

Proyecto **MACSEN-PV**

MANUAL PARA EL DOCENTE: ENERGÍAS
RENOVABLES E INTEGRACIÓN EN REDES
ELÉCTRICAS



Esta publicación es posible gracias al apoyo del Programa Europeo PCT-MAC 2007-2013 (<http://www.pct-mac.org/>). Su contenido es responsabilidad de los socios del proyecto y no necesariamente refleja los puntos de vista de la Unión Europea. Ni la Comisión Europea ni otra persona actuando en su nombre es responsable del posible uso de la información que contiene esta publicación.

Título: MANUAL PARA EL DOCENTE: ENERGÍAS RENOVABLES E INTEGRACIÓN EN REDES ELÉCTRICAS. Proyecto MACSEN-PV. 2012

Autores: M. Friend, M. Alonso, I. Youm, C. Wade, G. Galván, M. Iriarte, A. Pío, C. González, E. Pérez, A. Linares, N. Losada, E. H. Sylla, A. T. Niang, M. Hernández-Abad, E. López, G. Moncho.

Coordinador de la edición: AIET – Agencia Insular de Energía de Tenerife. Contacto: Polígono Industrial de Granadilla, s/n. 38600. Granadilla de Abona. S/C de Tenerife. www.agenergia.org agenergia@agenergia.org

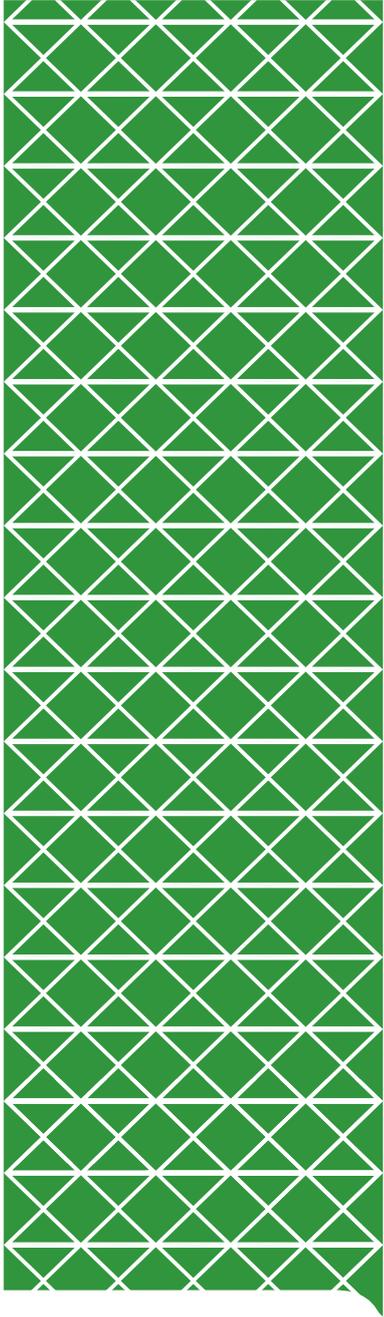
Resto de Entidades Participantes:

ITER – Instituto Tecnológico y de Energías Renovables de Tenerife www.iter.es

ASER - Agence Sénégalaise d'Électrification Rurale www.aser.sn

CERER - Centre d'Etudes et de Recherches sur les Energies Renouvelables
<http://cerer.ucad.sn/>

La finalidad de este documento es poner a disposición de los docentes una recopilación de recursos de interés para la docencia en materia de energía, por lo que su difusión por terceros contribuiría a aumentar su eficiencia. Este documento puede ser reproducido y distribuido libremente, en su totalidad o en parte, siempre y cuando se cite la autoría del mismo por parte del Proyecto MACSEN-PV y se trate de usos no comerciales.



ANTECEDENTES

ANTECEDENTES

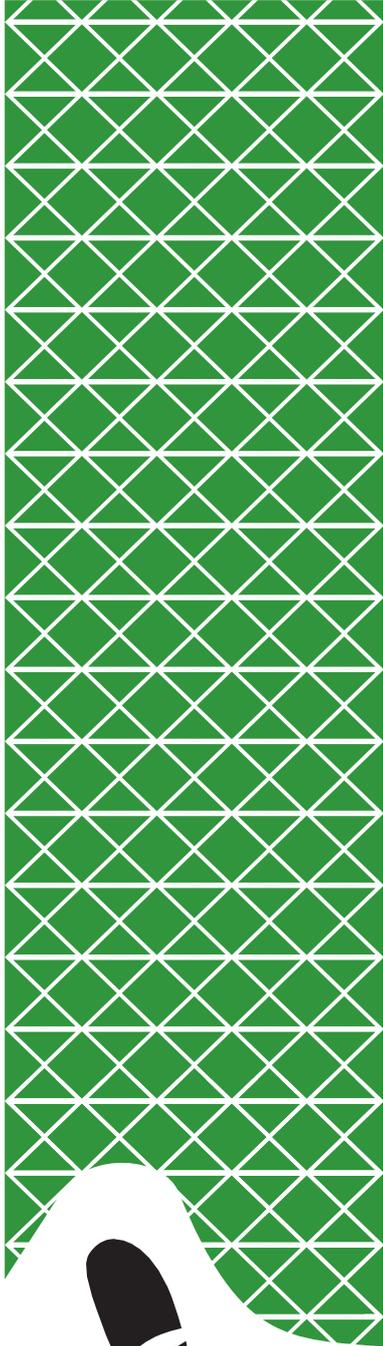
Este documento forma parte del proyecto europeo MACSEN-PV, cofinanciado por el programa europeo PCT-MAC 2007-2013, que se concibe como una plataforma para la cooperación técnica entre Tenerife y Senegal en el ámbito de la integración de las energías renovables en redes eléctricas. Su principal objetivo es el de mejorar la capacidad de las autoridades públicas y los técnicos locales, para favorecer la implantación de energías renovables para el suministro eléctrico en estas regiones.

Fruto de la colaboración entre los socios del proyecto (ITER, AIET, ASER Y CERER), se elaboraron en la fase anterior del proyecto “Análisis del Entorno” distintos informes encaminados a identificar la disponibilidad de recursos, las previsiones de crecimiento de la demanda energética, la legislación existente, las principales necesidades del mercado eléctrico y las carencias formativas existentes en la materia en las regiones participantes. Los informes elaborados están disponibles en la página web del proyecto (<http://macsen-pv.iter.es>).

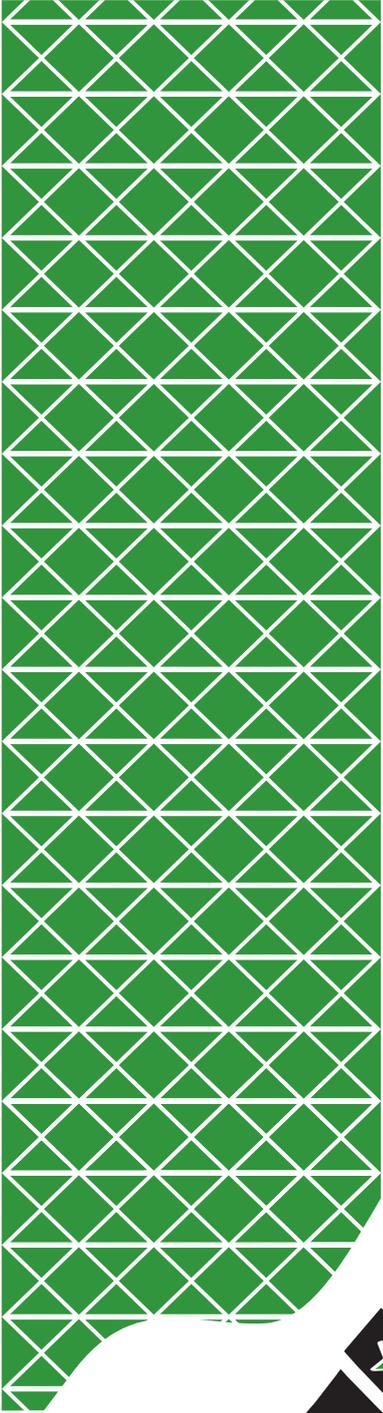
El informe de “Análisis de Planes Formativos impartidos en los centros de enseñanza superior y de las Oportunidades de Empleo en el sector de las Energías Renovables en Canarias y en Senegal” ha permitido conocer la situación actual de estas dos regiones y son el punto de partida de las acciones sucesivas del proyecto MACSEN-PV, entre las que se encuentra la elaboración del presente Manual para el docente: Energías renovables e integración en redes eléctricas.

Como complemento a la información proporcionada en este manual, dentro del proyecto MACSEN-PV se han desarrollado otra serie de documentos y recursos, como la Oficina On-line de Asesoramiento al docente y al gestor público, ubicada en la página web del proyecto.





INTRODUCCIÓN



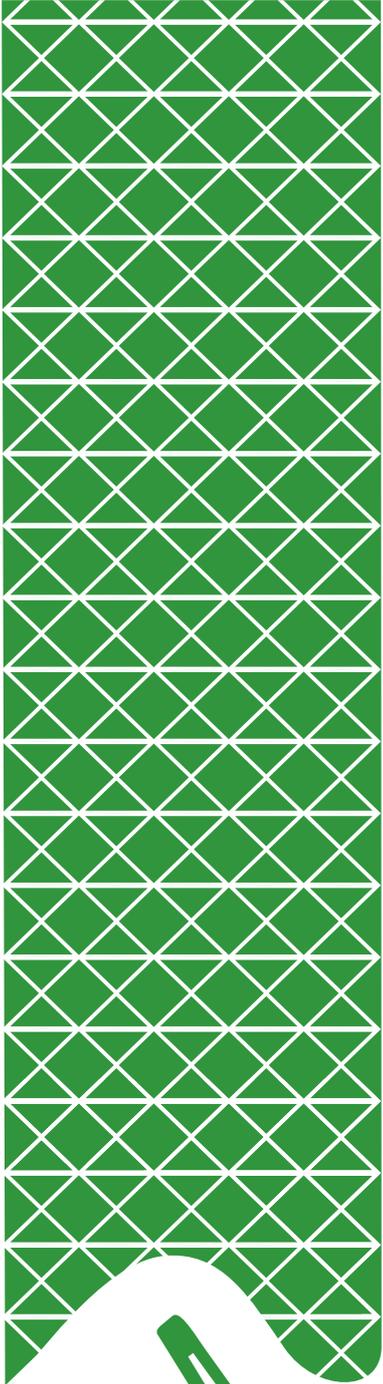
CONTENIDO DEL MANUAL

ÍNDICE DE CONTENIDOS

BLOQUE I: CONCEPTOS SOBRE LA ENERGÍA E INTRODUCCIÓN A LAS ENERGÍAS RENOVABLES	5
1. INTRODUCCIÓN Y CONOCIMIENTOS BÁSICOS	5
1.1. <i>CONCEPTOS GENERALES SOBRE LA ENERGÍA</i>	5
1.2. <i>DEMANDA ENERGÉTICA Y RECURSOS GLOBALES</i>	9
1.3. <i>CONSECUENCIAS DEL ACTUAL MODELO ENERGÉTICO</i>	11
1.4. <i>MEDIDAS A LLEVAR A CABO</i>	12
1.5. <i>EFFECTO INVERNADERO</i>	12
1.6. <i>PROTOCOLO DE KIOTO</i>	14
2. TIPOS DE ENERGÍAS RENOVABLES	16
2.1. <i>EL SOL, FUENTE COMÚN PARA TODAS LAS ENERGÍAS RENOVABLES</i>	16
2.2. <i>ENERGÍA SOLAR TÉRMICA</i>	16
2.3. <i>ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA</i>	21
2.4. <i>ENERGÍA EÓLICA</i>	25
2.5. <i>ENERGÍA DEL MAR</i>	30
2.6. <i>ENERGÍA HIDRÁULICA Y MINIHIDRÁULICA</i>	34
2.7. <i>ENERGÍA GEOTÉRMICA</i>	37
2.8. <i>ENERGÍA DE LA BIOMASA</i>	39
BLOQUE II: USO RACIONAL DE LA ENERGÍA	43
1. INTRODUCCIÓN	43
1.1. <i>PANORAMA MUNDIAL</i>	43
1.2. <i>CONCEPTOS</i>	44
1.3. <i>DISTRIBUCIÓN POR SECTORES DEL CONSUMO ENERGÉTICO MUNDIAL</i>	46
2. EFICIENCIA ENERGÉTICA POR TECNOLOGÍAS	46
2.1. <i>INSTALACIONES DE CLIMATIZACIÓN</i>	46
2.2. <i>INSTALACIONES DE ILUMINACIÓN</i>	49
2.3. <i>INSTALACIONES DE AIRE COMPRIMIDO</i>	55
2.4. <i>INSTALACIONES DE FRÍO INDUSTRIAL</i>	57
2.5. <i>INSTALACIONES DE VAPOR</i>	58
2.6. <i>MOTORES ELÉCTRICOS</i>	59
2.7. <i>EQUIPOS OFIMÁTICOS</i>	60
2.8. <i>COMPENSACIÓN DE ENERGÍA REACTIVA</i>	60
2.9. <i>ELECTRODOMÉSTICOS</i>	61

BLOQUE III: ENERGÍA EÓLICA	65
1. HISTORIA	65
2. FORMACIÓN DEL VIENTO	66
2.1. <i>FUNDAMENTOS</i>	66
2.2. <i>LOS VIENTOS LOCALES</i>	66
2.3. <i>INTERACCIÓN DEL VIENTO CON EL TERRENO</i>	67
3. CARACTERIZACIÓN DEL VIENTO	68
3.1. <i>TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LOS DATOS</i>	69
4. ENERGÍA DISPONIBLE EN EL VIENTO	71
4.1. <i>LA VELOCIDAD DEL VIENTO INCIDENTE</i>	71
4.2. <i>LA DENSIDAD DEL AIRE</i>	72
4.3. <i>EL ÁREA BARRIDA POR EL ROTOR</i>	72
4.4. <i>EFECTO ESTELA</i>	72
4.5. <i>LIMITANTES</i>	73
5. CARACTERIZACIÓN Y ELECCIÓN DE UN AEROGENERADOR	75
6. EL TAMAÑO DEL AEROGENERADOR	77
7. LAS MÁQUINAS EÓLICAS ACTUALES	78
7.1. <i>ROTOR: PALAS Y BUJE</i>	79
7.2. <i>GÓNDOLA</i>	81
7.3. <i>EL MULTIPLICADOR</i>	81
7.4. <i>EL GENERADOR ELÉCTRICO</i>	81
7.5. <i>EL SISTEMA DE CONTROL</i>	82
7.6. <i>SISTEMA DE ORIENTACIÓN</i>	82
7.7. <i>SUSTENTACIÓN</i>	82
8. EL PARQUE EÓLICO	83
8.1. <i>MODOS DE CONEXIÓN DE UN PARQUE</i>	83
9. DISEÑO DEL PARQUE EÓLICO	84
9.1. <i>EL EMPLAZAMIENTO</i>	84
9.2. <i>LA RED DE EVACUACIÓN</i>	85
9.3. <i>SELECCIÓN Y UBICACIÓN DE LOS AEROGENERADORES</i>	86

10.	ESTUDIO MEDIOAMBIENTAL	87
10.1.	<i>IMPACTO VISUAL</i>	87
10.2.	<i>EL NIVEL DE RUIDO</i>	87
10.3.	<i>IMPACTO EN LA AVIFAUNA</i>	88
10.4.	<i>CONTAMINACIÓN</i>	88
BLOQUE IV: ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA		90
1.	INTRODUCCIÓN	90
2.	HISTORIA	90
3.	LA RADIACIÓN SOLAR	91
4.	EL EFECTO FOTOVOLTAICO	92
5.	LA CÉLULA FOTOVOLTAICA	94
5.1.	<i>PROCESO DE FABRICACIÓN DE UNA CÉLULA FOTOVOLTAICA</i>	94
5.2.	<i>TIPOS DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS</i>	96
5.3.	<i>PARÁMETROS DE UNA CÉLULA FOTOVOLTAICA</i>	97
6.	FABRICACIÓN DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO	99
6.1.	<i>ETAPAS EN LA FABRICACIÓN</i>	100
6.2.	<i>PROCESO DE FABRICACIÓN</i>	101
7.	INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS	104
7.1.	<i>APLICACIONES DE LAS INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS</i>	104
7.2.	<i>CLASIFICACIÓN DE LAS INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS</i>	105
7.3.	<i>ESTRUCTURA SOPORTE</i>	108
7.4.	<i>INVERSOR DE CONEXIÓN A RED</i>	110
7.5.	<i>INVERSOR DE AISLADA</i>	112
7.6.	<i>REGULADOR DE CARGA</i>	113
7.7.	<i>SISTEMA DE ACUMULACIÓN</i>	114
8.	CÁLCULO DE PRODUCCIÓN DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA	116
8.1.	<i>ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN</i>	116
8.2.	<i>SOMBRAS ENTRE FILAS DE MÓDULOS</i>	116
8.3.	<i>ENERGÍA RECIBIDA POR EL SOL</i>	117

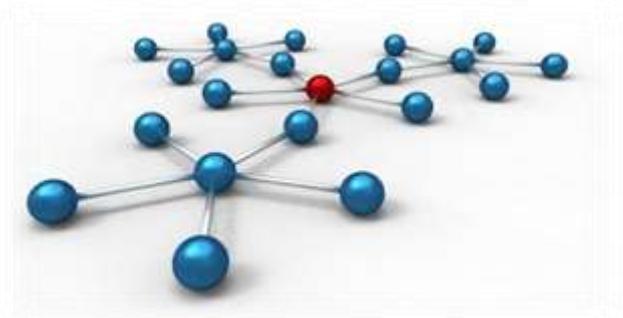


**BLOQUE I: CONCEPTO DE
LA ENERGÍA E INTRODUCCIÓN
A LAS ENERGÍAS RENOVABLES**

BLOQUE I: CONCEPTOS SOBRE LA ENERGÍA E INTRODUCCIÓN A LAS ENERGÍAS RENOVABLES

OBJETO: Este bloque pretende servir de introducción al alumno, inculcando los conocimientos básicos acerca de la energía, su origen y consumo, así como las fuentes de producción disponibles.

Se hará una introducción a las energías renovables, explicando los conceptos generales de mayor importancia.



Freedigitalphotos.net

Las diferentes unidades en las que podemos medir la energía nos cuantificarán la cantidad de trabajo realizado por un sistema. Otras unidades de medida de la energía son:

1. INTRODUCCIÓN Y CONOCIMIENTOS BÁSICOS

OBJETO: Esta unidad trata de forma somera, y a modo de introducción, ciertos conceptos básicos acerca de la energía y las fuentes de producción disponibles. Se analizarán los volúmenes de consumo a nivel global así como la evolución y disponibilidad de las fuentes. Se tratarán finalmente los conceptos relacionados con las emisiones de CO₂ y el protocolo de Kyoto.

1.1. CONCEPTOS GENERALES SOBRE LA ENERGÍA

1.1.1. La energía

Capacidad de la materia para realizar trabajo como resultado de su movimiento o de su posición en relación con las que actúan sobre ella. Esta sería la definición exacta del término pero se podría ampliar citando que, cualquier cosa que implique un cambio (ya sea movimiento, variación de temperatura, etc...), implica la intervención de la energía.

La unidad del Sistema Internacional que mide la energía es el julio (J).

$$1 \text{ J} = 1 \text{ W} \times 1 \text{ s}$$



Caloría: Cantidad de energía necesaria para elevar la temperatura de un gramo de agua un grado de 14,5 a 15,5 °C, a presión constante.



Frigoría: Es la energía que hay que sustraer de un gramo de agua para enfriarlo un grado centígrado.



Termia: Un millón de calorías.



Kilovatio hora: Energía desarrollada por una unidad de potencia (kW) durante una hora.



Tonelada equivalente de petróleo: Cantidad de energía similar a la que produce la combustión de una tonelada de petróleo. Su valor exacto es de 10.000 termias.

$$1 \text{ tep} = 107 \text{ kcal} = 11.628 \text{ kWh}$$

La energía puede manifestarse de diversas maneras. Estas son energía cinética, térmica o potencial. Concretamente, la energía térmica es la energía que tiene más dificultades a la hora de realizar un trabajo, sobre todo a bajas temperaturas.

1.1.2. Energía primaria y transformación de la energía

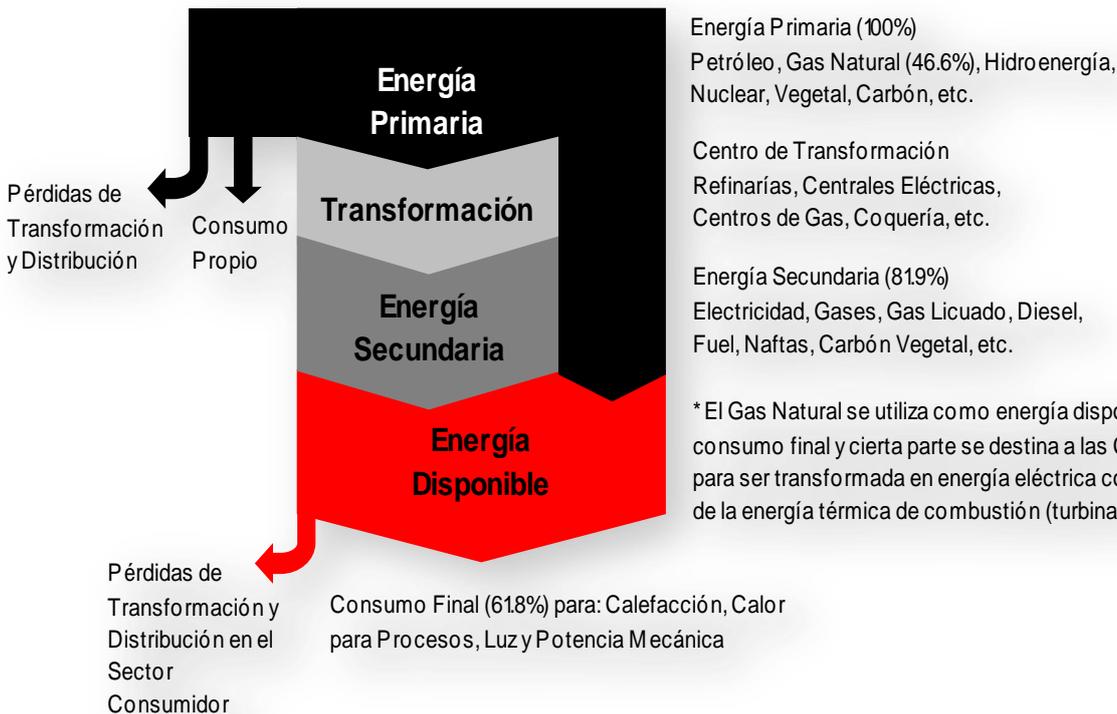
Por energía primaria se entiende a la energía en su modo original, según se extrae de la naturaleza, sea en forma de combustible, como es el caso del petróleo, del gas o de la biomasa, o en forma de energía mecánica (caso de la energía eólica, hidroeléctrica) o térmica (solar térmica).

La energía final es la que compramos, y esta puede estar en forma de carburante, electricidad, calor, etc. Se obtiene por transformación a partir de la energía primaria, sea por refinado de petróleo crudo, generación en una central eléctrica u otras.

Los procesos de transformación desde la energía primaria a la final suelen ser fuentes de pérdidas, más o menos intensas según el tipo de proceso.

Esto se traduce en que el total de la energía final es bastante menor que el total de la energía primaria. Para poder comparar entre sí diferentes tipos de energía, por ejemplo cantidad de un determinado combustible con otro, se utilizan coeficientes de conversión. Utilizaremos los de la Agencia Internacional de la Energía (AIE). La unidad de medida energética utilizada será la Tonelada Equivalente de Petróleo (**Tep**) o el **kWh**.

Estos procesos de transformación se pueden representar gráficamente mediante un diagrama de Sankey, aportando visualmente información muy útil acerca del origen, transformación y uso de la energía dentro de un sistema.



* El Gas Natural se utiliza como energía disponible para el consumo final y cierta parte se destina a las Centrales Térmicas para ser transformada en energía eléctrica como consecuencia de la energía térmica de combustión (turbinas de gas).

Diagrama de Sankey tipo. Elaboración Propia.

La ley de la conservación de la energía, o **primera ley termodinámica**, es un principio básico por el cual se define una de las características más importantes de la energía: “La energía ni se crea ni se destruye, sólo se transforma”

Este principio justifica las diferentes formas o estados que puede adoptar la energía en un mismo sistema. Así, es posible transformar la energía potencial almacenada en un embalse debido a la altura de la lámina de agua con respecto a una turbina, donde al dejar pasar el agua de un nivel superior a otro inferior, mediante el accionamiento de dicha turbina, logramos transformar esa energía potencial en energía cinética.

Dicha energía cinética será aprovechada por un rotor que transformará la misma en energía eléctrica. En el proceso tendremos que la energía potencial que disponíamos inicialmente sería igual a la energía eléctrica que disponemos al final, añadiendo las pérdidas del sistema en cada una de las etapas.

1.1.3. Fuentes de energía

Las fuentes de energía de las cuales disponemos se pueden dividir en dos grupos principales: renovables y no renovables.



Fuentes no renovables: son las que a escala humana no son capaces de crearse al mismo ritmo en que se consumen.

- ✓ **ENERGÍA FÓSIL:** Principalmente tenemos el carbón, gas natural y los productos petrolíferos. Estos productos se han formado a partir de la descomposición parcial de grandes masas de seres vivos que vivieron hace millones de años. Son recursos altamente limitados y en la actualidad ya se ha superado el cenit de producción de los mismos.

¿Ventajas y desventajas?: inicialmente eran fáciles de extraer, había gran disponibilidad y eran baratas, en comparación con otras fuentes de energía. La realidad es que hoy en día lo que eran ventajas ya no lo son y cada vez son más difíciles de extraer, existe una menor disponibilidad de las mismas y

sus precios cada vez son más elevados. A esto se une que, tanto en su extracción como en su uso, se produce la emisión de gases que resultan tóxicos para la vida y perjudican seriamente el medio ambiente.

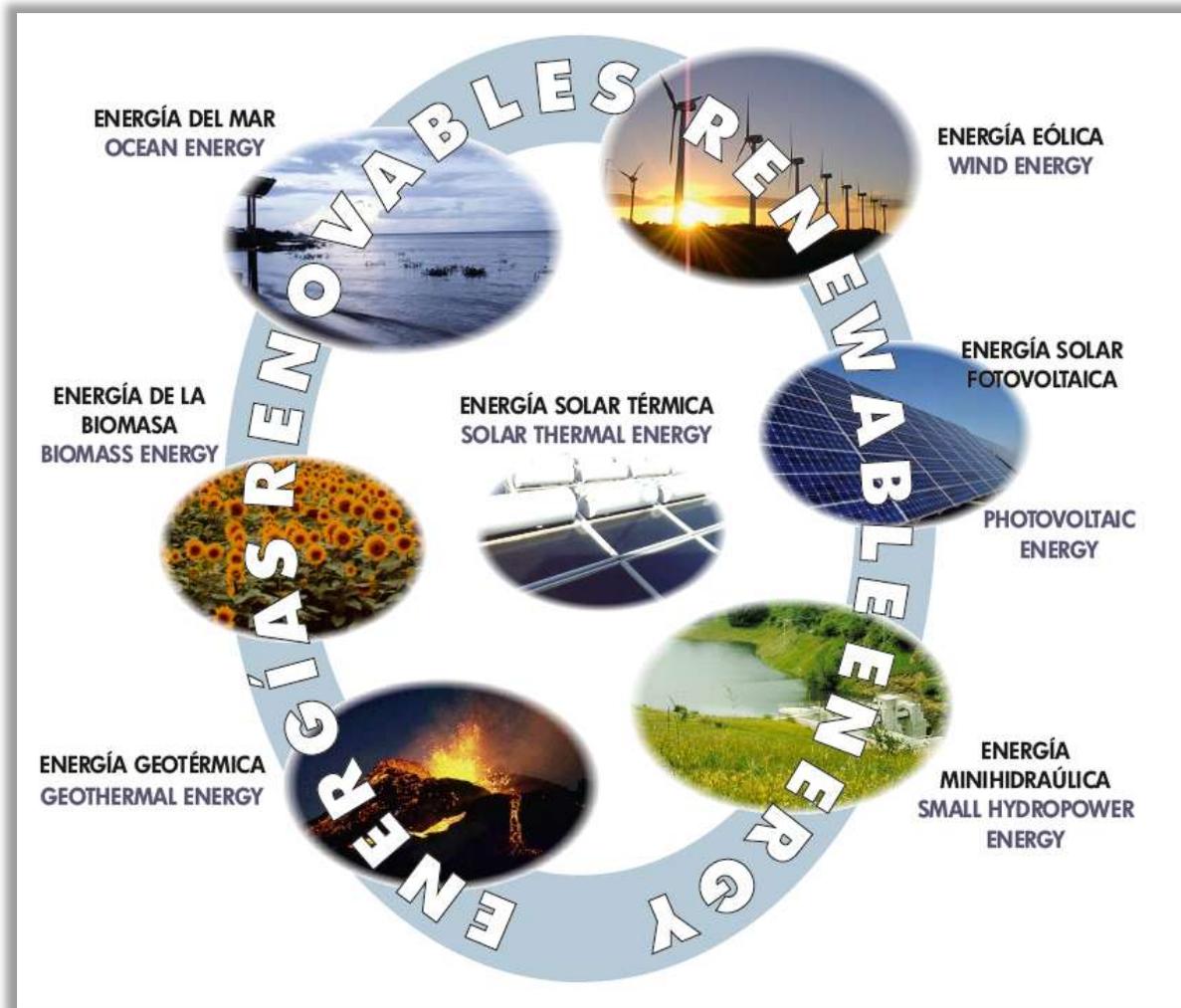
- ✓ **ENERGÍA NUCLEAR:** Su principio radica en la energía obtenida por los procesos de fisión y fusión. La fisión o desintegración de ciertos núcleos pesados libera gran cantidad de energía en forma de calor que, mediante turbinas de vapor, producen electricidad. La fusión consiste en aprovechar la energía liberada en el proceso de unión de dos átomos para producir un tercero de menor masa.

¿Ventajas y desventajas?: Actualmente sólo los **procesos de fisión** están operativos a escala productiva. A pesar de proporcionar energía muy económica, su principal problema es que generan elementos radiactivos altamente contaminantes y muy difíciles y costosos de almacenar. A este factor se le une el alto riesgo que lleva asociado este tipo de centrales en caso de accidente.

Por otro lado, la **energía de fusión**, que actualmente se encuentra en estado de desarrollo, tiene el potencial de proporcionar energía con un coste reducido, sin generar residuos tan tóxicos como la anterior y en centrales sin alto riesgo de contaminación en caso de fallo o avería. Esta tecnología se presenta como una alternativa efectiva de abastecimiento en el futuro pero aún requiere de mejoras tecnológicas.



Las fuentes renovables: son inagotables a escala humana y ya sea de forma directa o indirecta, el sol es el origen de casi todas las tecnologías que se basan en energías renovables. A continuación se distinguen los principales tipos:



De forma general, las energías renovables tienen las siguientes ventajas con respecto a las convencionales:

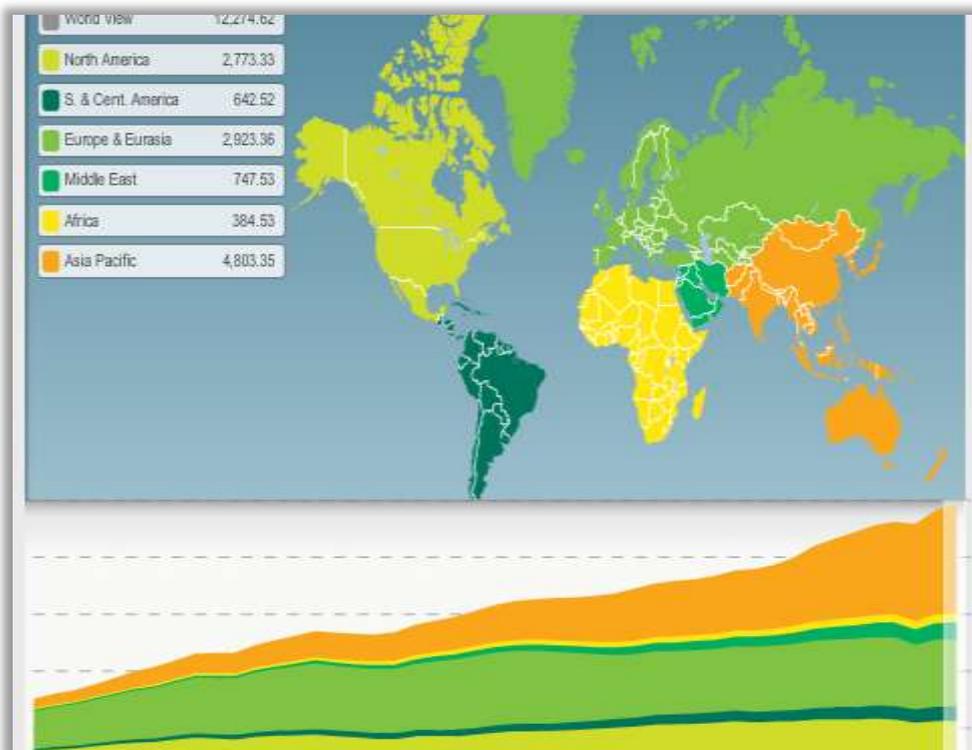
	E. RENOVABLES	E. CONVENCIONALES
Ventajas Medioambientales	No producen emisiones de CO ₂ ni otros contaminantes a la atmósfera.	La energía producida a partir de combustibles fósiles si producen emisiones.
	No generan residuos de difícil tratamiento	Tanto la energía nuclear como la de origen fósil generan residuos que afectan en gran medida a la calidad del medio ambiente.
	Son inagotables	Los combustibles fósiles son limitados.

Ventajas Estratégicas	Son autóctonas y se producen localmente. En muchas ocasiones muy próximas a los puntos de consumo	Los combustibles fósiles existen en un número muy limitado de países y regiones
	Disminuyen la dependencia exterior	Deben ser importados en un alto porcentaje
Ventajas socioeconómicas	Crean cinco veces más trabajo que las de origen convencional	Crean muy pocos puestos de trabajo respecto a su volumen de negocio
	Permiten el desarrollo de tecnologías propias	Utilizan en su mayoría tecnología importada

1.2. DEMANDA ENERGÉTICA Y RECURSOS GLOBALES

El consumo per cápita de energía en los países desarrollados es 13 veces superior al consumo en los países en vías de desarrollo. El consumo de energía de una población está totalmente ligado a su desarrollo económico.

-  Se estima que una tercera parte de los habitantes del planeta no tienen acceso a las fuentes de energía comerciales.
-  Aproximadamente una cuarta parte de la población mundial (EUA, Japón y UE) consume tres cuartas partes del total de la energía que se comercializa en el mundo.

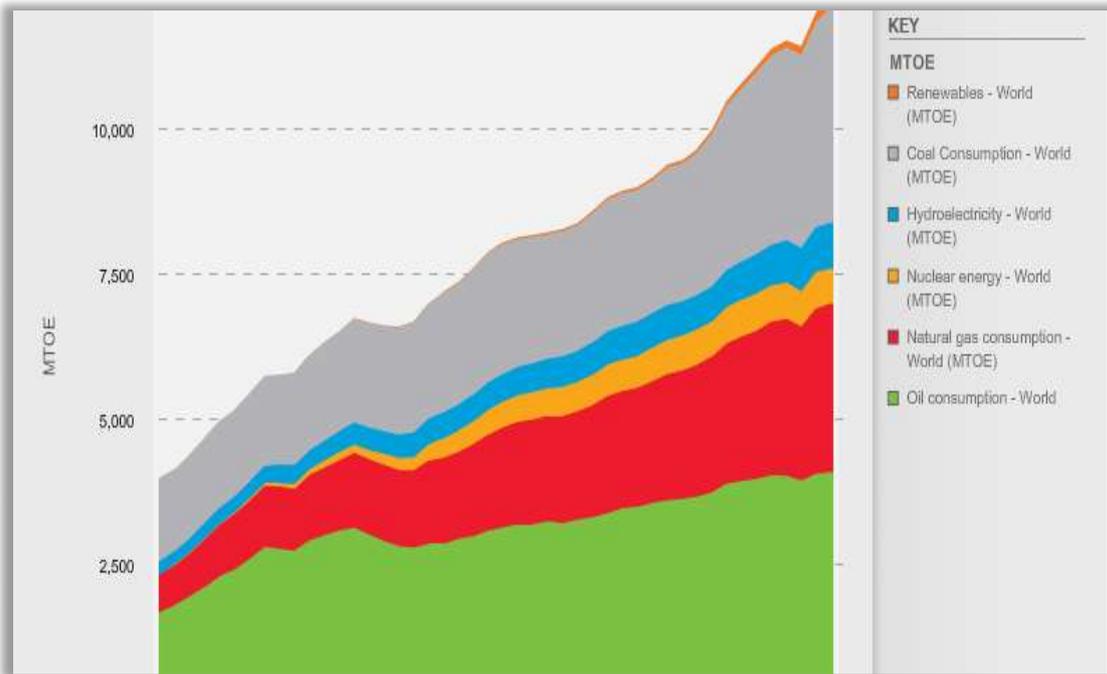


A su vez, los datos hacen prever que en el año 2020 la población mundial haya aumentado en más de 2.000 millones de personas y se espera que el consumo mundial de energía se incremente en un 50%.

Consumo de energía primaria en el mundo. Fuente: BP Statistical Review of World Energy 2012

En el anterior gráfico se observa el consumo de energía primaria a nivel mundial (año 2011), así como su evolución en los últimos 50 años. Destaca el importante crecimiento de consumo en los países asiáticos, ligado esencialmente al desarrollo económico en el que se encuentran inmersos. Las unidades se presentan en Millones de Toneladas Equivalentes de Petróleo.

También podemos analizar la siguiente gráfica, donde contemplamos la aportación de cada fuente energética dentro del consumo global.



Aportación de cada fuente de energía dentro del consumo de energía primaria global.
Fuente: BP Statistical Review of World Energy 2012.

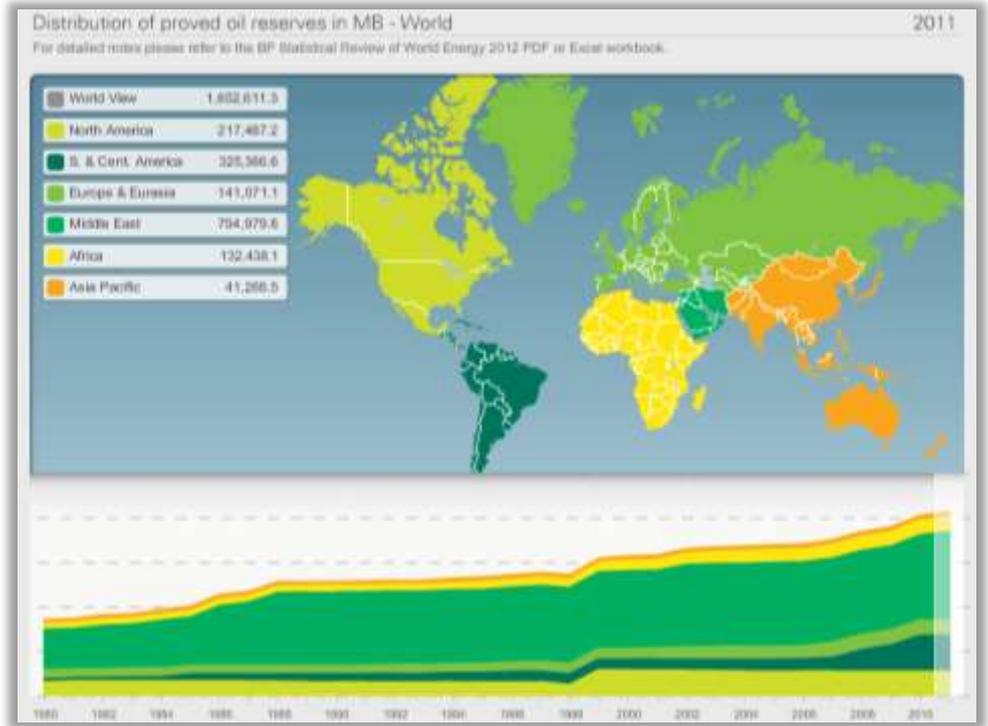
En este caso, si bien las renovables han podido tener una importante evolución en los últimos años, su representación dentro de la escala total es mínima. Se puede apreciar la alta dependencia que tiene la humanidad respecto a las fuentes convencionales, principalmente petróleo, carbón y gas natural.

En la siguiente gráfica se detallan las reservas constatadas de petróleo en la actualidad. Aunque cada vez las tecnologías permiten descubrir y acceder a nuevas reservas de petróleo, estas no evolucionan al ritmo de crecimiento del consumo.



Freedigitalphotos.net

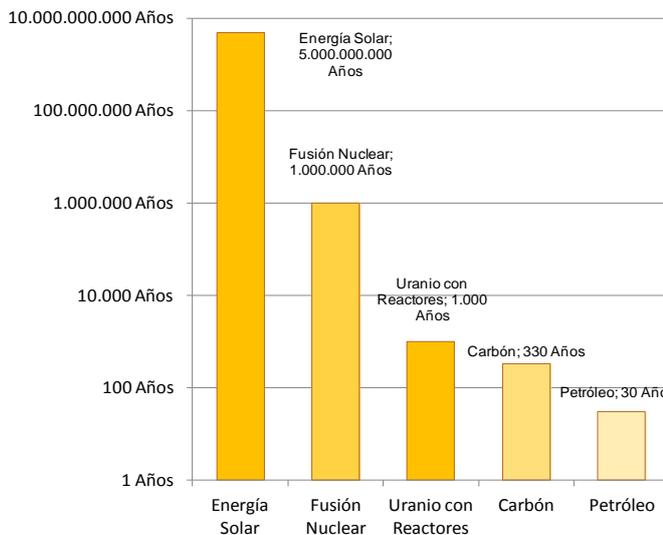
Reservas constatadas de petróleo. Fuente: BP Statistical Review of World Energy 2012



1.2.1. Duración de los Recursos Energéticos

La siguiente imagen muestra la duración que tendría cada fuente de energía suponiendo que ella sola sea quién debe abastecer las necesidades energéticas de nuestra civilización, y que dichas necesidades se mantuvieran al nivel actual de consumo.

Duración de los recursos energéticos. Elaboración propia.



1.3. CONSECUENCIAS DEL ACTUAL MODELO ENERGÉTICO

Actualmente el 80% de la energía utilizada por la humanidad procede de combustibles fósiles. La existencia de una cantidad limitada y su impacto ambiental obligan a un uso racional de los recursos. Es de especial interés analizar los siguientes aspectos del actual modelo energético:

- Carácter limitado del suministro energético
- Disminución de las reservas de combustibles fósiles
- Calentamiento global
- Contaminación de acuíferos, suelos, etc.
- Contaminación atmosférica y lluvia ácida
- Residuos nucleares y riesgo de accidentes
- Destrucción de la capa de ozono
- Desertización

Todos estos aspectos generan indirectamente importantes repercusiones sobre la economía, y corregir los efectos medioambientales supone un importante coste para la sociedad. Así mismo, la escasez de los combustibles provoca un ascenso en los precios de los mismos y producen unas tensiones geopolíticas con un importante calado en la humanidad.

1.4. MEDIDAS A LLEVAR A CABO

Existen tres Vías fundamentales en las que los ciudadanos y autoridades públicas podemos actuar frente a la escasez de las reservas de combustibles fósiles, y a la cantidad de problemas derivados del consumo energético.

-  Impulsar el desarrollo de las **Energías Renovables** y otras fuentes energéticas alternativas.
-  Mejorar la **forma en la que usamos la energía**.
-  Disminuir el propio consumo fomentando el **Ahorro Energético**



Freedigitalphotos.net

1.5. EFECTO INVERNADERO

Normalmente este fenómeno es asociado a un efecto negativo sobre el planeta, aunque la realidad es que se trata de un proceso natural que calienta la Tierra, y, de hecho, muy necesario para nuestra supervivencia.

El efecto invernadero natural ayuda a calentar la superficie de la Tierra hasta unos 33°C, factor fundamental para permitir la vida tal y como la conocemos en el planeta.



Freedigitalphotos.net

1.5.1. El proceso natural

La energía que nos llega del sol es absorbida en una parte por la corteza terrestre y los océanos, calentando el planeta. La otra parte se irradia hacia el espacio en forma de energía infrarroja. Esta energía irradiada hacia el exterior no se pierde completamente, ya que una parte es absorbida por los gases de efecto invernadero o se refleja nuevamente hacia la superficie del planeta. De esta forma, se produce un calentamiento de forma análoga al que sucede en un invernadero.

Los principales gases de la atmosfera responsables de este proceso son el vapor de agua (principalmente las nubes), dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O), y actúan como una manta natural que evita que la energía solar y el calor de su radiación escapen hacia el espacio.

1.5.2. Factores del proceso

Son tres los factores principales que influyen directamente en el efecto invernadero:



Flujo total de la energía emitida por el sol. Éste depende de la actividad solar y de la distancia del mismo con respecto a la tierra.



El albedo. Es la capacidad de la superficie de la Tierra para reflejar la luz hacia el espacio.



La composición química de la atmósfera. Los gases presentes en la misma, así como su concentración.

1.5.3. El proceso reforzado

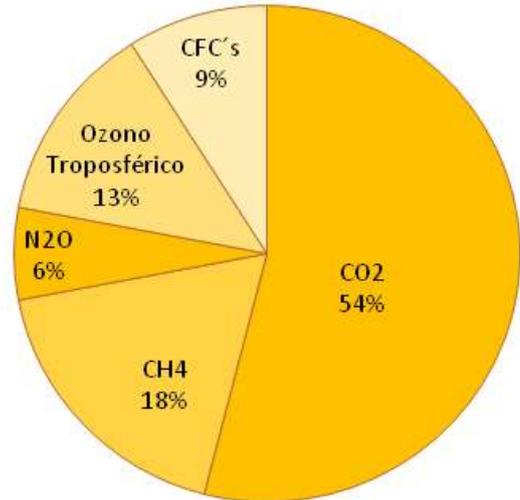
De los factores descritos anteriormente el único que ha cambiado significativamente en los últimos 100 años es la composición química de la atmósfera, debido a la propia actividad humana.

La variación se ha producido principalmente en la concentración de los gases, y fundamentalmente a partir de mediados del Siglo XVIII, coincidiendo con la era preindustrial. Los niveles naturales se han ido complementando con las emisiones de dióxido de carbono, el metano y el óxido nitroso, además de otros gases industriales que no se producen de forma natural. El efecto que se produce es que la manta que citamos anteriormente, es cada vez más gruesa, con lo que el efecto invernadero provoca un mayor calentamiento del planeta.

El siglo pasado se registró un aumento medio de la temperatura de 0,6°C, y la década de los 90 fue la más cálida desde que se tienen registros. De acuerdo con el informe más reciente del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático, hay un porcentaje de probabilidades superior al 90% de que la actividad humana esté causando el aumento de las temperaturas medias mundiales.

1.5.4. Aportación de los diferentes gases al efecto invernadero

La siguiente gráfica muestra la aportación de cada tipo de gas dentro del efecto invernadero:



Porcentaje de representación de los gases de efecto invernadero. Elaboración propia.



El dióxido de carbono (CO₂) se produce al quemar combustibles fósiles



El metano (CH₄) lo producen animales rumiantes y se libera en arrozales, vertederos y yacimientos petrolíferos.



El ozono troposférico es liberado por la industria y el tráfico.



Los clorofluorocarburos (CFC's) son utilizados en los sistemas de refrigeración.



Las emisiones de óxido nitroso (N₂O) tienen mucha importancia en los abonados de los suelos y el tráfico.

1.6. PROTOCOLO DE KIOTO

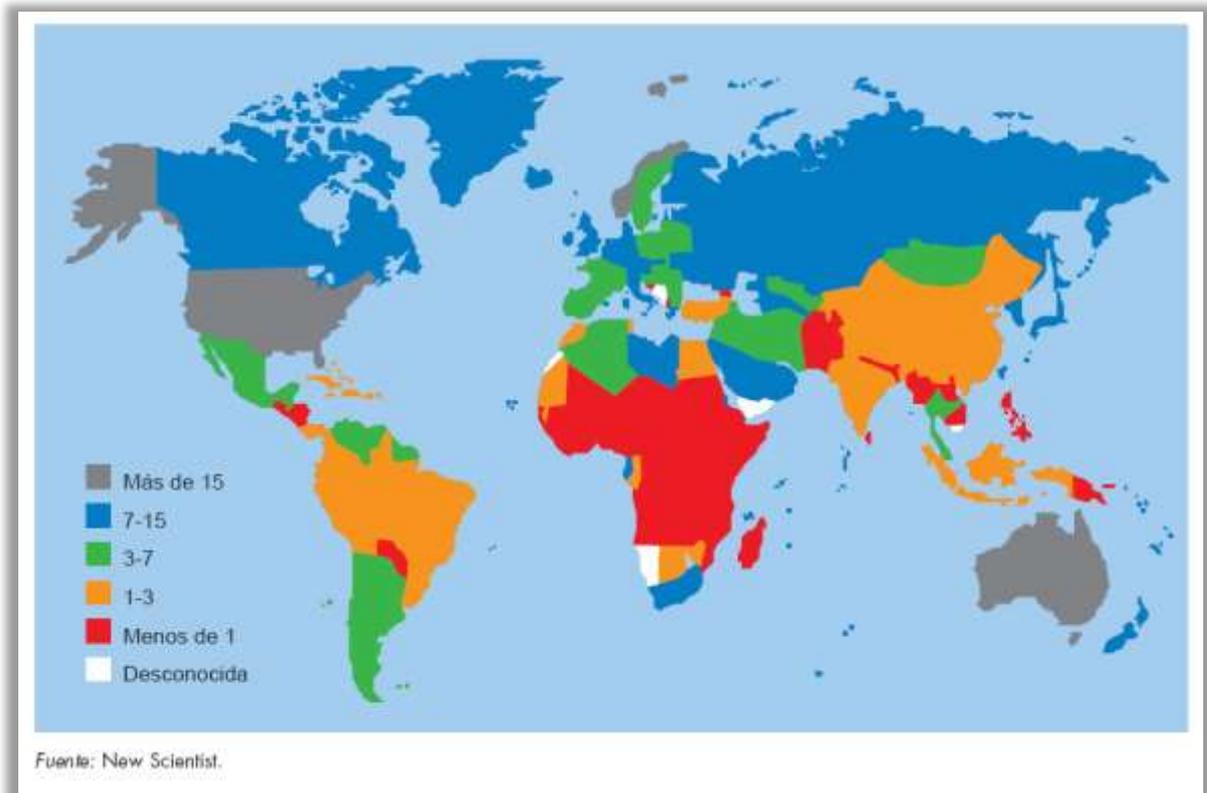
El Protocolo de Kioto, constituye el instrumento jurídico más importante para la lucha contra el cambio climático. Contiene los compromisos asumidos por 37 países industrializados de reducir sus emisiones de GEI, reconociendo que son los principales responsables de los elevados niveles de emisiones de estos gases a nivel mundial, resultado de quemar combustibles fósiles durante más de 150 años.

El compromiso adoptado es que las emisiones totales de los países desarrollados deben reducirse durante el periodo 2008-2012 al menos en un 5% respecto a los niveles de 1990. En este sentido, el Protocolo tiene un principio central, el de la *responsabilidad común pero diferenciada*.

Como consecuencia directa, el Protocolo ha servido para promover que los responsables políticos a desarrollan leyes y políticas encaminadas a alcanzar sus compromisos, que las empresas privadas incorporen en sus planes estratégicos la dimensión del medio ambiente y además, ha propiciado la creación del mercado del carbono.

1.6.1. De la ratificación al cumplimiento

CP-1 Berlín 1995: en la primera reunión de la convención de las partes, se puso en marcha una ronda de conversaciones para decidir la adopción de compromisos más firmes y detallados para los países industrializados.



Emisiones de CO2 en diversos países
(Toneladas per cápita)

CP-3 Kyoto 1997: se adoptó el Protocolo de Kyoto, en éste se daba una primera visión de las características básicas de sus mecanismos y el sistema de cumplimiento. En esta ocasión, 84 países lo firmaron, lo que significaba que tenían intención de posteriormente ratificarlo, aunque muchos se resistían a dar este paso y hacer que el

Protocolo entrara en vigor antes de tener una idea clara sobre las normas.

CP-4 Buenos Aires 1998: las partes establecieron un grupo de trabajo conjunto, cuya misión era formular un sistema de cumplimiento en el marco del Protocolo.

CP-7 Marrakech 2001: en esta ocasión fueron adoptadas las reglas detalladas para la aplicación del Protocolo, que constituye el documento ejecutivo que facilita, promueve y exige el cumplimiento de los compromisos asumidos.

Sólo las Partes en la Convención que sean también Partes en el Protocolo (es decir, que lo ratifiquen, acepten, aprueben o se adhieran a él) se ven obligadas por los compromisos del Protocolo.

Las metas cubren las emisiones de seis gases de efecto invernadero:

-  Dióxido de carbono (CO₂)
-  Metano (CH₄)
-  Óxido nitroso (N₂O)
-  Hidrofluorocarbonos (HFC)
-  Perfluorocarbonos (PFC)
-  Hexafluoruro de azufre (SF₆)

Tanto la Convención como el Protocolo reconocen las necesidades y los problemas específicos de los países en desarrollo. Para ello, las Partes deben informar de sus esfuerzos por cumplir sus metas de reducción de las emisiones al mismo tiempo que reducen todo lo posible los efectos adversos que sufren los países en desarrollo.

2. TIPOS DE ENERGÍAS RENOVABLES

OBJETO: En esta unidad se introducen los diferentes tipos de energías renovables, así como las principales características de cada una de ellas. El objetivo es dejar claro conceptualmente los principios de funcionamiento de cada tecnología, sin entrar en aspectos detallados de las mismas.

2.1. EL SOL, FUENTE COMÚN PARA TODAS LAS ENERGÍAS RENOVABLES

Casi todas las fuentes de energía a nuestra disposición provienen del Sol, tanto de forma directa como indirecta. Éste causa las corrientes de aire, la evaporación de las aguas superficiales, la formación de nubes, lluvias y, por consiguiente, el origen de otras formas de energía renovable, como el viento, las olas o la biomasa.

En su núcleo se dan lugar las reacciones atómicas de fusión nuclear que convierten el Hidrógeno en Helio. Este proceso libera gran cantidad de energía que sale hasta su superficie, y escapa en forma de rayos solares al espacio exterior.



Freedigitalphotos.net

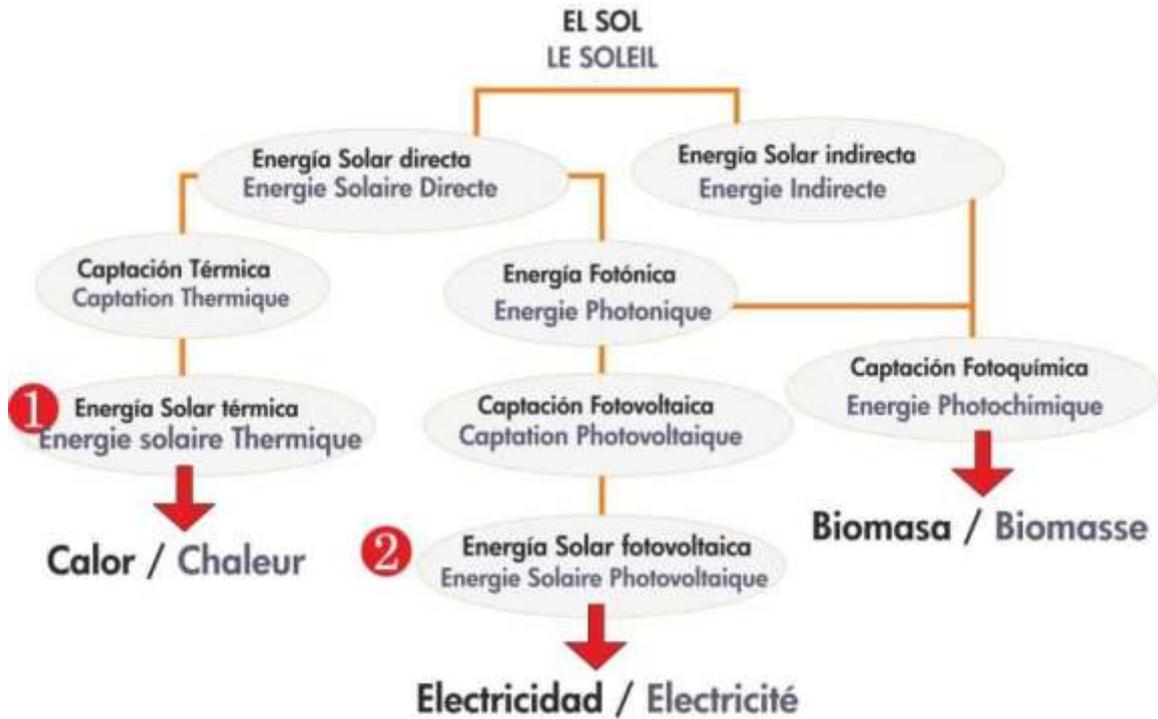
Se queman cada segundo aproximadamente unos 700 millones de toneladas de Hidrógeno, de las que 4,3 millones se transforman en energía. Una parte importante de esta energía se emite a través de los rayos solares al resto de planetas, lunas, asteroides y cometas que componen nuestro sistema solar. En particular, llega a la Tierra una cantidad de energía solar equivalente a $1,7 \times 10^{14}$ kW, lo que representa la potencia correspondiente a 170 millones de reactores nucleares de 1.000 MW de potencia eléctrica unitaria, o lo que es lo mismo, 10.000 veces el consumo energético mundial.

De esta manera, se puede asegurar que disponemos de una fuente de energía gratuita, asequible a todos (cualquier país puede disponer de ella) y respetuosa con el medio ambiente, por un periodo de tiempo prácticamente ilimitado.

Casi todas las energías renovables provienen en última instancia de la energía del sol. Particularmente, esta energía podemos captarla de forma directa (captación térmica o fotónica) o de forma indirecta (como por ejemplo la energía eólica).

2.2. ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

En los procesos de captación de energía solar térmica, tal y como podemos observar en el siguiente gráfico, se aprovecha directamente el calor del sol. A pesar de esto, las aplicaciones de este calor pueden ser muy variadas en función de las características del proceso de captación que hayamos utilizado (distinguimos entre sistemas de captación activos y pasivos). Como resultado, la adecuada gestión de este calor puede hacernos lograr desde confort térmico en el hogar, calentamiento del agua sanitaria, producción de frío mediante sistemas de refrigeración por absorción o su utilización en procesos de producción de vapor para generar electricidad.



Procesos de captación de la Energía Solar. Fuente Personal.



Ventajas

- Calidad Energética Elevada
- Impacto Ambiental prácticamente nulo
- Inagotable, en cuanto al consumo humano



Desventajas

- Ciclos día/noche y estacionales
- Imposibilidad de almacenamiento directo (conversión energética)
- Dispersión de la irradiación solar

2.2.1. Energía Solar Pasiva

La tecnología solar pasiva es el conjunto de técnicas dirigidas al aprovechamiento de la energía solar de forma directa, sin transformarla en otro tipo de energía, para su utilización inmediata o para su almacenamiento sin la necesidad de sistemas mecánicos ni aporte externo de energía.

Los principios básicos de su funcionamiento se centran en controlar distintos factores como son:



El control de las ganancias de calor, ya sean directas como indirectas.



El efecto invernadero.



Los sistemas de ganancia mixta.

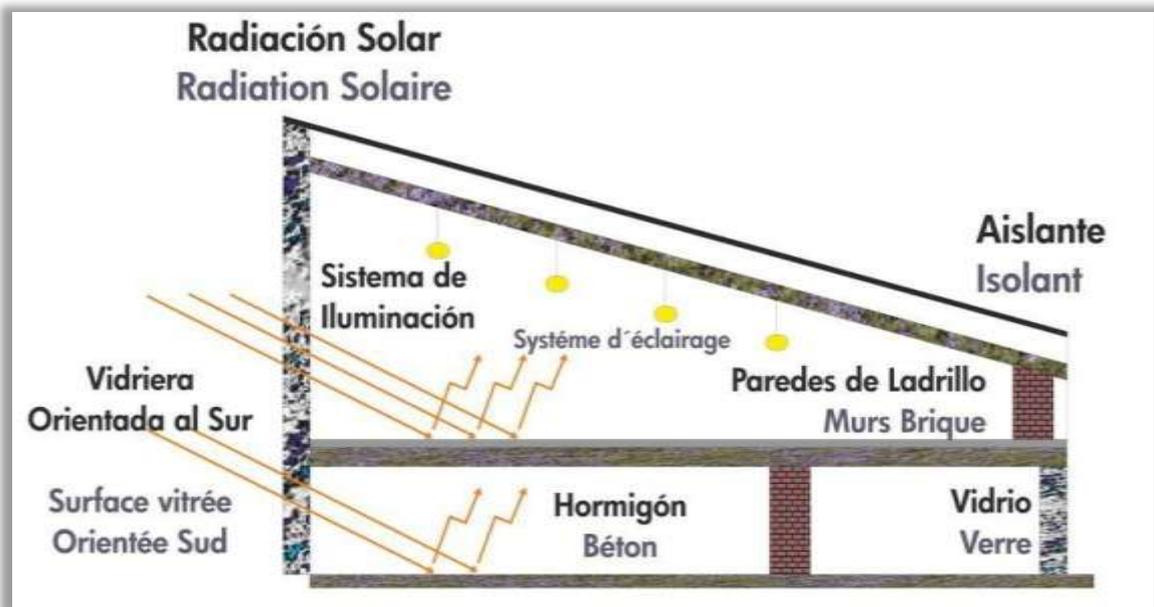
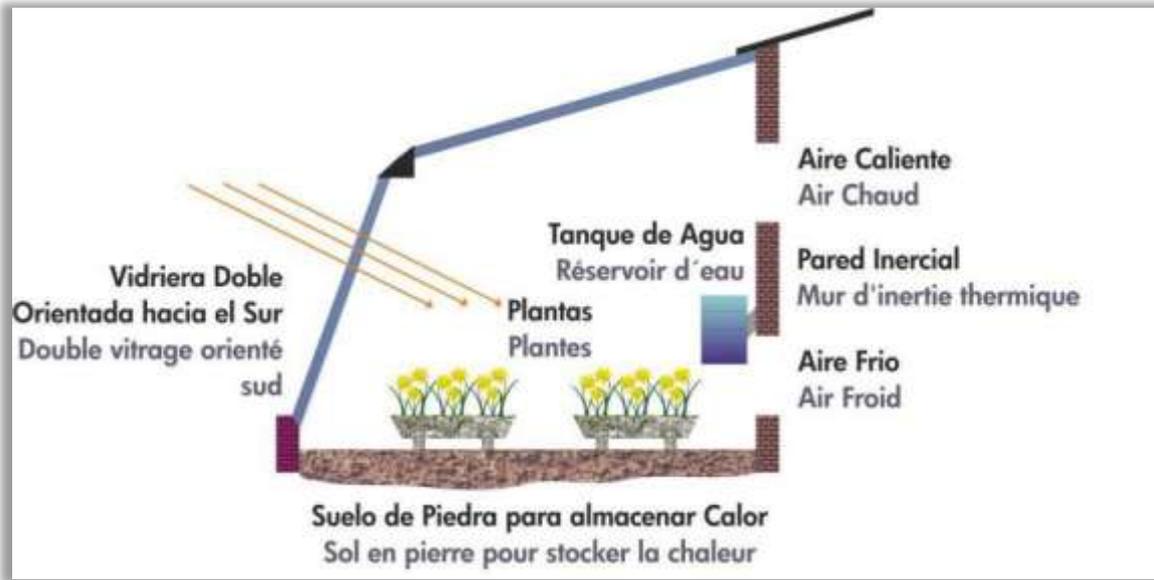


Los sombreamientos.



La ventilación natural

De esta forma la energía solar pasiva busca la obtención de confort mediante la óptima disposición de una serie de elementos arquitectónicos, aprovechando al máximo la energía solar recibida y las posibilidades de ventilación natural.

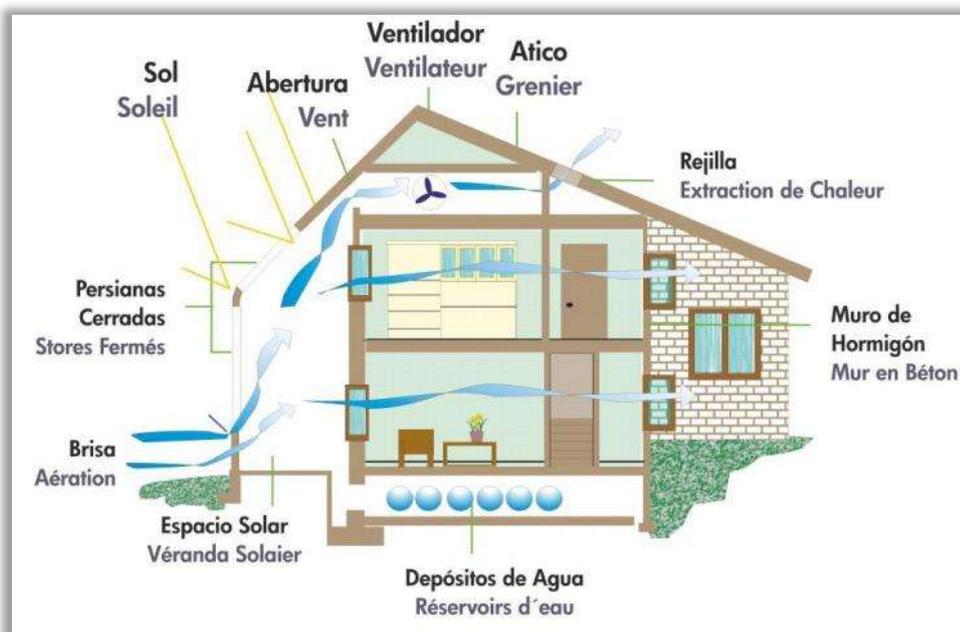
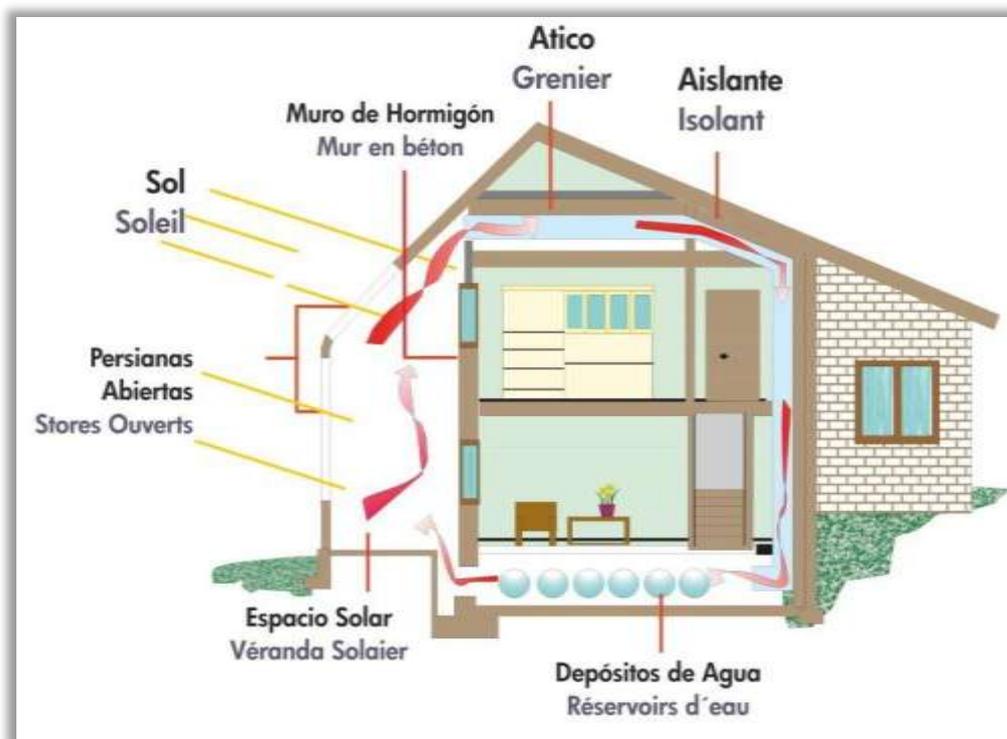


Posibilidades de actuación de la energía solar pasiva.
Elaboración propia.

Los siguientes gráficos muestran las posibilidades de actuación que tendríamos en un hogar:

Niveles de actuación para un sistema de calefacción.
Elaboración propia.

En este sistema se aprovechan los rayos del sol para calentar el ambiente interior. Ese aire por convección natural asciende calentando la vivienda y es obligado a descender por la cara opuesta. Se crea una inercia térmica que mantiene la temperatura del hogar.



Niveles de actuación para un sistema de refrigeración.

En este caso, mediante protecciones en las ventanas se evita que los rayos solares calienten la vivienda. Por otro lado se busca crear una ventilación cruzada, permitiendo la circulación de la brisa que entra en la vivienda. Al entrar el aire frío por un lateral, el aire caliente asciende y es evacuado por una apertura de liberación superior.

2.2.2. Energía Solar Activa

El principio de funcionamiento de toda instalación solar térmica es el de aprovechar la energía del Sol mediante un conjunto de captadores y transferirla a un sistema de almacenamiento que abastece el consumo cuando sea necesario.

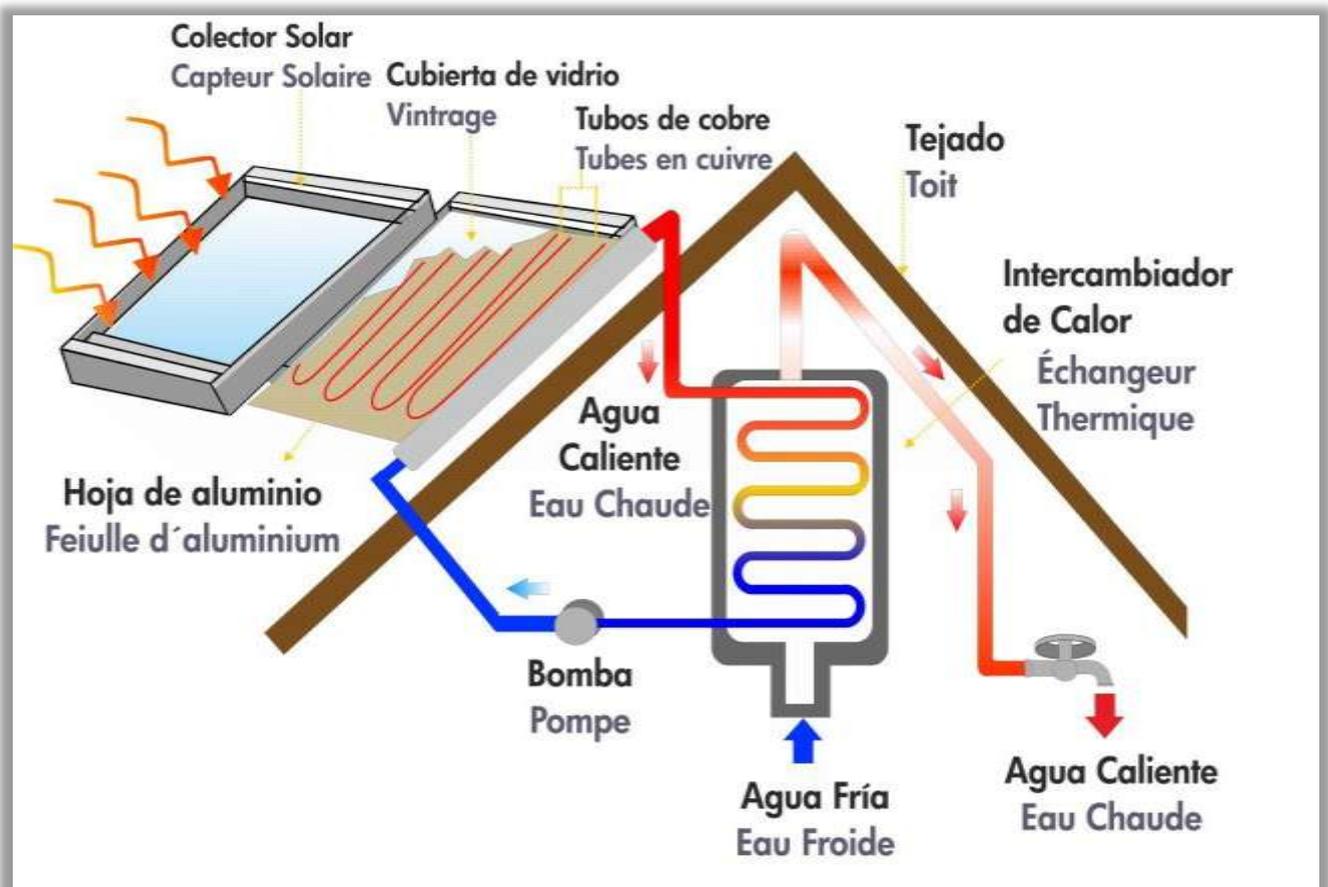
Gracias a este proceso se logran resultados tanto a nivel doméstico como industrial. Sirva de ejemplo el agua caliente para uso doméstico, el aporte de energía para instalaciones de calefacción, el calentamiento de agua para piscinas, o el precalentamiento de fluidos en distintos procesos industriales.

El proceso consiste en absorber la energía térmica contenida en los rayos solares gracias al calentamiento de un fluido que circula en el interior del captador. A parte del propio sistema de captación, la otra parte esencial del sistema lo constituyen los equipos de almacenamiento de la energía.

A pesar de que se pueden acumular cantidades importantes de energía durante largos periodos de tiempo (almacenamiento estacional), la instalación también estará condicionada por la cantidad de radiación solar que llega hasta el captador, así como por la demanda de energía de cada momento.

El siguiente esquema muestra los principios de funcionamiento de una instalación solar térmica para una vivienda.

Esquema de funcionamiento de una instalación solar térmica para agua caliente sanitaria. Elaboración propia.



La eficiencia asociada a la conversión de la luz solar en calor disponible depende de muchos factores, entre ellos la temperatura de captación. Según esto podemos realizar una clasificación de las distintas aplicaciones según la tecnología de captación utilizada:

TEMPERATURA	DISPOSITIVO DE CAPTACIÓN	USOS PRINCIPALES
ALTA > 250°C	Colectores parabólicos o centrales tipo torre	Producción de electricidad
MEDIA 80-250°C	Colectores de vacío - concentradores	Electricidad / Producción de vapor
BAJA < 80°C	Colector solar plano o tubos de vacío	Agua caliente sanitaria Calefacción Climatización de piscinas

2.2.3. Otras aplicaciones de la Energía Solar Térmica

Aunque se han analizado las aplicaciones más extendidas de la Energía Solar Térmica, existen otras no tan comunes pero con un gran potencial en zonas con limitantes para el acceso a determinados recursos.

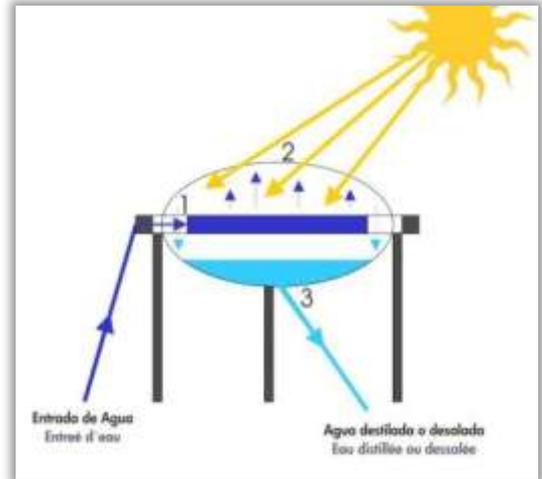


Destilador Solar: Se trata de aprovechar la evaporación del agua por efecto de concentración de la radiación solar (efecto invernadero), con el fin de destilar el agua que entra en el dispositivo. También se utiliza para desalar el agua de mar por lo que éste haría el papel de desalinizador.

El agua entrante, al circular dentro del dispositivo (1), se evapora bajo la acción del calor de la radiación solar. Este está a su vez potenciado por el efecto invernadero del plástico transparente (2) que constituye la parte superior del destilador / desalador. El agua, destilada o desalada, se desliza por las paredes del dispositivo, y se recoge en su

parte inferior (3), desde la cual puede utilizarse para diversos fines.

Sus aplicaciones se centran principalmente en uso doméstico, y permite una solución para lugares con escasez de agua, o donde sea necesario disponer de agua muy limpia .



Fuente personal



Horno Solar: Debido al efecto invernadero, la temperatura asciende en el interior del horno, al quedar atrapado el calor procedente de la radiación solar. Sus aplicaciones se centran en la preparación de comidas “a fuego lento” y que no requieran temperaturas superiores a 80°C.



(ITER – Tenerife). Fuente personal

2.3. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

El principio de funcionamiento de la energía solar fotovoltaica radica en la conversión directa de la luz en electricidad, mediante un dispositivo electrónico denominado “célula solar”.

La conversión de la energía de las radiaciones ópticas en energía eléctrica es un fenómeno físico conocido como efecto fotovoltaico (crea una fuerza electromotriz en el metal).

2.3.1. Principio de funcionamiento

Esta transformación es posible cuando la energía luminosa es suficiente como para excitar los electrones de un material y “arrancarlos” del mismo.

La cara frontal de una oblea de silicio se trata con dos tipos de elementos, uno que pierde electrones con facilidad y otro que los gana. Esto da lugar a lo que conocemos como célula fotovoltaica.

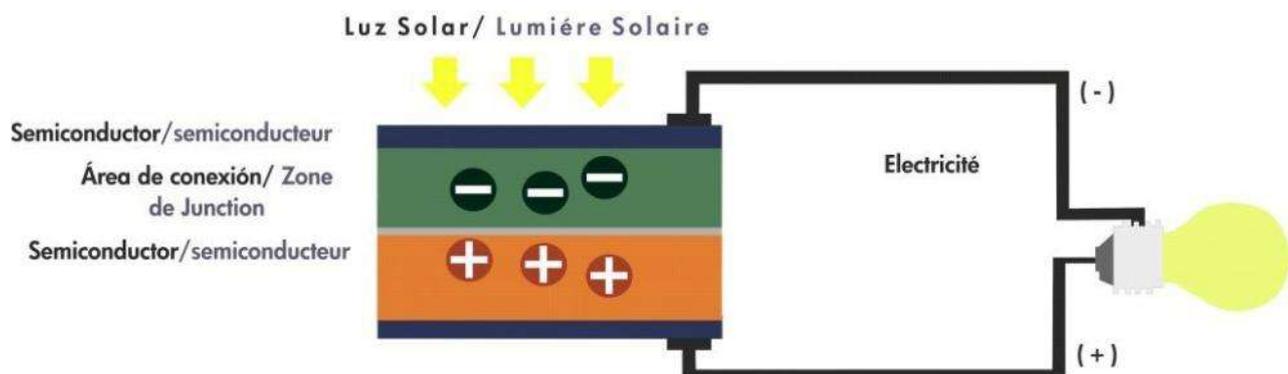
Cuando la radiación solar incide sobre las células, se produce un flujo de electrones entre los elementos que recubren dichas células, ocurriendo lo que se conoce como “diferencia de potencial”.



Freedigitalphotos.net

La luz solar es absorbida por los conductores provocando una tensión entre ambas capas, la corriente fluye entre el polo negativo y el positivo generando electricidad.

Mediante la colocación de contactos metálicos sobre las células fotovoltaicas, podremos conducir esta energía eléctrica generada y extraerla para utilizarla en la aplicación que deseemos.



Esquema de funcionamiento de una célula fotovoltaica

La principal ventaja que tiene la energía solar fotovoltaica es que es el recurso energético con

mayores posibilidades en cuanto a modulación se refiere.

-  Pueden fabricarse dispositivos a muy pequeña escala, desde un reloj solar, hasta centrales de Megavatios de potencia que alimenten a ciudades enteras.
-  Produce electricidad directamente por lo que sus aplicaciones hoy día son innumerables.
-  En mayor o menor medida, pueden instalarse en cualquier parte del planeta, y la generación de electricidad puede producirse en el mismo lugar de abastecimiento (esto puede suponer un gran ahorro para el sistema).
-  Son sistemas silenciosos, limpios y respetuosos con el medio ambiente.
-  Su mantenimiento es mínimo y tienen un gran periodo de vida útil.
-  Son sistemas muy modulares y requiere poco tiempo para su construcción.



Planta FV SOLTEN I (ITER – Tenerife). Fuente personal



Planta FV SOLETN II (ITER – Tenerife). Fuente personal

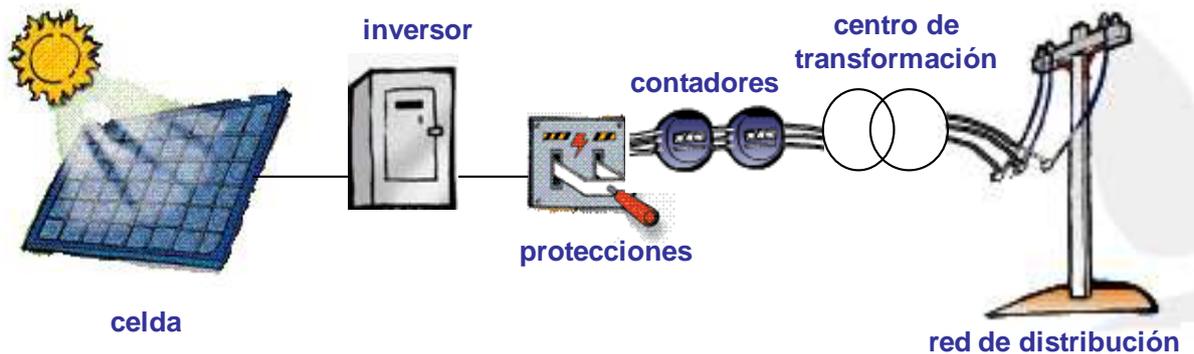
2.3.2. Instalaciones conectadas a red

Una instalación conectada a la red es aquella que vierte toda la energía generada a la red eléctrica.

La electricidad se genera en los paneles fotovoltaicos en corriente continua, y es modificada por un inversor que la convierte en corriente alterna.

Esta energía eléctrica se inyecta a la red por medio de un contador que contabiliza los kWh producidos.

Esquema de funcionamiento de una instalación solar fotovoltaica conectada a red. Elaboración Propia.



2.3.3. Aplicaciones aisladas de la red

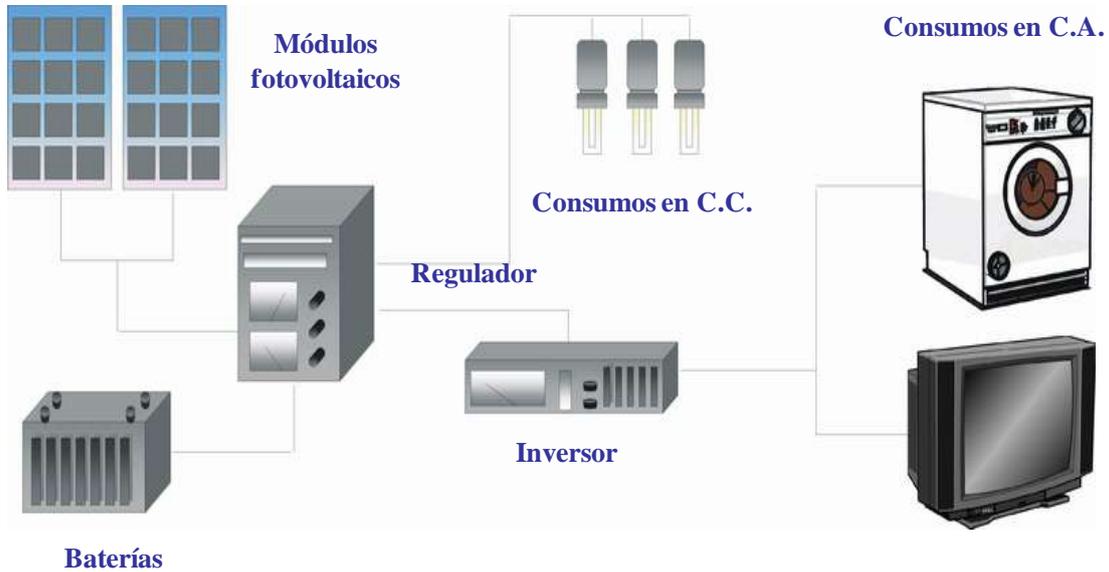
Las instalaciones aisladas de red son aquellas que dan suministro eléctrico en regiones donde no se puede disponer de red eléctrica. La instalación se compone de paneles fotovoltaicos que producen la energía eléctrica, un banco de baterías para el

almacenamiento de la energía producida y adaptadores de corriente que adaptan la energía almacenada por las baterías a la red de consumo.

Tal y como hemos mencionado el número de aplicaciones es bastante amplio.



Esquema de componentes para una instalación solar fotovoltaica aislada. Fuente Personal.



2.4. ENERGÍA EÓLICA

Se estima que entre el 1% y el 2% de la energía que nos llega del sol se acaba transformando en energía eólica.

2.4.1. Formación del viento

El proceso se produce como consecuencia del calentamiento desigual de las distintas zonas de la superficie y la atmósfera terrestre, activándose la circulación de masas de aire en el Planeta. Este calentamiento desigual está afectado por diversos factores como la inclinación y desplazamiento de la Tierra en el espacio, la distribución de los continentes y los océanos, etc.

El aire caliente se vuelve más ligero (al agitarse sus moléculas y perder densidad) y se desplaza hacia arriba. En este proceso su lugar es ocupado por masas de aire más frías y su movimiento genera corrientes de convección en todo el planeta, tanto ascendentes como descendentes.



A gran escala, existe una serie de corrientes de viento dominantes que circulan por todo el planeta, en capas de la estratosfera. Estos vientos globales se rigen por los cambios de temperatura y de presión atmosférica, pero también por otros factores, como la fuerza de Coriolis, que hace que, visto desde el Espacio, el viento del hemisferio norte tienda a girar en el sentido de las agujas del reloj cuando se acerca a un área de bajas presiones y el del hemisferio sur lo haga en dirección opuesta.



El sol calienta más al ecuador que al resto del planeta por lo que las diferencias de temperatura marcan la circulación del viento (del Ecuador a los Polos). Se consideran **Vientos Globales** o Geofísicos a los superiores a los 1000 metros de altitud.



Por otro lado, cerca de la superficie terrestre, a nivel local, soplan otros vientos más específicos caracterizados por el relieve del terreno y otras variables como la rugosidad o la altura. Se consideran **Vientos Locales** o de superficie a los de cotas inferiores a 100 metros.



Formación de las Células Convectivas en el planeta.
Windpower.org

2.4.2. Aprovechamiento del recurso

Esta energía se puede aprovechar por medio de maquinaria que transforma la energía cinética gracias al accionamiento de diferentes útiles para tal fin. Desde los principios de la humanidad se ha utilizado este recurso en diversos usos como el transporte, mediante el accionamiento de las velas de los veleros, hasta los sistemas de bombeo de agua de los molinos, utilización para la molienda del grano, o más recientemente la transformación de esta energía mecánica en electricidad.

A la hora de poder aprovechar este recurso es importante tener claro varios factores:



El viento está influenciado por los accidentes del terreno y obstáculos. La velocidad del viento aumenta con la altura, en función de rugosidad y obstáculos.



El viento fluctúa continuamente (su dirección y velocidad son variables).

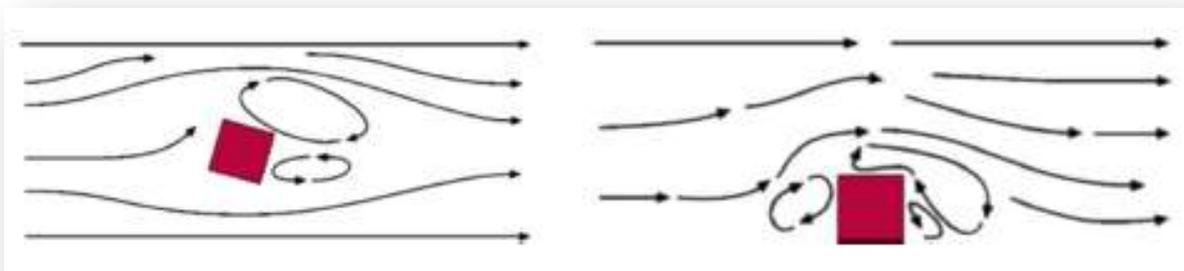


El viento presenta variaciones día – noche (normalmente, los días son más ventosos).



El viento presenta variaciones estacionales.

Distorsión del viento ante la acción de obstáculos.
Windpower.org

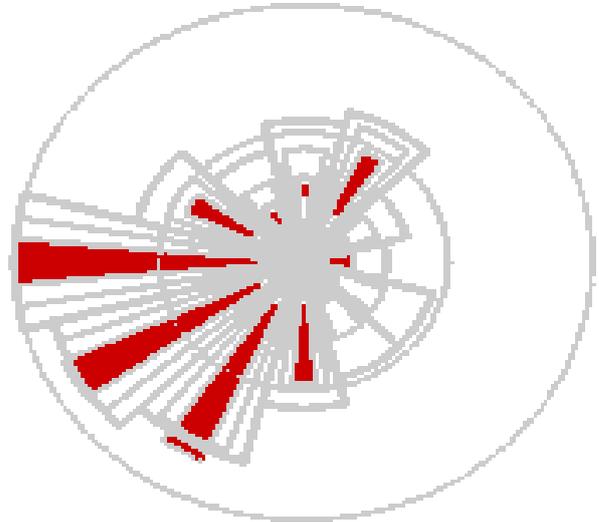
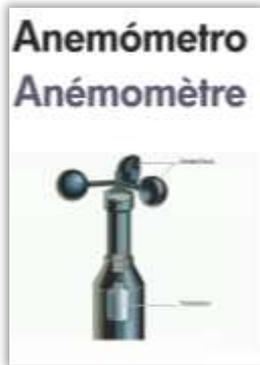


Para poder conocer las características del viento se utilizan fundamentalmente los siguientes utensilios:

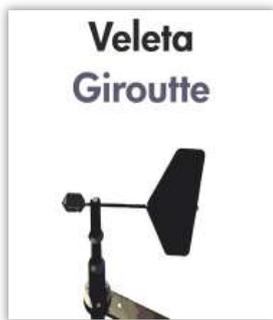
La determinación de estas variables y creación de históricos de datos son esenciales a la hora de poder determinar el potencial eólico de un emplazamiento determinado.



Anemómetro. Nos indica la intensidad del viento.



Veleta. Nos indica cual es la dirección del viento.



2.4.1. Tipos de máquinas eólicas



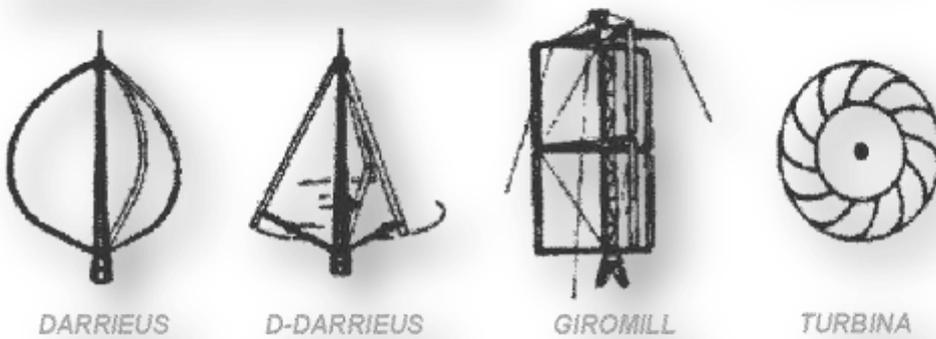
Son múltiples los tipos de diseños desarrollados para aplicaciones eólicas. Se pueden clasificar de la siguiente forma:

Elaboración propia

ACCIONAMIENTO POR RESISTENCIA



ACCIONAMIENTO POR SUSTENTACIÓN



EJE HORIZONTAL





Destacamos los **de eje horizontal**, por ser los más utilizados y de mayor potencia. Básicamente se distinguen tres tipos:

- ✓ Molinos de viento convencionales. Son los clásicos molinos usados antiguamente y que en la actualidad se conservan como recuerdo histórico pero sin prestar servicio.
- ✓ Aerogeneradores lentos. Es un generador con un elevado número de palas. Generalmente su sistema de orientación es mediante un timón-veleta que hace que el plano de la hélice se sitúe siempre perpendicular a la dirección del viento.
- ✓ Aerogeneradores rápidos. En este tipo de aerogeneradores el número de palas es pequeño. Su ventaja respecto a las eólicas lentas es que su potencia por unidad de peso es mucho mayor, por lo que al ser más ligeros pueden construirse generadores de un radio mucho mayor, así como situar el buje o punto de giro central del rotor a alturas mucho mayores y por consiguiente aprovechar el efecto de aumento de la velocidad del viento con la altura.



(ITER – Tenerife). Fuente personal

2.5. ENERGÍA DEL MAR

La energía de los océanos se presenta con una gran perspectiva de futuro, ya que el recurso de los mares es el menos explotado y el que presenta mayor superficie de aplicación (los océanos cubren las 4 / 5 partes del planeta).

Los mares y los océanos son inmensos colectores solares (y gravitacionales), de los cuales se puede extraer energía en base a los siguientes procesos:



La radiación solar incidente sobre los océanos, y bajo determinadas condiciones atmosféricas, da lugar a gradientes térmicos oceánicos a bajas latitudes y profundidades menores a 1000 m.



La influencia gravitacional de los cuerpos celestes sobre las masas oceánicas provoca las mareas



La acción de los vientos y los movimientos de aguas son responsables del oleaje y de las corrientes marinas. Esta energía es generalmente difusa (en extensión), aunque significativamente más concentrada que otras energías renovables comúnmente desarrolladas en tierra firme.

En base a estos principios podemos distinguir los siguientes métodos de extracción de energía:



Freedigitalphotos.net

2.5.1. Energía térmica oceánica

La conversión de energía térmica oceánica es un método de convertir en energía útil la diferencia de temperatura entre el agua de la superficie y el agua que se encuentra a 100 m de profundidad.

En las zonas tropicales esta diferencia varía entre 20 y 24 °C. Para el aprovechamiento es suficiente una diferencia de 20 °C.

Las ventajas de esta fuente de energía se asocian a que es un salto térmico permanente y benigno

desde el punto de vista medioambiental. Puede tener ventajas secundarias, tales como alimentos y agua potable, debido a que el agua fría profunda es rica en sustancias nutritivas y sin agentes patógenos.

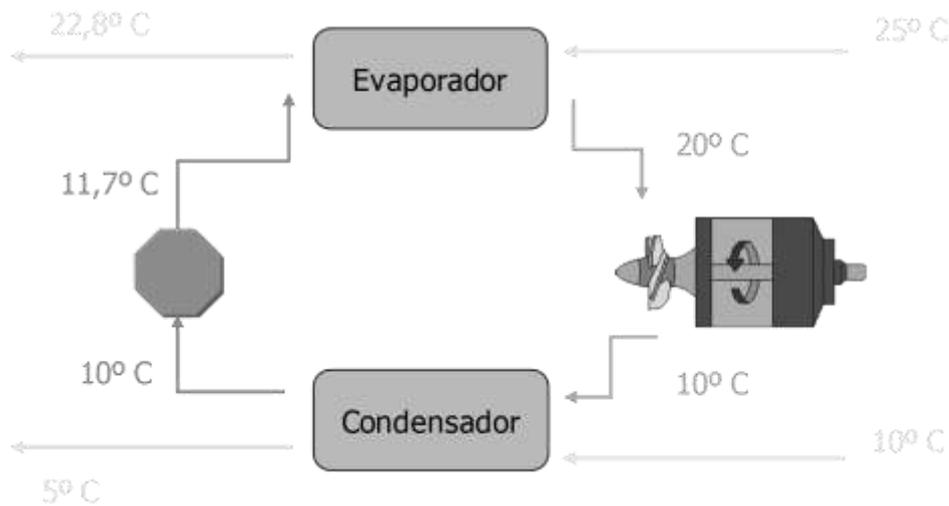
Las posibilidades de esta técnica se han potenciado debido a la transferencia de tecnología asociada a las explotaciones petrolíferas alejadas de la costa. El desarrollo tecnológico de la instalación de plataformas profundas, la utilización de materiales compuestos y nuevas técnicas de unión harán posible el diseño de una plataforma, aunque el máximo inconveniente es el económico.

Los conversores de energía solar térmica aprovechan este diferencial de temperatura para producir energía haciendo uso del ciclo de Rankine (conversión de energía térmica en mecánica).



Empleo de un circuito cerrado y un fluido de baja temperatura de ebullición (amoníaco, freón, propano) que se evaporan en contacto con el agua caliente de la superficie. Este vapor mueve un turbogenerador, se condensa con agua fría de las profundidades y el fluido queda dispuesto de nuevo para su evaporación.

Esquema de funcionamiento. Elaboración propia.



Los principales escollos a los que se debe enfrentar esta tecnología son los siguientes:



Esta técnica requiere una gran estructura que ha de ser construida en alta mar, en aguas profundas, acarreado por ello grandes costes.



Bajo rendimiento, sobre el 7%, debido a la baja temperatura del foco caliente y la poca diferencia de temperatura entre el foco frío y el caliente. Además, es preciso realizar un aporte extra de energía (bombeo de agua fría de las profundidades para el condensado de los fluidos).

2.5.2. Energía de las mareas

Las mareas son movimientos periódicos de elevación y descenso del nivel del mar debido a las atracciones gravitatorias que ejercen la Luna, el Sol y los demás cuerpos astrales. Su intensidad está en íntima relación con las posiciones relativas que el Sol y la Luna tienen respecto a la Tierra.

Se puede demostrar que la influencia de la Luna en la producción de las mareas es 2,35 veces mayor que la del Sol, debido a que aunque la Luna tiene una masa menor, está mucho más cerca de la Tierra.

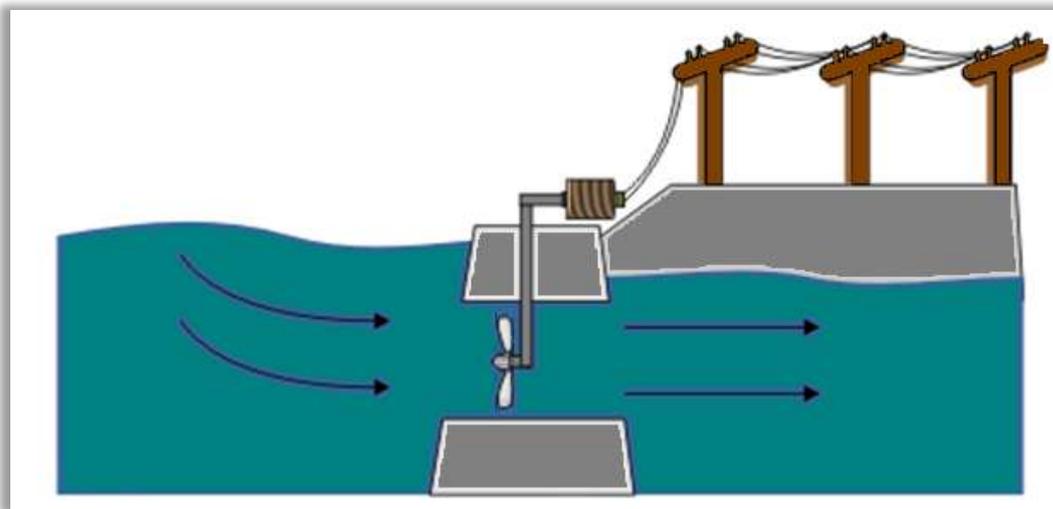
Esta fuente de energía es sólo aprovechable en lugares de mareas largas y en los que el encauzamiento no suponga construcciones demasiado costosas. El obstáculo principal para la explotación de este tipo de energía es el económico, al ser los costes de inversión altos con respecto al rendimiento.

Los principales escollos a los que se debe enfrentar esta tecnología son los siguientes:

- ✎ Costes de inversión altos con respecto al rendimiento.

- ✎ Suelen estar diseñados para lugares donde la carrera de la marea (diferencia entre la pleamar y la bajamar) sea considerable.
- ✎ Esta técnica requiere la construcción de grandes diques que aprovechen este movimiento y sean capaces de acelerar la corriente y conducirla a través de una turbina de la cual se obtiene energía.

Principio de funcionamiento de una central mareomotriz.



2.5.3. Energía de las Corrientes Marinas

Las corrientes que se producen en el océano son debidas a las diferencias de temperaturas que existen entre aguas en zonas tropicales y aguas en zonas polares.

La energía cinética de las corrientes puede ser aprovechada usando técnicas similares a las usadas en la energía eólica. Debido a la relativa alta densidad del agua se puede obtener un nivel de potencia alto con bajas velocidades.

Estudios recientes indican que las corrientes marinas poseen suficiente potencial como para suplir una fracción significativa de las necesidades

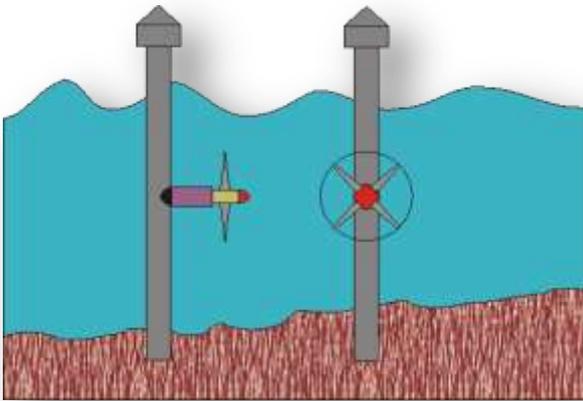
eléctricas de la UE y, en el caso de que se explotara satisfactoriamente, la tecnología desarrollada sería una importante base para una era industrial de producción de energía limpia.

La explotación de este tipo de energía se ha empezado a plantear de manera realista en la época actual, siguiendo el desarrollo de la tecnología de ultramar.

Diversos estudios confirman que las mayores fuentes de esta energía (para un uso efectivo) se concentran en las zonas donde el movimiento de las corrientes es mayor (velocidades en el rango de 1 a 3 m/s).

Estas zonas se encuentran en los lugares en los que las velocidades de las corrientes se ven aceleradas por la topografía de la costa, como los estrechos entre el continente y las islas, las entradas a los lagos y fiordos, cabos...

La técnica más extendida es el uso de un rotor de turbina conectado a un generador, situado perpendicularmente a la dirección del flujo de corriente y montado en una estructura, la cual puede estar localizada sobre el lecho marino o suspendida desde una plataforma flotante.



Elaboración propia

La energía cinética del mar puede ser aprovechada usando técnicas similares a las que se emplean para extraer energía del viento. Debido a que la densidad del agua del mar es mucho mayor que la del aire, la velocidad necesaria para obtener una potencia determinada es de sólo el 11% respecto a la del aire.

Esta tecnología ofrece las siguientes ventajas:

-  Su disponibilidad puede ser claramente predecible.
-  Bajo impacto ambiental sin contaminación, sin ruidos y con pequeño impacto visual (si existiera).
-  La intensidad de energía que poseen las corrientes marinas está más

concentrada que en el resto de las E.E. R.R.



Estudios recientes han indicado que las corrientes marinas pueden llegar a suministrar una importante fracción de la demanda de energía en el futuro.

2.5.4. Energía de las olas

Las olas se pueden considerar como una transmisión de energía desde mar abierto hasta la costa. Una de las propiedades características de las olas es su capacidad de desplazarse a grandes distancias sin apenas pérdida de energía. Por ello, la energía generada en cualquier parte del océano acaba en el borde continental. De este modo la energía de las olas se concentra en las costas.

Las olas del mar son un derivado terciario de la energía solar. El calentamiento de la superficie terrestre genera viento, y el viento genera las olas. Únicamente el 0,01% del flujo de la energía solar se transforma en energía de las olas.

La energía contenida en las olas varía de un sitio a otro, pero en general, cuanto más alejadas del ecuador estén, más energía contiene. Aunque condiciones locales, tales como el tipo de costa, lugar donde se generen y profundidad del océano, tienen una gran importancia en la definición de la cantidad de energía.

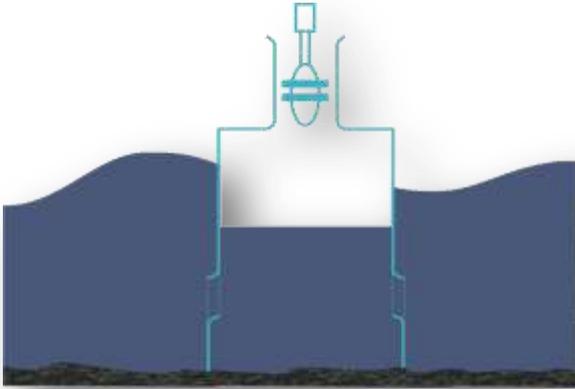
Entre los diferentes tipos de olas oceánicas, las generadas por el viento son las que tienen la máxima concentración de energía. Este tipo de olas se forma cuando el viento sopla sobre la superficie marina. Ésta actúa como un acumulador de energía, transportándola al tiempo que la almacena.



Sistemas

Ha habido un gran número de dispositivos concebidos para la conversión o aprovechamiento de la energía de las olas. Sólo unos pocos han sido probados a escala real en el mar y sólo uno de los desarrollos puede considerarse cerca de su explotación comercial.

Técnicamente es factible la construcción de dispositivos que funcionen correctamente en el mar. Sin embargo, las pruebas a escala real son las que determinan la fiabilidad de los componentes y la supervivencia de los sistemas durante las tormentas.



Esquema de funcionamiento para obtener energía de las olas. Elaboración Propia.

Los convertidores de energía de las olas están formados, esencialmente, por dos componentes principales:



Elemento de interfase, el cual es accionado directamente por las olas.

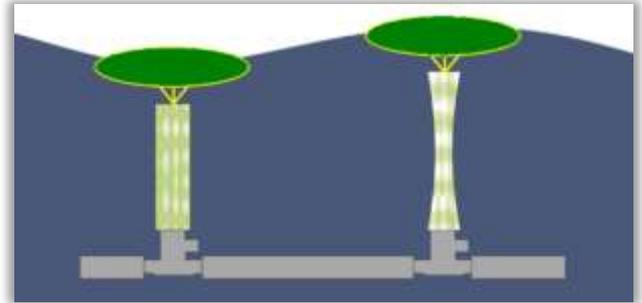
- ✓ Flotadores que se arrastran o giran por la acción de las olas
- ✓ Cámaras de aire en las que la presión cambia por la acción de las olas, directa o indirectamente (membrana)



Sistema de extracción de la energía, que amortigua el movimiento de la interfase.

- ✓ Sistemas hidráulicos de alta presión, generalmente aceite.
- ✓ Sistemas hidráulicos de baja presión, generalmente agua de mar.
- ✓ Turbinas de aire.

La mayoría de estos sistemas están diseñados para obtener electricidad. Unos pocos se usan para la desalación de agua de mar (de manera mecánica).



Esquema de funcionamiento de un sistema de bombeo desarrollado en Suecia en los años 80. Este aprovecha las características elásticas de una manguera de elastómeros para generar succión en cada extensión de la misma. Elaboración Propia.

2.6. ENERGÍA HIDRÁULICA Y MINIHIDRÁULICA

El 71% de la superficie del planeta está cubierta por agua. La energía hidroeléctrica proviene indirectamente de la energía del sol, responsable del ciclo hidrológico natural y consecuencia de los procesos de evaporación del agua.

El aire caliente transporta el agua evaporada en forma de nubes y niebla a distintos puntos del planeta. Gracias a este proceso se crea la lluvia y la nieve, y la energía potencial se almacena en los ríos, lagos y glaciares. Aprovechando la diferencia de desnivel existente entre dos puntos se transforma la energía potencial en energía cinética por medio de las turbinas de las centrales y minicentrales hidroeléctricas. Posteriormente esta energía mecánica activa un generador que nos permite su transformación en energía eléctrica.



Diferencias entre una central hidráulica y la minihidráulica.

Una minihidráulica no es una central convencional a escala reducida. El propio diseño de una turbina de pocos kilovatios es completamente diferente de otra de unos cientos de megavatios. Desde el punto de vista de obra civil existen sumas diferencias.



Esquema del ciclo de generación hidroeléctrica. Elaboración Propia.

El principal condicionante para la elección de la adecuada tecnología viene determinado por las peculiaridades y características que presente el lugar objeto de las instalaciones.

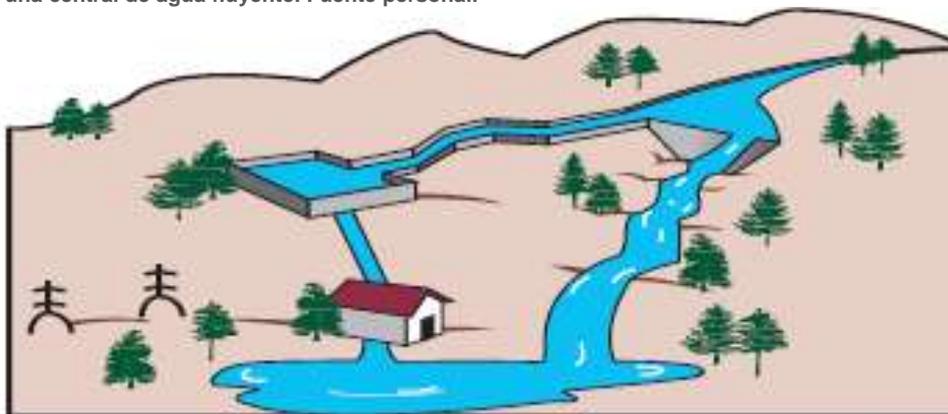
La topografía del terreno va a influir tanto en la obra civil como en la selección de la maquinaria.

Se puede realizar la siguiente clasificación general:

2.6.1. Centrales de agua fluyente

Captan una parte del caudal del río, lo trasladan hacia la central y una vez utilizado, se devuelve al río. La principal característica es que debido a que se abastecen directamente del caudal, su producción depende exclusivamente de las características hidrológicas del río en cada momento. Por lo general suelen ser instalaciones de menor envergadura que las centrales de pie de presa.

Representación de una central de agua fluyente. Fuente personal.

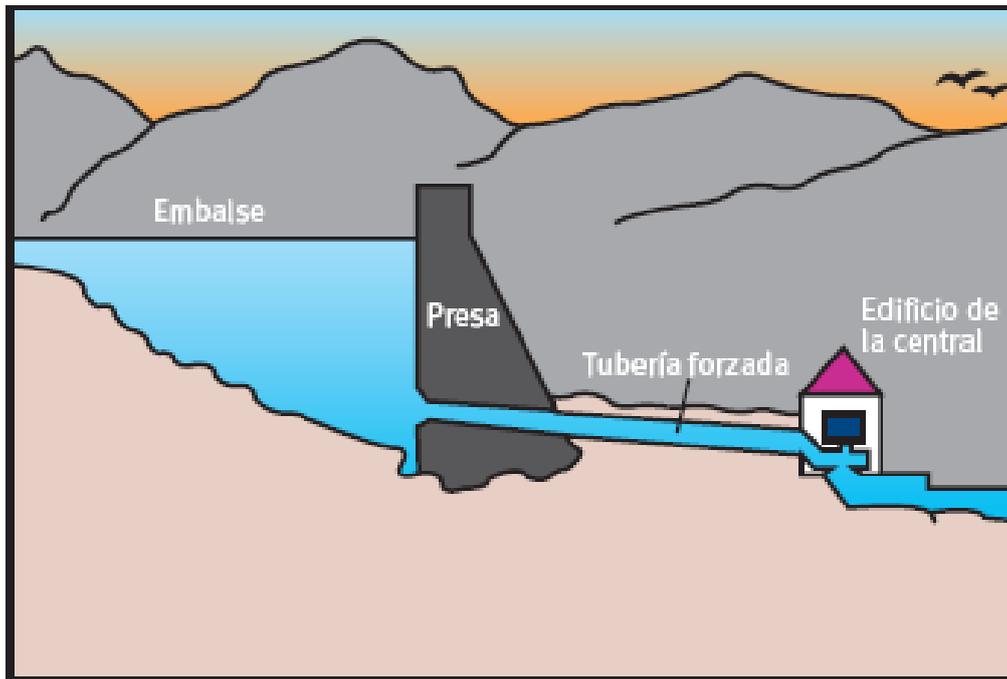


2.6.2. Centrales de pie de presa

Se sitúan debajo de los embalses destinados a usos hidroeléctricos o a otros usos, aprovechando el desnivel creado por la propia presa.

En este tipo de centrales, dado que se dispone de una fuente de almacenamiento, el régimen de operación de la central es ampliamente regulable. Esto presenta importantes ventajas respecto a la gestión de la demanda energética y de la propia instalación.

Representación de una central de pie de presa



2.6.3. Centrales en canal de riego o de abastecimiento

En este tipo de centrales se puede:



Utilizar directamente el desnivel existente en el propio canal, instalando una tubería forzada, paralela a la vía rápida del canal de riego, y conduciendo el agua hasta la central (posteriormente se devolverá al curso normal del canal).



Aprovechar el desnivel existente entre el canal y el curso de un río cercano. La central en este caso se instala cercana al río y se turbinan las aguas excedentes del canal.

2.7. ENERGÍA GEOTÉRMICA

En su formación, la Tierra era originalmente una inmensa bola ardiente de gases y polvo. Cuando esa nebulosa se enfrió y se consolidó, hace unos 3.800 millones de años, se formó una corteza dura que atrapó en su interior gran parte del calor. Esto hace que hoy día el planeta siga siendo una enorme caldera natural que origina desde los procesos geodinámicos más superficiales, hasta los volcanes, las intrusiones, los terremotos, la formación de cordilleras, etc.



Freedigitalphotos.net

Los orígenes del calor interno de la Tierra se encuentran en los siguientes hechos:

-  Desintegración de isótopos radiactivos presentes en la corteza y en el manto, principalmente, uranio 235, uranio 238, torio 282 y potasio 40.
-  Calor inicial que se liberó durante la formación del planeta hace 4.500 millones de años, y que todavía está llegando a la superficie.
-  Movimientos diferenciales entre las diferentes capas que constituyen la Tierra, principalmente entre manto y núcleo.
-  Cristalización del núcleo. El núcleo externo (líquido) está cristalizando continuamente, y en la zona de transición con el núcleo interno (sólido) se libera calor.

-  **Térmicos.** Desde balnearios, piscinas y otras aplicaciones tradicionales a su uso en procesos de producción de agua caliente sanitaria y calefacción, así como en la agricultura, acuicultura e industrias. Su uso a gran escala en la climatización de edificios supone un enorme potencial para este tipo de energía.



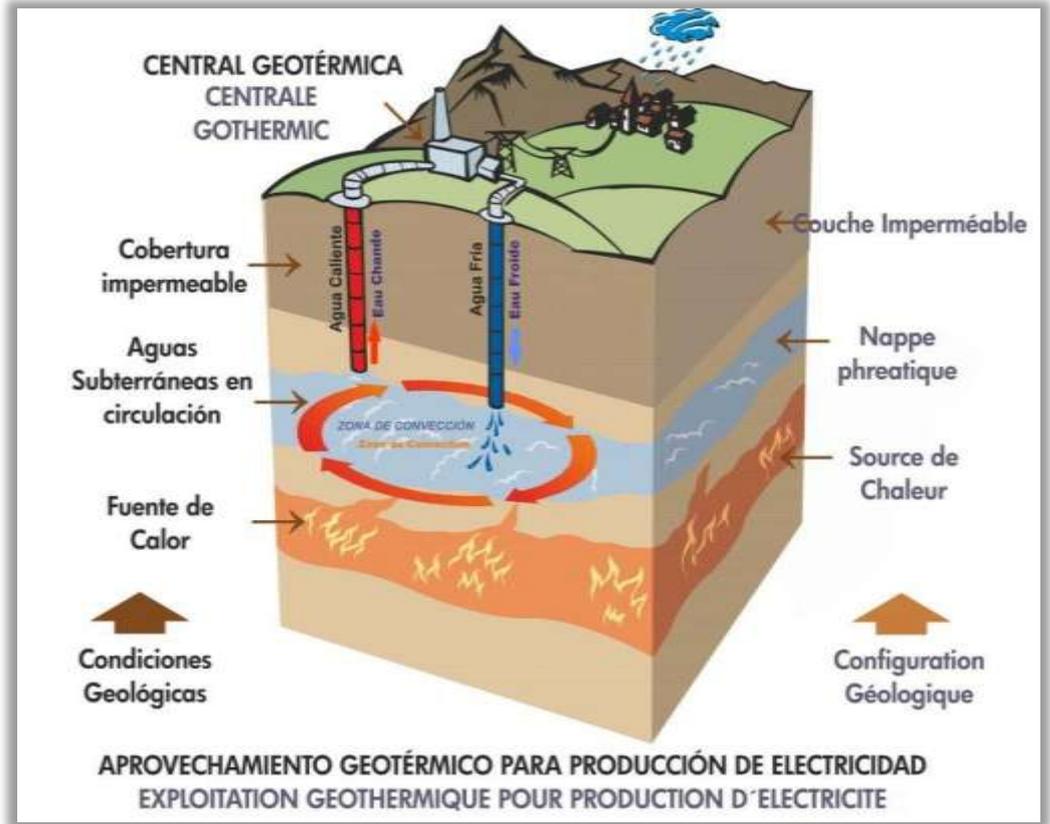
Aplicación para uso térmico en vivienda.
Freedigitalphotos.net

La energía geotérmica se convierte así en la única energía renovable que no proviene del sol. Aunque es una energía que se viene utilizando con fines térmicos desde hace siglos, (termas romanas, baños turcos, etc.), actualmente su nivel de explotación es muy inferior al de su potencial.

-  **Eléctricos.** Esta aplicación se viene utilizando desde principios del siglo pasado con las técnicas de vapor seco, de agua a alta temperatura o las centrales de ciclo binario.

En el estado actual de la tecnología, se puede decir que la geotermia tiene dos grandes grupos de aplicaciones:

Modelo de explotación de una central de energía geotérmica para producir electricidad.
Elaboración propia.



2.7.1. Aplicaciones según el tipo de yacimiento

Un factor determinante para conocer las posibles aplicaciones de la energía geotérmica radica en el tipo de yacimiento disponible. De esta manera podemos resumirlas en la siguiente tabla.

Aplicaciones por rango de T°. Elaboración propia.

APLICACIONES / APPLICATIONS			
Temperatura	Tipos de Yacimientos	Producción	Usos directos de calor
>250°C	Alta temperatura (T >150°C) Haute Température	Producción directa de Electricidad Production (Directe) d'Électricité	Programas alimentarios, cultivo de setas Usages Alimentaires, culture de champignons
150°C	Roca Caliente Seca T= 250 - 300°C Gisement Sec	Producción de Electricidad Production d'électricité	Secado de frutos y vegetales Séchage de fruits et végétaux
70°C	Temperatura Media (70°C < T < 150°C) Moyenne Température	Producción de Electricidad Production d'électricité Procesos Industriales Usages Industriels	Hidroterapia/ Hydrothérapie Secado de papel y pulpa Séchage de papier, de pulpe
20°C	Baja Temperatura (T < 70°C) Basse Température	Usos directo de Calor Usage direct de la chaleur	Calefacción de Invernaderos Chauffage de serres Calefacción de viviendas Chauffage de bâtiments
Température	Type de gisement	Production	Usage direct de la Chaleur

2.8. ENERGÍA DE LA BIOMASA

Según la Especificación Técnica Europea CEN/TS 14588, se entiende como biomasa a “Todo material de origen biológico excluyendo aquellos que han sido englobados en formaciones geológicas sufriendo un proceso de mineralización”. Entre estos últimos estarían el carbón, el petróleo y el gas, cuya formación y composición hace miles de años no se ajusta a lo que conocemos como “el balance neutro de la biomasa” en lo referente a emisiones de dióxido de carbono (CO₂).

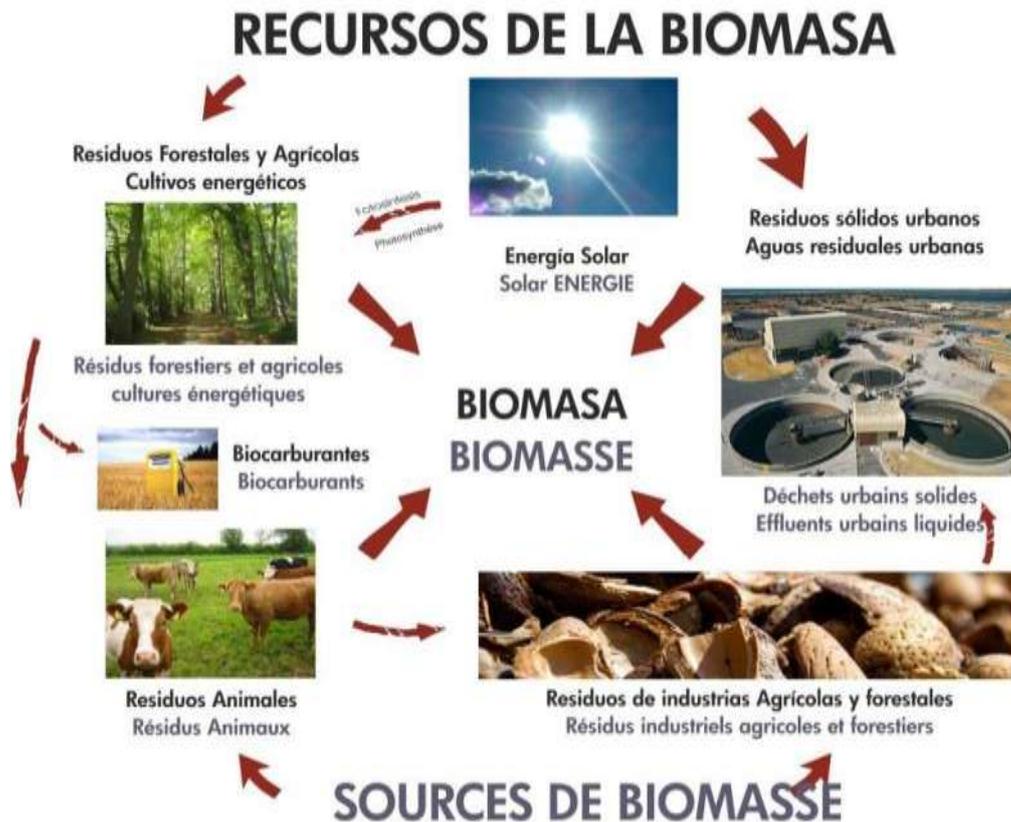


Bajo este concepto, los procesos de combustión de biomasa no contribuyen al aumento del efecto invernadero, ya que, aunque generan CO₂, el carbono liberado forma parte de la atmósfera actual y será absorbido nuevamente por las plantas en un ciclo continuo.



La energía solar es la responsable última de la energía contenida en la biomasa. Esto se debe a que los procesos de fotosíntesis que desarrollan algunos organismos vivos como las plantas, se sirven de la energía solar y de los compuestos inorgánicos disponibles para crear compuestos orgánicos.

Ciclo de la biomasa. Elaboración propia.



2.8.1. Recursos, tratamientos y aplicaciones de la biomasa

Los recursos aprovechables de la biomasa son muy variados y podemos destacar los siguientes:

-  Residuos forestales y agrícolas.
-  Biocarburantes.
-  Cultivos energéticos.
-  Residuos animales.
-  Residuos sólidos urbanos.
-  Aguas residuales urbanas.
-  Residuos de industrias (agrícolas y forestales).

En función de estos recursos disponibles podremos aplicar distintos procesos de transformación. A su vez, estos procesos pueden enfocarse a diferentes aplicaciones, pudiendo incluso desarrollar varias simultáneamente.

2.8.2. Aprovechamiento del biogás

El origen del biogás se encuentra en la descomposición anaeróbica de la materia orgánica. Está compuesto por metano (CH_4) en más del 60% por lo que su liberación directa a la atmósfera contribuye de forma importante a potenciar el efecto invernadero. En este sentido, el aprovechamiento energético del biogás, implica un beneficio para el medio ambiente, no sólo porque se evita la emisión del gas metano a la atmósfera, sino porque además se reduce la emisión de otros gases causantes del efecto invernadero, que resultarían por ejemplo, de la combustión de combustibles fósiles. Recordemos que el ciclo del CO_2 nos permite su fijación mediante la creación de biomasa, algo no posible en el caso del metano directamente liberado.



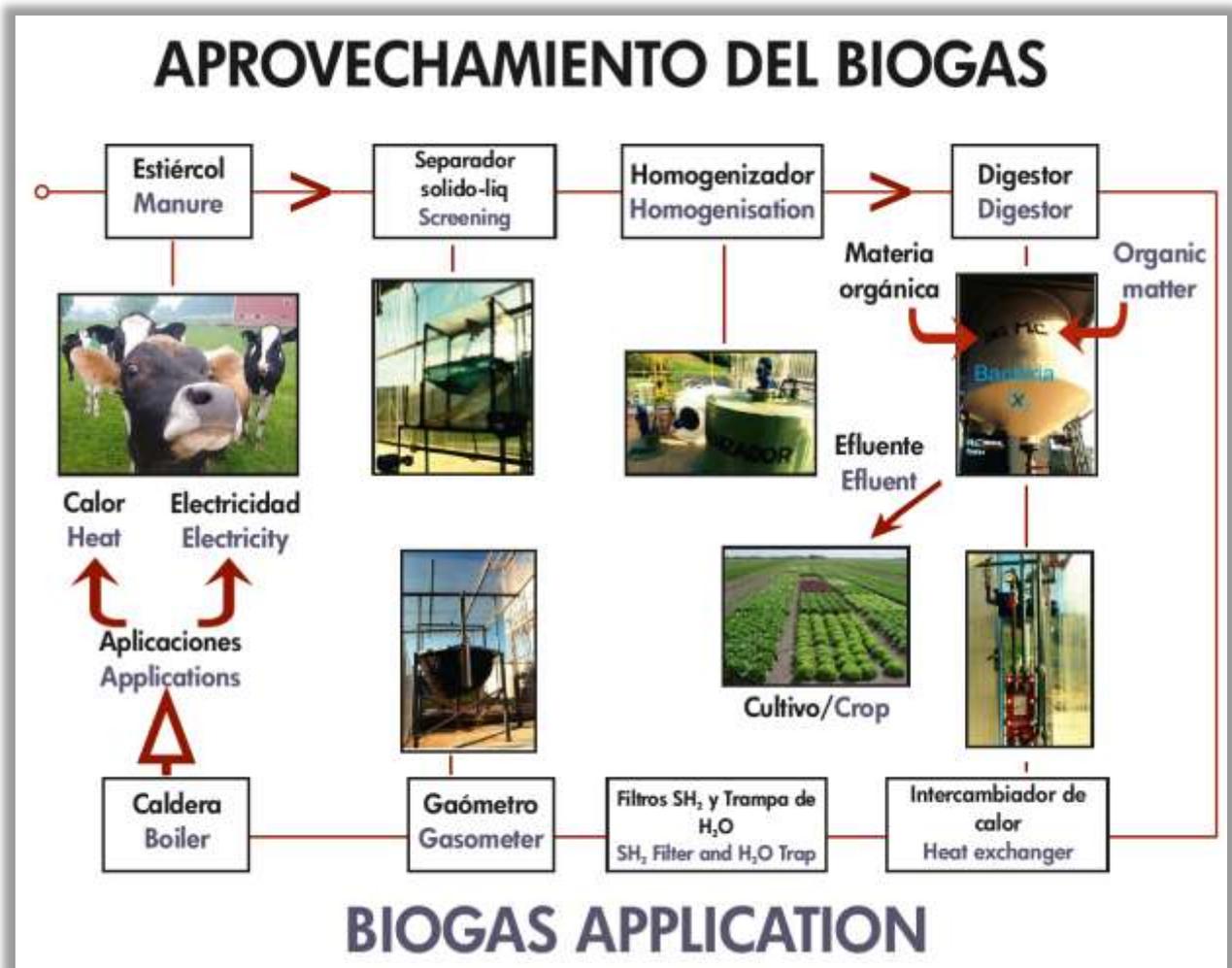
Elaboración propia

Mediante la digestión anaeróbica es posible tratar un gran número de residuos con contenido en materia orgánica, obteniendo biogás como resultado del proceso (fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, lodos de estaciones depuradoras de aguas residuales urbanas, aguas residuales industriales, residuos orgánicos industriales y residuos agrícolas y ganaderos).



Equivalencias del Biogás. Elaboración propia.

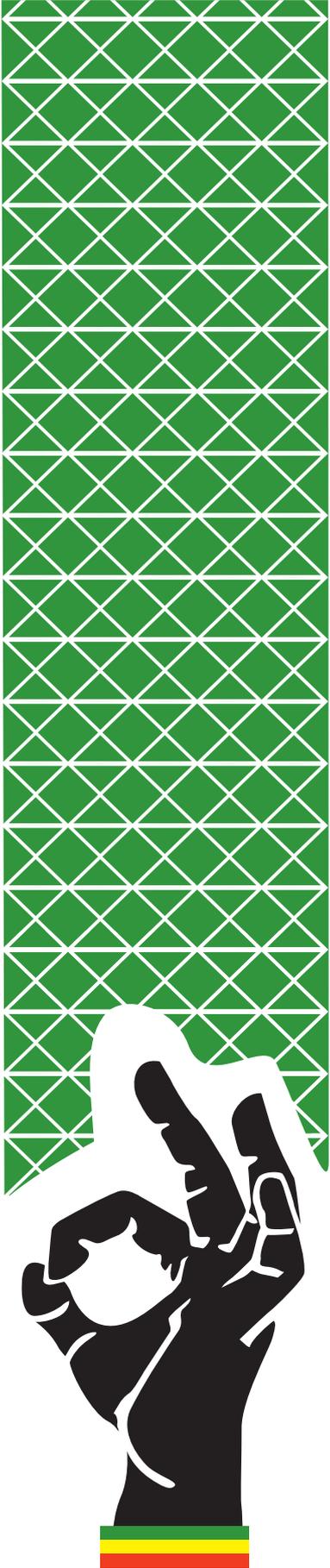
Ejemplo de las etapas de producción y utilización del biogás.



Ciclo del Biogás. Elaboración propia.

Es una de las energías renovables más accesible, tanto por la multitud de procesos para su obtención como por la producción continua de residuos de nuestra sociedad. A su vez, el tratamiento de estos residuos representa una ventaja añadida desde el punto de vista medioambiental.

La vía de aprovechamiento más eficaz del biogás es la cogeneración, con la que se obtiene al mismo tiempo energía eléctrica y térmica.



BLOQUE II: USO RACIONAL DE LA ENERGÍA

BLOQUE II: USO RACIONAL DE LA ENERGÍA

OBJETO: En esta unidad se tratarán los conceptos básicos relacionados con la eficiencia energética y el uso racional de la energía.

Se le proporcionará al alumno una visión genérica del estado actual de la tecnología.

Se le dotará de los conocimientos mínimos para que pueda diferenciar las distintas tecnologías y su eficiencia.

Se le proporcionarán las herramientas necesarias para realizar cálculos básicos sobre consumos de diferentes equipos.



En segundo lugar, se debe analizar si ese consumo energético puede ser optimizado a través de medidas de **eficiencia energética**.

Una vez analizado los puntos anteriores, e implementadas las medidas tanto de uso racional de la energía como de eficiencia energética, se deben poner en marcha programas que fomenten el uso de las energías renovables según el potencial de cada región.

1. INTRODUCCIÓN

La eficiencia energética se sitúa en el centro de los tres ejes de la política energética mundial:



La garantía de suministro, disminuyendo y optimizando el uso que se hace de la energía.



La competitividad, que recobra mayor importancia en el escenario económico y financiero actual.



La sostenibilidad, con sus implicaciones sobre el cambio climático.

La política energética de un estado, antes de poner en marcha cualquier programa de actuación en materia energética, debe comenzar por analizar dos elementos básicos:



Por un lado, se debe analizar el consumo energético y cuantificar el potencial de ahorro existente, con el objetivo de realizar un **uso racional de la energía**.

1.1. PANORAMA MUNDIAL

Actualmente, el consumo mundial de energía es superior a 12.300 millones de toneladas equivalentes de petróleo (tep), siendo el petróleo la fuente energética más utilizada en el mundo con un 34% del total.

Las previsiones de la Agencia Internacional de la Energía para 2035 estiman que la demanda de energía primaria en el mundo va a aumentar en un 36% (en relación a los parámetros de 2008). La mayoría del suministro aún dependerá de las reservas de combustibles fósiles.

Como ejemplo, según un estudio realizado por la Comisión Europea, el potencial de ahorro de energía actualmente sería del 20%, **esta energía actualmente se pierde por mera ineficiencia**. En este mismo estudio se pronostica que de aquí al año 2020 será técnica y económicamente posible ahorrar como mínimo esa quinta parte de la energía primaria de toda la Unión Europea.

1.2. CONCEPTOS

A continuación vamos a describir una serie de conceptos relacionados con la eficiencia energética. Estos servirán al alumno de punto de partida y posteriormente se particularizará por tecnologías.

1.2.1. Eficiencia Energética

Se define como *La reducción del consumo de energía manteniendo los mismos servicios energéticos sin disminuir nuestro confort y calidad de vida, protegiendo el medio ambiente, asegurando el abastecimiento y fomentando un comportamiento sostenible en su uso.*

Dentro de la eficiencia energética, se engloban todas aquellas medidas destinadas a modificar la variable del consumo de energía, tanto por el lado de la oferta, mediante mejoras tecnológicas, como por el lado de la demanda, a través de cambios tecnológicos, económicos y de comportamiento.

1.2.2. Auditoría Energética

Es una herramienta que permite conocer la situación respecto al uso de la energía, detectar las operaciones dentro de los procesos que pueden contribuir al ahorro y la eficiencia de la energía consumida y optimizar la demanda energética de la instalación.

1.2.3. Empresas de Servicios Energéticos

Se trata de cualquier persona física o jurídica que proporciona servicios energéticos o de mejora de la eficiencia energética en las instalaciones o locales de un usuario, afrontando cierto grado de riesgo económico al hacerlo. El pago de los servicios prestados se basará (en parte o totalmente) en la obtención de mejoras de la eficiencia energética y el cumplimiento de los demás requisitos de rendimiento acordados.

1.2.4. Servicios Energéticos

Conjunto de prestaciones, incluyendo la realización de inversiones inmateriales, de obras o de suministros necesarios, para optimizar la calidad y la reducción de los costes energéticos.

Esta actuación podrá comprender además de la construcción, instalación o transformación de obras, equipos y sistemas, su mantenimiento, actualización o renovación, su explotación o su gestión derivados de la incorporación de tecnologías eficientes.

El servicio energético así definido deberá prestarse basándose en un contrato que deberá llevar asociado un ahorro de energía verificable, medible o estimable.

1.2.5. Gestor Energético

Se trata de la persona responsable de la optimización de todos los procesos que

impliquen consumos energéticos en un edificio, una instalación o una empresa. Sus funciones principales serían las de realizar un seguimiento del consumo de energía del edificio o instalación, realizar un análisis de consumos, controlar el suministro de energía, identificar oportunidades de ahorro energético y proponer soluciones para ahorrar energía.



Freedigitalphotos.net

1.2.6. Intensidad Energética

Es el consumo de energía, primaria o final, por unidad de producto interior bruto (PIB). En términos globales viene a ser el valor medio de la cantidad de energía necesaria para generar una unidad de riqueza. Sirve como indicador de las tendencias registradas en la evolución de la eficiencia energética.

Existen numerosos factores que pueden influir en la evolución de este índice, como sería la estructura industrial del país, el nivel de equipamiento, la evolución económica y de los precios, la disponibilidad de recursos autóctonos, la diversificación energética, el clima, la situación geográfica, etc.

1.2.7. Sistema de Gestión Energética

Pretende sistematizar los procesos que se dan en una organización con el fin de promover criterios de gestión energética y ahorro y eficiencia. Se aplica a cualquier organización que desee:

-  Mejorar la eficiencia energética de sus procesos de forma sistemática.
-  Establecer, implementar, mantener y mejorar sus sistemas de gestión energética.
-  Incrementar el aprovechamiento de energías renovables o energías excedentes propias o de terceros.
-  Asegurar su conformidad con su política energética y demostrarla a terceros.
-  Buscar la certificación de su sistema de gestión energética por una organización externa.

La finalidad última que se busca es facilitar a las organizaciones, independientemente de sus sector de actividad o su tamaño, una herramienta que facilite la reducción de los consumos de energía, los costos financieros asociados y consecuentemente las emisiones de gases de efecto invernadero.

1.3. DISTRIBUCIÓN POR SECTORES DEL CONSUMO ENERGÉTICO MUNDIAL

La demanda final de energía, por sectores a nivel mundial, se estructura por lo general de la siguiente forma:

-  **La industria** – aproximadamente el 35%
-  **Transporte** – el 25%
-  **Residencial y sector terciario** - 40%

Los modelos de demanda de energía por sectores varían en función de los países. En los países desarrollados la demanda del sector de los servicios registra el crecimiento más rápido, mientras que en los países en vías de desarrollo todos los sectores experimentan un crecimiento anual sostenido de entre el 2% y el 3%.

2. EFICIENCIA ENERGÉTICA POR TECNOLOGÍAS

2.1. INSTALACIONES DE CLIMATIZACIÓN

Las instalaciones de climatización son aquellas que abarcan tanto las instalaciones de calefacción como de refrigeración, así como el control de la humedad. Están constituidas por sistemas de producción (calderas, bombas de calor, etc), sistemas de distribución y unidades terminales.

Freedigitalphotos.net



Al diseño de la instalación de climatización debe anteceder un diseño óptimo del recinto que va a ser climatizado. Es decir, se debe tener en cuenta los materiales que se emplearán para el aislamiento, orientación, apertura y distribución de huecos, distribución del recinto dentro de la estructura del inmueble, así como las medidas bioclimáticas que contribuirán a reducir las necesidades de climatización y por tanto de consumo de energía.

La generación de frío y/o calor, así como el control de la humedad, se aplica en diversos sectores, desde el residencial para lograr el confort térmico dentro de las estancias de una vivienda hasta edificios de oficinas, centros hospitalarios, centros educativos, etc.

Existen diferentes sistemas de para la generación de calor y frío, los más empleados son los siguientes:

CALOR	FRÍO
Calderas	Bomba de calor
Resistencia eléctrica	Enfriadoras
Bomba de calor	Sistemas de absorción

2.1.1. Calefacción

Dentro de los sistemas utilizados en calefacción nos encontramos básicamente los siguientes:

-  **Calderas.** Atendiendo a los sistemas de calderas para la producción de calor, éstas se consideran como un elemento en el que entra agua fría y un combustible para producir agua caliente. Según su eficiencia, las calderas se clasifican en los siguientes tipos:

	CONVENCIONALES	BAJA TEMPERATURA	CONDENSACIÓN
Combustible	Gasóleo, propano, gas natural.	Gasóleo, propano, gas natural.	Gas natural.
Característica Fundamental	Funcionan a altas temperaturas y no adaptan su funcionamiento a las necesidades de la instalación.	La temperatura de entrada es menor que en las convencionales. Permiten adaptar la temperatura a las necesidades reales.	Condensan parte de los gases de escape de la combustión.
Rendimiento	80 – 85%	90 – 95%	100 – 105%
Ahorro respecto caldera convencional	/	Alrededor del 15%	Alrededor del 25%

A parte de los combustibles normalmente empleados en las calderas, existen otras alternativas como el uso de biomasa procedente de recursos biológicos de origen forestal o agrícola (residuos de cultivos o cultivos especiales).

Las calderas que utilizan biomasa tienen emisiones neutras ya que la cantidad de CO2 emitido durante el proceso de combustión ha sido previamente fijado mediante el proceso de fotosíntesis realizado por la planta para su crecimiento.



Resistencia eléctrica. Los sistemas eléctricos por resistencia eléctrica se basan en la ley de Joule. Si bien el rendimiento de la máquina es alto, tienen un bajo rendimiento por ciclo. Esto se debe a que, para producir calor mediante una resistencia eléctrica, se ha

tenido que quemar previamente combustible para generar calor y

emplear este calor en una central térmica para generar electricidad. Por ello la eficiencia global respecto a una caldera es muy inferior. Son sistemas poco confortables y resultan poco rentables.



Las bombas de calor: Válidas tanto para la generación de calor como de frío. Consisten en máquinas térmicas que permiten transferir energía en forma de calor de un ambiente a otro según se requiera. Estos equipos disponen de cuatro componentes fundamentales (compresor, evaporador, condensador y válvula de expansión).

Para reducir el consumo en calefacción podemos tomar las siguientes acciones:

-  Reducir las pérdidas por conducción e infiltración.
-  Actuando directamente en el aislamiento térmico de las estancias a calefactar.
-  Aumentar el rendimiento, por ejemplo cambiar a una caldera más eficiente, de baja temperatura a condensación.
-  Cambiar el combustible, por ejemplo de gasóleo a gas natural.
-  Mejorar el mantenimiento o cambiar a un sistema más eficiente (introducción de energías renovables).

2.1.2.Refrigeración

Para la producción de frío existen diferentes sistemas, si bien los más tradicionales como son las **bombas de calor** o las **enfriadoras** utilizan energía eléctrica, en la actualidad, existen sistemas de refrigeración que demandan una fuente de calor en lugar de electricidad (**sistemas de absorción**).

Estos últimos presentan una excelente posibilidad para consumir una menor cantidad de energía que en un sistema eléctrico, debido a la posibilidad de la utilización de energías renovables (solar térmica) o emplear el calor residual de otros procesos.

Las **enfriadoras** son bombas de calor que solo generan frío, existiendo los siguientes tipos ordenados de menor a mayor eficiencia (aire-aire, aire-agua y agua-agua).

En los sistemas de **refrigeración por absorción**, el trabajo del compresor se sustituye por calor.

Para reducir el consumo en refrigeración podemos:

-  Reducir las pérdidas por conducción, infiltración y radiación).
-  Reducir el aporte térmico de los sistemas de iluminación (sustituir lámparas y equipos por otros más eficientes) y de los electrodomésticos.
-  Aumentar el rendimiento de la instalación (cambiar la enfriadora o bomba de calor por una más eficiente, mejorar el sistema de distribución, sistemas free cooling, geotermia de baja temperatura, sistemas de absorción o mejorar el sistema de control).

2.1.3.Ventilación

En ciertos ambientes es necesaria la renovación del aire, lo que se consigue a través de ventiladores y extractores. En sí misma la ventilación supone un consumo energético bajo, sin embargo la renovación del aire implica que debe climatizarse el nuevo aire que se introduce en las estancias, por lo que una mayor renovación supone un mayor consumo en climatización.

Los tipos de ventilación que existen actualmente son:

-  Ventilación natural: la renovación del aire se consigue a través de los vanos y las infiltraciones de aire.



Ventilación forzada: la renovación se consigue a través de sistemas activos (ventiladores y extractores).

Existen también sistema de ventilación que recirculan el aire extraído y lo conducen a una Unidad de Tratamiento de Aire controlados con sondas de temperatura, humedad y de calidad del aire.



Las medidas de ahorro a adoptar están centradas en adaptar la ventilación a las necesidades reales del edificio. Un exceso de ventilación supone un aumento del consumo en climatización ya que el aire nuevo que se introduce debe tratarse. Lo ideal es que el caudal de aire nuevo sea el necesario para mantener las condiciones higiénicas. Este caudal necesario dependerá de la ocupación de los edificios, la cual puede variar mucho a lo largo del día.

2.2. INSTALACIONES DE ILUMINACIÓN

En la actualidad la iluminación representa un papel importante en el desarrollo de las actividades productivas y sociales de un país. La tecnología ha ido evolucionando hasta nuestros días, adaptándose a los cada vez más exigentes estándares de calidad, así como hacia tecnologías más eficientes energéticamente.

A nivel mundial, el consumo de energía eléctrica en alumbrado supone el 19% del total, en las calles de una ciudad representa el 70% y en el hogar el 20% del total.

A nivel de la Unión Europea, el 75% de todo el alumbrado usado en el sector de la industria se basa en tecnologías anticuadas de baja eficiencia, existiendo un ahorro potencial de 650 millones de euros y equivalente al ahorro en emisiones de CO₂ de 2,7 millones de toneladas.

A nivel sectorial, la iluminación representa en una gran cantidad de edificios un porcentaje elevado del consumo eléctrico, sirva el siguiente cuadro para conocer cómo se distribuye el consumo en iluminación según el tipo de sector:

SECTOR	% ENERGÍA ELÉCTRICA ILUMINACIÓN
Oficinas	50%
Hospitales	20 – 30%
Industria	15%
Colegios	10 – 15%
Comercios	15 – 70%
Hoteles	25 – 50%
Residencial	10 – 15%

Actualmente el potencial de ahorro energético es muy importante y se puede lograr mediante la implementación de sistemas más eficientes, unidos al uso de sistemas de regulación y control.

2.2.1. Conceptos generales

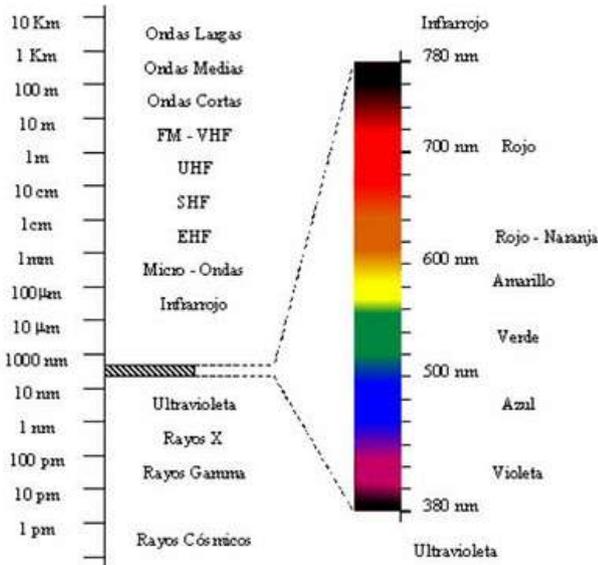


La luz es una forma de energía que se manifiesta como una radiación electromagnética. La única diferencia entre las diferentes formas de radiación es su longitud de onda.

El ojo humano sólo ve un rango estrecho de longitudes de onda, lo que se conoce como el **espectro visible**, que abarca desde los 380nm a los 780nm de longitud de onda.



El color es la sensación producida en los ojos en función de la longitud de onda, los colores primarios aditivos son el rojo, el verde y el azul. A partir de estos tres colores se generan los demás colores del espectro visible por medio de la suma de emisión de luz de diferente longitud de onda

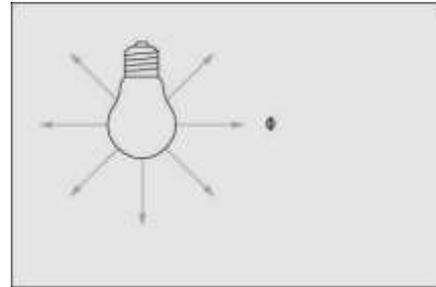


Espectros del color. Fuente Propia.

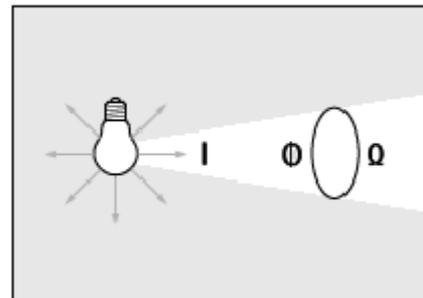
La medición de la luz se puede realizar a través de medidas cuantitativas (flujo luminoso, intensidad luminosa, iluminancia y luminancia) y a través de valores de calidad de la luz (rendimiento del color y temperatura de correlación de color).



El flujo luminoso (ϕ) es la cantidad total de luz que una fuente luminosa es capaz de emitir, se mide en lumen (lm), y permite diferenciar la capacidad de las lámparas para emitir un flujo luminoso. *P.ej. una lámpara incandescente de 75W tiene un flujo luminoso de 900lm, mientras que una lámpara fluorescente de 58W de 5200lm.*

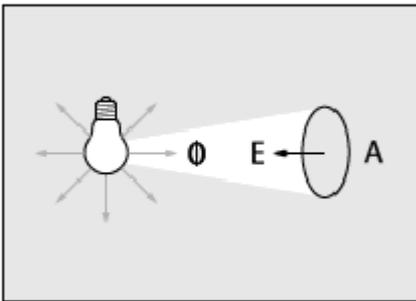


La intensidad luminosa (I) es el flujo de luz emitido en una dirección concreta. Se mide en candela (cd) y permite medir la capacidad de lámparas dicróicas, proyectores y leds.

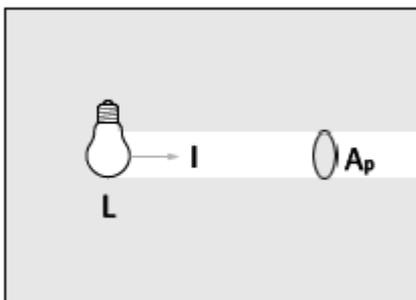




La iluminancia (E) es la cantidad de luz que llega a una superficie (A). Se mide en lux (lx) y nos da el nivel de iluminación en una estancia. La iluminancia disminuye con el cuadrado de la distancia de la fuente de luz.



La luminancia (L) es la luz emitida desde una unidad de área en una dirección específica, se mide en candela por m² y su importancia reside en el nivel de iluminación en las vías públicas.



El índice de reproducción cromática (IRC ó Ra) es la capacidad para reproducir los colores correctamente, su escala va del 0 al 100 y se establece el siguiente rango:

IRC ó Ra	Propiedades del rendimiento del color
90 - 100	Excelentes
80 - 90	Buenas
60 - 80	Moderadas
< 60	Deficientes

Las lámparas que ofrecen una luz con un IRC ó Ra alto permiten diferenciar los colores más claramente.



La temperatura de color es un concepto que se utiliza para clasificar los distintos tipo de luz. La luz blanca es una combinación de colores y no todos los blancos son iguales. Dependiendo de la proporción de los colores constituyentes parecerá más cálida o fría. Cuanto más elevada sea la temperatura de color, más fría será la impresión de la luz blanca.



La eficacia luminosa describe el rendimiento de una lámpara, se expresa mediante la relación del flujo luminoso entregado, en lumen, y la potencia consumida, en vatios. A continuación mostramos una tabla en la que se muestran las diferentes eficacias para los distintos tipos de lámparas.

Lámpara	Eficacia (lm/W)	*Vida útil (horas)
Incandescente	10 -15	1.000
Incandescente halógena	15 - 25	2.000
Fluorescente tubular	60-93	10.000
Fluorescente compacta	50-81	8.000
Vapor de Mercurio	46 - 55	12.000
Vapor Sodio Alta Presión	100 - 130	18.000 – 24.000
Vapor Sodio Baja Presión	130 – 170	18.000 – 20.000
Halogenuros metálicos	70 - 90	7.000 – 10.000
Inducción	70	85.000 - 100.000
LED	90 -120	+ 50.000

**Vida útil: indica el tiempo de funcionamiento en el cual el flujo luminoso de la instalación ha descendido a un valor tal que la fuente de luz no es rentable y es recomendable sus sustitución, teniendo en cuenta el coste de la lámpara, el precio de la energía consumida y el coste de mantenimiento.*

2.2.2.Sistemas de iluminación

Un sistema de iluminación está compuesto por los siguientes equipos:



Lámpara. Es una fuente de luz artificial cuya función básica es generar energía luminosa mediante la transformación de energía eléctrica.



Luminaria. Es un aparato que reparte, filtra o transforma la luz emitida por una o varias lámparas, a su vez protege las lámparas y evita el deslumbramiento.

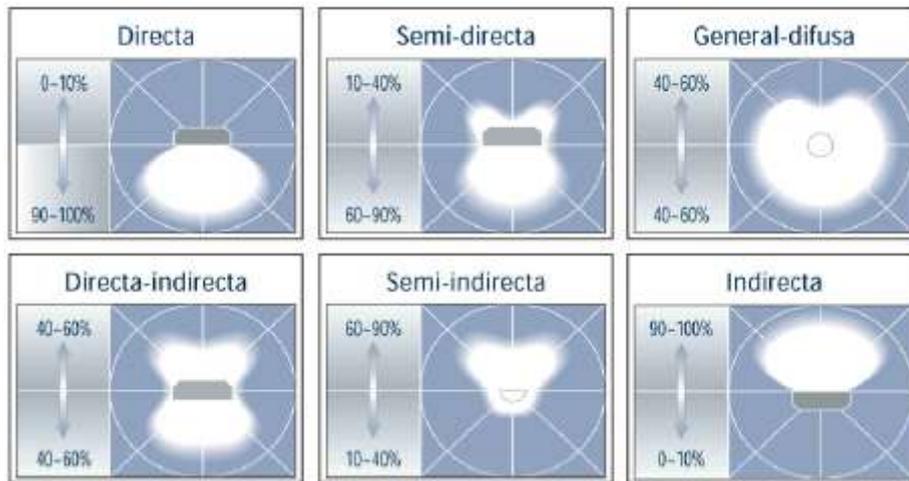
Los tipos de lámparas que existen actualmente son:

Lámparas incandescentes	Lámparas de descarga	Otras tecnologías
No halógenas	Luz mezcla	Estado sólido: LED, OLED
Halógenas de alta y baja tensión	Fluorescentes (mercurio a baja presión)	Inducción
	Vapor de mercurio alta presión	HEP
	Halogenuros metálicos	ESL
	Sodio a alta/baja presión	

La elección de una fuente de luz debe tener en cuenta los siguientes condicionantes. Por una lado las necesidades de iluminación a satisfacer tanto en cantidad como en calidad, la eficiencia de la lámpara, su vida útil y por último su coste.

El objetivo de tener en cuenta todos los factores anteriores es el de conseguir una solución óptima a la hora de la elección del tipo de lámpara, de tal modo que se satisfagan las necesidades en iluminación con el mínimo consumo de energía.

Según la forma en que distribuyen la luz, las luminarias pueden clasificarse en:



Tipos de luminarias. Fuente Propia.

La elección de una luminaria vendrá determinada por las necesidades del espacio a iluminar, el grado de protección requerido según las condiciones a los agentes exteriores a los que se vea sometida, la eficiencia de la luminaria, la contaminación lumínica, y por último, su coste.



Equipo auxiliar. Es el equipo eléctrico necesario en algunas lámparas para el encendido o el mantenimiento de la intensidad luminosa. Dependiendo de la tecnología utilizada, puede llegar a suponer un consumo eléctrico importante en el conjunto del sistema. *P. ej. es posible ahorrar entre un 20% y un 30% de energía mediante la sustitución de un balasto electromagnético por uno electrónico.*

Los equipos auxiliares más comunes son los balastos, arrancadores o cebadores, y condensadores, así como transformadores para lámparas halógenas de baja tensión y lámparas led.

Los balastos proporcionan energía a la lámpara, estabilizando el consumo de corriente de ésta a sus parámetros óptimos. El arrancador o cebador proporciona, en el momento del encendido, la tensión requerida para el cebado de la lámpara, pudiendo ser eléctrico, electrónico o electromecánico.

Los condensadores corrigen el factor de potencia, reduciendo la potencia reactiva consumida y por tanto el gasto energético.

2.2.3. Medidas de ahorro en iluminación.

El consumo energético de una luminaria es igual a la potencia de ésta más la potencia del equipo auxiliar (en caso de que la lámpara lo requiera) por el tiempo de utilización. Para disminuir el consumo energético en iluminación existen dos posibilidades:



Reducir la potencia. Adaptar el nivel de iluminación si éste es excesivo mediante la sustitución de lámparas por otras de menor potencia o reduciendo el número de lámparas en la estancia. También se puede reducir la potencia de las luminarias mediante la sustitución de éstas por otras de mayor eficiencia o empleando balastos electrónicos.

En la siguiente tabla se muestra un ejemplo de mejora de la iluminación mediante la sustitución de lámparas incandescentes por bajo consumo manteniendo la misma intensidad de luz.

Lámpara incandescente	Lámpara de bajo consumo	Ahorro energético (%)
40W	9W	77
60W	11W	82
75W	15W	80
100W	20W	80



Reducir el tiempo. Mediante el automatizado del encendido y apagado de la iluminación en las zonas de paso, utilizando detectores de presencia o interruptores temporizados. Otra posibilidad es implementar sistemas de

aprovechamiento de la luz natural mediante balastos regulables, dimmers o células fotoeléctricas.

2.2.4. Análisis económico

La sustitución de una instalación de alumbrado existente por una nueva, energéticamente más eficiente, conlleva la realización de un desembolso económico inicial, el cual tiene que verse compensado por los futuros ahorros.

Dentro del análisis económico no sólo se debe tener en cuenta el coste inicial sino además los costes previstos de operación y mantenimiento, por tanto para realizar un análisis de costes se requieren los siguientes datos:



Número, tipo y coste de las luminarias.



Número, tipo, vida útil y coste de las lámparas.



Consumo por luminaria (incluyendo equipo auxiliar si existe).



Coste energía eléctrica.



Horas de funcionamiento anual de la instalación.



Financiación y amortización.

2.3. INSTALACIONES DE AIRE COMPRIMIDO

2.3.1. Concepto

El aire comprimido es un elemento habitual en todo tipo de instalaciones industriales. Normalmente se emplea para obtener trabajo mecánico lineal o rotativo, en otras ocasiones para atomizar o aplicar sprays de barnices o pinturas.

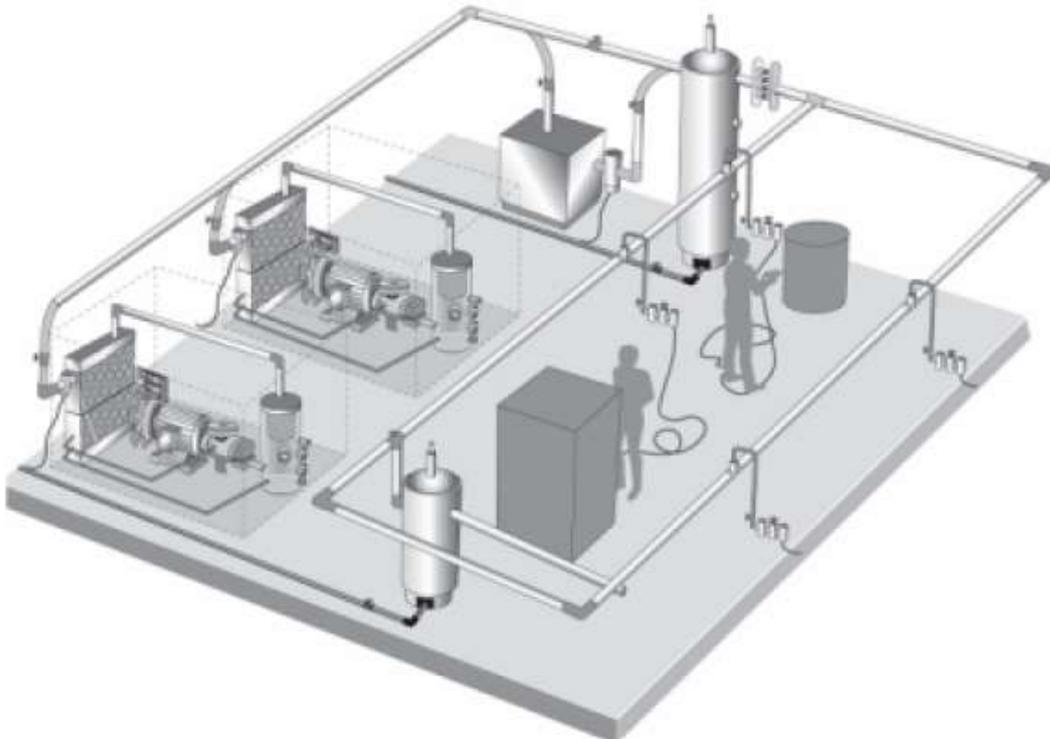
El aire comprimido se consigue a partir de un compresor, el cual es una máquina destinada a incrementar la presión del aire, gas o mezcla de gases, a partir de la presión atmosférica, normalmente con el fin de proporcionarles energía y utilizarlos en múltiples aplicaciones.

2.3.2. Componentes de la instalación

Una instalación de aire comprimido se compone básicamente de:

-  Aspiración: es la tubería de conexión al compresor, por donde accede el aire.
-  Compresor: encargado de comunicar energía al fluido.
-  Depósito de aire: donde se almacena el aire comprimido.
-  Líneas de suministro: son los conductos que transportan el aire comprimido hasta los puntos de consumo.

Esquema de una instalación de aire comprimido.



2.3.3. Consumo energético

El consumo de una instalación de aire comprimido depende de:



Tipo de compresor. Donde el desplazamiento puede ser positivo (como el pistón de un motor), o de flujo continuo, (como un turbocompresor).



Cantidad de aire pérdida por fugas. En instalaciones bien conservadas las fugas suelen rondar entre el 2% y 5%. Instalaciones con varios años de servicio pueden llegar al 10%, mientras que instalaciones con un mantenimiento deficiente, pueden llegar al 25%.



Pérdidas de carga a lo largo de la instalación (aspiración y líneas de suministro).



Factor de carga: es la relación entre el suministro de aire comprimido real y el suministro teórico de diseño a plena carga durante el mismo periodo de tiempo, lo ideal entre un 50% y 80%.



Tipo de compresión: simple o en varias etapas.

2.3.4. Medidas de ahorro en equipos de aire comprimido



Sustitución por un compresor de alta velocidad. Los cojinetes de inducción generan un campo magnético que hace levitar el rotor del motor eléctrico y el ventilador de refrigeración, de esta manera se evitan pérdidas mecánicas

debidas al rozamiento de las partes móviles. *Ahorros: en torno a un 45% del consumo de turbinas de aireación.*



Instalar filtro y circuito de refrigeración de aceite en la aspiración. Se garantiza que no se añada aceite del circuito de refrigeración obteniendo un aire comprimido de alta y constante calidad. El compresor utiliza aire frío que evita daños materiales y mejora el rendimiento. *Ahorros: en torno al 5%.*



Instalar compresores multietapa. El mismo incremento de presión que se obtiene con un compresor de una determinada potencia, se puede obtener con varios compresores cuya suma de potencias es sensiblemente inferior. *Ahorros: hasta el 30%.*



Utilizar motores eléctricos con variadores de velocidad. Los variadores de frecuencia permiten regular la velocidad del compresor adecuándose a las necesidades reales del sistema y reduciendo el pico de consumo que tiene lugar en cada arranque. *Ahorros: hasta un 30%.*



Incorporar depósito de aire a la salida del compresor. Reduce el número de apagados/encendidos del compresor que generan picos de consumo. *Ahorros: en torno al 5%.*



Instalar un recuperador de calor. Consiste en utilizar un intercambiador de calor que aproveche el calor cedido por

el gas comprimido al refrigerante para otros procesos. El calor generado por el compresor es el 94% de su potencia, del cual buena parte es recuperable para alimentación de calderas o calefacción.
Ahorros: hasta un 90% del calor.

2.4. INSTALACIONES DE FRÍO INDUSTRIAL

2.4.1. Concepto

Son el conjunto de tecnologías que se emplean para neutralizar y eliminar la presencia de calor, polvo, humo, gases, condensaciones, olores, etc. Tienen multitud de aplicaciones en la industria, como por ejemplo en la alimentaria para la conservación de los alimentos.

Todo sistema de refrigeración se basa en ciclos termodinámicos o procesos físicos en los que se produce una transferencia de calor entre un foco a baja temperatura y un foco a alta temperatura. Los principales métodos de producción de frío son el ciclo por compresión y el ciclo por absorción.

Mostramos a continuación una comparativa entre el ciclo por compresión y ciclo por absorción.

CICLO	COMPRESIÓN	ABSORCIÓN
Energía consumida	Eléctrica	Térmica
Rendimiento energético	Elevado. Por cada kWh eléctrico se puede producir hasta 3kWh térmicos frigoríficos.	Medio. Por cada kWh térmico calorífico se puede producir un kWh térmico frigorífico.
Aplicación	Mayoría equipos frío industrial.	Se utiliza cuando existe posibilidad de aprovechar calor residual. Posibilidad de combinar con solar térmica.

2.4.2. Medidas de ahorro

-  **Sustituir o reforzar el aislamiento.**
Factor más importante en el consumo energético de una instalación. Emplear materiales con una baja conductividad y de espesor adecuado, así como la forma de la envolvente. *Ahorros: variables.*
-  **Mejorar el sistema de compresión.**
Reducir el consumo energético del compresor mediante la sustitución por compresores de varias etapas, motores eléctricos con variadores de frecuencia o sustituyendo la máquina de refrigeración por una más eficiente. *Ahorros: hasta el 30%.*
-  **Generar frío durante las horas nocturnas.** Se aprovecha la baja temperatura exterior durante la noche y se reduce la factura eléctrica por diferir el consumo a las horas valle. *Ahorros: variables.*
-  **Realizar un correcto funcionamiento.**
Revisar el aislamiento de tuberías y equipos, mantener limpios los filtros del sistema de bombeo, reparar posibles fugas, emplear un tratamiento de agua adecuado para evitar incrustaciones y ensuciamiento en los condensadores. *Ahorros: variables.*
-  **Implantar un sistema de regulación y control.** Automatización de las instalaciones con control manual. *Ahorros: variables.*



Sustituir el sistema por compresión por un sistema de ciclo por absorción. Tiene menor rendimiento que el sistema por compresión, sin embargo, si existe una fuente de calor residual, se está aprovechando éste, el cual en condiciones normales sería desaprovechado. Desde el punto de vista económico, el kWh térmico es entre 5 y 6 veces más barato que el kWh eléctrico. *Ahorros: variables.*

2.5. INSTALACIONES DE VAPOR

2.5.1. Concepto

La generación industrial de vapor es el proceso mediante el cual se produce vapor a presiones por encima de la atmosférica a partir de la energía de un combustible o de energía eléctrica. El vapor se emplea en diferentes aplicaciones dentro un proceso industrial, tales como la aportación de calor en procesos o movimiento de máquinas, y se aplica prácticamente a todas las unidades en procesos químicos.

Un sistema de generación de vapor se compone de una caldera, que consiste en un intercambiador de calor, en el que la energía se aporta generalmente por un proceso de combustión y un sistema de distribución que emplea fundamentalmente tres tipos de fluidos (vapor, agua o aceite).

2.5.2. Consumo energético

El consumo de un sistema de generación depende de la cantidad de combustible requerida, que depende principalmente de:



Pérdidas por humos: en instalaciones convencionales y dependiendo de la temperatura de los gases se pueden reducir a un 7%.



Pérdidas por radiación y conducción: dependen de la temperatura de trabajo y del aislamiento de los equipos, cuantificándose entre el 3% y el 5%.



Pérdidas por inquemados: resultado de la combustión incompleta de los inquemados gaseosos e hidrocarburos líquidos.



Pérdidas por purgas: se realizan con el objetivo de evitar la concentración excesiva de sólidos disueltos.

2.5.3. Medidas de ahorro



Instalar intercambiadores de calor que mejoren el rendimiento del sistema. Instalar economizadores que se encargan de precalentar el agua de alimentación de las calderas. Instalar recuperadores de calor de humos para el calentamiento de fluidos ajenos o propios de la caldera. *Ahorros: entre un 1% y un 5%.*



Sustituir una caldera convencional por una caldera de condensación. Utilizan la condensación, aprovechando el calor latente de vaporización del agua que sale en forma de vapor con los humos, en cual se recupera y cede a la instalación. *Ahorros: hasta un 20%.*



Reducir las pérdidas de calor en los gases de combustión. La eficiencia se incrementa en 1% por cada 15% que se reduce el exceso de aire, por la reducción de 1,3% de oxígeno, por una reducción de 4,5°C en la temperatura de los gases de combustión. *Ahorros: entre un 1% y un 3%.*



Implantar un mantenimiento preventivo y sistema de control. Realizar un tratamiento previo del agua de alimentación para evitar incrustaciones que pueden reducir la eficiencia un 10%-12%. *Ahorros: entre un 10% y un 12%.*



Mejorar la red de distribución. Aislar correctamente los conductos de distribución con materiales de baja conductividad y un espesor adecuado. *Ahorros: entre un 3% y un 13%.*

2.6. MOTORES ELÉCTRICOS

2.6.1. Concepto

La función de los motores eléctricos es la de transformar la energía eléctrica en energía mecánica (movimiento). El rendimiento de un motor eléctrico relaciona la cantidad de energía eléctrica que es capaz de ceder y la cantidad de energía eléctrica que consume.

Los motores eléctricos más utilizados son los motores de corriente alterna **asíncronos**, cuya parte móvil (rotor) gira a una velocidad distinta a la de sincronismo. Mediante variadores de frecuencia es posible regular la velocidad de estos motores.

En los motores **síncronos** el rotor gira en sincronismo con la frecuencia de alimentación de la parte fija (estator). Solo se emplean en grandes máquinas que tienen una carga variable y necesitan de una velocidad constante.

Los motores eléctricos pueden llegar a tener picos de consumo de 4 veces su potencia nominal lo que da lugar, si se generan muchos de ciclos de arranque/paro, a un consumo eléctrico importante.

Los motores de inducción generan energía reactiva debida a que el campo electromagnético creado por el estator genera un retraso de la corriente respecto de la tensión, dando lugar a intervalos de tiempo en los que la tensión y la corriente tienen distinto signo. La potencia generada durante estos instantes va de la fuente a la red, es decir se pierde.

2.6.1. Medidas de ahorro



Regulación de la velocidad. Instalar variadores de frecuencia que permiten aumentar o disminuir lentamente la velocidad del motor u ofrecer diferentes curvas de carga en función de las necesidades, manteniendo un rendimiento óptimo. *Ahorros: hasta el 40%.*



Adecuación de los motores a la potencia necesaria. Dimensionar correctamente el tamaño y potencia de los motores. *Ahorros: variables.*



Sustitución de equipos convencionales por equipos eficientes.

Utilización de motores asíncronos de alto rendimiento. Sustituir motores síncronos por asíncronos. *Ahorros: variables.*

2.7. EQUIPOS OFIMÁTICOS

2.7.1. Concepto

Los equipos ofimáticos están constituidos por todos aquellos elementos (ordenadores personales, impresoras, módems, etc) que se utilizan para las actividades de gestión en una empresa o como medio de trabajo, recreo o comunicación en la mayor parte de los hogares.

El consumo de estos equipos no es homogéneo, por ejemplo un ordenador encendido, si no está siendo utilizado permanece en modo stand-by, durante el cual se genera un consumo de aproximadamente un 85% menos que el consumo cuando se está utilizando.

2.7.1. Medidas de ahorro



Ordenadores portátiles. Utilizar un ordenador portátil reduce el consumo notablemente ya que consume la mitad con respecto a un ordenador de sobremesa de las mismas características. *Ahorros: en torno al 50%.*



Pantallas LCD ó LED. Pantallas que requieren poca energía y ofrecen una alta resolución en comparación con las

pantallas TFT. *Ahorros: entre un 40% y 50%.*



Regletas programables. Miden la corriente de los aparatos cuando están encendidos, detectando el modo stand-by y cortando por completo la corriente. Esta medida se puede realizar a nivel individualizado para cada equipo o de modo global para un determinado colectivo. *Ahorros: variables.*



Apagado de equipos. Apagar por completo los equipos cuando no se estén utilizando. *Ahorros: variables.*

2.8. COMPENSACIÓN DE ENERGÍA REACTIVA

2.8.1. Concepto

Todas las máquinas eléctricas (motores, transformadores,...) alimentadas en corriente alterna necesitan para su funcionamiento dos tipos de energía:



Activa: se transforma íntegramente en trabajo o en calor (pérdidas) y se mide en kWh.



Reactiva: se manifiesta cuando existe una transferencia de energía activa entre la fuente y la carga. Generalmente está asociado a los campos magnéticos internos de los motores y transformadores. Debido a que esta energía provoca sobrecarga en las líneas transformadoras y generadoras, sin producir un trabajo útil, es necesario neutralizarla o compensarla.

2.8.2. Medidas de ahorro

Las baterías de condensadores se utilizan para mejorar el factor de potencia de una instalación, y por tanto, para compensar la energía reactiva.

Las ventajas de la compensación son:

-  Reducción de los recargos aplicados por las compañías eléctricas al consumo de energía reactiva.
-  Reducción de las caídas de tensión en la línea al disminuir la cantidad de energía reactiva transportada.
-  Reducción de la sección de los conductores a nivel de proyecto debido a la menor cantidad de energía a transportar.
-  Disminución de las pérdidas por efecto Joule que se producen conductores y transformadores.
-  Aumento de la potencia disponible en la instalación, gracias a la reducción de la intensidad de corriente que se produce al mejorar el factor de potencia.

2.9. ELECTRODOMÉSTICOS

2.9.1. Concepto

Principalmente se tratan de electrodomésticos de línea blanca (cocina y limpieza del hogar) y línea marrón (video y audio), teniendo especial relevancia en el sector de la hostelería, hotelero y a nivel doméstico.

Es común el uso del gas en equipos de cocción (cocinas, hornos, etc), mientras que el resto de

equipos utilizan energía eléctrica. El consumo de los distintos equipos depende de su capacidad, temperaturas de trabajo, número de revoluciones, etc.

2.9.2. Frigorífico

A nivel doméstico se trata de uno de los electrodomésticos que más electricidad consumen, si bien su potencia no es muy alta (alrededor de 200 W), su uso continuo hace que el consumo eléctrico sea relevante.

Para disminuir el consumo de este electrodoméstico se recomienda:

-  Elegir equipos de clase energética A o superior y de la capacidad adecuada.
-  Ubicar el equipo en zonas frescas y ventiladas, alejadas de focos de calor.
-  Eliminar el hielo o escarcha del interior ya que dificulta el enfriamiento.
-  Comprobar el cierre hermético de las puertas para evitar pérdidas de frío.
-  Ajustar el termoestato para mantener una temperatura de 5°C en el frigorífico y de -18°C en el congelador.

2.9.3. Lavadora

Este electrodoméstico representa un consumo importante dentro de los hogares, utilizándose por término medio entre 3 y 5 veces por semana. La mayor parte de la energía que consume una lavadora (entre el 80-85%) se destina al calentamiento del agua.

En un ciclo de lavado se pueden llegar a suceder tres acciones sobre las cuales se pueden actuar con el objetivo de reducir el consumo, la acción química, la acción térmica y la acción mecánica.

Para disminuir el consumo de este electrodoméstico se recomienda:

-  Elegir equipos de clase energética A o superior y procurar que trabaje al máximo de capacidad.
-  Seleccionar programas de baja temperatura siempre que sea posible.
-  Centrifugando se gasta mucho menos energía para secar la ropa que utilizando una secadora.
-  Si se tiene contratada la tarifa con discriminación horaria, poner la lavadora durante las horas en las que existe tarifa preferente.

2.9.4.Lavavajillas

El consumo de estos electrodomésticos, se debe en un 90% al calentamiento del agua. Diversos estudios indican que lavar en ellos es más eficiente que fregar a mano, tanto en ahorro de agua como de energía.

Los modelos actuales están muy desarrollados tecnológicamente, habiendo alcanzado casi todos ellos la clase energética A. Por otro lado, existen lavavajillas termoeficientes los cuales disponen de dos tomas independientes de agua. Esto permite alimentarlo con agua caliente sanitaria (procedente por ejemplo de un acumulador solar).

Para disminuir el consumo de este electrodoméstico se recomienda:

-  Elegir equipos de la clase energética más eficiente, utilizarlo cuando esté completamente lleno.
-  Realizar un buen mantenimiento lo que mejora el comportamiento energético.
-  Mantener los niveles de sal y abrillantador adecuadamente lo que reduce el consumo de energía en lavado y secado respectivamente.

2.9.5.Secadora

Es un consumidor muy importante de energía. Su uso es cada día más extendido pues proporciona comodidad, sin embargo, se recomienda que solo sea utilizado en casos totalmente necesarios en los que no se pueda secar la ropa al sol.

El proceso de secado se puede realizar mediante dos métodos principalmente:

-  Extracción. El aire calentado y húmedo se expulsa al exterior para eliminar la humedad y seguir secando **(ineficiente)**.
-  Condensación. El aire caliente y húmedo de secado se hace circular por un circuito de condensación que elimina el agua **(eficiente)**.

Para disminuir el consumo de la secadora se recomienda:

-  Si es posible elegir equipos de la clase energética más eficiente, siempre trabajando a plena carga.
-  Idóneo que la ropa se centrifugue adecuadamente en la lavadora.
-  No mezclar tejidos de diferentes materiales en un mismo ciclo de secado.
-  Utilizar el sensor de humedad para evitar que la ropa se seque excesivamente.



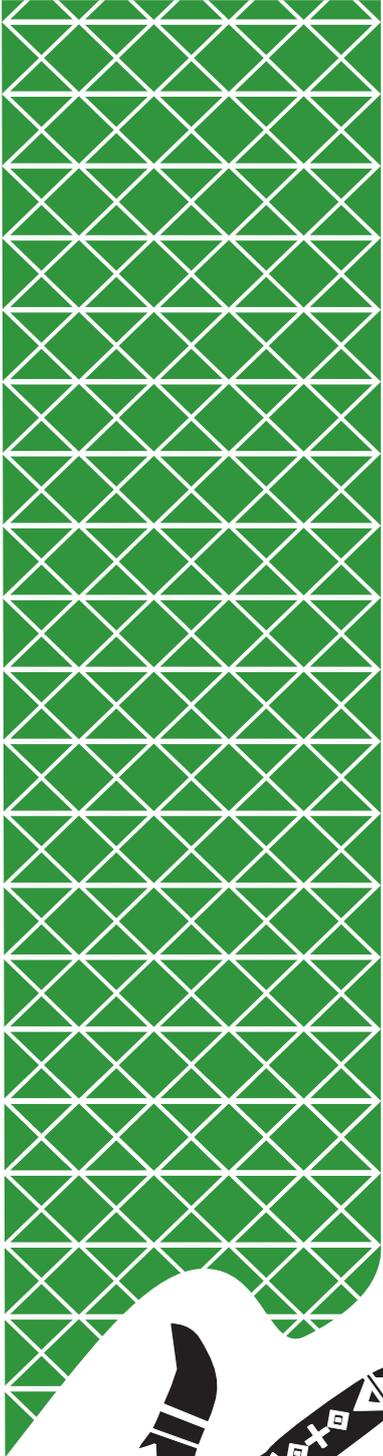
2.9.6.Horno

En la actualidad existen dos tipos de hornos, los de gas y los eléctricos, siendo los primeros mucho más eficientes energéticamente que los segundos, sin embargo es más extendida la utilización de los hornos eléctricos.

Para disminuir el consumo de este electrodoméstico se recomienda:

-  Elegir un horno de gas siempre que sea posible o si es eléctrico de clase energética A.
-  Durante la cocción de los alimentos evitar abrir la puerta del horno, ya que se pierde alrededor de un 20% de la energía acumulada en su interior.
-  Intentar aprovechar al máximo la capacidad del horno.
-  Apagar el horno un poco antes de la finalización de la cocción ya que el calor residual es suficiente para acabar el proceso.





BLOQUE III: ENERGÍA EÓLICA

BLOQUE III: ENERGÍA EÓLICA

OBJETO: Este bloque desarrolla en detalle los aspectos más importantes de la energía eólica. Partiendo desde sus fundamentos físicos hasta las tecnologías utilizadas, aplicaciones, cálculo de producción, etc.

Se pretende que el alumno sea capaz de evaluar y aprovechar el recurso eólico disponible.

Se propondrán ejercicios teóricos y prácticos con el objetivo de fortalecer los conceptos explicados.

Freedigitalphotos.net

1. HISTORIA

La historia de la energía eólica podría datarse de hace al menos 5.000 años, cuando los egipcios construyeron los primeros barcos de vela de los que se tiene noticia. Los utilizaban para navegar por el Nilo y más tarde por el Mediterráneo.

A partir de aquí, la historia de la energía eólica la podríamos resumir en los siguientes hitos:



 **SIGLO XVIII.** Se desarrollan los primeros molinos capaces de aprovechar la energía eólica. Se trata del típico molino Manchego, utilizado principalmente para la molienda de granos, o su variante Holandesa utilizados para sacar agua.

 **SIGLO XX.** Se evoluciona hacia el molino Americano, utilizado principalmente para el bombeo de agua en pozos sin excesiva profundidad.

 **1945. La Segunda Guerra Mundial** marca la época del auge del petróleo y las máquinas térmicas se expanden en declive de otras formas de producción de energía.

 **1970. La crisis del petróleo** vuelve a replantear el panorama energético mundial y prolifera el Molino Multipala Americano.

 **1980 – 1990.** La contaminación ambiental empieza a tomarse en consideración y en Europa y EE.UU. se da un impulso a la Energía Eólica.

 **1990 – 2000.** La generación de electricidad a gran escala mediante tecnología eólica es una realidad y la escasez de petróleo ocasionada por la guerra del Golfo Pérsico impulsa notablemente la investigación y desarrollo de esta tecnología.

2. FORMACIÓN DEL VIENTO

Se estima que entre el 1% y el 2% de la energía que nos llega del sol se acaba transformando en energía eólica.

2.1. FUNDAMENTOS

La formación del viento tiene como origen el calentamiento desigual de las distintas zonas de la superficie y de la atmósfera terrestre, lo que ocasiona la circulación de las masas de aire en el globo. Este calentamiento desigual está afectado por diversos factores como las estaciones del año, el movimiento de rotación de la tierra, la distribución de los continentes y los océanos, etc.

El aire caliente se vuelve más ligero (al agitarse sus moléculas y perder densidad) y se desplaza hacia arriba. En este proceso su lugar es ocupado por masas de aire más frías y su movimiento genera corrientes de convección en todo el planeta, tanto ascendentes como descendentes.



Formación de las Células Convectivas en el Planeta
Fuente: windpower.org

A gran escala, existe una serie de corrientes de viento dominantes que circulan por todo el planeta en la capa de la estratosfera. Estos **vientos globales** se rigen por los cambios de temperatura y de presión atmosférica, pero también por otros factores, como la fuerza de Coriolis.

El viento del hemisferio norte tiende a girar en el sentido de las agujas del reloj cuando se acerca a los centros de altas presiones (anticiclones) y en sentido contrario entorno a las bajas presiones (borrascas). En el hemisferio sur lo hace en dirección opuesta a ambos caso.

En cada hemisferio aparecen dos franjas de vientos con carácter predominante. En las latitudes bajas los vientos **Alisios**, y otra en las latitudes superiores al paralelo 40°.

El sol calienta más al ecuador que al resto del planeta por lo que las diferencias de temperatura marcan la circulación del viento (del Ecuador a los Polos). Se consideran **Vientos Globales** o Geofísicos a los superiores a los 1000 metros de altitud.

El ecuador es una zona de baja circulación de aire horizontal.

2.2. LOS VIENTOS LOCALES

Por otro lado, cerca de la superficie terrestre, a nivel local, soplan otros vientos más específicos caracterizados por el relieve del terreno y otras variables como la rugosidad o la altura. Se consideran **Vientos Locales** o de superficie a los de cotas inferiores a 100 metros.

Estos vientos están íntimamente relacionados con los siguientes factores:

-  El calentamiento diferenciado en distintas superficies origina las brisas marinas, vientos de montaña, etc.
-  Los accidentes geográficos condicionan la circulación de vientos regionales o locales.
-  En las costas se dan usualmente vientos suaves, las brisas marinas y terrestres.
-  Las zonas de los estrechos entre dos mares son zonas de confluencia con predominancia de vientos muy fuertes.
-  Los valles de los ríos encauzan corrientes de aire paralelas a las de agua.

La rugosidad del terreno determina el rozamiento al que se verá sometido el viento en su desplazamiento. Esto provoca una variación de la velocidad del viento en función de la altura.

Por otro lado, la presencia en una misma área de distintas rugosidades generan unas turbulencias que dificultan el aprovechamiento del viento a poca distancia de la superficie.

-  En superficies muy rugosas, bosques o ciudades, se causarán turbulencias y el viento será frenado. En superficies lisas como el mar se favorecerá el desplazamiento del aire, tendiendo a ser más intenso y uniforme.

2.3. INTERACCIÓN DEL VIENTO CON EL TERRENO

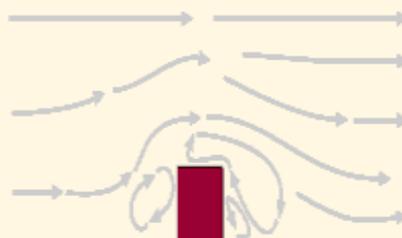
En las zonas cercanas a la superficie el viento es frenado y modificado en su trayectoria por la interacción con el terreno y ciertos obstáculos.

Utilizaremos la siguiente expresión como primera aproximación para conocer el aumento de la velocidad del viento en función de la altura:

$$V(h) = V_0 \cdot \left(\frac{h}{h_0}\right)^\alpha$$

V(h) = Velocidad del viento a la altura h del suelo
 V₀ = Velocidad conocida a una altura h₀
 h = Altura a la que se quiere estimar la velocidad
 h₀ = Altura de referencia

α = Valor que depende de la rugosidad existente en el emplazamiento



Estimación del valor de α para distintos tipos de terreno	
Liso (mar, nieve, arena)	0,10 – 0,13
Rugosidad moderada (hierbas, prados, cultivos)	0,13 – 0,20
Rugoso (bosques, edificaciones)	0,20 – 0,27
Muy rugoso (ciudades, y grandes construcciones)	0,27 – 0,40

3. CARACTERIZACIÓN DEL VIENTO

A la hora de conocer las características del viento en un determinado punto, habrá que atender tanto a la presencia de los vientos globales como los locales, pudiendo predominar en unas ocasiones unos y en otras otros.

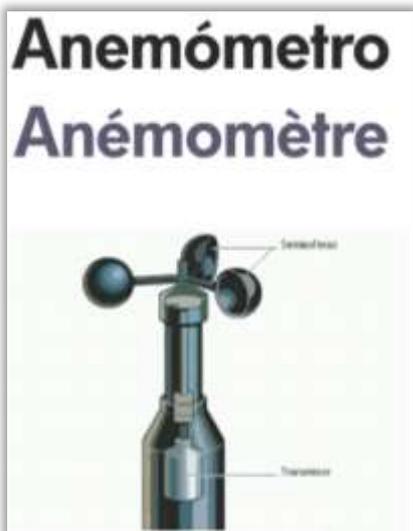
Las magnitudes a analizar para caracterizar el viento de un emplazamiento son su intensidad (velocidad) y dirección.



Para la determinación de la velocidad se utilizan los **anemómetros**. Podemos tener diferentes tipos en función del principio físico al que respondan.

- ✓ Rotacionales: de cazoletas, hélice o canalones.
- ✓ De presión: de tubo de Pitot, de ráfagas, etc.
- ✓ Otros: de hilo caliente, globos sondas, etc.

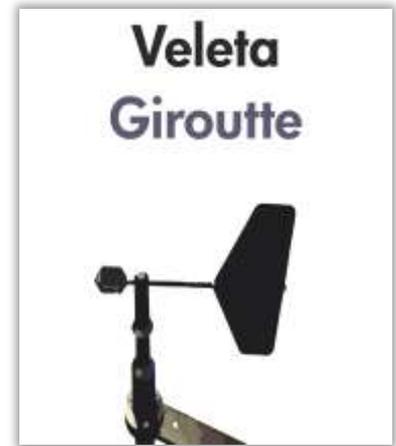
Podemos decir que los más comunes corresponden a los de tipo rotación, concretamente los de cazoletas.



Elaboración Propia.



Para la determinación de la dirección del viento se utilizan las veletas, las cuales se orientan continuamente en función de la dirección del mismo.



Elaboración Propia.

Tanto los valores correspondientes al anemómetro como a la veleta, se pueden llevar en forma mecánica o eléctrica sobre un panel indicador, registro de papel, etc. para su visualización y registro de los mismos.

La precisión de las medidas es determinante, un error de un 10% en la medida, se traduce en un error de un 30% en la producción energética.

Con la recopilación de estas variables debemos elaborar los siguientes estudios:



Velocidad media del viento y distribución de frecuencias.



Distribución de frecuencias de dirección.



Variación del viento con la altura y la posición. Estadística de ráfagas y valores extremos.

3.1. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LOS DATOS

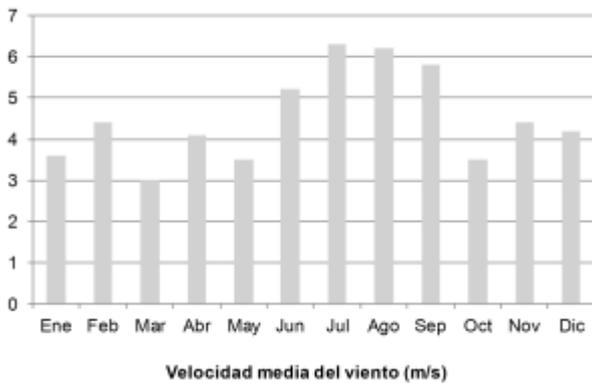
Los datos de viento registrados deben someterse a un tratamiento estadístico que mejore el análisis y comprensión de su comportamiento en el emplazamiento.

Citaremos las herramientas más utilizadas para tal fin:



Distribuciones temporales.

Representan el valor de la velocidad del viento para un intervalo de tiempo determinado. El intervalo de tiempo a considerar puede ser desde 24 horas (representando las velocidades medias horarias), a anual (representando la velocidad media mensual).



Distribución temporal de la velocidad del viento. Elaboración propia.



Distribución de frecuencias.

En este tipo de diagramas se representa el porcentaje (%) de horas en las que la velocidad del viento se encuentra dentro de determinados valores, respecto a una escala de tiempo determinada (mensual, anual, etc.).



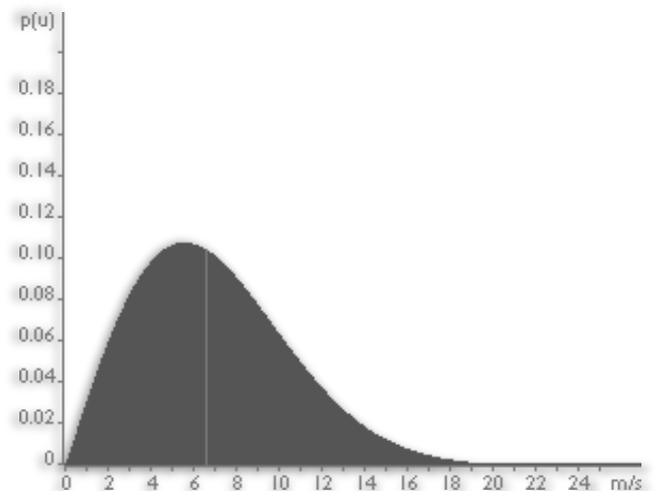
Curvas de frecuencias.

Normalmente, las velocidades de viento de un emplazamiento determinan que los fuertes vendavales son raros, mientras que los vientos suaves y moderados son bastante comunes.

Se suele utilizar una distribución de probabilidad (**Distribución de Weibull**) para obtener una curva continua donde en los valores “discretos” anteriores, porcentajes de horas a las que el viento sopla a una determinada velocidad, se sustituyen por un valor de “probabilidad” de que la velocidad del viento se encuentre entre unos valores dados.

Por términos generales, las curvas de densidad de probabilidad no suelen ser simétricas. Su base tenderá a ser más estrecha cuanto más constante sea el viento del emplazamiento. Por el contrario será más alargada para representaciones con velocidades del viento con valores más alejados de la media.

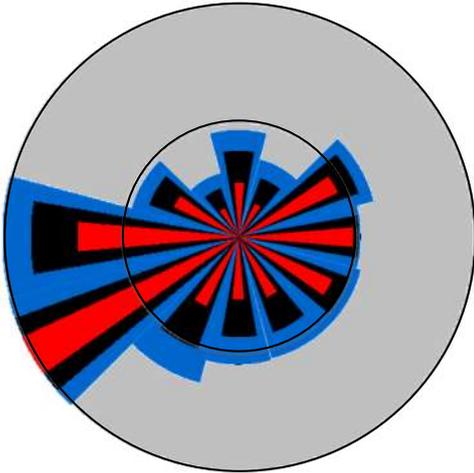
Distribución de Weibull tipo. Elaboración propia





Rosa de los vientos.

La rosa de los vientos es un método de representación gráfico que nos muestra las distribuciones de velocidades del viento y la frecuencia de variación en la dirección del mismo.



Ejemplo de Rosa de los Vientos.
Elaboración propia

Se representa de la siguiente forma:

- ✓ Se divide el círculo en 12 sectores, cada uno de ellos de 30° (aunque se puede optar por dividir en más o menos subsectores). La cuña externa en color azul nos marca la dirección (% del tiempo que el viento sopla en esa dirección).
- ✓ La 2ª cuña, en color negro, nos marca la contribución de cada sector de dirección a la velocidad media.
- ✓ La cuña interior, de color roja nos da información de la contribución de cada sector a la energía contenida en el viento. Esta es realmente la más interesante.

Para realizar una rosa de vientos es necesario contar con datos meteorológicos de al menos un año.

No obstante, los modelos eólicos y el contenido energético del viento pueden variar de un año a otro, por lo que es conveniente contar con datos meteorológicos históricos.

No todos los vientos disponen del potencial necesario como para generar energía. Normalmente, para que las palas de un aerogenerador puedan generar energía se necesitan vientos moderados por encima de los 4 m/s y por debajo de los 25.



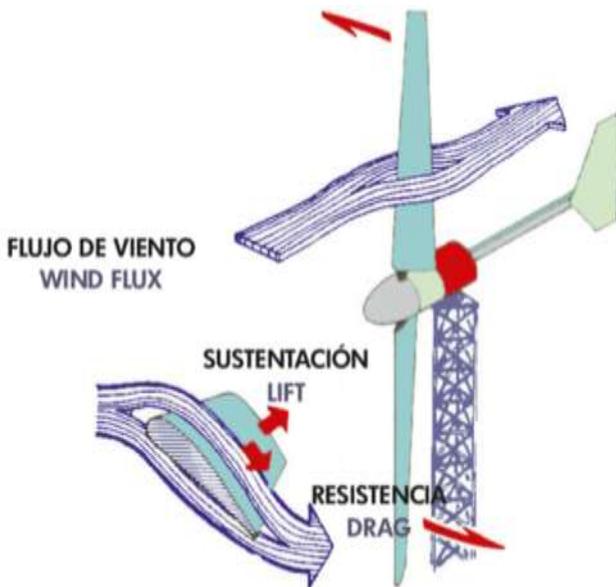
Fuente personal

4. ENERGÍA DISPONIBLE EN EL VIENTO

La masa de aire en movimiento es energía cinética y gracias a los aerogeneradores podemos convertirla en energía eléctrica.



Al incidir el viento sobre las palas de una aeroturbina se produce un trabajo mecánico de rotación que mueve a su vez un generador para producir electricidad.

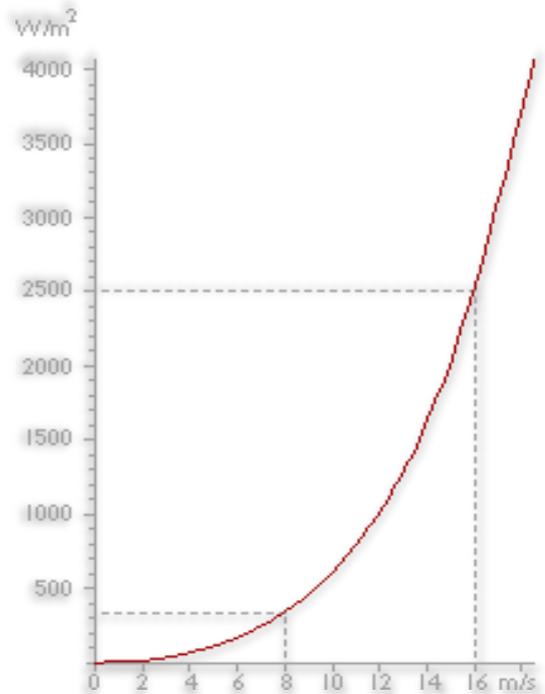


Acción del viento sobre las palas del aerogenerador.

La cantidad de energía que contiene el viento antes de pasar por un rotor en movimiento depende de tres parámetros:

4.1. LA VELOCIDAD DEL VIENTO INCIDENTE

Es el factor determinante ya que la energía cinética del viento aumenta proporcionalmente al cubo de la velocidad a la que se mueve.



Representación de la variación de la energía cinética contenida en el viento respecto a la velocidad del mismo.

La energía que contiene el viento antes de pasar por el rotor del aerogenerador se puede cuantificar mediante la siguiente expresión:

$$P = \left(\frac{1}{2}\right) \rho S V^3$$

P = Potencia en W

ρ = Densidad del aire en kg/m³

S = Superficie o área barrida por el rotor en m²

V = Velocidad del viento en m/s

4.2. LA DENSIDAD DEL AIRE

La energía contenida en el viento aumenta directamente proporcional a la densidad del aire. La densidad del aire está determinada principalmente por la temperatura y la presión atmosférica por lo que:



Bajo las mismas condiciones, cuando el aire se enfría y aumenta de peso al volverse más denso, transferirá más energía al aerogenerador.



Por el contrario, cuando el aire está más caliente, o cuando se asciende en altitud, su densidad disminuye por lo que será menor la energía que podamos extraer de él.



Freedigitalphotos.net

En la parte posterior de la turbina nos encontraremos con una estela que podríamos definir como una larga cola de bastante turbulenta y ralentizada, si se compara con el viento que llega a la turbina.

En la creación de dicha estela, se da el siguiente fenómeno: Dado que el viento se comporta como un fluido, y para que el caudal de viento que incide sobre el aerogenerador sea el mismo tras abandonarlo, la única posibilidad tras disminuir la velocidad del viento en la turbina será que la superficie ocupada por éste aumente al abandonarla.

En todo caso se debe cumplir que: $V_1 * S_1 = V_2 * S_2$

4.3. EL ÁREA BARRIDA POR EL ROTOR

Cuanto más aire en movimiento sea capaz de capturar un aerogenerador más energía cinética obtendrá.

Dado que el área del rotor aumenta con el cuadrado del diámetro del rotor, una turbina que sea dos veces más grande recibirá $2^2 = 2 \times 2 =$ cuatro veces más energía (esta parte la desarrollaremos más adelante).

4.4. EFECTO ESTELA

El efecto estela es un fenómeno producido por la interacción de las propias aspas del aerogenerador con el viento. Es lógico pensar que el viento que abandona la turbina tenga menor contenido energético que el que incidió inicialmente ya que una parte de este es la que hemos logrado aprovechar para producir electricidad (recordemos la ley de conservación de la energía):

“La energía ni se crea ni se destruye, sólo se transforma”



Representación del desvío del viento tras la interacción con una turbina eólica. Fuente: windpower.org

Este aumento de sección en la masa de aire, junto con el movimiento rotacional creado por la turbina eólica da de sí una zona de turbulencia tras del aerogenerador.

4.5. LIMITANTES

A pesar de que la energía cinética contenida en el viento es muy grande, ésta no puede aprovecharse al 100% por los aerogeneradores:



En primer lugar, debido a que hacerlo implicaría detener por completo el viento, y esto impediría que éste pasara de forma continua a través de las palas de la turbina. El **Límite de Betz** establece que como máximo puede obtenerse el 59% de la energía que llega al rotor.



En segundo lugar se encuentran las pérdidas del proceso. En el interior de la propia máquina, la transformación de la energía cinética a energía eléctrica tiene unas pérdidas.

Pérdidas

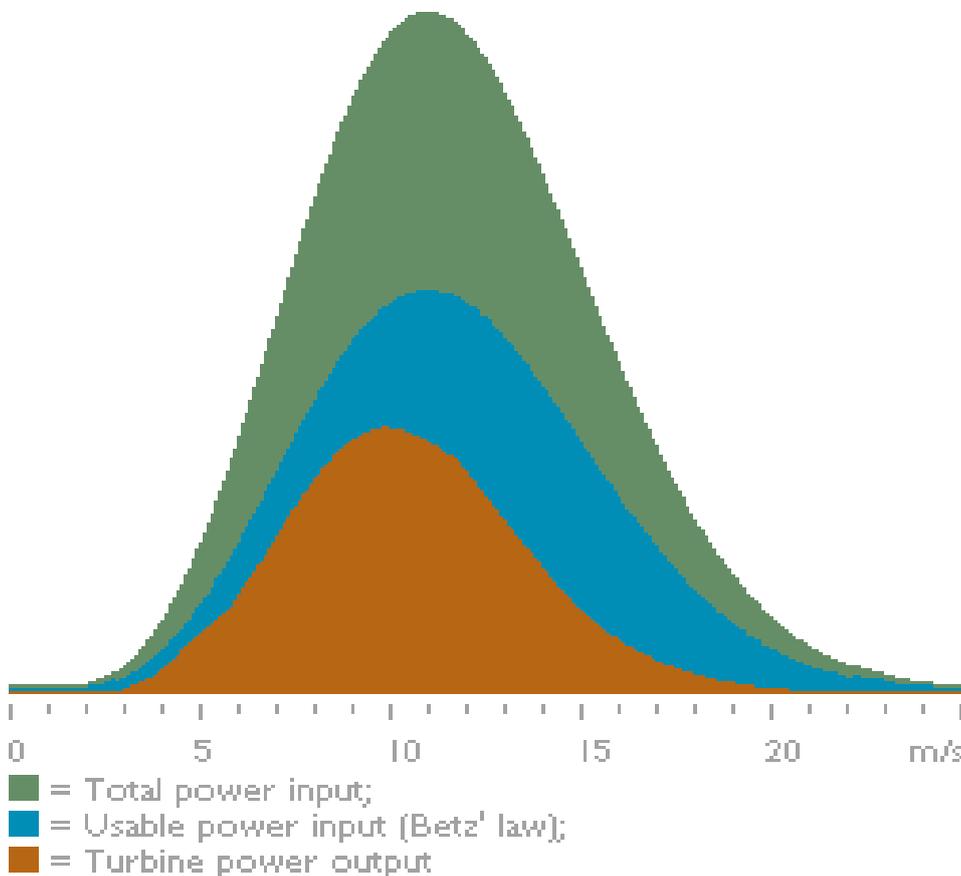
Con la tecnología disponible, la energía que se puede aprovechar con un aerogenerador ronda el 40% de la energía incidente.

Un porcentaje muy alto, pues supone extraer la mayor parte de la energía una vez aplicado el Límite de Betz.



Por otra parte, la mayor parte de la energía contenida en el viento está por encima de la velocidad media (vimos que a mayor velocidad, mayor contenido energético en el viento).

Los aerogeneradores tienen una **velocidad de arranque**, el área por debajo de esta velocidad (entre 3-5 m/s) es energía que no podemos aprovechar. Asimismo está la **velocidad de corte**. Por encima de los 25 m/s tampoco se puede aprovechar.



Representación de la energía disponible en el viento en relación al potencial establecido por el límite de Betz y la tecnología disponible. Elaboración Propia.



Uno de los obstáculos fundamentales que debe superar la energía eólica es el relativo a su variabilidad. Esto ocasiona un problema para la integración de grandes potencias con origen eólico en el sistema eléctrico. Las fluctuaciones de producción de los mismos pueden afectar directamente a la gestión de la demanda, poniendo en riesgo la calidad de suministro.

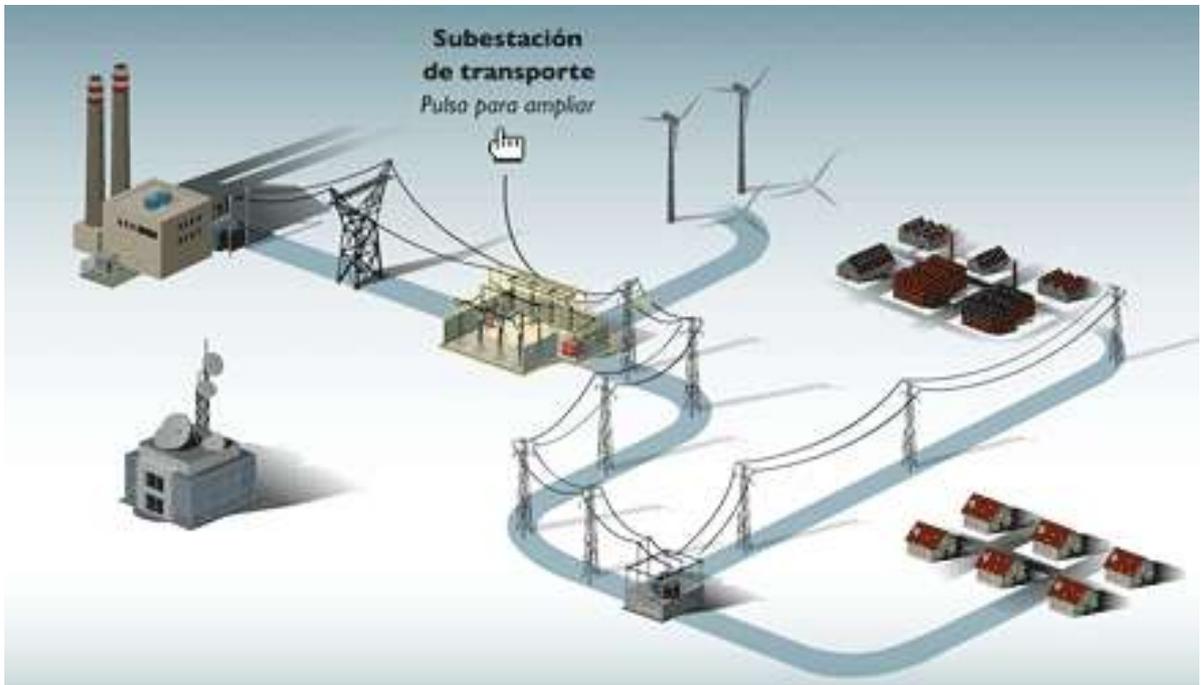
Para controlar esto se recurre básicamente a los sistemas de predicción meteorológica y los centros de control asociados al parque. De esta manera, se puede conocer en cada instante la predicción de producción a un corto plazo y gestionar el exceso en caso necesario.

El centro de control puede disminuir, o incluso detener, la capacidad de producción del parque. Con las infraestructuras adecuadas se podría incluso destinar este exceso de producción a un sistema de acumulación de energía asociado.

Funcionamiento del Sistema Eléctrico:

En todo sistema eléctrico la principal condición que se debe dar es que instantáneamente la generación de energía se equipare a los consumos. Es una condición esencial para mantener las garantías de suministro.

Por ello, las fuentes de energías renovables con dificultad para adaptarse a las curvas de demanda del sistema tienen un límite de aportación al mismo. Este factor se agrava en sistemas independientes o de reducido tamaño.



Representación del Sistema Eléctrico. Fuente: Red Eléctrica de España.

5. CARACTERIZACIÓN Y ELECCIÓN DE UN AEROGENERADOR

En las siguientes gráficas se muestran los valores correspondientes a la curva de potencia y C_p de un aerogenerador tipo. Destacamos los siguientes parámetros como característicos del mismo.



Velocidad de arranque. A la velocidad de 3 m/s se considera que este aerogenerador comienza a producir. Potencia de 18 kW con un C_p de 0,27.



Rendimiento Máximo. A la velocidad de 9 m/s se logra el máximo rendimiento del aerogenerador. Se obtienen 892 kW con un C_p de 0,50.



Régimen a potencia nominal. Rango de velocidades de viento a las que se obtiene la máxima potencia. Desde los 16 m/s hasta los 24 m/s se obtiene una potencia de 2310 kW, con valores de C_p desde 0,23 hasta 0,07.



Velocidad máxima. Es la velocidad máxima de operación. A partir de esta entrarán en funcionamiento los sistemas de protección.

Importante: si bien el máximo C_p lo obtenemos a 9 m/s (0,50), este no es el rango de potencia nominal al que el aerogenerador puede operar. El diseño del mismo hace que a partir de 9 m/s su rendimiento empeore gradualmente. No obstante, y dado que la energía cinética del viento aumenta proporcionalmente al cubo de la velocidad, según aumenta esta tendremos mayor energía disponible en el aerogenerador, que es lo que nos interesa.

La potencia nominal se suele utilizar para clasificar un aerogenerador. Esto no es correcto si lo que pretendemos es comparar turbinas, ya que la potencia nominal representa la capacidad de generación máxima que puede suministrar cada máquina pero no indica cómo se comporta hasta llegar a ese punto. **Siempre aplicaremos la curva de potencia.**

Caracterización de un aerogenerador.

El **coeficiente de potencia** (C_p) nos indica la eficiencia del aerogenerador. Relaciona la potencia eléctrica disponible frente a la potencia eólica de entrada.

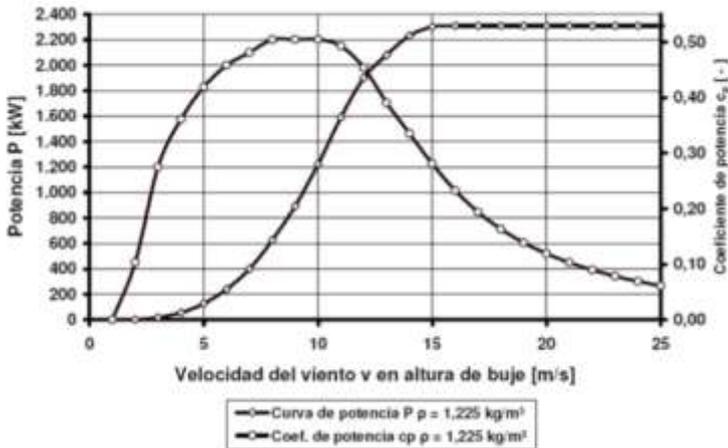
- ✓ Tiene el máximo teórico del 59%, límite de Betz, y estará afectado por la eficiencia de todos los componentes del aerogenerador.

La **curva de potencia** nos relaciona la potencia ofrecida por el aerogenerador en relación a la velocidad del viento.

Densidad del aire standard, $\rho=1,225 \text{ kg/m}^3$

Velocidad del Viento (m/s)	Curva de potencia P (kW)	Coef. De potencia C_p (-)
1	0,0	0,00
2	2,0	0,10
3	18,0	0,27
4	56,0	0,36
5	127,0	0,42
6	240,0	0,46
7	400,0	0,48
8	626,0	0,50
9	892,0	0,50
10	1223,0	0,50
11	1590,0	0,49
12	1900,0	0,45
13	2080,0	0,39
14	2230,0	0,34
15	2300,0	0,28
16	2310,0	0,23
17	2310,0	0,19
18	2310,0	0,16
19	2310,0	0,14
20	2310,0	0,12
21	2310,0	0,10
22	2310,0	0,09
23	2310,0	0,08
24	2310,0	0,07
25	2310,0	0,06

Representación de la curva de potencia y coeficiente de potencia de un aerogenerador. Elaboración propia.



Como podemos observar, a la hora de seleccionar un determinado aerogenerador será esencial conocer las características del viento en el lugar. El objetivo será disponer de la máxima potencia posible en relación a las frecuencias de velocidades del emplazamiento. De forma simplificada:

 Primero se analizará la información del emplazamiento por meses y por direcciones (Rosa de los vientos). Esto quiere decir que para cada mes de toma de medidas se calculará el potencial del recurso eólico, y además, para cada dirección principal.

 Se analizan los meses que arrojan un mayor recurso eólico así como la dirección del viento con los meses de mayor velocidad.

 En función de una gama de aerogeneradores iniciales, cada uno con una altura de rotor determinada, estudiamos la energía disponible en el rotor para cada caso. Ahora conocemos cuánta energía contiene el viento para cada mes del año y para cada altura de rotor.

 Se calcula cuánta energía es aprovechada por cada rotor en función de la curva de potencia y la distribución de Weibull.

Para poder hacer un cálculo simple, lo que tendríamos que hacer es multiplicar para cada velocidad de viento, su probabilidad por el valor de la curva de potencia del aerogenerador.

Haciendo sumatorio de todas estas potencias obtendríamos la potencia disponible media, y sólo tendríamos que multiplicarla por las horas que tiene un año para obtener la energía producida para este periodo.

Para un estudio detallado utilizaríamos aplicaciones que nos permitan hacer los cálculos con variación de la velocidad en 0,1 m/s.

Sería un importante **ERROR** considerar que se puede prescindir del diagrama de Weibull, basándonos en el promedio de las velocidades del viento para calcular la velocidad media de este y utilizarlo para los cálculos de potencia.

Deberá ponderar la probabilidad de cada velocidad del viento con la correspondiente cantidad de potencia que nos ofrezca nuestro aerogenerador

 Aunque en primera instancia ya tenemos el aerogenerador que más produce en nuestro emplazamiento, ésta es sólo una parte del estudio ya que es ahora cuando entran en juego el análisis de las variables económicas, principalmente en relación al coste de cada aerogenerador.

La mejor turbina no tiene por qué ser la de mayor producción anual, sino la que ofrezca el mayor número de kWh al año a un menor precio.

6. EL TAMAÑO DEL AEROGENERADOR

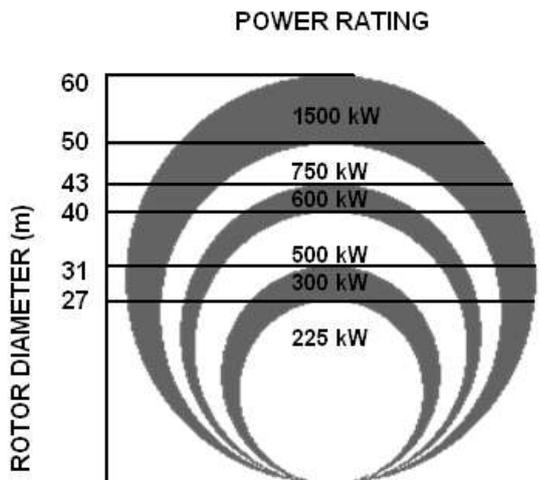
Tal y como vimos en el apartado 4, correspondiente a la energía disponible en el viento, uno de los factores determinantes es el tamaño del área barrida por el rotor.



Cuanto más aire en movimiento sea capaz de capturar un aerogenerador más energía cinética obtendrá.

Dado que el área del rotor aumenta con el cuadrado del diámetro del rotor, una turbina que sea dos veces más grande recibirá $2^2 = 2 \times 2 =$ cuatro veces más energía.

En base a esto, presentamos la siguiente gráfica, donde en función del diámetro del rotor podemos obtener distintas potencias en el aerogenerador.



Relación de potencia frente a diámetro de rotor.
Elaboración propia.

No obstante, no siempre elegiremos la turbina de mayor tamaño. A continuación citamos ciertos aspectos característicos de unas y otras.



Para grandes turbinas.

- ✓ La economía de escala hace que los proyectos con grandes aerogeneradores tiendan a ser más

rentables ya que consiguen suministrar electricidad a un coste más bajo (las cimentaciones, construcción de accesos, conexiones a la red eléctrica, otros componentes, etc.) son prácticamente independientes del tamaño de máquina.

- ✓ Para proyectos tipo Offshore (parques eólicos en el mar), las máquinas más grandes están mejor adaptadas (tanto las cimentaciones como los costes de mantenimiento son prácticamente independientes del tamaño).
- ✓ En situaciones en las que encontrar un emplazamiento con un recurso eólico de calidad es complicado, la mejor forma de aprovecharlo es instalar turbinas de mayor tamaño.



Para turbinas de menor tamaño.

- ✓ La red eléctrica local puede ser demasiado débil para asimilar la producción de energía de una gran máquina. Este sería el caso de poblaciones remotas y aisladas con pequeños consumos.
- ✓ Así mismo, la integridad de este tipo de redes puede verse seriamente afectada por los cambios drásticos de producción. Este puede ser el caso en la instalación de una gran máquina (tanto por circunstancias del viento como por avería o parada), y no así en grupos de máquinas de menor capacidad.
- ✓ Pueden existir costes excesivos a consecuencia del transporte y montaje de grandes componentes en determinados emplazamientos.

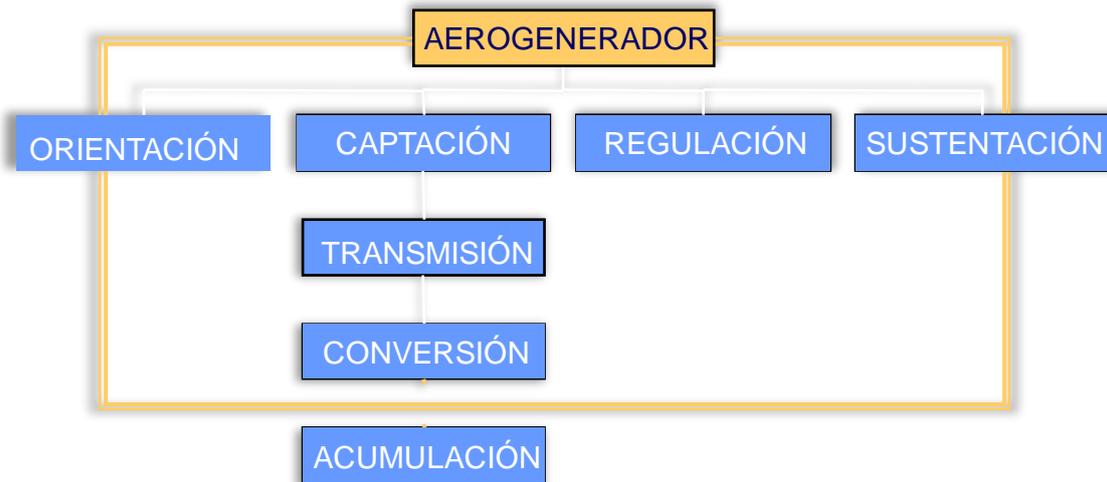
Por otro lado, los motivos estéticos pueden perjudicar o beneficiar tanto a un tipo como a otro.

7. LAS MÁQUINAS EÓLICAS ACTUALES

Actualmente el desarrollo de los aerogeneradores se está caracterizando por varios aspectos:

- ✎ Existe una tendencia generalizada al aumento de potencias nominales. Cada vez se desarrollan máquinas más grandes, llegando a 7 MW para instalaciones On Shore.
- ✎ Cada vez hay una apuesta más firme y se mejora la tecnología para las aplicaciones Off Shore.
- ✎ Desarrollo de mejores y avanzados materiales para su construcción.
- ✎ Sofisticados sistemas electrónicos de control.
- ✎ Reducción de los costes de fabricación y explotación.

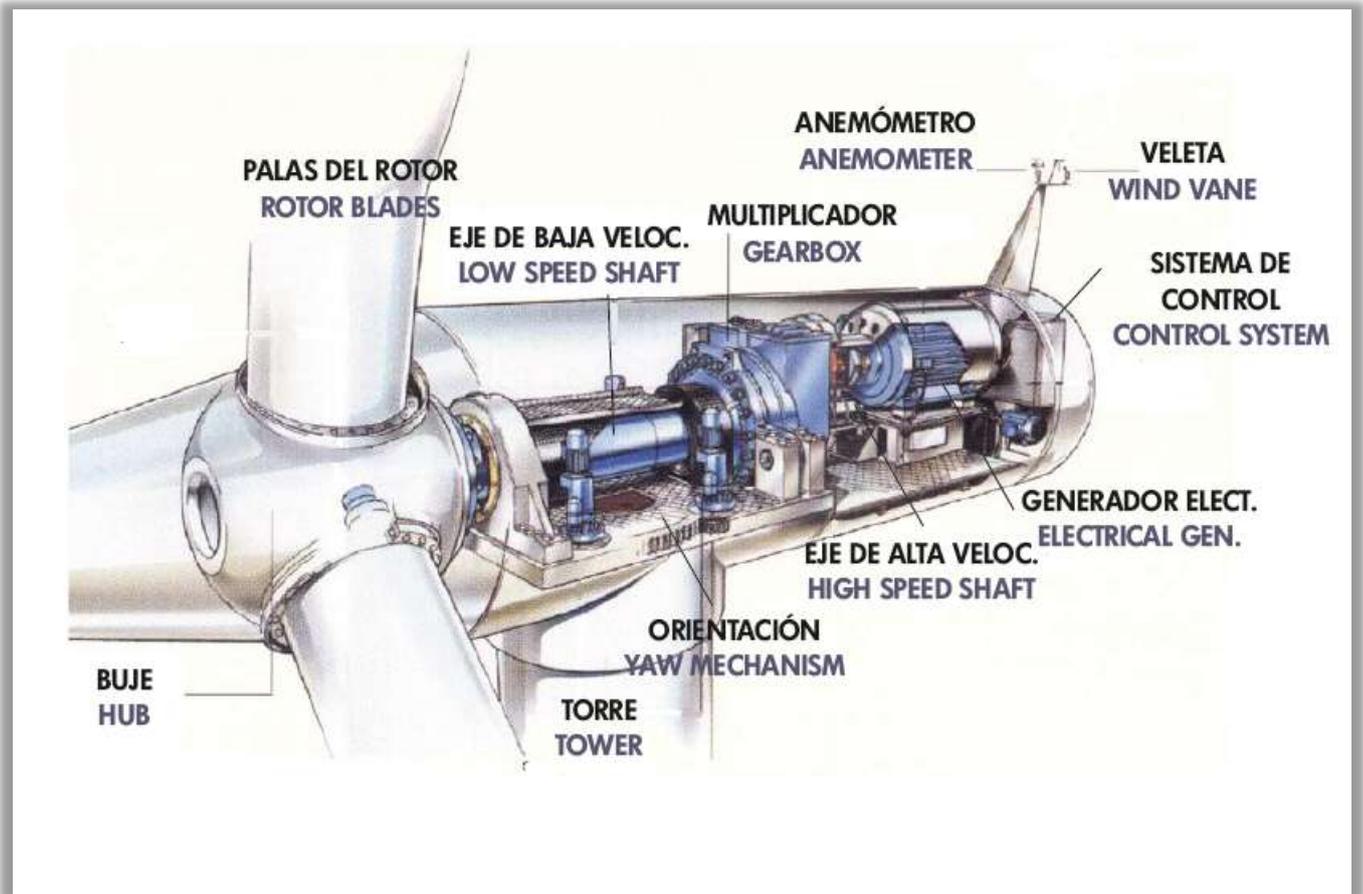
En el siguiente esquema resumimos las prestaciones básicas a las que debe responder un aerogenerador.



Elaboración propia.

Para definir las partes fundamentales de un aerogenerador nos centraremos en su variante más extendida, los de eje horizontal. Estos están conformados por:

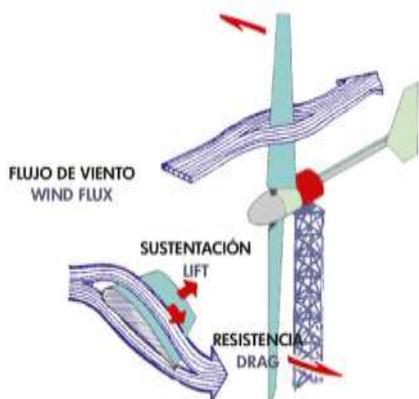
- ✎ Rotor: palas y buje.
- ✎ Góndola.
- ✎ Multiplicador.
- ✎ Generador eléctrico.
- ✎ Control.
- ✎ Orientación
- ✎ Anemómetro y veleta.
- ✎ Torre.



Componentes de un aerogenerador.
Elaboración propia.

7.1. ROTOR: PALAS Y BUJE

El rotor de un aerogenerador está constituido por las palas y buje que las sustenta. Su superficie determina el área de captación y como hemos visto es directamente proporcional a la energía captada del viento.



Las palas de los aerogeneradores se basan, al igual que la industria de la aviación, en los principios de la aeronáutica. En este caso se usa la resistencia y la sustentación del viento no solo para extraer la máxima energía, sino también para controlar el funcionamiento de la propia máquina.

De esta parte dependerá en gran medida la curva de potencia de nuestra máquina. Ésta estará marcada en función de si las palas pueden rotar sobre sí mismas o no. Tendremos así palas de:

7.1.1. Paso fijo

En este caso las palas están fijas y no variarán nunca su posición con respecto al buje.

Acción del viento sobre las palas del aerogenerador.
Elaboración propia

7.1.2. Paso variable

Este tipo las palas pueden rotar sobre su propio eje gracias a los mecanismo que se alojan en el interior del buje. El paso variable permite una mejor adaptación de la pala a la velocidad del viento incidente, y por consiguiente, tienen mayor producción de energía.

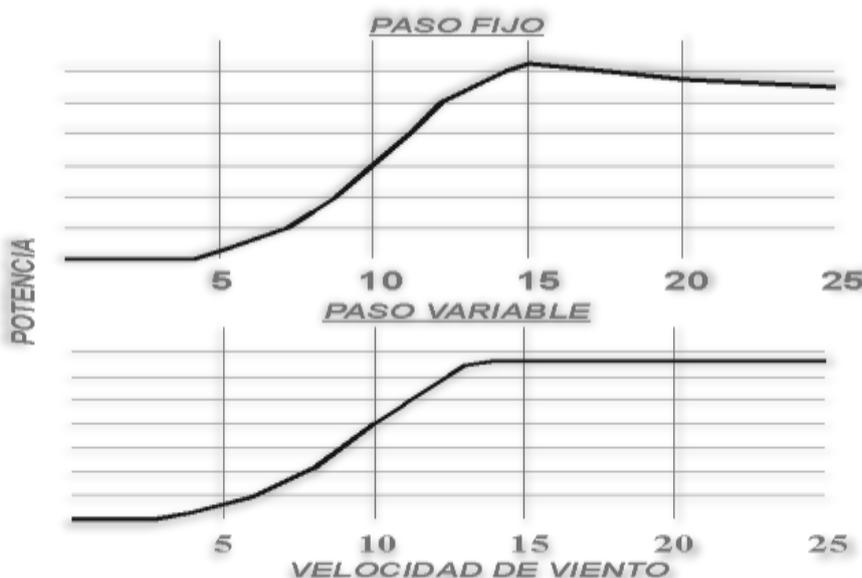
Por ejemplo, a velocidades bajas de viento, bastará con colocar las palas en un ángulo en el que encuentren la fuerza suficiente para que comiencen a girar. Por el contrario, si el viento se vuelve demasiado fuerte, entonces se giran en sentido contrario, no ofrecerán resistencia al paso del viento y el rotor se irá deteniendo.

Es importante destacar que, tanto en el paso fijo como variable, el diseño debe permitir el control del aerogenerador, por lo que a velocidades de viento muy altas ambos casos tienen un sistema de protección que permite frenar el movimiento de las aspas. Tal y como hemos dicho, en el paso variable se girará la pala hasta crear una resistencia mínima al movimiento.

En el paso fijo, el diseño del propio perfil hará que entre en pérdida, aunque también puede venir provisto de un sistema de aerofreno.

En la siguiente gráfica se puede observar la diferencia en la curva de potencia de un aerogenerador con paso fijo y otro de tipo variable. Podemos destacar que en el paso variable:

-  La gráfica es más lineal y con menos fluctuaciones.
-  Tiene una velocidad de arranque menor.
-  La potencia nominal es mayor y la logra alcanzar a menores velocidades de viento.
-  Una vez es alcanzada la velocidad nominal, el paso variable lo consigue mantener constante a medida que aumenta la velocidad del viento. Por el contrario, el paso fijo alcanza un máximo y a partir de aquí la potencia nominal empieza a descender.



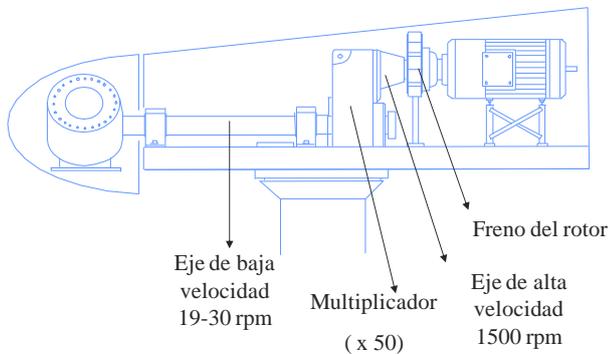
Comparación de la curva de potencia de un aerogenerador con paso fijo y otro con paso variable. Elaboración propia.

7.2. GÓNDOLA

Se trata del conjunto formado por el bastidor, donde se aloja toda la maquinaria descrita (a excepción del rotor y la torre), y la carcasa, el elemento protector que lo mantiene aislado de las condiciones externas. Todo el conjunto recibe el nombre de góndola.

7.3. EL MULTIPLICADOR

El multiplicador tiene la función de adaptar la baja velocidad de rotación del eje del rotor a las necesidades del generador de electricidad, por lo general más altas.



Representación de un multiplicador y sus elementos.
Elaboración propia

En función del tipo de generador, las necesidades de giro pueden ser unas u otras. Por ejemplo los de 4 polos necesitan que el eje gire a 1500 vueltas para producir electricidad a 50 Hz.

Existen máquinas con generadores de 96 polos que no llevan multiplicador, porque con ese número de polos no les hace falta tantas vueltas.

Si usásemos un generador ordinario, directamente conectado a una red trifásica de CA a 50 Hz, con dos, cuatro o seis polos, deberíamos tener una turbina de velocidad extremadamente alta, de entre 1000 y 3000 revoluciones por minuto (r.p.m.).

Con un rotor de 43 metros de diámetro, necesitaríamos una velocidad en el

extremo del rotor de más del doble de la velocidad del sonido, así que deberíamos abandonar esta opción.

7.4. EL GENERADOR ELÉCTRICO

Es el elemento que realiza la conversión de la energía mecánica, proveniente de la transmisión, en energía eléctrica, que se inyecta a la red o a otro punto de consumo.



Según la Ley de Faraday, si movemos un conductor en un campo magnético se genera una corriente eléctrica.

Es el elemento central del sistema eléctrico, y a partir del mismo se dimensionan los restantes elementos y sistemas de control y supervisión.

Pueden ser de corriente continua (CC) o corriente alterna (CA). Normalmente se elige CA, no sólo por la relación peso/potencia, sino por su capacidad de generar electricidad a tensiones más elevadas.

Los generadores pueden ser de tipo asíncrono o síncrono y a continuación pasaremos a describir las características más importantes de cada tipo:

7.4.1. Síncrono



Diseño correspondiente a las turbinas más modernas.



No necesitan de la caja multiplicadora.



Se trata de un generador de excitación independiente multipolar, y está directamente acoplado al rotor eólico.



Se acoplan a la red a través de un convertidor de frecuencia.

7.4.2. Asíncrono.



Es el diseño estándar más utilizado.



Funcionamiento basado, como el de toda máquina de CA, en la existencia de un campo magnético giratorio.



La velocidad de sincronismo es la velocidad del campo y está conectado a red directamente a través de un transformador.

Las ventajas del asíncrono frente al síncrono son debidas a su bajo precio, robustez, sencillez o más fácil enganche a la red. Por el contrario, presentan la desventaja de que requieren una compensación de potencia reactiva externa y tienen un rendimiento algo menor.

7.5. EL SISTEMA DE CONTROL

Dentro del sistema de control debemos distinguir entre la parte de **regulación**, se encarga de regular la velocidad de operación, y la de **control**, que permite parar y arrancar la máquina a voluntad, parada automática en caso de averías, etc.

En términos generales destacamos las siguientes funciones:



Controlar la máquina para obtener el mejor rendimiento posible.



Monitorización de los parámetros de velocidad y dirección de viento, temperatura, etc.



Chequeo de la velocidad de viento necesaria para arrancar la máquina, o para pararla en caso de ser excesivo.



Tareas de almacenamiento de datos de la turbina: horas de funcionamiento, energía generada y consumida, etc.

7.6. SISTEMA DE ORIENTACIÓN

El sistema de orientación lo que busca es mantener al aerogenerador en la posición en la que se ofrezca la menor resistencia al viento posible. Esto suele ser perpendicular al mismo. Para esta función se sirve de los datos tomados por el anemómetro y la veleta, que conectados al sistema de control y regulación de la máquina, le da la posición a la que debe orientarse.



Casi todos los aerogeneradores de eje horizontal emplean orientación forzada, es decir, utilizan un mecanismo que mantiene la turbina orientada en contra del viento mediante motores eléctricos y multiplicadores.



Dado que los cables por los que vierte energía el molino descienden desde la góndola por el interior de la torre, cuando esta gira para orientarse se puede producir un estrangulamiento de los mismos.

Hay un límite de tensión que soportan dichos conductores por lo que los aerogeneradores disponen de un sensor que indica el momento en el que se deben “desenrollar” los mismos. En este momento es posible ver como el aerogenerador da vueltas sobre si mismo para recuperar la posición.

7.7. SUSTENTACIÓN

Es el sistema que permite elevar la turbina, permitiendo su giro y colocándola a una altura en la que la velocidad de viento es más elevada. Sostiene a la góndola y el rotor.

Las torres son tronco-cónicas (es decir, con un diámetro creciente hacia la base), con el fin de aumentar su resistencia y al mismo tiempo ahorrar material. Pueden ser de dos tipos, tubular y de celosía.



La ventaja básica de las torres de celosía es su coste. Por razones estéticas, las torres de celosía han desaparecido prácticamente en los grandes aerogeneradores modernos.



Para molinos pequeños se suelen utilizar mástiles con tensores.



Tanto las torres de celosía como los mástiles ofrecen menos resistencia al viento, provocando menos turbulencias.

8. EL PARQUE EÓLICO

Se define como aquella instalación de producción energética abastecida por la energía del viento y constituida por un aerogenerador o la agrupación de los mismos.

Así mismo, entenderemos como la **Potencia Instalada** en el parque a la suma de las potencias nominales de los aerogeneradores por los que está compuesto.

El número de máquinas que componen el parque dependerá de varios factores, como el terreno disponible, si se conecta a la red eléctrica o no, la velocidad de viento, la legislación de la zona, etc.

8.1. MODOS DE CONEXIÓN DE UN PARQUE

Podemos distinguir los siguientes modos de conexión:

8.1.1. Parques eólicos conectados a red

Son aquellos en los que toda la energía producida es inyectada a la red.

Los parques **Off Shore** (los instalados en el mar) pertenecen a esta categoría ya que están conectados a una red eléctrica específica para que estos puedan inyectar la energía producida en el sistema.



Parque Eólico en el Instituto Tecnológico y de Energías Renovables de Tenerife.

8.1.2. Parques eólicos en régimen de autoconsumo

En este caso el parque está conectado en paralelo a la red eléctrica. Recibe energía de la misma para el mantenimiento y operatividad del mismo pero la mayoría de la energía producida se destina al autoconsumo de una instalación asociada, o a un grupo de consumidores. El modelo exacto de aplicación de este sistema también dependerá de la legislación vigente en el lugar.

8.1.3. Parques eólicos aislados

En este caso estaremos hablando de instalaciones que no disponen de interconexión alguna con la red eléctrica, y su finalidad es de autoabastecer energéticamente un consumo puntual.

9. DISEÑO DEL PARQUE EÓLICO

A la hora de optimizar la captación de energía disponible en un determinado emplazamiento será indispensable estudiar ciertos factores. Las condiciones del viento en el lugar, la orografía del terreno, el tipo de aerogeneradores a utilizar y la ubicación de los mismos son los aspectos más importantes. Las características de la red eléctrica en la zona y la legislación vigente son otros aspectos que determinarán las características del parque.

9.1. EL EMPLAZAMIENTO

A la hora de seleccionar nuestro emplazamiento deberemos estudiar los siguientes aspectos:



Las condiciones eólicas del lugar. Elaboración de los estudios ya mencionados en los capítulos anteriores.



Buscar terrenos abiertos, sin obstáculos y con una rugosidad lo más baja posible.



Estudio del medio ambiente del lugar y la posible interacción del parque eólico con el mismo.



Estudio de los parques eólicos de la zona, así como la posible afección sobre el nuestro.



La topografía es fundamental para instalar las máquinas, así como para planificar la infraestructura eléctrica y la obra civil. Esta parte puede tener una especial relevancia ya que en muchas ocasiones los mejores emplazamientos se encuentran aislados, sin vías de acceso y/o infraestructuras eléctricas cercanas.

Parque Eólico en el Instituto Tecnológico y de Energías Renovables de Tenerife.



9.2. LA RED DE EVACUACIÓN

Para parques eólicos conectados a la red eléctrica, el caso más habitual, hay que tener en cuenta las características de la misma, si se trata de una red fuerte o débil, así como la legislación y requerimientos necesarios para conectarse a dicha red.



Para parques eólicos pequeños será necesario tener una red de acceso relativamente cerca. El coste de construcción de una red específica para evacuar la energía puede ser un obstáculo para proyectos pequeños.

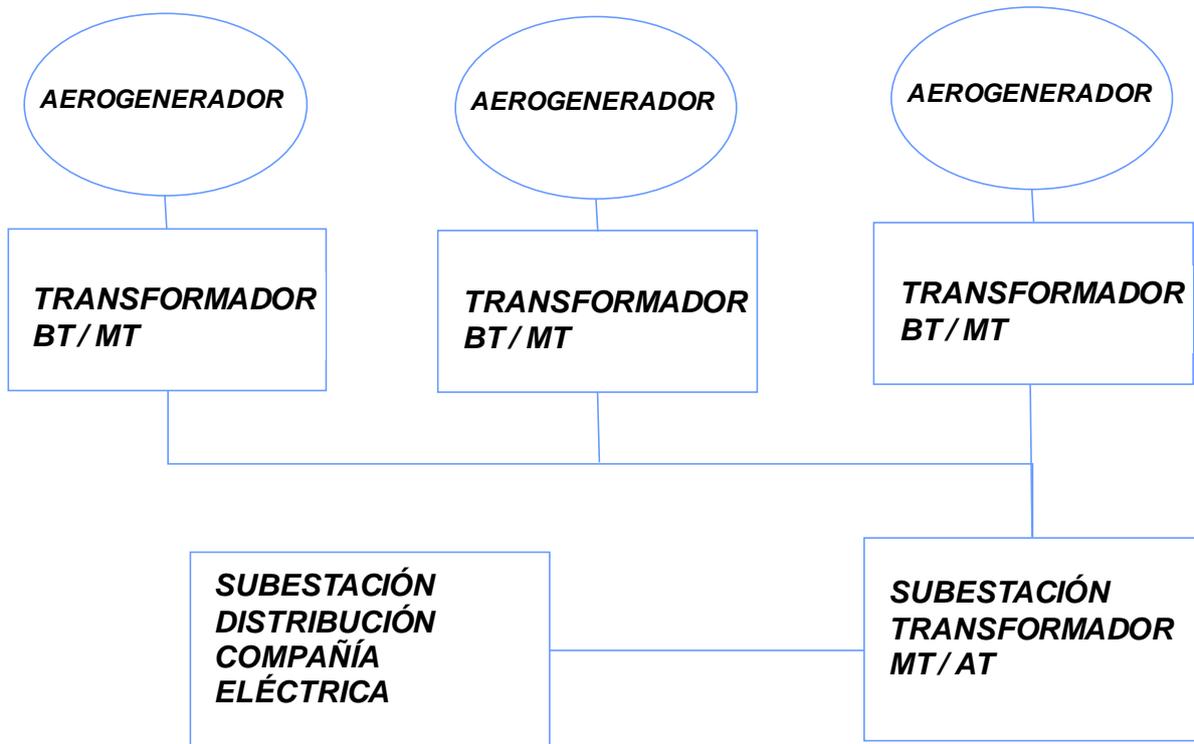


Los generadores de las grandes turbinas eólicas generalmente producen la electricidad a 690 V. Un transformador de la propia máquina eleva la tensión, normalmente de 10 a 30 kV, distribuyéndola en la red interna del parque.



La red eléctrica de acceso deberá ser capaz de recibir esta energía. Si la red está saturada, o el propio parque es de una potencia muy superior a lo que la red puede admitir, la misma puede necesitar de una inversión extra para su refuerzo.

Esquema con las distintas fases de transformación necesarias para inyectar la energía producida por un parque eólico. Elaboración propia.



9.3. SELECCIÓN Y UBICACIÓN DE LOS AEROGENERADORES

Habrá que elegir el tamaño, tipo y potencia más apropiado para la zona, teniendo en cuenta que el objetivo es instalar la mayor potencia en el menor espacio.



Se elegirá el que tenga su potencia nominal cercana a la velocidad media de la zona.



Se tendrá en cuenta la distribución del viento en altura para seleccionar el tamaño de la torre.



Cada emplazamiento tiene una distribución anual de velocidades y direcciones. Habrá que colocar las máquinas de modo que la energía captada sea máxima.



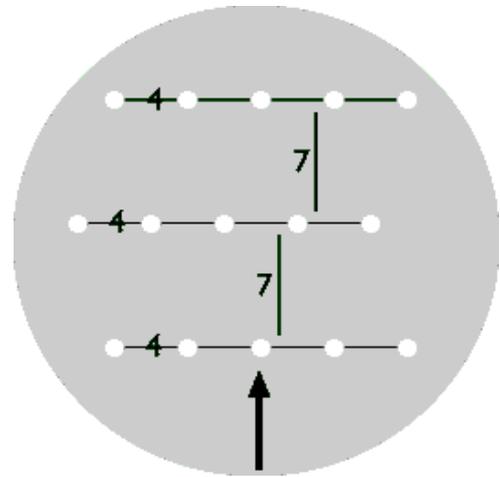
Para evitar que nuestros propios aerogeneradores se estorben unos a otros mantendremos como mínimo las siguientes distancias entre rotores.

- ✓ De un aerogenerador a otro (lateralmente) la distancia equivalente a 1,5 – 3 el diámetro del rotor.
- ✓ Entre fila y fila de aerogeneradores la distancia equivalente a 4 – 7 el diámetro del rotor.

El Efecto Parque

La pérdida de energía debida al efecto del parque puede predeterminarse a partir del rotor de la turbina eólica, la rosa de los vientos, la distribución de Weibull y la rugosidad en las diferentes direcciones. De esta forma se puede conocer el efecto de apantallamiento entre aerogeneradores.

Se estima una pérdida de referencia de alrededor del 5 por ciento.



Esquema de separación entre aerogeneradores. Elaboración propia.



Utilización de la Rosa de los Vientos

Utilizar la rosa de los vientos puede ser muy útil para seleccionar el adecuado emplazamiento de los aerogeneradores. Podrá determinar si el viento predominante viene en una dirección particular, el caso más favorable. Podrá valorar la menor incidencia causada por posibles obstáculos en esa dirección.

Recordemos que los modelos eólicos pueden variar de un año a otro, así como el contenido energético. Por ello, lo más conveniente es tener observaciones de varios años.

10. ESTUDIO MEDIOAMBIENTAL

Una parte muy importante a la hora de estudiar la ejecución de un parque eólico es el desarrollo de un estudio medioambiental. Este estudio lo podemos dividir en las siguientes etapas:

10.1. IMPACTO VISUAL

Se trata del aspecto menos cuantificable y más subjetivo. Según encuestas a nivel europeo, la sociedad prefiere:

-  Rotores tripala con torre tubular y color neutro.
-  Varias unidades de gran tamaño en vez de muchas pequeñas.
-  Máquinas distribuidas en una sola línea, en vez de en varias, particularmente en terrenos llanos.

En áreas llanas suele ser una buena idea situar las turbinas en una distribución geométrica simple, fácilmente perceptible por el espectador. Las turbinas situadas equidistantemente a lo largo de una línea recta es una buena solución.

-  Evaluar las ubicaciones con grandes pendientes es tarea difícil ya que depende desde dónde se mire el parque.
-  Colores neutros: blanco o gris claro. En zonas verdes, se suele degradar la base en tonos verdes.
-  Las máquinas grandes, giran a menor velocidad, el impacto visual es menor.



Parque Eólico en el Instituto Tecnológico y de Energías Renovables de Tenerife.

10.2. EL NIVEL DE RUIDO

Dentro de la operación de un parque eólico podemos distinguir dos tipos de ruidos. El correspondiente a los elementos mecánicos, como ejemplo el movimiento de la góndola para orientar el aerogenerador, o aerodinámico, correspondiente al giro de las palas.

Su valoración dependerá del ruido de fondo y distancia a zonas habitadas.

La legislación en la zona será determinante en este aspecto.

-  En Canarias, 150m a vivienda habitada y 250m a núcleos de población.

El ruido de los aerogeneradores se ha convertido en un problema secundario, y estos se diseñan con puntas de pala cada vez más silenciosas.

10.3. IMPACTO EN LA AVIFAUNA

Un parque eólico puede afectar a la avifauna por el impacto de las aspas con las aves rapaces y planeadoras. Las líneas aéreas de alta tensión son igualmente peligrosas.



Los tendidos eléctricos aéreos, incluidos los de los mismos parques, son mucho más peligrosos que los aerogeneradores en sí mismos.

La realidad es que, en el caso del impacto de las aspas, estudios han demostrado que una línea de turbinas de 1 km de largo causa a las aves un daño comparable a una autovía o autopista de la misma longitud y, en determinadas circunstancias, sería un 90% menos dañina que una línea de 1 km de alto voltaje.



Las aves cambian su trayectoria antes de llegar a los molinos (200m) para elevar su vuelo y pasar sobre las máquinas a una distancia segura.

Con lo que respecta al ganado no hay impacto alguno.



Freedigitalphotos.net

10.4. CONTAMINACIÓN

Niveles NULOS de emisión de contaminantes.

El único residuo que produce el parque durante su operación es el relativo a los lubricantes de la maquinaria. Estos residuos deben ser manipulados y tratados de acuerdo con los protocolos de operación del parque. Con las medidas de mantenimiento adecuadas, no se debe crear afección alguna al medio ambiente.

Un aerogenerador de última generación genera en 2 ó 3 meses la energía equivalente a la empleada en su fabricación.

Este tiempo de recuperación de energía ha ido disminuyendo desde los principios de esta tecnología. Los primeros molinos destinados a la generación eléctrica (1980) tardaban un año en recuperar la energía empleada en su fabricación.

En las aplicaciones offshore, se recupera todavía antes, ya que estas máquinas producen hasta un 50% más de energía.



Lo esencial en este apartado es garantizar que tras la vida útil del parque eólico, este es desmantelado adecuadamente, procurando dejar la zona tal y como estaba anterior a las instalaciones, llevando todos los residuos a un punto de reciclaje aptos a los mismo.



BLOQUE IV: ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

BLOQUE IV: ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

OBJETO: Este bloque desarrolla los conceptos fundamentales relacionados con la energía solar fotovoltaica. A través del mismo, se le proporcionará al alumno una visión general del estado actual de la tecnología. Además, se pretende que el alumno obtenga los conocimientos necesarios para evaluar el recurso solar de una región, así como dimensionar sistemas fotovoltaicos conectados y aislados de la red eléctrica.

1. INTRODUCCIÓN

Hasta finales de los años 90 era Estados Unidos quien poseía la mayor potencia instalada de fotovoltaica a nivel mundial. Sin embargo, el rápido crecimiento de Japón y Europa hizo que en los años 1999 y 2002 respectivamente, superasen por primera vez a Estados Unidos.

La potencia instalada de energía solar fotovoltaica ha experimentado un crecimiento exponencial en los últimos años, debido principalmente a los mecanismos de fomento de algunos países. A finales de 2011, la potencia acumulada en el mundo era de aproximadamente 70.000 MWp, de la cual, un 71% se localizó en la Unión Europea. En el siguiente gráfico, se observa la distribución mundial de la potencia fotovoltaica en el periodo 2000-2011.



ROW: Resto del Mundo
 MEA: Medio Oriente y África
 APAC: Asia

Fuente: EPIA. Asociación de la Industria Fotovoltaica Europea

2. HISTORIA

El efecto fotovoltaico fue descubierto por primera vez en 1839 por el físico francés Alexandre-Edmond Becquerel, sus estudios sobre el espectro solar, magnetismo, electricidad y óptica son el pilar científico de la energía fotovoltaica.

A partir de entonces, el desarrollo de la energía solar fotovoltaica ha seguido los siguientes acontecimientos:

-  **1883.** Charles Fritts, un inventor americano, fabrica la primera célula solar formada por dos placas de selenio y un fino electrodo de oro.
-  **1887.** Hertz, bajo la acción de la luz, los metales emiten cargas.
-  **1900.** Planck enunció la hipótesis de los fotones.
-  **1902.** Einstein interpretó la teoría de los fotones.
-  **1940.** Mott y Schottky enuncian la teoría de los diodos.
-  **1954.** Chaplin, Fueller y Perarson crearon la primera célula solar.
-  **1958.** Hoffman Electronics crea una célula que alcanza el 8% de eficiencia, que fue utilizada para alimentar el primer satélite que ha operado con energía solar, el Vanguard I (operó 8 años).
-  **1960.** Hoffman Electronics desarrolla una célula que alcanza el 14% de eficiencia.

Durante la década de los 90 y en los primeros años del siglo XXI, las células fotovoltaicas han experimentado un continuo descenso en su coste junto con una ligera mejora de su eficiencia.

Diversos factores permiten ser optimistas acerca del futuro de la energía solar fotovoltaica. En primer lugar se sitúan los avances tecnológicos que se suceden en torno a esta tecnología, por otro, el apoyo institucional recibido por dos de las grandes potencias comerciales y consumidoras del mundo, la Unión Europea y los Estados Unidos.



Freedigitalphotos.net

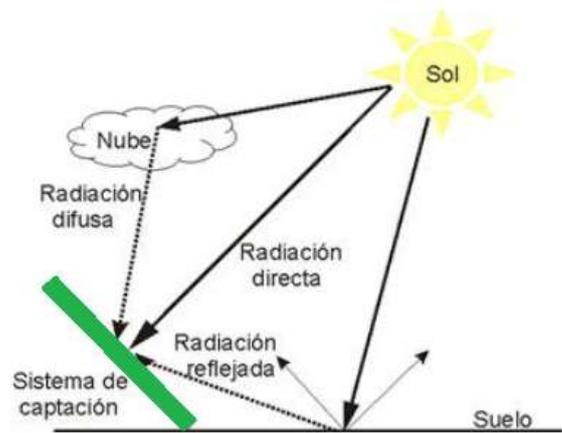
3. LA RADIACIÓN SOLAR

La cantidad de energía que se recibe del Sol anualmente se estima del orden de $1,49 \times 10^8$ kWh. Este valor es muy superior al consumo mundial, unas 16.000 veces aproximadamente. Se trata de una energía limpia, que emplea una fuente inagotable, siendo el tiempo de vida estimado del Sol unos 5.000 millones de años.

El problema radica en cómo convertir la energía solar, de un modo eficiente, en energía que pueda ser aprovechada. La tecnología actual va dirigida en dos direcciones, la **Conversión eléctrica** y la **Conversión térmica**.

La radiación solar es el flujo de energía que recibimos del Sol en forma de ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias:

-  **Infrarrojo:** muy abundantes pero poco energéticas, representa el 46% de la energía.
-  **Visible:** puede ser detectada por el ojo humano, representa el 47% de la energía.
-  **Ultravioleta:** poco abundantes, muy energéticas, representa el 7%.



Fuente: Elaboración propia

Fuera de la atmósfera, el espectro solar tiene una Irradiancia normal a la superficie de 1366W/m^2 (constante solar), en su paso por la atmósfera hasta llegar a la superficie de la Tierra, este espectro se modifica por la influencia de la atmósfera que absorbe, dispersa y refleja parte de esa radiación, recibiendo unos 1000W/m^2 (días despejados y aire transparente).

En un día despejado, con cielo limpio, la radiación directa es predominante sobre la radiación difusa.

En un día nublado no existe radiación directa y la totalidad de la radiación que incide es difusa.

La radiación global que llega a la superficie de la Tierra está formada por tres componentes:

-  **Radiación directa:** aquella que llega directamente del Sol sin haber sufrido cambio alguno en su dirección. Las más importe en aplicaciones fotovoltaicas.
-  **Radiación difusa:** sufre cambios de dirección en su paso por la atmósfera al ser reflejada y/o absorbida por las nubes o partículas de polvo.
-  **Albedo:** radiación reflejada por la superficie terrestre.

4. EL EFECTO FOTOVOLTAICO

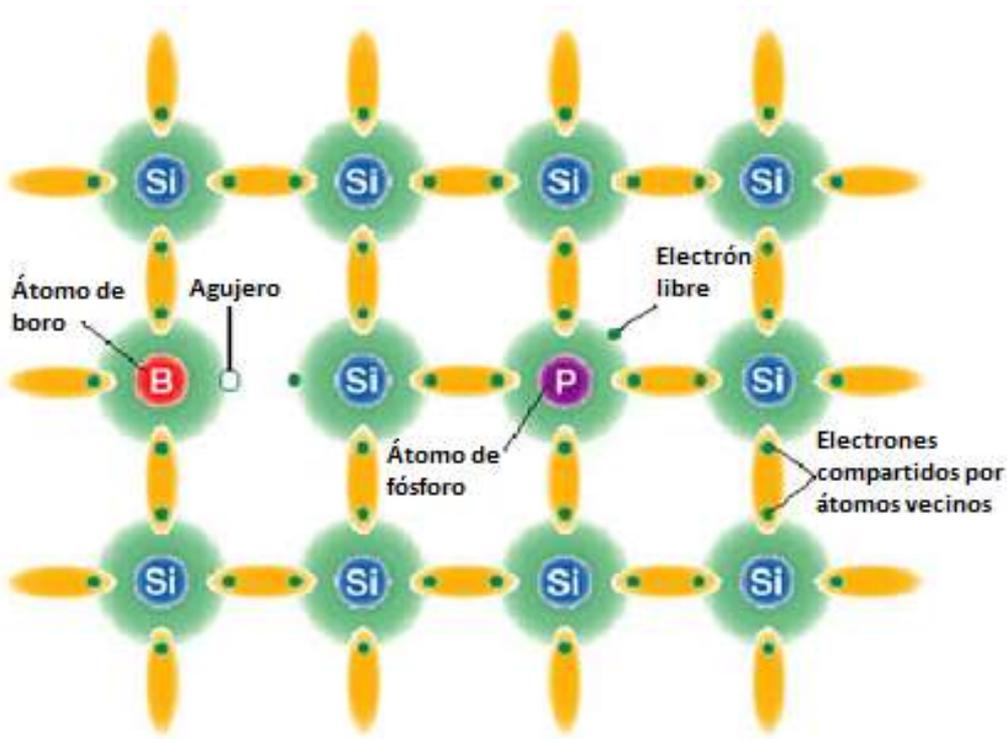
Consiste en la conservación de la energía que transportan los fotones de la luz incidentes sobre materiales semiconductores convenientemente tratados, en energía eléctrica capaz de impulsar electrones a través de un circuito exterior.

El fundamento de esta propiedad se debe a que los materiales que se utilizan son semiconductores (silicio principalmente), en los cuales los electrones de valencia están lo suficientemente poco ligados como para poder ser arrancados por la energía de los fotones incidentes.

Un átomo de silicio tiene 4 electrones de valencia, que se enlazan a los átomos adyacentes.



Substituyendo un átomo de silicio por un átomo que tenga 3 o 5 electrones, se producirá un espacio sin un electrón (agujero) o un electrón extra que puede moverse más libremente que los otros.

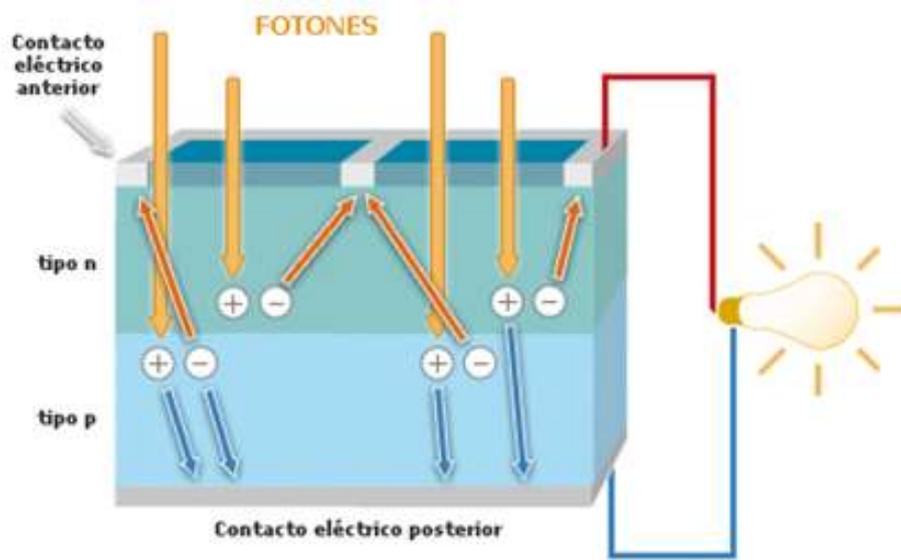


Fuente: Elaboración propia

Se hace preciso crear un campo interno al propio semiconductor para separar ambos tipos de cargas móviles, electrones y huecos, impidiéndoles recombinarse, es decir, restablecer los enlaces. De este modo se produce una corriente neta que atraviesa la célula solar.



La manera de realizar este campo eléctrico suele ser mediante una modificación de las propiedades electroquímicas del semiconductor que conducen a la formación de lo que se denomina unión P-N.



Representación de la unión P-N.
Fuente: Elaboración propia

5. LA CÉLULA FOTOVOLTAICA

Se trata de una unidad formada por materiales semiconductores capaces de producir una barrera potencial que haga posible el efecto fotovoltaico. Las células se interconexionan en serie para que los electrones expulsados de una región sean recogidos en la siguiente, comunicándoles energía adicional a fin de lograr una diferencia de potencial para el circuito exterior.

5.1. PROCESO DE FABRICACIÓN DE UNA CÉLULA FOTOVOLTAICA

En el proceso de fabricación de una célula fotovoltaica se distinguen las siguientes etapas:

 El silicio se obtiene principalmente de la **sílice (SiO₂)**, de la que por el método de reducción se extrae el silicio llamado de **grado metalúrgico (98% pureza)**, que

al no ser suficiente ha de volver a purificarse hasta llegar al silicio de **grado electrónico (99,9999% pureza)**.



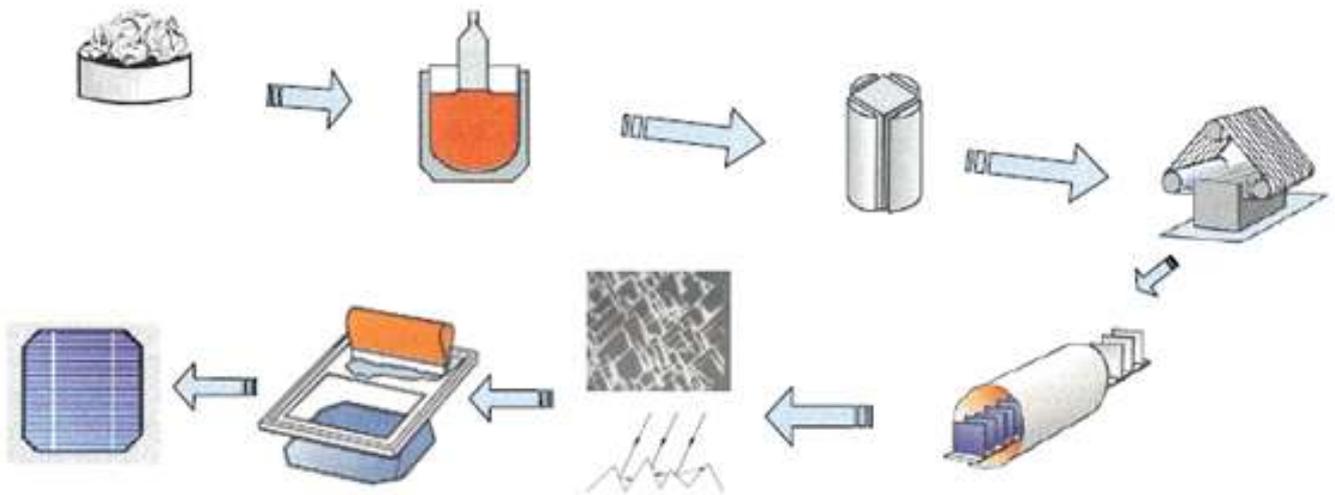
A continuación, comienza el proceso de fabricación propiamente dicho, que consiste en introducir el silicio de grado electrónico en un crisol junto con impurezas de boro para formar una masa fundida, llevándolo a una temperatura de 1400°C. Una vez todo el material se encuentra en estado líquido, se dispone de una varilla cuyo extremo tiene un germen de silicio que, al ponerse en contacto con la masa, da comienzo al proceso de **solidificación del material**.

- Una vez se obtiene el tocho de silicio, se **corta en finas obleas** que posteriormente se convertirán en células solares. El corte se realiza mediante sierras extremadamente precisas.
- La siguiente fase consiste en introducir las obleas en **baños químicos** para restaurar la capa superficial dañada por efecto del corte.
- A continuación se procede a **realizar la unión p-n** que formará la célula solar, para lo cual se introduce en hornos especiales a una temperatura entre 800°C y 1000°C durante un tiempo determinado y en una atmósfera cargada de átomos de fósforo.

Estos se irán difundiendo sobre la cara de la oblea que se quiere dopar con material tipo n.

- Después de los procesos realizados a la célula, está presenta una superficie que rechaza aproximadamente el 33% de la radiación solar incidente, por este motivo se procede a la aplicación de una **capa antirreflectante** que hace disminuir este valor, aumentando el rendimiento de la misma.

- Finalmente le provee a la célula de los **contactos eléctricos** capaces de recolectar los electrones que se liberan por acción de los fotones que contiene la luz.



Fuente: Elaboración propia

El proceso descrito puede ser más o menos complejo, incluso con nuevas etapas, en función del tipo de célula desarrollada y el rendimiento a obtener.

5.2. TIPOS DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

Se clasifican atendiendo a la naturaleza y características de los materiales semiconductores:

5.2.1. Célula de silicio monocristalina

Se obtienen de silicio puro el cual se funde en un crisol con una pequeña proporción de boro hasta formar una masa a 1400°C.



El rendimiento en laboratorio de estas células está entre un 14% y 23%, en módulos comerciales entre un 15%-16%.



Imagen de una célula monocristalina
Fuente: Elaboración propia

5.2.2. Célula de silicio policristalina

Se fabrican dejando solidificar lentamente en un molde rectangular la pasta de silicio, obteniendo un sólido formado por muchos cristales.



El rendimiento en laboratorio está entre un 19% y 20%, en módulos comerciales está entre un 12%-14%.

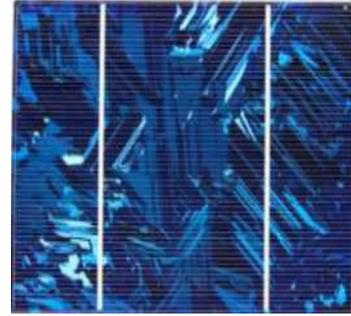


Imagen de una célula policristalina
Fuente: Elaboración propia

5.2.3. Células de silicio amorfo

Consiste en la incorporación de una pequeña cantidad de oxígeno y se caracteriza por ser 50 veces más finas que una célula de silicio monocristalino. Se caracteriza por una elevada velocidad de recombinación y alto coeficiente de absorción. El rendimiento en laboratorio está alrededor de un 16%, mientras que en módulos comerciales es inferior al 10%. Si bien el proceso de fabricación es más simple y barato que las anteriores, el principal problema reside en su degradación, que consiste en la pérdida de eficiencia de la célula como consecuencia de una exposición continuada a la luz.



Imagen de un módulo de silicio amorfo.
Fuente: Elaboración propia

5.2.4. Células de arseniuro de galio

Su principal problema es que es un material raro y poco abundante. Tiene un elevado coeficiente de absorción que hace que con poco material se obtenga una eficiencia elevada.



Tienen un rendimiento del 27% - 28%,

5.2.5. Células de sulfuro de cadmio y sulfuro de cobre

En estas células se utiliza poco material activo en un proceso de fácil fabricación. Su desventaja reside en la degradación que se produce con el paso del tiempo.



El rendimiento máximo en laboratorio es del 10% y en módulo comercial del 5%.

5.2.6. Células bifaciales

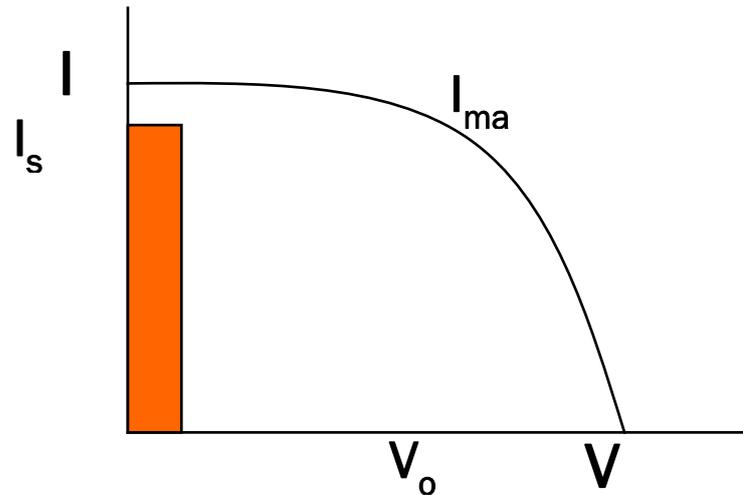
Se trata de células que son activas tanto por la cara frontal como por la cara posterior. Estas permiten captar la radiación frontal y la reflejada del suelo (albedo). Su costo es elevado ya que requieren de varios dopajes.



Rendimiento es cercano al 30%.

5.3. PARÁMETROS DE UNA CÉLULA FOTOVOLTAICA

A partir de la curva características I-V de una célula fotovoltaica se define su comportamiento y características eléctricas de la misma, tal y como se observa en la siguiente gráfica:



Curva I-V
Fuente: Elaboración propia

5.3.1. Intensidad de cortocircuito (I_{sc})

Es aquella que se mide entre bornes sin ninguna otra resistencia adicional provocando un cortocircuito

5.3.2. Tensión de circuito abierto (V_{oc})

Es la tensión máxima que puede dar una célula sin permitir que pase corriente.

5.3.3. Potencia pico (P)

Es la potencia eléctrica máxima que puede suministrar una célula cuando la resistencia del circuito exterior es tal que determina unos valores de intensidad y tensión, tales que su producto sea máximo.

$$P_{max} = I_{max} \times V_{max}$$

5.3.4. Factor de forma (FF)

Nos da la calidad de una célula fotovoltaica a partir de la medición de las variables intensidad y tensión.

$$FF = \frac{P}{I_{sc} \times V_{oc}} = \frac{I_{max} \times V_{max}}{I_{sc} \times V_{oc}}$$

$$P_{max} = I_{sc} \times V_{oc} \times FF$$

5.3.5. Eficiencia de la célula fotovoltaica, μ

El rendimiento se define como el cociente entre la potencia eléctrica máxima que puede suministrar una célula fotovoltaica y la potencia luminosa que incide sobre su superficie. El rendimiento tan bajo de las células fotovoltaicas se debe a los siguientes factores:

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

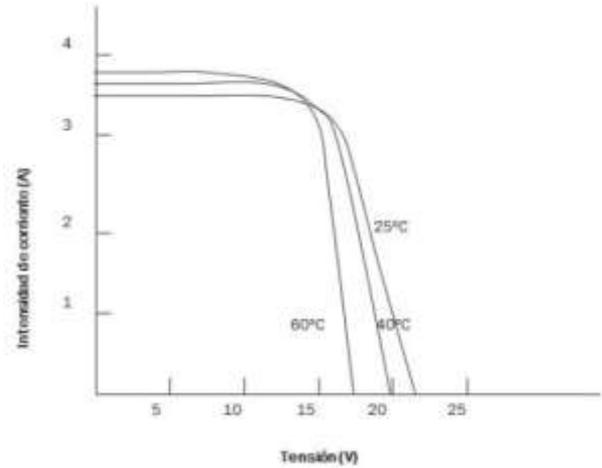
$$\mu = \frac{I_{sc} \times V_{oc} \times FF}{A \times P_{SOL}} \times 100$$

A = área de la célula fotovoltaica.

P_{SOL} = potencia luminosa por unidad de área (1.000 W/m²)

5.3.6. Variación de la curva I-V con la radiación

Tenemos que la intensidad aumenta con la radiación, permaneciendo más o menos constante el voltaje. Es importante conocer este efecto, ya que los valores de radiación solar cambian a lo largo del día y con las diferentes estaciones del año, en función del ángulo del sol con el horizonte.

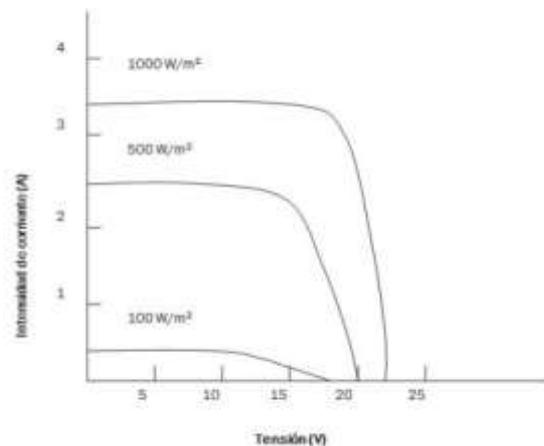


Fuente: Elaboración propia

5.3.7. Variación de la curva I-V con la temperatura

La exposición al sol de las células fotovoltaicas provoca su calentamiento, de tal modo que a medida que aumenta la temperatura, la tensión generada es menor, por ello se hace recomendable montar los módulos fotovoltaicos de tal modo que se garantice la ventilación de los mismos.

Por otro lado, la corriente aumenta por cada grado centígrado de aumento de temperatura por encima de 25°C, sin embargo, la caída de tensión es superior al aumento de temperatura, del tal modo que su producto, es decir la potencia, disminuye alrededor de un 0,5% por cada grado centígrado por encima de 25°C.



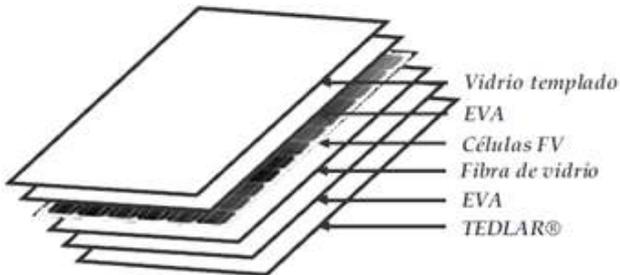
Fuente: Elaboración propia

6. FABRICACIÓN DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO

Un módulo fotovoltaico es un conjunto de células conectadas convenientemente, de tal forma que reúnan unas condiciones óptimas para su integración en sistemas de generación de energía.

El módulo fotovoltaico consta de diversas capas que recubren a las células por arriba y por abajo, con el fin de darles una protección mecánica, a la vez que las protegen contra los agentes atmosféricos.

La conexión de las células se realiza con soldaduras especiales que unen el dorso de una célula con la cara frontal de la adyacente. De forma general un módulo fotovoltaico está compuesto por los siguientes elementos:



Componentes de un módulo fotovoltaico
Fuente: Elaboración propia

Una vez se disponen las células fotovoltaicas debidamente seleccionadas, agrupadas e interconexionadas, se dispone el circuito eléctrico y se depositan por una parte el vidrio templado y una capa de encapsulante (EVA), y por la contraria, otra capa de encapsulante (EVA) y la de protección posterior (TEDLAR).

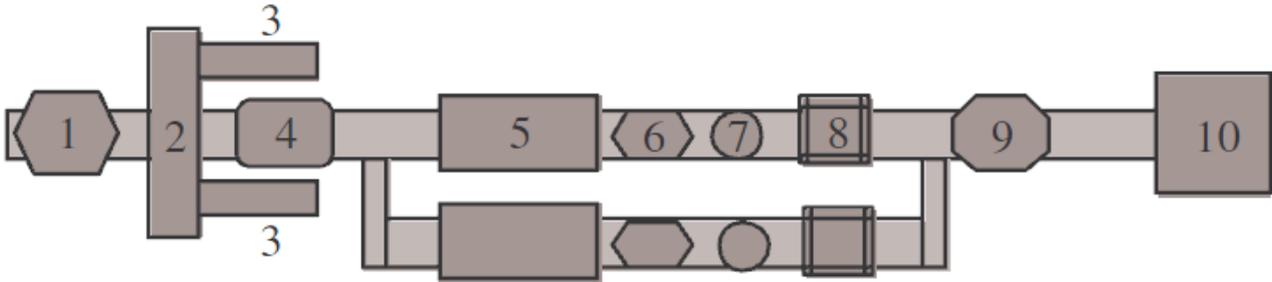
El conjunto anterior se introduce en un horno especial para su laminación, donde se realiza el vacío para hacer desaparecer el aire que pueda quedar en su interior. Seguidamente se va aumentando la temperatura, de tal forma que el encapsulante comienza a fundirse, rodeando totalmente a las células y contactos, a la vez que hace de adhesivo con el cristal y la capa posterior, quedando el conjunto estanco.

A continuación, se monta el marco soporte de aluminio mediante goma butílica o silicona, para permitir las dilataciones del conjunto por efecto del calor. El proceso siguiente consiste en incorporar las bornas de conexión y realizar las pruebas finales del módulo que permitirán su clasificación por potencias.

6.1. ETAPAS EN LA FABRICACIÓN

Las etapas de la cadena de montaje de un módulo fotovoltaico se representan en la siguiente figura:

Esquema de una fábrica de módulos fotovoltaicos
Fuente: Elaboración propia



1. Preparación del vidrio templado.
2. Posicionamiento y ordenamiento de las tiras de células que formarán el módulo.
3. Posicionamiento y soldadura de las células.
4. Soldadura del conexionado lateral que une las tiras de células solares electricamente entre sí.
5. Laminación.
6. Etapa de enfriamiento y giro del conjunto para volver a la laminación.
7. Corte del reborde de EVA y TEDLAR.
8. Montaje del marco de aluminio.
9. Montaje de la caja de contactos.
10. Se realiza un flash al módulo para obtener los valores característicos bajo condiciones estándar de medida (1.000 W/m², AM 1.5, 25°C).

Los módulos están diseñados para formar una estructura modular, siendo posible combinarlos entre sí en serie, en paralelo o de forma mixta, a fin de obtener la tensión e intensidad deseada.

El acoplamiento de varios módulos en serie produce un voltaje igual a la suma de los voltajes individuales de cada módulo, manteniéndose invariable la intensidad. En paralelo es la intensidad la que aumenta, permaneciendo igual el voltaje.

Es importante tener en cuenta que los módulos que se interconexionen deben tener la misma curva característica I-V, a fin de evitar descompensaciones.

La eficiencia de un módulo fotovoltaico se define como:

$$\mu = \frac{I_{sc} \times V_{oc} \times FF}{A \times P_{SOL}} \times 100$$

Donde:

A = área del módulo fotovoltaico.

P_{SOL} = potencia luminosa por unidad de área (1.000 W/m²).

6.2. PROCESO DE FABRICACIÓN

A continuación se ilustra mediante fotografías de la fábrica de módulos fotovoltaicos del ITER (Tenerife) el proceso de fabricación de un módulo fotovoltaico.



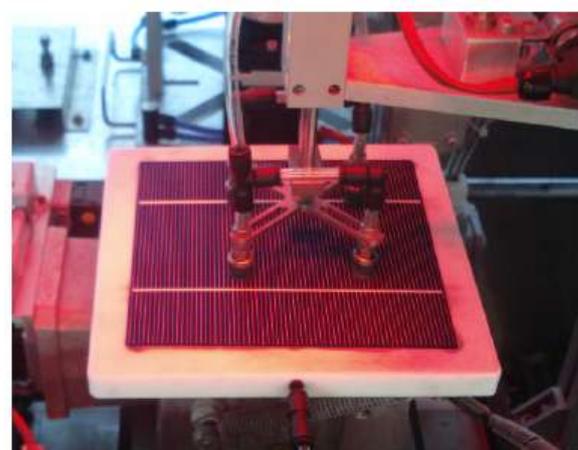
1. Clasificación de las células



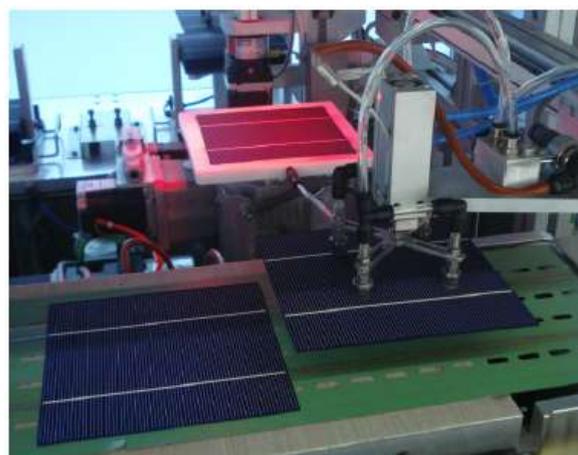
2. Alineamiento de ribbon



3. Máquina de soldadura



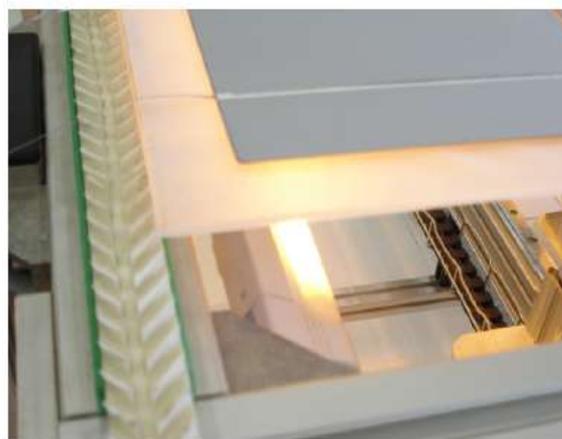
4. Centrado de las células



5. Cinturón de soldadura



6. Soldaduras con lámparas térmicas



9. Detalle de la mesa iluminada



7. Giro de las tiras



10. Detalle de la interconexión de las células



8. Tránsito a la mesa iluminada



11. Laminadora



12. Detalle del panel de control



15. Simulador solar



13. Recorte de los bordes sobrante



16. Marcos de aluminio



14. Cajas de conexiones

7. INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS

Una instalación fotovoltaica está formada por el conjunto de módulos fotovoltaicos, estructura soporte y demás componentes capaces de convertir la corriente continua a corriente alterna, adecuada a las condiciones técnicas de la red eléctrica a la que se conecte, o adecuada a los equipos a los que suministre energía.

7.1. APLICACIONES DE LAS INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS

En la actualidad son múltiples las aplicaciones que tienen las instalaciones fotovoltaicas, siendo las más importantes, y en muchos casos las únicas existentes, las siguientes:



Señalización y toma de datos

- ✓ Estaciones meteorológicas.
- ✓ Estaciones de medida medioambiental.
- ✓ Plataformas oceánicas de toma de datos.
- ✓ Redes de protección sísmica.
- ✓ Control y operación remota de presas.
- ✓ Protección civil.



Ayudas a la navegación

- ✓ Radiofaros.
- ✓ Radiobalizas.
- ✓ Boyas.
- ✓ Plataformas.
- ✓ Embarcaciones.



Transporte terrestre

- ✓ Señalización de carreteras y autopistas.
- ✓ Radioteléfonos de emergencia.

- ✓ Puestos de socorro.
- ✓ Señalización de ferrocarriles.



Electrificación rural

- ✓ Viviendas aisladas.
- ✓ Viviendas de fin de semana.
- ✓ Refugios de montaña.



Iluminación pública



Aplicaciones agrícolas

- ✓ Repetidores de radio.
- ✓ Telemando.
- ✓ Telecontrol para redes de riego.
- ✓ Radiotelefonía para puestos de vigilancia forestal.
- ✓ Telefonía rural vía satélite.
- ✓ Bombeos de agua.
- ✓ Electrificación de naves, granjas e invernaderos agrícolas.



Sistemas de telecomunicaciones



Integración en cubiertas, fachadas,...



Transporte y aplicaciones de recreo.



Integración en barreras de sonido.



Células de alta eficiencia en satélites.



Telefonía.

7.2. CLASIFICACIÓN DE LAS INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS

7.2.1. Instalaciones aisladas de la red

Son usadas en localizaciones lejanas, que no tienen acceso a la red de distribución eléctrica tales como viviendas, naves agrícolas o ganaderas, iluminación en áreas aisladas, equipos de comunicaciones, bombeo de agua, etc.

Los usuarios de este tipo de instalaciones deben ser conscientes de las limitaciones que tiene la propia instalación, con el fin de prevenir problemas de suministro o daños a los distintos elementos que componen la instalación.



Sistema en corriente continua sin regulación ni acumulación: se utilizan para alimentar pequeñas cargas en corriente continua durante las horas de radiación solar. Importante fluctuación de la energía generada según la radiación solar incidente. Sistema más económico.



Fuente: Elaboración propia.



Sistema en corriente continua con regulación y acumulación: son empleados para suministrar pequeñas cargas en corriente continua tanto de día como de noche. Entrega de energía constante por las baterías según la demanda de las cargas de corriente continua.

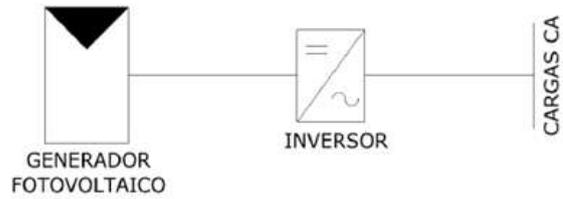


Fuente: Elaboración propia.

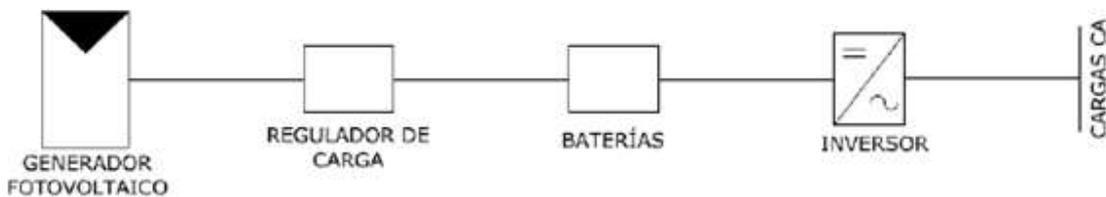


Sistema en corriente alterna sin regulación ni acumulación: para alimentar directamente pequeñas cargas en corriente alterna durante las horas de radiación solar. Fluctuación de la energía generada según la radiación solar incidente, de coste intermedio, también permite alimentar cargas en corriente continua.

Fuente: Elaboración propia



Sistemas en corriente alterna con regulación y acumulación: para alimentar directamente cargas en corriente alterna tanto de día como de noche. La entrega de energía por parte de las baterías es constante, según la demanda de cargas de corriente alterna. Se trata del sistema más completo y por tanto su coste es el mayor, también permite alimentar cargas en corriente continua.



Fuente: Elaboración propia

7.2.2. Instalaciones conectadas a la red

Están constituidas por el conjunto de módulos fotovoltaicos y un inversor capaz de convertir la corriente continua en corriente alterna, inyectándola en la misma frecuencia y fase que la existente en cada momento en la red de distribución.

A diferencia de los sistemas fotovoltaicos aislados, este tipo de instalaciones fotovoltaicas se diseña bajo el criterio de inyectar la máxima cantidad de energía a la red a lo largo de un año.

Los elementos que componen una instalación fotovoltaica de conexión a red son los siguientes:



Módulos fotovoltaicos.



Estructura soporte.



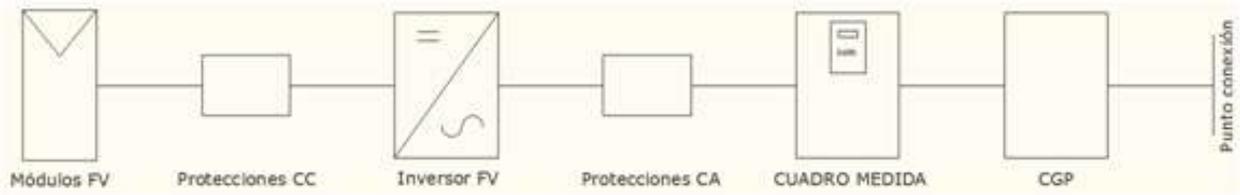
Inversor de conexión a red.



Conductores y elementos de protección.



Instalación de enlace (cuadro de medida y caja general de protección).



Fuente: Elaboración propia



Planta FV conectada a red SOLTEN I (13 MW).

Fuente: Elaboración propia

7.3. ESTRUCTURA SOPORTE

La estructura soporte se encarga de asegurar el anclaje del generador solar y proporciona la orientación y el ángulo de inclinación idóneo para el mejor aprovechamiento de la radiación, siendo los encargados de hacer a los módulos resistentes a la acción ejercida por los elementos atmosféricos (cargas de viento, nieve, corrosión,...).

La utilización de una estructura soporte adecuada facilita las labores de instalación y mantenimiento, minimiza la longitud del cableado y evita problemas de corrosión.

7.3.1. Tipos de estructuras



Fijas

- ✓ Sobre Suelo: muy robusta, la acción del viento es menor, gran facilidad de instalación.

Como inconvenientes destaca su fácil accesibilidad y la mayor probabilidad de que puedan producirse sombras parciales.



Estructuras Planta FV SOLTEN I (ITER – Tenerife)

- ✓ Sobre Poste: instalaciones ubicadas sobre un mástil, donde la instalación no debe ser muy grande por las limitaciones técnicas del propio mástil.

Adecuado para farolas solares, sistemas de telecomunicaciones, etc.



Prototipos Programa Euro-Solar instalados en el ITER (Tenerife)

- ✓ En fachada: consiste en acoplar la estructura a una de las paredes del recinto, mayor seguridad por la altura a la que se encuentran y de estructura liviana.



Instalación FV en fachada. Urbanización Bioclimática ITER (Tenerife)

- ✓ **Sobre Techo/Cubierta:** ubicación más frecuentemente utilizada para la colocación de un sistema solar, ya que existe mayor probabilidad de disponer de un lugar adecuado para garantizar la orientación perfecta de los módulos, además de suficiente espacio. El anclaje normalmente no presenta inconvenientes, pero se debe asegurar un perfecto restablecimiento de la impermeabilización y no permitir que puedan producirse depósitos de agua que perjudiquen posteriormente.



Instalación FV de 28 kW sobre cubierta.
Edificio sede del ITER (Tenerife)



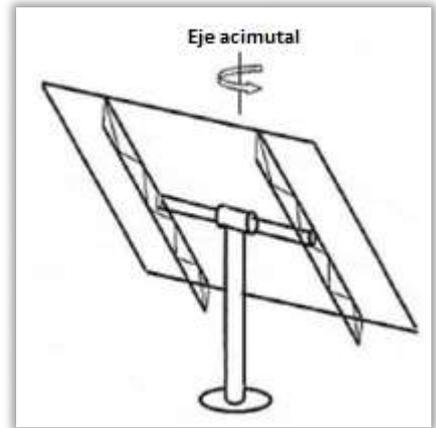
Con seguimiento. Se trata de un sistema con una parte fija y otra móvil que dispone una superficie de captación solar lo más perpendicular al sol posible a lo largo del día y dentro de sus rangos de movimiento. Al orientar los módulos fotovoltaicos de forma perpendicular al sol se incrementa la energía recibida.

El incremento de captación de radiación solar con respecto a un sistema de estructura fija, está para los seguidores a un eje entre el 15-20% y para un sistema con seguimiento a dos ejes entre el 30-35%, dependiendo del lugar de instalación.

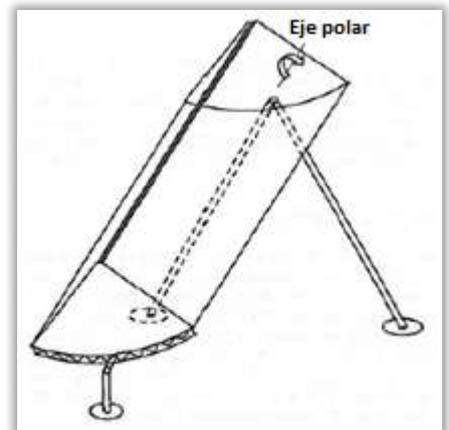
Los tipos de seguidores solares existente actualmente en el mercado se dividen en dos tipos:

- ✓ **Seguidores a un eje:** son aquellos seguidores que solo disponen de un grado de libertad en su movimiento. Pudiendo ser a su vez:

Acimutal



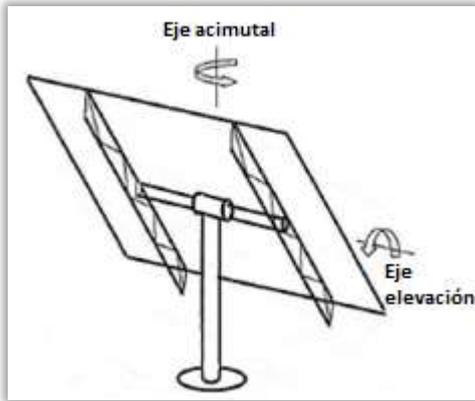
Polar



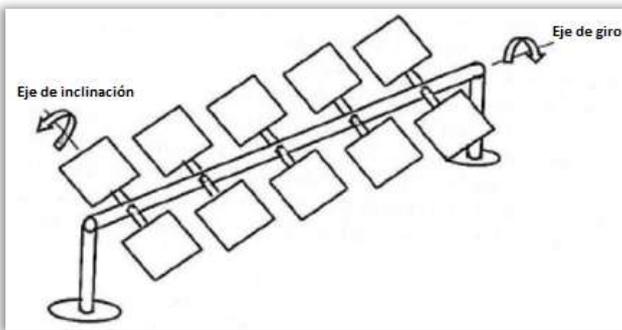
Fuente: Elaboración propia.

- ✓ **Seguidores a dos ejes:** se trata de seguidores con dos grados de libertad, capaces de realizar un seguimiento solar más preciso.

Azimut – Elevación



Inclinación – Giro:



Fuente: Elaboración propia.

7.3.2. Tipos de materiales utilizados

Los materiales utilizados para la construcción de estructuras soporte varían en función del tipo, ambiente al cual están sometidos, resistencias, etc. Los principales materiales utilizados son los siguientes:



Aluminio: ampliamente usado para todo tipo de instalaciones fotovoltaicas ya que presenta una gran ventaja por su fácil mecanización, poco peso, gran resistencia y nulo mantenimiento. Es muy importante que el aluminio sea anodizado para que tenga una larga vida útil.



Hierro: material habitualmente utilizado para instalaciones sobre postes o mástiles que se vean sometidos a cargas de viento importantes. Es importante que el hierro sea galvanizado para que le confiera propiedades anticorrosivas.



Acero inoxidable: resistente a casi todas las acciones externas y tipos de ambientes. Se suele utilizar en instalaciones próximas a ambientes salinos. Sus inconvenientes están en su elevado precio y especial manipulación de las soldaduras.

7.4. INVERSOR DE CONEXIÓN A RED

Los convertidores de energía continua a energía alterna, llamados inversores u onduladores, son dispositivos que convierten la corriente continua en corriente alterna. Estos equipos constan de un circuito electrónico que “trocea” la corriente continua, alterándola y creando una onda de forma cuadrada. Este tipo de onda puede ser utilizada después de haberla hecho pasar por un transformador que la eleve de tensión, obteniendo entonces los denominados convertidores de onda cuadrada, o bien, si se filtra, obtener una forma de onda sinusoidal igual a la de la red eléctrica.

Existen cuatro tipologías y configuraciones de las instalaciones fotovoltaicas, que ofrecen buenas soluciones técnicas, teniendo en cuenta las características del montaje, potencia, clima, ubicación geográfica y condiciones locales individuales. Estas serían las siguientes:



Inversor central: los módulos fotovoltaicos se interconectan en serie formando strings y éstos a su vez en paralelo para conectarse a un único inversor. Los inversores centrales ofrecen un alto coeficiente de rendimiento, de escasos gastos específicos y pueden operar plantas de rango mayor al MWp.

Estos sistemas requieren una baja tolerancia en las potencias de los módulos ya que no existe posibilidad de diferenciar las particularidades de cada string de módulos fotovoltaicos.

La fiabilidad de la instalación está limitada por la dependencia de un único inversor, una avería conlleva la paralización total de la instalación.

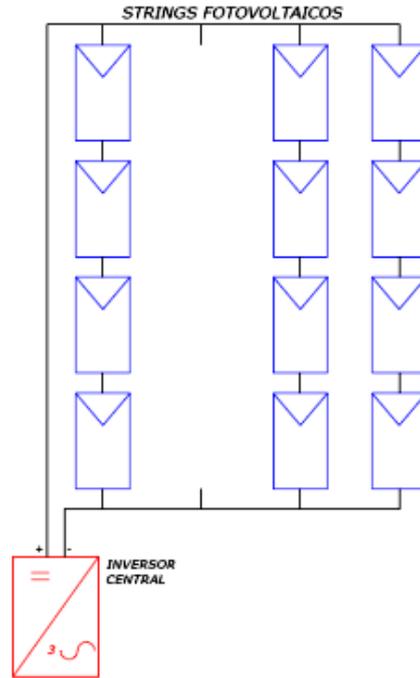


Diagrama de conexión de un inversor central
Elaboración propia



Infografía de un inversor ITER – Teide 100
Elaboración propia



Inversor de cadena: el campo fotovoltaico se subdivide en strings de módulos, sin embargo cada string se une con un inversor propio. Cada string trabaja de este modo en el punto de máxima potencia. Este tipo de instalación permite diferentes condiciones de insolación (inclinación, orientación y sombreado) por string. Esto conlleva un aumento del rendimiento energético, así como una mayor fiabilidad de la instalación.

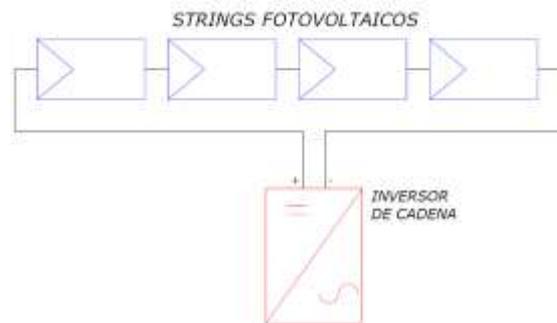


Diagrama de conexión. Elaboración propia



Inversor multicadena: son equipos que funcionan como una combinación de inversor central e inversor de cadena. Por el lado del generador se corresponden con varios inversores de cadenas y, por el lado de la alimentación, con un inversor central. Cada string tiene un seguidor del punto de máxima potencia propio, originando al conjunto un mejor rendimiento de conversión que el inversor central.

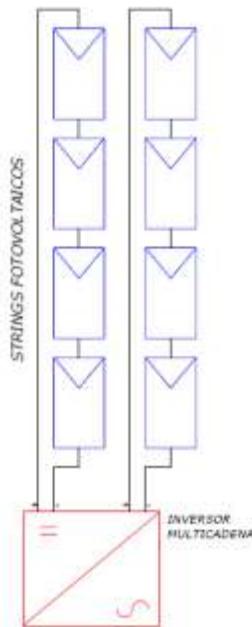


Diagrama de conexión. Elaboración propia



Inversor con módulo integrado: cada módulo fotovoltaico dispone de un inversor propio, por lo cual desaparecen las pérdidas por dispersión de características eléctricas entre módulos. Se trata de sistemas casi listos para conexión a red, tienen ventajas como que no precisan de cableado de corriente continua, los sombreados de un módulo o los defectos de un inversor no perjudican al resto, son idóneos para módulos con grandes tolerancias de potencia. Sin embargo el rendimiento de los inversores con módulo integrado es inferior al del inversor de cadenas.

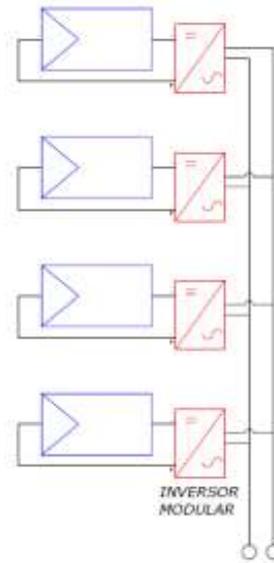


Diagrama de conexión. Elaboración propia

7.5. INVERSOR DE AISLADA

Los inversores para instalaciones aisladas se caracterizan porque su ventana de tensiones en corriente continua admisible, está relacionada con las tensiones de los sistemas de acumulación existentes (12V, 24V, 36V, 48V, etc).

En la actualidad, existen modelos de inversor-cargador, se trata de un inversor reversible, es decir, no solo convierte la corriente continua a corriente alterna desde las baterías al consumo, sino que, si se coloca una fuente de corriente alterna (por ejemplo un grupo electrógeno) en bornas de salida del inversor, se comportará éste como un rectificador, cargando la batería.

Esto representa una cierta ventaja en instalaciones que dispongan de grupo electrógeno, ya que ante una emergencia se puede cargar la batería usando un solo equipo.

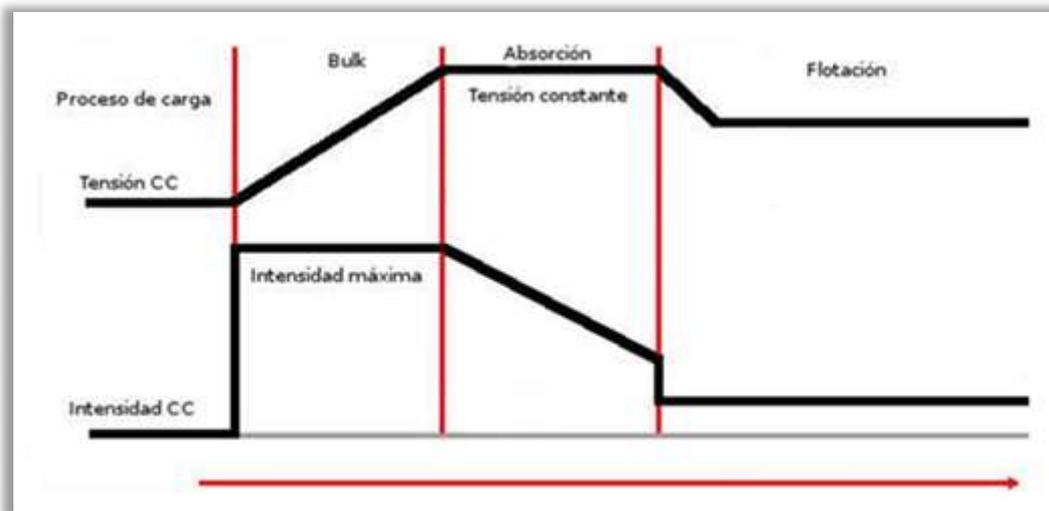
7.6. REGULADOR DE CARGA

Los módulos fotovoltaicos tienen una tensión nominal superior a la tensión nominal de las baterías usadas en las instalaciones fotovoltaicas aisladas, debido a dos causas:

-  La tensión nominal del módulo fotovoltaico deber ser más elevada, para paliar la disminución que se puede producir debido al aumento de temperatura.
-  La tensión a circuito abierto del módulo fotovoltaico debe ser siempre mayor que la tensión máxima de batería, para poder cargarla adecuadamente, pues para alcanzar un pleno estado de carga en una batería de por ejemplo 12V nominales, necesitamos una tensión mínima de 14V.

La misión del regulador se centra pues, en evitar que, debido a una sobrecarga excesiva proporcionada por el módulo fotovoltaico, éste pueda en algún momento causar perjuicios al acumulador, acortando la vida del mismo. Se trata de un equipo capaz de evitar la sobrecarga del acumulador a la vez que limita la tensión de la batería a unos valores adecuados para su mantenimiento, en estado de flotación, del grupo de baterías.

El regulador de carga realiza la carga de las baterías, del modo más completo, en las siguientes fases de carga:



Etapas de carga de un regulador.
Elaboración propia.

7.6.1. Bulk

La batería le llega la corriente máxima en cada momento, al llegar al 80-90% de carga de la batería pasa a la etapa:

7.6.2. Absorción

La tensión permanece constante hasta que se completa la carga, la corriente baja progresivamente.

7.6.3. Flotación

La tensión disminuye, así como la corriente para compensar la autodescarga del sistema de acumulación.

7.6.4. Equalización

Sólo para baterías de electrolito líquido. A una tensión superior a la etapa de absorción y con una corriente reducida, se provoca que el electrolito burbujee, el ascenso del gas dentro del ácido lo remueve evitando así que en la parte inferior haya una densidad mayor, evitando la sulfatación de las placas y que la mezcla sea más homogénea.

7.7. SISTEMA DE ACUMULACIÓN

La misión principal del acumulador dentro de un sistema solar fotovoltaico consiste en suministrar energía tal y como es demandada por la carga, independientemente de la producción eléctrica del módulo en ese preciso momento.

Cumple además la misión de dar autonomía al sistema, ya que puede alimentar las cargas durante varios días, cuando la producción del módulo es baja debido a condiciones meteorológicas adversas.

Un acumulador o batería es un equipo capaz de transformar una energía potencial química en energía eléctrica. Se compone esencialmente de dos electrodos sumergidos en un electrolito donde se producen las reacciones químicas en los procesos de carga o descarga.

La **capacidad** de un acumulador se mide en amperios-hora (Ah), para un determinado tiempo de descarga, y se define como la cantidad de electricidad que puede obtenerse durante una descarga completa del acumulador plenamente cargado, siendo el producto de la intensidad de descarga por el tiempo que ésta actúa.

La **eficiencia de la carga** se define como la relación entre la cantidad de carga que entrega una batería durante la descarga y la que recibe durante el proceso de carga. Una eficiencia de carga del 100% implica que toda la carga entregada a la batería es devuelta luego por ello.

El número de **ciclos de carga y descarga** que una batería es capaz de soportar está relacionado con la **profundidad de descarga** de tal modo que, a medida que la profundidad de descarga aumenta, disminuye la cantidad de ciclos de carga y por tanto disminuye la vida útil de la batería.

Todos los sistemas de acumulación sufren el proceso de **autodescarga**, que consiste en una pérdida de la energía almacenada debido a procesos internos de la batería que no tienen que ver con el de descarga propiamente.

El sistema de acumulación a utilizar en instalaciones solares fotovoltaicas aisladas deberá reunir las siguientes características:

-  Aceptar todas las corrientes de carga que suministre el módulo fotovoltaico.
-  Mantenimiento nulo o mínimo.
-  Fácil transporte e instalación.
-  Baja autodescarga.
-  Rendimiento elevado.
-  Larga vida útil.

Las baterías más comúnmente utilizadas para aplicaciones solares fotovoltaicas, suelen ser de plomo-ácido, siendo los tipos más frecuentes los siguientes:



Freedigitalphotos.net

TECNOLOGÍA	AGM	GEL	ÁCIDO
Voltaje	6V y 12V	2V, 6V y 12V	12V
Capacidad C ₂₀	33Ah – 225Ah	24Ah – 225Ah	25Ah – 170Ah
Ángulo montaje	Cualquier posición	Hasta 180°C	Sólo de pie
Rango Tª	-40°C a 72°C	-20°C a 50°C	-10°C a 50°C
Requerimientos de carga	CC, cualquier amperaje	CC, suministro del 25%-50% de la capacidad de batería	CC, 10% de la capacidad
Tiempo descarga (desde 100% carga)	Tras 2 años mantiene el 90% de la carga	Tras 2 años mantiene el 85% de la carga	Tras 8 meses mantiene el 35% de la carga
Peso	11kg – 74kg	10kg – 70kg	15kg – 80kg
Vida útil (hasta 50% descarga)	950 -1000 ciclos	550 – 600 ciclos	350 – 400 ciclos
Máxima capacidad de descarga	100% (10,5V)	En torno al 75%	Entorno al 55% - 60%
Ventilación en la instalación	No necesita	Necesaria	Necesaria
Posible pérdida de electrolito	No	Posible pérdida de gel	Posible pérdida de líquido

Características según tipo de baterías
Elaboración propia.

8. CÁLCULO DE PRODUCCIÓN DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

A la hora de diseñar una instalación solar fotovoltaica hay tres factores básicos que debemos determinar. La orientación, inclinación, y posibles sombras de nuestra instalación solar fotovoltaica.

8.1. ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN

La orientación de los módulos será sur si nos encontramos en el Hemisferio Norte y hacia el norte si nos encontramos en el Hemisferio Sur, por ser la única posición donde se aprovecha en mayor medida la radiación emitida por el Sol.

Según la latitud donde se ubique la instalación fotovoltaica, ésta podrá estar desviada con respecto a la orientación óptima un cierto número de grados, siendo las pérdidas por orientación mayores a medida que la desviación y la latitud van aumentando.

La inclinación de los módulos fotovoltaicos dependerá de la aplicación, en el caso de instalaciones fotovoltaicas de conexión a red, la inclinación óptima, por ser aquella en la que se capta la mayor cantidad de radiación solar a lo largo del año, será la siguiente:

$$\text{Inclinación óptima} = \text{latitud del lugar} - 10^\circ$$

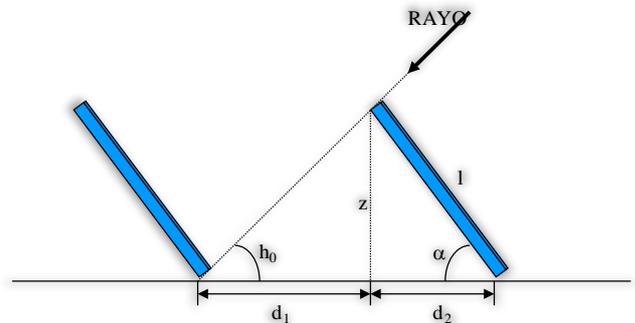
Sin embargo, en el caso en que la aplicación fuese, por ejemplo, para abastecer consumos constantes a lo largo de un año, se dará una inclinación al generador solar que priorice la captación de radiación solar en los meses más desfavorables, siendo la inclinación idónea la siguiente:

$$\text{Inclinación óptima} = \text{latitud del lugar} + 10^\circ$$

8.2. SOMBRAS ENTRE FILAS DE MÓDULOS

La separación entre filas afecta a la energía producida por el generador, a mayor separación, menores sombras de unas filas a otras y mayor energía. Por otro lado tenemos el coste del sistema, a mayor separación, mayor ocupación del terreno y mayor longitud del cableado. Se debe por tanto elegir una separación óptima, que será aquella que conduce al mejor compromiso entre coste y captación de energía.

La distancia (d) medida sobre la horizontal, entre filas de módulos o entre una fila y un obstáculo de altura determinada (h) que pueda proyectar sombras, se recomienda que sea tal que se garanticen al menos 4 horas de sol en torno al mediodía del solsticio de invierno (21 de diciembre).



La fórmula para el cálculo de la separación entre filas de módulos o entre una fila y un obstáculo es la siguiente:

$$d = z \times k$$

Siendo k:

$$k = 1/\tan(61^\circ - \text{latitud})$$

k = factor adimensional

8.3. ENERGÍA RECIBIDA POR EL SOL

La cantidad de energía recibida del Sol (radiación solar) y la demanda de energía (en instalaciones fotovoltaicas aisladas) son los dos factores básicos que rigen el diseño de un sistema solar fotovoltaico.

La elección de los datos de radiación solar dependerá directamente de la situación de la instalación, así como de las condiciones meteorológicas predominantes y particulares de cada lugar.

Los datos de radiación solar que encontramos en tablas, suelen ser medias de medidas realizadas durante varios años, de tal modo que se ofrecen valores promediados de años buenos, regulares y malos meteorológicamente hablando, hecho que nos asegura una mayor fiabilidad en dichos datos.

Lo mismo ocurre con los datos mensuales de radiación, ya que durante el transcurso de un mes se pueden presentar condiciones meteorológicas prolongadas de lluvias, nieves, días nublados, etc, que pueden afectar a los cálculos mensuales de radiación solar. Sin embargo, estos fenómenos se promedian a lo largo de la toma de datos de varios años, haciéndolos fiables a partir de medias calculadas durante cinco o más años.

Las fuentes de datos de radiación solar pueden ser muy variadas (red de estaciones meteorológicas, modelos climáticos, atlas solares, etc), es de suma importancia seleccionar adecuadamente la fuente de datos de radiación solar y, si es posible, contrastarla con otras fuentes siempre y cuando existan para la zona de instalación de nuestro sistema fotovoltaico.

Los datos facilitados por las fuentes de radiación solar, nos aportan datos en distintas unidades sobre

superficie horizontal, es lo que se conoce como **irradiación global horizontal (IGH)**.

Antes de aplicarle a ésta, las pérdidas por inclinación y orientación de nuestra instalación fotovoltaica, necesitamos conocer la **irradiación global óptima (IGO)**, que es aquella inclinación en la que se consigue captar la mayor cantidad de radiación solar a lo largo del año.

Según la latitud donde se ubique nuestro sistema fotovoltaico existirá un ángulo de inclinación óptimo que hará máxima la captación de radiación solar.

Para aplicaciones de conexión a red, lo que se busca es maximizar la cantidad de energía vertida a la red, por lo que la inclinación óptima del sistema será aquella que maximice la captación de radiación solar. Sin embargo, en aplicaciones aisladas, lo que se busca es cubrir la demanda energética, incluso en los meses más desfavorables, por lo que se deberá elegir un ángulo de inclinación que maximice la captación de radiación solar para esos meses.

Una vez seleccionado el ángulo de inclinación óptima, según la latitud del lugar, la **IGH** se multiplicará por el llamado **factor k**, factor adimensional que depende de la latitud del lugar, y viene a representar, para un ángulo de inclinación fijo, el incremento o la disminución de la cantidad de radiación solar captada.

Ahora, con la **IGO**, debemos aplicar las pérdidas por orientación e inclinación que tenga nuestra instalación fotovoltaica, debido por ejemplo en sistema de conexión a red, a dificultades de la localización para ubicar correctamente los módulos fotovoltaicos.

Por el contrario, en sistemas fotovoltaicos aislados, la inclinación adecuada no se corresponde con la inclinación óptima por lo visto anteriormente.

Existen diagramas que estiman las pérdidas por inclinación y orientación a partir de la orientación e inclinación óptimas para una determinada región en función de su latitud. A partir de estos diagramas, se obtiene el dato de pérdidas para las nuevas condiciones de orientación e inclinación de nuestro sistema fotovoltaico.

El resultado de descontar dichas pérdidas a la irradiación global óptima es lo que se conoce como **irradiación global incidente (IGI)**, que es la que realmente incide sobre la superficie de nuestro sistema fotovoltaico.

Desde que la radiación solar incide sobre nuestro sistema fotovoltaico hasta que finalmente obtenemos energía eléctrica disponible para su consumo o vertido a la red, se producen una serie de pérdidas en el sistema fotovoltaico, que es lo que se conoce como **Performance Ratio (PR)**.

Dentro del performance ratio se engloban las siguientes pérdidas:

8.3.1.Sombras

Debida a obstáculos que generen sombras sobre el campo fotovoltaico o disminución de la distancia entre filas de módulos, se estiman en un 2%.

8.3.2.Suciedad de los módulos

Deposición de polvo y suciedad en la superficie del módulo. Se incrementa con la cercanía a zonas descampadas y caminos de tránsito. Se pueden ver reducidas mediante un adecuado plan de limpieza, se estiman en un 2%.

8.3.3.Pérdidas en el cableado

Debidas a la resistencia del conductor al paso de una corriente eléctrica y a la temperatura que este alcanza al paso de dicha corriente. La elección correcta del tipo de conductor a elegir y la sección correcta pueden disminuir este tipo de pérdidas, se estiman en un 1,5%.

8.3.4.Dispersión valores módulos

Debido a que el proceso de fabricación de un módulo es un proceso industrial, existe cierta tolerancia entre la potencia nominal de los mismos. Se puede disminuir esta pérdida mediante el clasificado de módulos (*flash report*), mejora un 3%.

8.3.5.Temperatura del módulo

La respuesta en tensión de las células de un módulo a la incidencia de los rayos solares varía en gran medida con la temperatura. Este tipo de pérdida es variable según el mes del año (en zonas con predominancia de vientos esta pérdida se ve reducida), se estima en un 8%.

8.3.6.Rendimiento del inversor

Pérdidas debidas a la transformación de la energía en continua producida por el campo fotovoltaico a la energía alterna necesaria para que se conecte a la red. Depende en última instancia del inversor elegido y de su configuración eléctrica, se estima en un 4%.

8.3.7. Angulares y espectrales

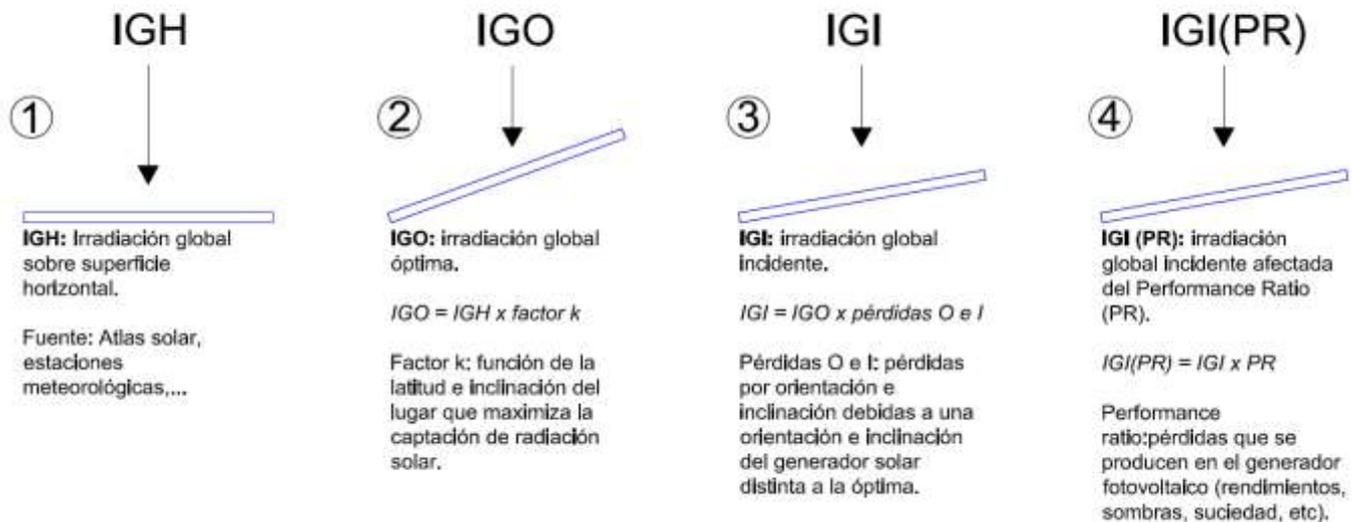
Las primeras se refieren a pérdidas debidas a la incidencia de los rayos solares sobre el módulo en un ángulo diferente de 0° (perpendicular puro). Las segundas tienen que ver con la variación de la corriente generada por el módulo según la variación de longitud de onda del espectro solar, se estiman en un 2%.

El objetivo en todo caso a la hora de diseñar una instalación fotovoltaica es la de reducir al mínimo posible todas las pérdidas anteriores, para aumentar el rendimiento de nuestra instalación fotovoltaica.

Para cada mes del año tendremos un **PR** determinado, una vez que multiplicamos éste por la IGI obtenemos la irradiación que realmente incide sobre la superficie de nuestro sistema fotovoltaico, a partir de la cual obtenemos la producción anual de energía.

En resumen, los pasos a seguir para el cálculo de la producción de una instalación solar fotovoltaica se indican en el siguiente diagrama:

DIAGRAMA DE FLUJO CÁLCULO PRODUCCIÓN INSTALACIÓN FV





COFINANCIACIÓN



CONTACTA CON NOSOTROS

Participa en los Seminarios y Jornadas Técnicas, en la Página Web y en nuestro Facebook; o envíanos tus consultas o sugerencias a la siguiente dirección de correo electrónico:

@ macsenvp@iter.es

 <http://macsen-pv.iter.es>

 www.facebook/MacsenPV