 Sobradriel (ZARAGOZA)
 Telf.: 976 77 19 12

GAMESA EOLICA S.A.

Polígono Landaben, calle E, s/n
 31012 Pamplona (NAVARRA)
 Telf.: 948 18 74 04
 Fax: 948 18 80 69

MADE, ENERGIAS RENOVABLES S.A

Paseo de la Castellana, 19
 planta 29 (Torre Europa)
 Telf.: 91 598 37 19
 Fax: 91 597 48 93
www.made.es

CEASA

Paseo de Pamplona nº 5,
 5ª Planta, 50004 Zaragoza
 Telf.: 976 21 67 35

Energía hidroeléctrica

AVERLY S.A.

Pº María Agustín, 57-59
 50004 ZARAGOZA
 Telf: 976 43 46 16
 Fax: 976 44 50 72

ALCONZA BERANGO S.L.

C/ Arene Bidea, 13
 48640 BERANGO (VIZCAYA)
 Telf.: 94 668 00 11
 Fax: 94 668 09 23

CIDESPA

C/ Bravo Murillo, 203
 28020 MADRID
 Telf.: 91 450 38 00
 Fax: 91 450 30 14

CONSTRUCCIONES A. AYLAGAS

C/ Progreso, s/n
 22800 AYERBE (HUESCA)
 Telf.: 974 38 01 25
 Fax: 974 38 02 24

EDASA Ingeniería y Montajes

Ctra. Madrid, Km. 314,8
 50012 ZARAGOZA
 Telf.: 976 30 03 60
 Fax: 976 34 13 51
www.edasa.com

ALSTOM

Paseo de la Castellana, 257
 28046 MADRID
 Telf.: 91 334 58 00
 Fax.: 91 334 58 84
info.sapin@crn.alstom.com
www.alstom.com

SERVO SHIP S.L.

Avda. Cataluña, 35-37, bloque 4,
 1º izq
 50014 ZARAGOZA
 Telf.: 976 29 80 39 – 29 82 59
 Fax: 976 29 31 34

TyEH SALTOS DEL PIRINEO

Dr. Fleming, 2, esc. derecha 1º
 25006 LLEIDA
 Telf.: 973 22 26 36
www.normativa.net/saltosdel_pirineo

Energía solar fotovoltaica



Oche, Control y equipamientos S.L.

C/Río Duero, 1, 50420 Cadrete (Zaragoza)
Tel.: 976 12 57 01
Fax: 976 12 65 63

TRAMA TECNOAMBIENTAL, S.L.

C/Ripollès, 46 08026 Barcelona, España
Tel.: 93 446 32 34
Fax: 93 456 69 48

ISOFOTON

C/ Montalbán, 9, 2º izda, 28014, Madrid
Tel.: 91 531 26 25
Fax: 91 531 10 07

ATERSA

C/ Fernando Poo, 6, 28045, Madrid
Tel.: 91 4 74 72 11
Fax: 91 4 74 74 67

BP solar

C/ Isla de Hierro, 5, Parque Empresarial La Marina, 28700, S.S. de los Reyes Madrid
www.bpsolar.com
Tel.: 91 658 65 65
Fax: 91 658 65 66

JHRoerden, Siemens & Shell Solar

Avda. Alberto Alcocer, 38, 7º Izda, 28016, Madrid
www.jhroerden.com
Tel.: 91 4 57 91 28
Fax: 91 4 58 60 46

Energía solar térmica

SOLARWEB: ENERGÍA SOLAR

www.solarweb.net

CENSOLAR

CENTRO DE ESTUDIOS DE LA ENERGÍA SOLAR
Parque Industrial PISA - Edif Censolar Comercio, 12
41927 Mairena del Aljarafe (SEVILLA)
www.censolar.es

PLATAFORMA SOLAR DE ALMERÍA

www.psa.es

ASENSA

Asociación Española de Empresas de Energía Solar y Alternativas
www.asensa.org

DAROCA SOLAR

C/ Manuel Lasala, 8, esc. Centro, 1º, ptas. G-H
50006 – ZARAGOZA

ARAGONESA DE SOLUCIONES ENERGÉTICAS SL (ASE)

Pº de la Independencia, 27, plta. 5ª
50001 – ZARAGOZA

SANEAMIENTOS MIÑANA

Sta. Bárbara, 11
50257 - Gotor (ZARAGOZA)

OSCA GAS, S.A.

Pza. Salamero, 14
50004 – ZARAGOZA

Energía solar pasiva. Arquitectura bioclimática

ISVA

Instituto del Suelo y la Vivienda de Aragón
Pº María Agustín, 36 (Edificio Pignatelli)
50004 ZARAGOZA
www.aragob.es

MINISTERIO DE FOMENTO SECRETARÍA GENERAL TÉCNICA

Dirección General de la Vivienda, la Arquitectura y el Urbanismo
Pº de la Castellana, 67
28071 MADRID
www.mfom.es

Biomasa

**Asociación para la Difusión
del Aprovechamiento de la
Biomasa en España (ADABE)**

Avda. Complutense s/n
28040 MADRID
Telf.: 91 549 26 92
Fax: 91 549 84 82
e-mail: adabe@pvb.etsia.upm.es

EUR-URIBOR, S.L.

c/ Florentino Ballesteros, 12 9º C
50013 ZARAGOZA
Telf.: 976 49 75 03
Fax: 976 59 74 23

MOLINOS AFAU, S.L.

Pol. Ind. "Los Royales", s/n
50750 PINA DE EBRO
(ZARAGOZA)
Telf.: 976 16 65 52
Fax: 976 16 65 28
www.afau.net
e-mail: info@afau.net

Agro-Pirineos Ayerbe, S.L.

Ctra. Nacional 330, km. 576,3
22193 YEQUEDA (HUESCA)
Tlf.: 974 27 11 13
Fax.:974 27 11 78
www.agropirineos.com
apayerbe@agropirineos.com

**European Biomass Association
(AEBIOM)**

Place Croix du Sud 2 bte 11
1384 Louvain-la-Neuve,
BELGIUM
Telf.: +32 10 47 34 55
Fax: +32 10 47 34 55
e-mail: jossart@ecop.ucl.ac.be

FLOAR-SAMO, S.L.

Carretera de Logroño, Km. 13,7
50180 UTEBO (ZARAGOZA)
Telf.: 976 77 37 57
Fax: 976 77 21 31

SUGIMAT, S.L.

Ctra. Madrid - Valencia, Km. 331.
Colada de Aragón s/n.
46930 QUART DE POBLET,
VALENCIA
Telf.: 34 6 159 72 30
Fax: 34 6 192 00 26
Télex: 61466 - SUGI - E
www.sugimat.com
empresa: sugimat@sugimat.com
comercial: sug4@sugimat.com

ENTABAN ECOENERGÉTICA

Avd. Independencia, 28, 6º
oficina 6
50004 ZARAGOZA

ERATIC, S.A.

Avda. Juan Ramón Jiménez, 6
46930 QUART DE POBLET
Telf.: 96 154 85 16
Fax: 96 153 26 94
e-mail: eratic@eratic.es

METAGA, S.L.

Carretera N-240, km 129,1
22500 BINEFAR (HUESCA)
Telf.: 974 43 09 12
Fax: 974 43 05 77

ESTÁNDAR-KESSEL

STANDARD-KESSEL IBERICA
ENERGIA Y MEDIO AMBIENTE,
S.L.
Vía Hispanidad, 102
50017 ZARAGOZA
Telf: 976 33 24 61
Fax: 976 33 10 62
standardkessel@infonegocio.com

