

CENTRALES ELECTRICAS

INTRODUCCION A LAS ENERGIAS RENOVABLES

Jorge A. González
Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología
Universidad Nacional de Tucumán



UN LARGO SUEÑO (Gerald Foley)

"Algún día el ser humano despertará de una larga pesadilla y recordará su propio pasado energético... rodeado de diferentes medios para captar la energía solar. No comprenderá la locura de los que se embarcan en la aventura de agotar en menos de 250 años unos recursos fósiles que habían tardado 600 millones de años en formarse. Pero todavía no nos hemos despertado, todavía continuamos en el sueño".

INTRODUCCION

La evolución y progreso del hombre está ligado al **uso de energía**. La **demanda de energía** aumenta continuamente (en el 2030 un 40% más que el consumo actual, AIE) .

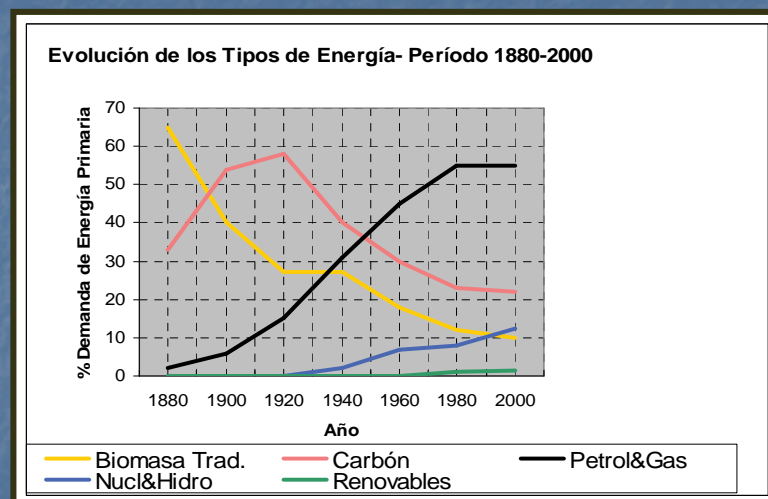
Para cubrir una demanda energética, se necesita por un lado, de la existencia de un recurso primario o fuente, y por el otro, de un sistema que transforme y adecue ese recurso a la demanda.



Jorge González-FACET-UNT

3

Evolución histórica aproximada del Uso de los Recursos Energéticos



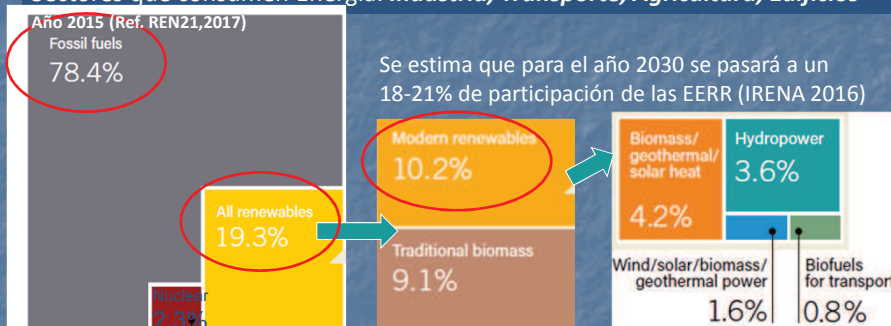
Jorge González-FACET-UNT

4

Participación de los Recursos Energéticos en el Consumo Final Global

El desarrollo del hombre está ligado fuertemente al uso de energía.

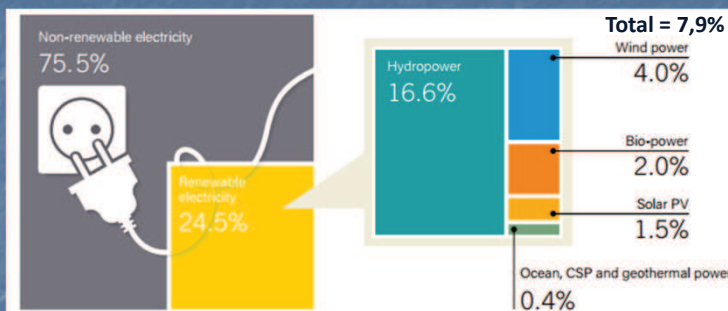
Sectores que consumen Energía: **Industria, Transporte, Agricultura, Edificios**



La ocurrencia del **Calentamiento Global de origen Antropogénico** (aceptada por la mayoría de la comunidad científica), como resultado de la continua emisión de GEI, generado en gran parte por la quema de comb. fósiles (carbón, petróleo y gas) origina el **Cambio Climático**, que afecta a todos los habitantes, **pero sobre todo a los más vulnerables** (apenas han contribuido y contribuyen a estas emisiones).

5

Participación de los Recursos Energéticos en la Producción de Energía Eléctrica, 2016



Generación mundial de electricidad ≈ 23800 TWh, año 2014

El % de participación de las NTER tanto en la matriz energética global, como en la de electricidad (7,9%), si bien es todavía bajo, está en un lento y continuo aumento.

CENTRALES CONVENCIONALES DE PRODUCCION DE ELECTRICIDAD → **Gran Tamaño, Concentrada**

Térmicas (40% carbón)




Hidroeléctricas



Nucleares



Logo: González-FACE I-UNI 7

Factores que están impulsando el cambio de Sistema de Energía

- Costo y "Finitud" del Recurso Fósil
- Política de Soberanía Energética (sustitución Combustibles Import. x EERR)
- Mayor conciencia mundial de las consecuencias del Cambio Climático de origen antropogénico sobre el planeta, asociado a la emisión de GEI.

Existen Instrumentos Internacionales:

- **Protocolo de Kyoto:** primer compromiso formal de las economías industrializadas, de reducir sus emisiones antropogénicas.

- **Acuerdos en Cumbre de Clima en París- dic. 2015 (COP21):**

El objetivo es que el aumento de la temp. media hacia fin de siglo, esté por debajo de los 2 °C con respecto a niveles preind. y continuar con las actuaciones para limitar el aumento de la temp. a 1,5°.

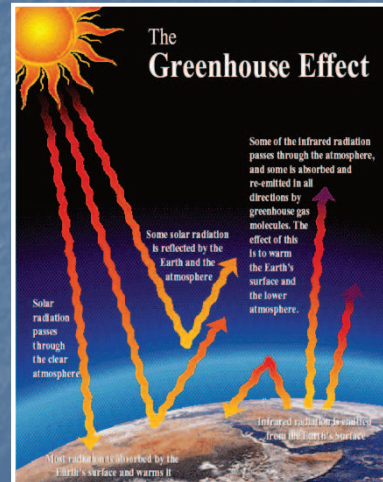
Una de las acciones, es que cada nación del mundo presente su Contribución Nacional Determinada (NDC), y se comprometa a partir del 2020 a evitar un % de emisiones de GEI.

En estos días en Bonn, Alemania, se está realizando la 23 Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP23).

Cambio Climático

Las actividades humanas producen emisiones que elevan el % de GEI en la atmósfera (CO₂, NO₂, CH₄, gases industriales fluorados, etc.), que atrapan y re-emiten el calor que proviene de la superficie terrestre, provocando:

Efecto Invernadero →
Calentamiento Global →
Cambio Climático



Jorge González-FACET-UNT

9

Energías No Renovables: Energías provenientes de recursos almacenados en la corteza terrestre, que presentan riesgo cierto de agotarse en un tiempo más o menos finito.



© HERNÁNDEZ CABALLERO, S. Edit., 1998

Energías Renovables: Flujos de energía que se están recargando continuamente mediante ciclos naturales. Son recursos que no presentan riesgo cierto de agotarse en un tiempo finito.



Jorge González-FACET-UNT

0

Algunas características de los Recursos Renovables

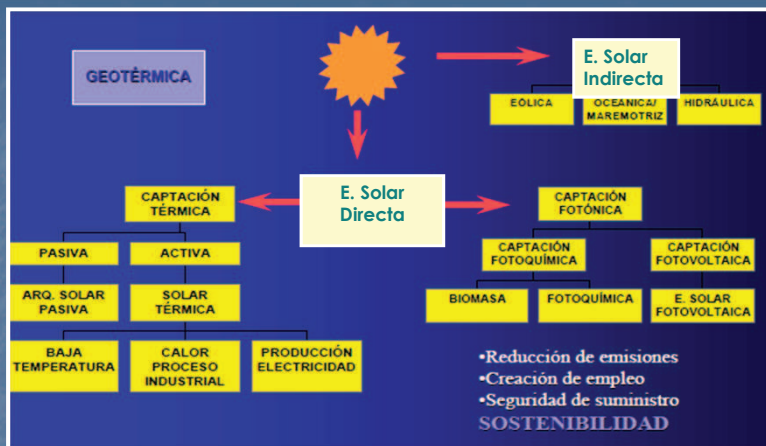
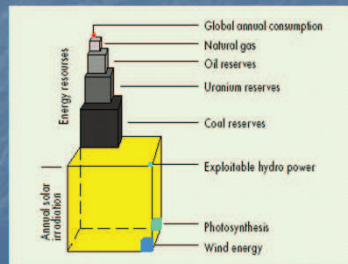
- Recursos Renovables → **"Recursos Infinitos"**.
- Presentan una **naturaleza distribuida** → se pueden aprovechar en distintos puntos del planeta.
- Presentan una **naturaleza difusa** → bajo contenido energético → **grandes áreas de captación**.
- La radiación solar y el viento son **variables con el tiempo (intermitencia)** → **almacenamiento e hibridización**.

Las NTER que producen energía eléctrica y/o calórica, aprovechan el siguiente recurso renovable:

SOL → solar, eólica, biomasa, hidráulica, undimotriz

GRAVEDAD → mareomotriz, corriente oceánica

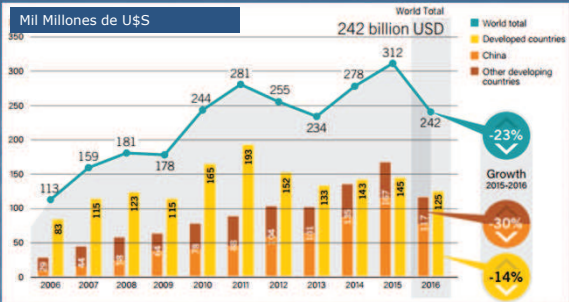
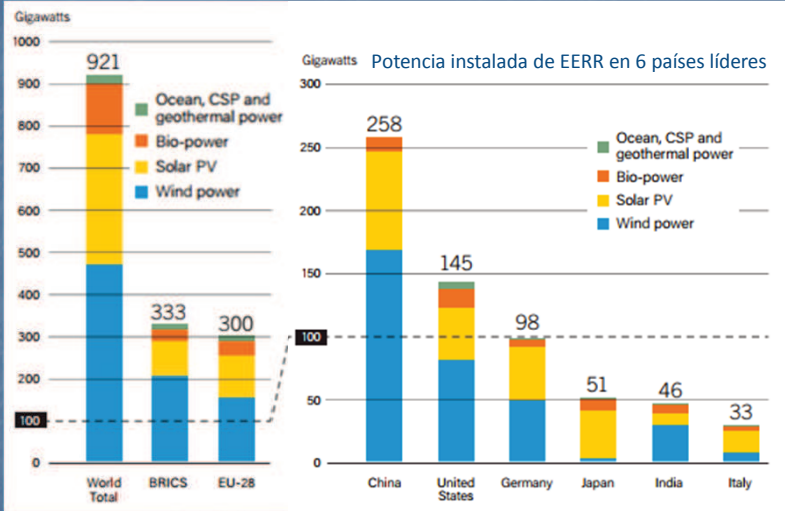
CALOR INTERNO de la TIERRA → geotér.



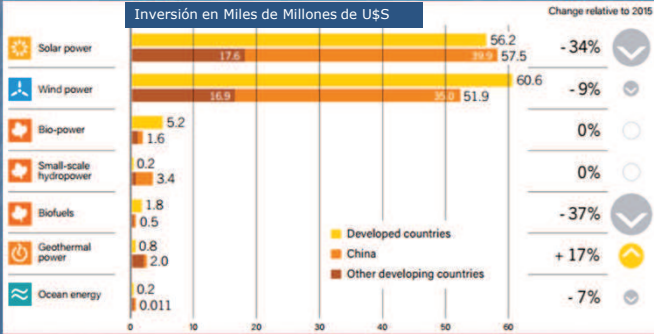
➤ El costo económico de las NTER es en general superior a las convencionales → sigue siendo un freno para su mayor desarrollo → necesidad de un subsidio inicial.

➤ Las NTER no emiten Gases de Efecto Invernadero (GEI) durante su operación. El IA total varía según el tipo de NTER, pero en general es más bajo que el originado por los combustibles fósiles.

Potencia Instalada de EERR en el mundo y los países líderes – año 2016



Evolución de la Inversión en TER y Biocomb. (2006-2016)



Inversión realizada en TER, año 2016

Objetivos de la Transición Energética (3D)

- **Descarbonizar** (disminuir uso de combustibles fósiles)
- **Distribuir** (descentralizar la generación de energía)
- **Digitalizar** (usar big data, IA, TICs)

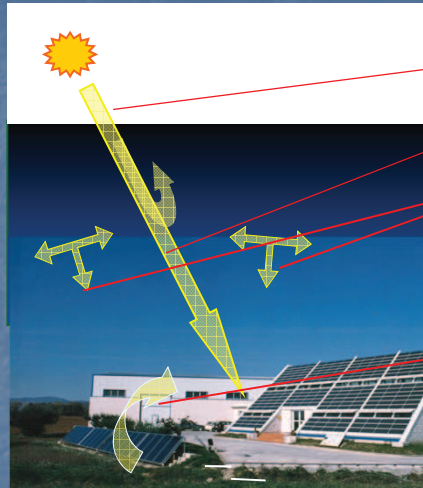
Acciones para Descarbonizar el Sistema Energético Actual

- **I+D+i en Tecnologías que aprovechan las EERR** (fotovoltaica, eólica, biomasa, termosolar) para la producción de energía eléctrica y térmica.
- **I+D+i en eficiencia** de la conversión, distribución y uso de la energía en edificios, transporte e industria.
- I+D+i en sistemas de motorización y nuevos combustibles para el transporte, basados en celdas de combustible e H₂, pilas ion-litio, supercondensadores, biocombustibles (Bioetanol y Biodiesel).
- Secuestro de CO₂ por medio de la forestación.
- I+D+i en sistemas que permitan el secuestro y almacenamiento del CO₂ producido por la quema de recursos fósiles en Centrales Eléctricas, fundamentalmente en centrales de carbón (40%).
- I+D+i en nuevas Centrales Nucleares.

JAG-Facet-UNT

**“NUEVAS” TECNOLOGIAS que usan
ENERGIAS RENOVABLES (NTER)**

Irradiancia Global que llega a la superficie terrestre I



RADIACIÓN

Extraatmosférica: Fuera de la atmósfera

Directa: Procede del disco solar y depende de su posición

Difusa: Procede de la atmósfera y es la consecuencia de los procesos de reflexión, dispersión y absorción

Reflejada: Procede de la reflexión de la radiación incidente sobre el entorno

Radiación Global = Directa + Difusa + Reflejada

$$I = I_B + I_D + I_R$$

Irradiancia Global que incide sobre una superficie cualquiera

$$I = I_B + I_D + I_R$$

I = Irradiancia solar Global = Potencia total incidente en una unidad de área plana en la sup. terrestre [W/m²].

I_B = Irradiancia solar Directa (beam) = Potencia directa que incide en una unidad de área plana, normal a la radiación, procedente directamente del disco solar (no sufre cambio de dirección a su paso por la atm) [W/m²].

I_D = Irradiancia solar Difusa = Potencia difusa que incide en una unidad de área, procedente de la difusión (dispersión) de la radiación solar a su paso por la atm y reflexión en nubes [W/m²].

I_R = Irradiancia solar Reflejada = Potencia reflejada que incide en una unidad de área, procedente de la reflexión de la radiación en el entorno [W/m²].

Datos de valores globales sobre superficie horizontal



Piranómetro

Medidas directas

Basados en sensores que transforman energía radiante incidente en señal eléctrica. Lo que más se mide es la irradiancia global horizontal, algo menos la difusa y muy poco la directa.



Piranómetro con anillo

Radiación Directa = Radiación Global (piran.) - Radiación Difusa (piran. con anillo de sombra)



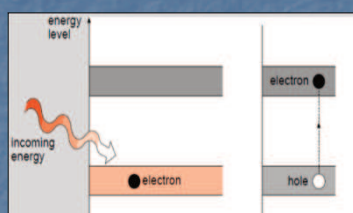
Pirheliómetro

Jorge González-FACET-UNT

19

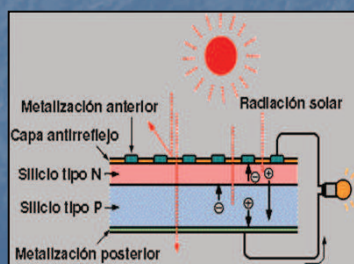
Sistema Fotovoltaico

Se produce electricidad en forma directa por medio del **efecto FV** → saltos de electrones en materiales semiconductores cuando se excitan por la radiación solar (**fotones** o cuantos de luz).



La unidad básica donde se produce este fenómeno se llama **célula FV** (p.e. dos delgadas láminas de silicio P-Boro y N-Fós, 30 mA/cm² - 0,5 V)

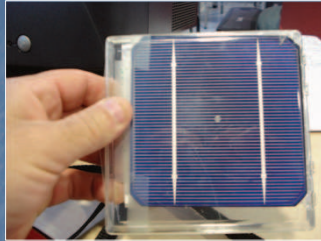
Acopladas en determinadas configur. (serie, paralelo) forman un **módulo** donde se obtienen > U, I, P.



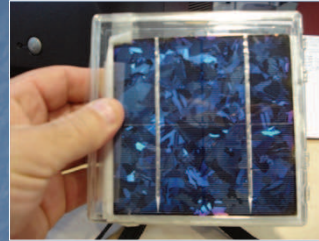
Jorge González-FACET-UNT

20

El Silicio como Material Semiconductor



Si Monocristalino



Si Multicristalino



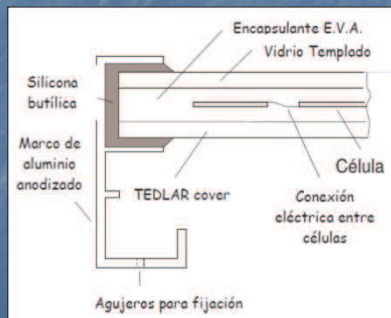
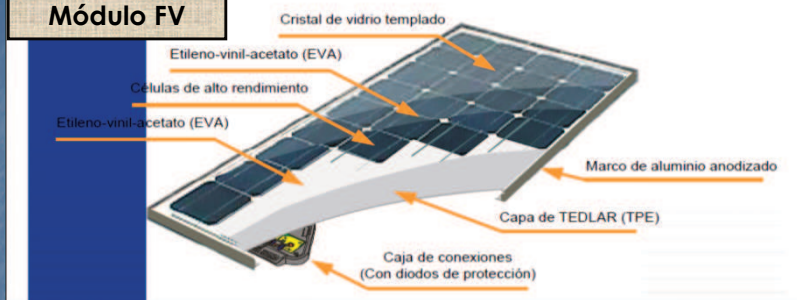
Si Amorfo

Hay diferentes materiales para Construir la Célula: Si (el más importante), CdTe (Teluro de Cadmio), CuInSe₂ (CIS), Arseniuro de Galio (multicapa)

Jorge González-FACET-UNT

21

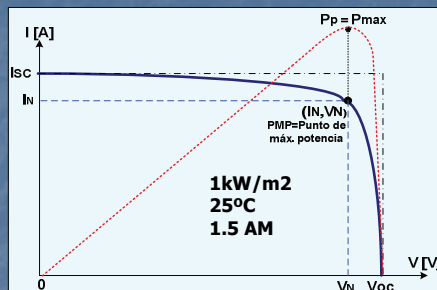
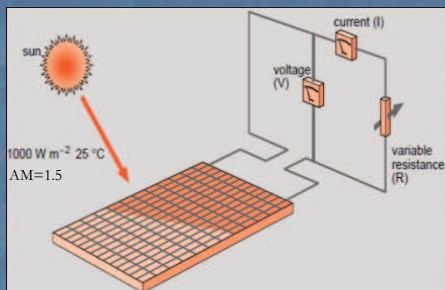
Elementos del Módulo FV



Jorge González-FACET-UNT

22

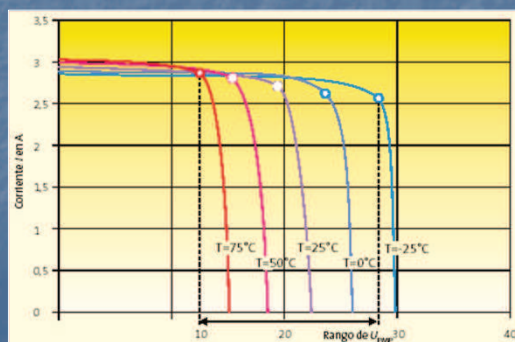
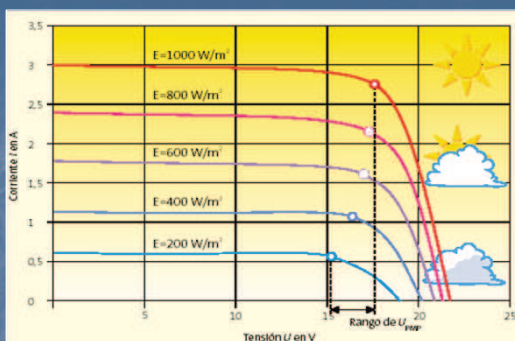
Característica Eléctrica de un dispositivo FV Curva U-I obtenida según Normas de Ensayo (STC)



Punto de Máxima Potencia PMP → punto de la curva en que el producto de las variables V, I, es máximo → (V_N, I_N).

P_p = Potencia Pico = V_N x I_N → P máxima entregada por el dispositivo bajo STC.

Nota: Bajo STC, el PMP es el punto (V_N x I_N). Para otras condiciones de irradiancia y temperatura las curvas se modifican, obteniéndose otros PMP.



• **Condiciones Estándar de Ensayo**

- G = 1000 W/m²
- T_c = 25°C
- Incidencia normal
- Distribución espectral AM 1.5

• **Condiciones Estándar de Operación Real**

- G = 800 W/m²
- T_a = 20°C
- Incidencia normal
- Distribución espectral AM 1.5
- Velocidad del viento = 1 m/s

$$T_c = \frac{T_{NOC} - 20^\circ C}{800 W/m^2} G + T_a$$

T_{NOC} = Temperatura Nominal de Operación de Célula

Algunas Aplicaciones

Una forma de dividir a los SFV: (a) Con conexión a red (en general no tienen acumuladores) y (b) aisladas (tienen acumuladores).



El costo por Wpico instalado (depende del sitio), es de unos 7-8 U\$\$/Wp. Es una tecnología aún cara, pero competitiva en ciertos nichos.

El tiempo de retorno de energía es de unos 3-5 años, considerando una vida útil de \approx 25-30 años.

Jorge González-FACET-UNT

20

Aplicado a un Sistema de Alumbrado



Monte Pego, Alicante. Sistema de farola con FV. Panel de Si Mc, 120 Wp, 7 A, Acumulador de 295 Ah, 5 días de autonomía, Regulador, interruptor crepuscular, Lámpara de bajo consumo de 36 W.

Las luminarias pueden ser compactas de bajo consumo, sodio de baja presión, led.

El sistema FV puede estar centralizado o distribuido en cada una de las luminarias.

Jorge González-FACET-UNT

26

Integración Arquitectónica de Sistemas FV

- Módulos Superpuestos
- Elemento de revestimiento, tejas fotovoltaicas.
- Elemento de cerramiento (Ministerio de Econo.,Alemania)
- Elemento de sombreado (Parque de las Ciencias, Granada)

Jorge González-FACET-UNT

UNESA **CENTRAL FV**

Central → en el orden de 1000 [U\$S/kW instalado].

- 1 Paneles de silicio
- 2 Torre meteorológica
- 3 Unidad de monitorización
- 4 Sala de control
- 5 Sala de potencia
- 6 Armario de corriente continua
- 7 Inversores
- 8 Armario de protección y control de la corriente alterna
- 9 Transformadores
- 10 Línea de transporte de energía



Central FV de Puebla de Montalbán de 1 MWp, Toledo, España

Campo solar de tres subcampos, dos de ellos fijos (900 kW, inclinación 30° sur) y el tercero con seguimiento en un eje NS (100 kW) que consume 700 Wh/día.
Area ocupada = 20000 m2
Area módulos = 8000 m2
Nº total de módulos de Si mc= 8000
E producida ≈ 1200 MWh/año

<http://www.toledopv.com>

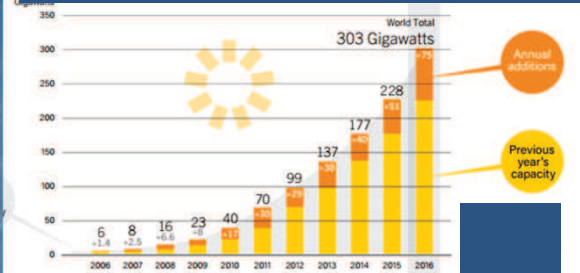


Fotovoltaica

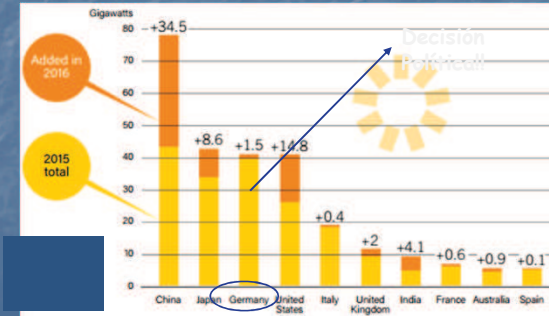


Se agregaron 75 GW en el año 2016

Evolución de la Potencia Instalada FV (2006-2016)



Potencia instalada FV en los países líderes



Sistema Solar Térmico de Alta Temperatura

Sistemas de Concentración Solar

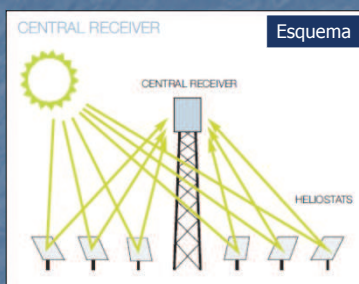
Basados en espejos móviles con geometría para reflejar y concentrar radiación solar sobre un sistema receptor, para aumentar la temp. de un fluido de trabajo que circula.

- Sistema Concentrador Puntual en Torre
- Sistema Concentrador Lineal Cilindro-Parabólico
- Sistema Concentrador Puntual Disco Parabólico
- Sistema Concentrador Lineal Fresnel

Jorge González-FACET-UNT

31

Sistema Concentrador en Torre – Receptor Central



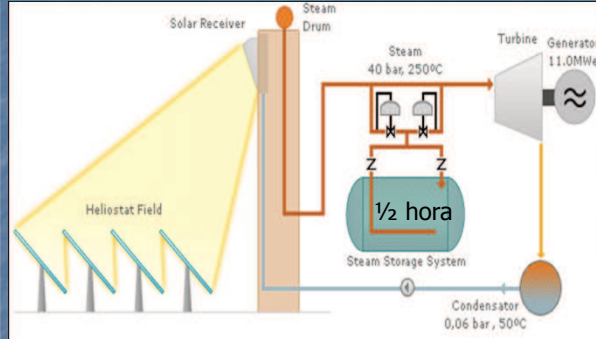
Consiste de una torre (70-150 m) y un campo de heliostatos (cientos de espejos móviles de unos 10x10 m cada uno) controlados automática. para concentrar la radiación solar (200-1000 veces) en un receptor que se encuentra en la parte alta de la misma (500-900 °C). Las potencias unitarias son de 10-200 MWe.

Por el receptor circula un fluido (aire, sales fundidas) que es calentado para producir en un intercambiador de calor vapor de agua, y así hacer funcionar una turbina acoplada a un G eléctrico. El fluido puede ser directamente agua (PS10).

Para asegurar potencia firme, el sistema puede contar con tanques de almacenamiento del fluido y/o hibridización con gas o biomasa.

Costo estimado 3000-3500 [US\$/kW instalado], 20-25[cUS\$/kWh]

Planta PS10 de Abengoa, Sanlúcar la Mayor (Sevilla)



La potencia eléctrica es de 11 MWe. Posee 624 helióstatos de 120 m² c/u. Cada uno es independiente y sigue al sol sobre dos ejes, concentrando luz en el receptor que está arriba de la torre a 115 m de altura

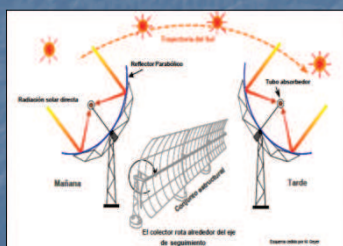
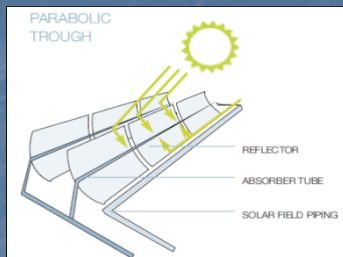
www.abengoa.com

Jorge González-FACET-UNT

33



Sistema Concentrador Cilindro-Parabólico

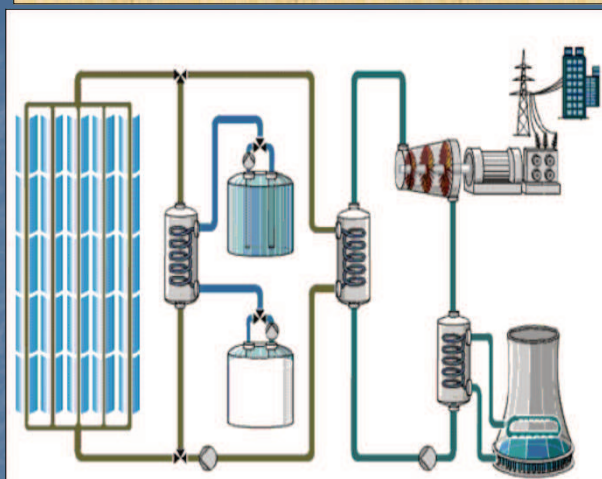


Radiación solar concentrada 40-80 veces sobre tubos lineales situados en el foco de una parábola, por donde circula un fluido (aceite) que se calienta \approx a 400 °C. Se transfiere este calor al agua para producir vapor y/o a tanques de almacenamiento que contienen sales fundidas. La potencia obtenida puede estar entre 30 y 80 MW.0

Jorge González-FACET-UNT

35

Central ANDASOL de 50 MW - Guadix –España



P = 50 MWe
E = 172 GWh/año

E solar= 2100 kWh/m²-a

A campo=1500x1300 mt
A espejos = 510000 m²

Fluido de Transferencia :
Aceite Sintético

Almacenaje :
Sales Fundidas (7,5 h)

Costo = 300 10 E6 euros

<http://www.power-technology.com/projects/andasolsolarpower/>

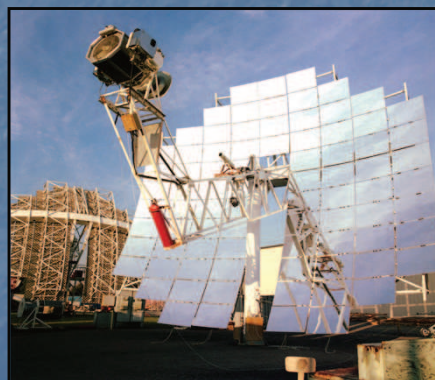
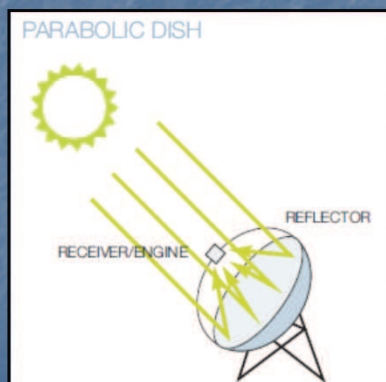
Jorge González-FACET-UNT

36



Sistema Concentrador por Discos Parabólicos

Estos sistemas modulares, concentran la energía solar (1000-4000 veces) en su punto focal alcanzando temperaturas del orden de 700-1000°C, generando vapor para una TV convencional o un motor Stirling. Las Potencias de operación son de 5-25 kW (discos de 10 m de diámetro).



Granja Solar con Disco Stirling, de 1.6 MW, Peoria, Arizona, USA



60 colectores solares de 25 kW c/u

http://www.stirlingenergy.com/pdf/2009_8_19.pdf

Jorge González-FACET-UNT

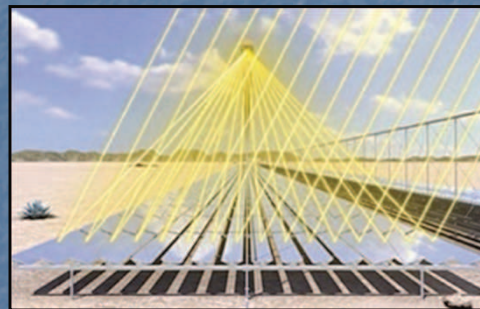
39

Sistema Concentrador Fresnel

Estos sistemas reflejan la radiación solar en espejos planos o levemente curvados y la concentran en un receptor lineal situado a una altura del orden de los metros. Por allí circula agua que es calentada y evaporada. Presenta bajos costos y generan en el orden de los MW.



Vista de los espejos
y Tubo absorbedor



Reflexión de rayos
en los espejos

Jorge González-FACET-UNT

40

Central Solar Fresnel Nova-1 de 1,4 MW, España



Energía producida = 2 GWh
 16 filas paralelas de espejos y receptor lineal a una altura de 7,40 metros.
 Fluido = agua, vapor a temperatura de 270 °C y presión de 55 bar
http://www.novatec-biosol.com/index.php?article_id=14&clang=1

Jorge González-FACET-UNT

41

Comparación entre Sistemas de Concentración Solar

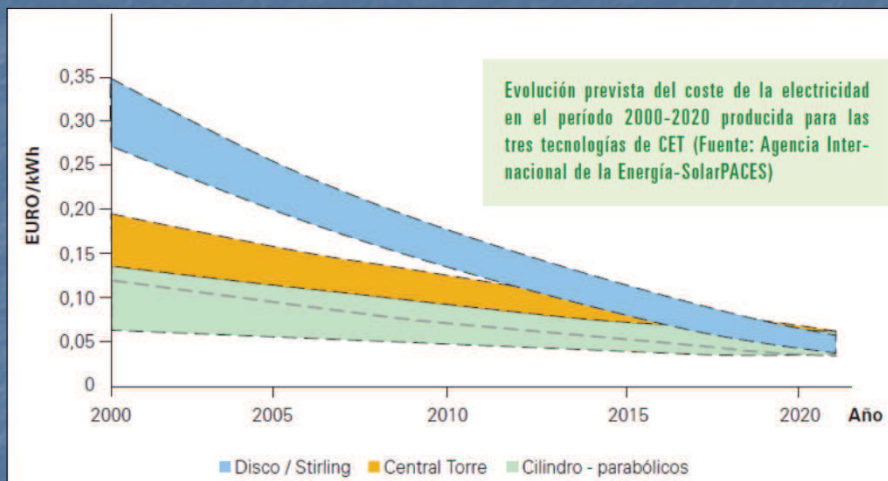
Características más reseñables de las Centrales Eléctricas Termosolares (CET)			
	Cilindro-parabólicos	Receptor Central	Discos Parabólicos
Potencia Eléctrica	30-80 MW*	10-200 MW*	5-25 kW
Temperatura operación	390 °C	565 °C	750 °C
Factor de capacidad anual	23-50 % *	20-77 % *	25 %
Eficiencia pico	20 %	23 %	29,4 %
Eficiencia Neta Anual	11-16 % *	7-20 % *	12-25 %
Estado comercial	Disponible comercialmente	Demostración	Prototipos-demostración
Riesgo Tecnológico	Bajo	Medio	Alto
Almacenamiento disponible	Limitado	Sí	Baterías
Diseños híbridos	Sí	Sí	Sí
Coste W instalado			
Euro/W	3,49-2,34*	3,83-2,16*	11,00-1,14*
Euro/Wp**	3,49-1,13*	2,09-0,78*	11,00-0,96*

* El rango indicado se refiere al periodo de 1997 al año 2030.
 ** Euro/Wp se refiere al coste por W instalado eliminando el efecto de almacenamiento de energía, tal y como se hace en la energía solar fotovoltaica.

Jorge González-FACET-UNT

42

Evolución prevista del coste de la electricidad en el período 2000-2020



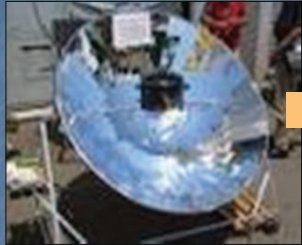
Jorge González-FACET-UNT

43

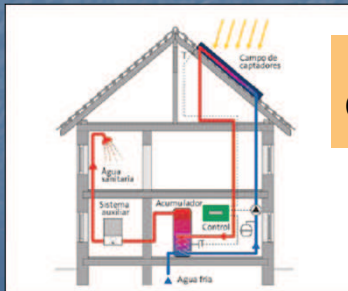
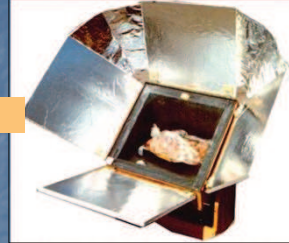
Plataforma Solar de Almería-España



Sistemas Solares Térmicos de Baja Potencia



Cocinas Solares



Agua Caliente Sanitaria
(400-700 Eu/m²,
50 lt/m²)



Jorge González-FACET-UNT

45

Sistema Eólico



ENERGIA SOLAR

ENERGIA EOLICA

ELEMENTO TECNOLO.

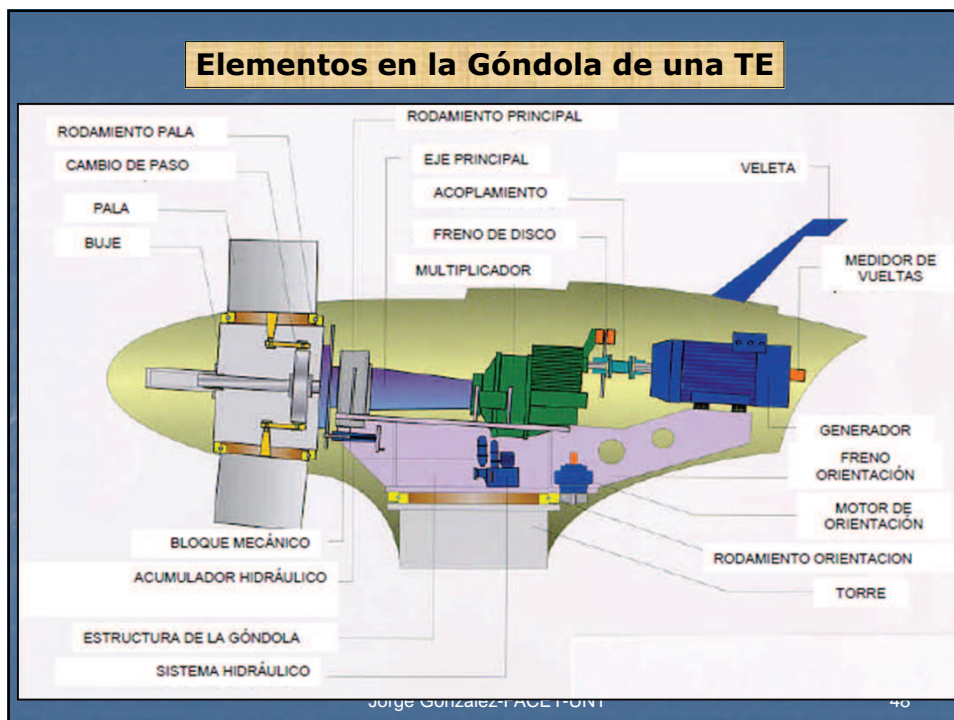
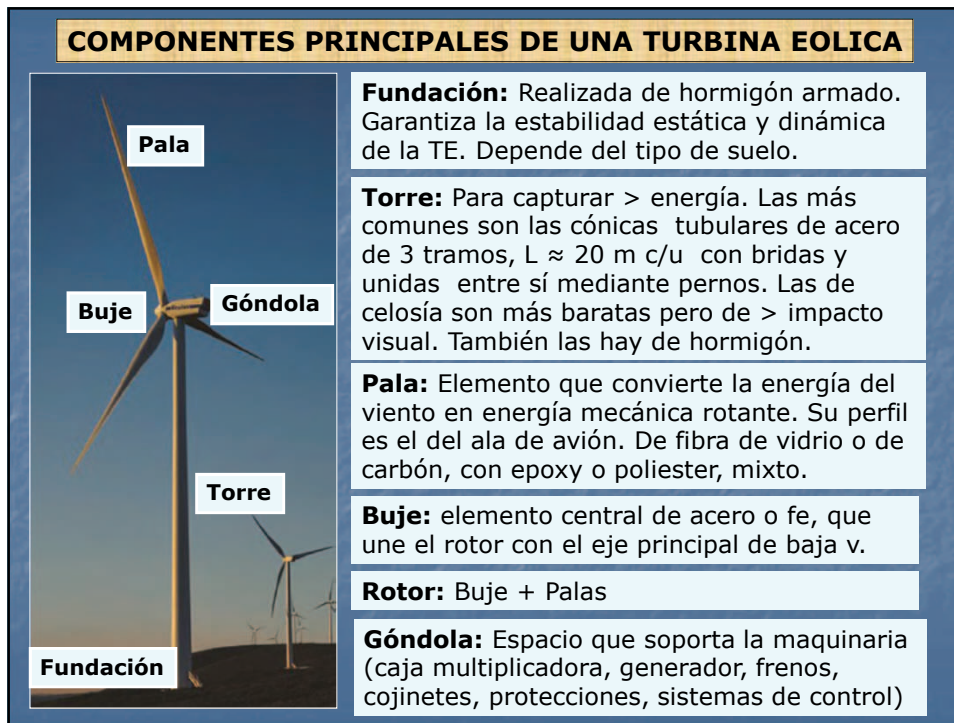
ENERGIA MECANICA

ELEMENTO TECNOLO.

Proceso de transformación usado durante centenares de años, para aplicaciones en navegación, molienda de granos, bombeo de agua, etc..

ENERGIA ELECTRICA

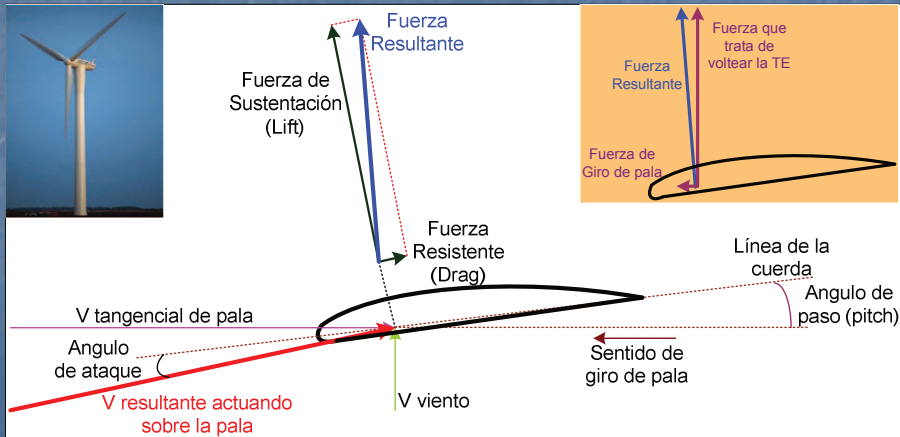
En la actualidad, este proceso tiene como fin principal la *Generación de Energía Eléctrica*, vinculándose diversas áreas del conocimiento: planificación, meteorología, aerodinámica, electricidad, mecánica, civil.



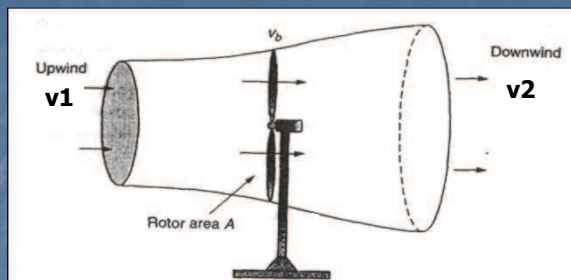
El viento global resulta de la existencia de diferentes temperaturas en diferentes lugares, rotación terrestre, etc.
El viento local de las condiciones particulares del sitio.

MUY IMPORTANTE: medición del viento → potencial energético

$$P_d / A = \frac{1}{2} \rho \times v^3 \text{ [W/m}^2\text{]}$$



El η ideal de una Turbina Eólica: η de Betz



La potencia mecánica en el rotor:

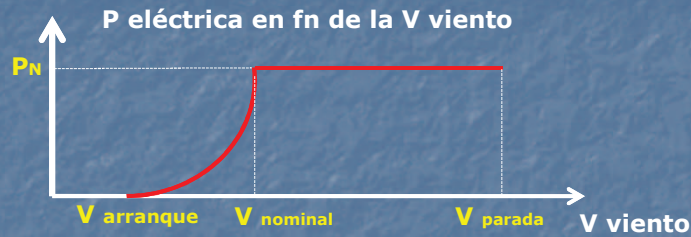
$$P_{rotor} = P_{viento} C_p = \frac{1}{2} \rho A v^3 \cdot C_p \quad C_p = \text{Coeficiente de Potencia}$$

$$k = \frac{v_2}{v_1} = \frac{1}{3} \rightarrow C_{p_{max}} = \eta_{Betz} = \frac{16}{27} \rightarrow 59,3\% \rightarrow P_{rotorMaximo} = P_{viento} \eta_{Betz}$$

El mejor C_p en la práctica es del orden de 45-50 %

CURVA DE POTENCIA DE UNA TE

Es una de las informaciones técnicas más importantes:



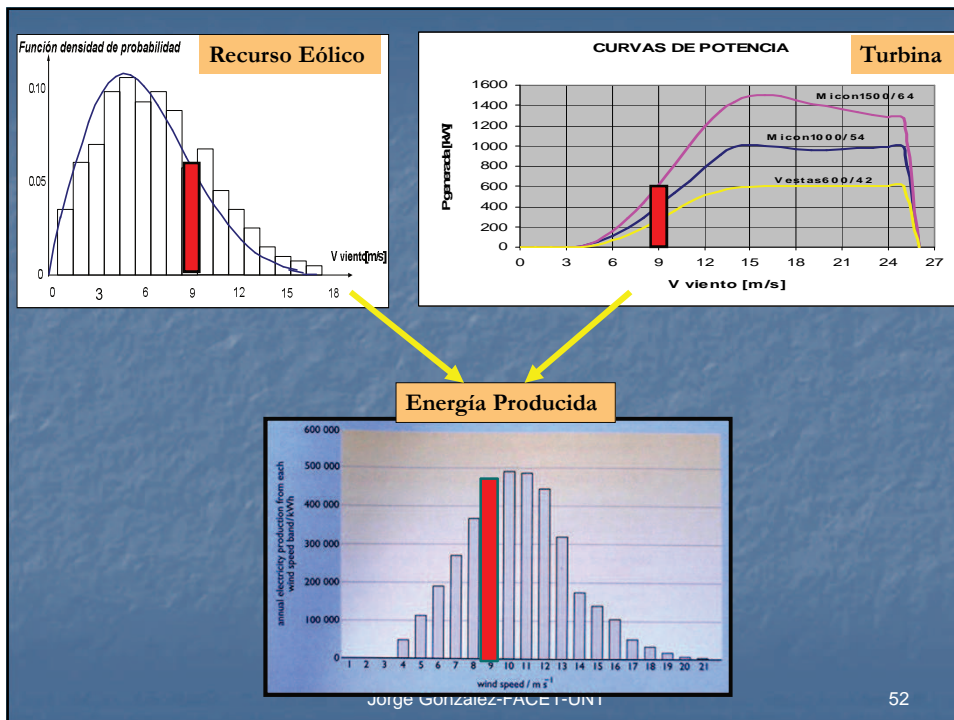
V arranque = mínima Vv para que el G venza pérdidas internas y comience a generar electricidad (3-5 m/s)

V nominal = Vv a la que el G comienza a entregar su Pnominal Pn. Por encima de esa Vv se debe mantener la Potencia que entrega el G al valor Pn (12-15 m/s)

V parada = máxima Vv permitida para que el G genere electricidad. Se debe frenar el rotor, porque por encima de esta Vv hay peligro de destrucción de la TE (24-30 m/s).

Jorge González-FACET-UNT

51



Jorge González-FACET-UNT

52

TE modernas para Producción de Elect.



**TE aislada de la red
100-5000 W**






**TE para Parques
-orden de los MW-**



Jorge González-FACET-UNT 53

TE de eje vertical



Jorge González-FACET-UNT 54

Parque Eólico Actual: on y offshore



55

Parque Eólico do Alto Minho, Portugal



P = 240 MW
E producida = 667 [GWh/año]

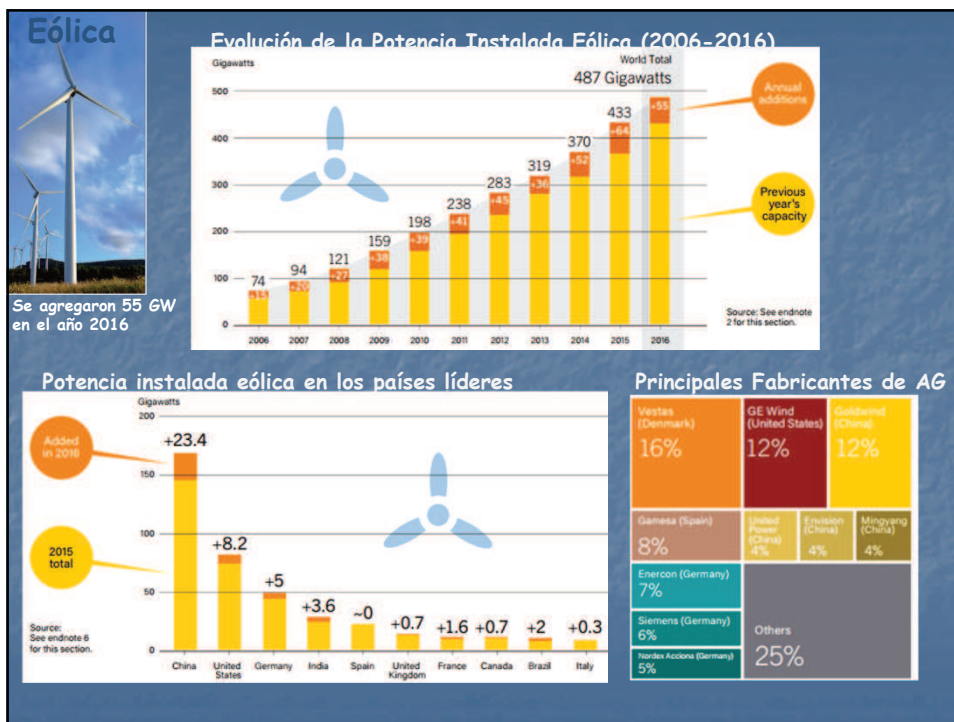
120 aerogeneradores con capacidad de 2MW cada uno, repartidos en cinco grupos, a lo largo de 30 km

Inversión = 343 10E6 euros

http://dn.sapo.pt/inicio/interior.aspx?content_id=643005

Jorge González-FACET-UNT

56



BIOENERGIA

Los combustibles derivados de la biomasa → BIOCOMBUSTIBLES:

➤ Materia residual forestal y/o agrícola (madera, pellets, astillas, bagazo, cáscara de arroz, hueso de aceituna, etc.) → **Combustión**



pellet

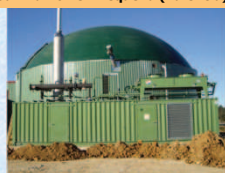


estufa

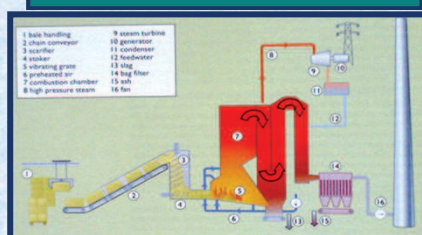


caldera

Digestor anaerobio de la Granja San Ramón en Requena (Valencia).

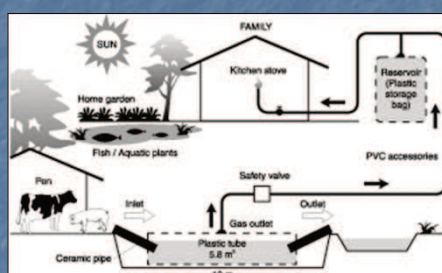
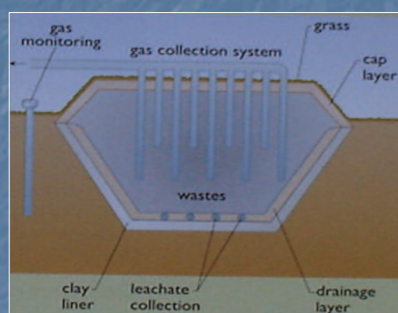


Central Térmoelectrónica usando Biomasa



Costo: 1200-2000 [U\$S/kW instalado]

➤ Materia orgánica (heces animales, residuos agrícolas) → acción de bacterias metanogénicas en ambiente anaeróbico (biodigestor) → **biogas** → Combustible para generar calor.

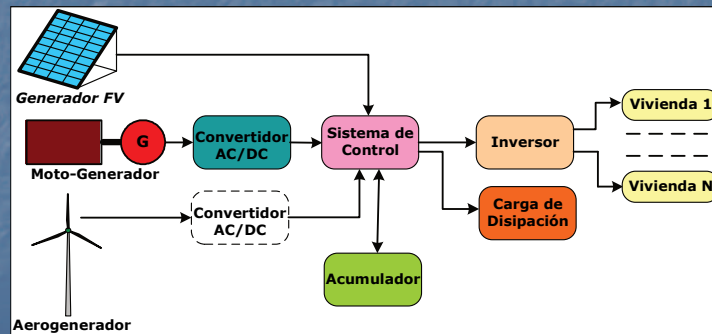
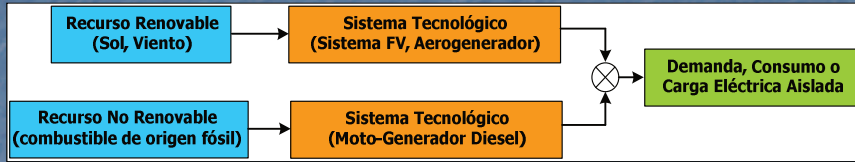


Biocarburantes:

➤ Caña de azúcar, remolacha, cereales → proceso de fermentación de azúcares → **bioetanol** (alternativo a la nafta).

➤ Aceites vegetales (maíz, soja, girasol, colza, jatropha, palma) → proceso de transesterificación (agregado de metanol) → **biodiesel** (alternativo al dieseloil).

Sistemas Híbridos: Diferentes sistemas tecnológicos que aprovechan diferentes energías para producir electricidad



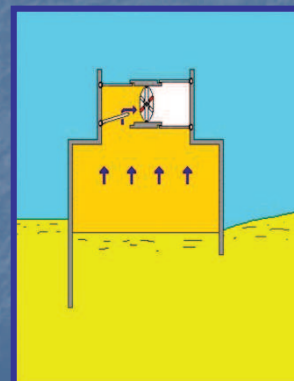
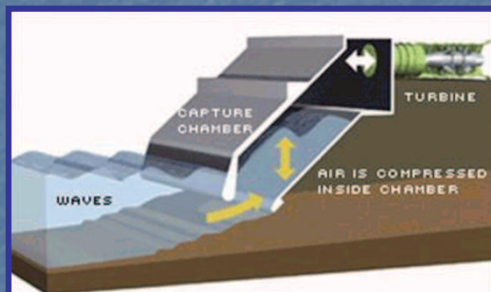
Jorge González-FACET-UNT

61

ENERGIA DE LAS OLAS

El viento sopla sobre el océano → olas.

Las olas resultan de procesos muy complejos. Están caracterizadas por su altura, longitud de onda, velocidad de propagación, forma, densidad del agua.



Jorge González-FACET-UNT

62

Sistema Pelamis (Serpiente de Mar)



Sistema de Boyas

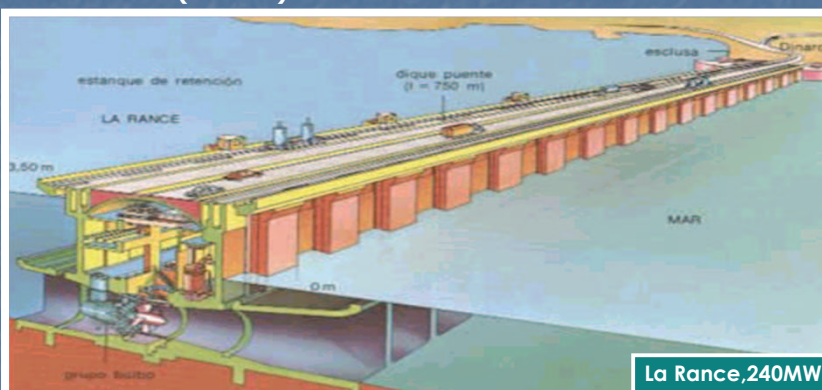


Jorge González-FACET-UNT

63

ENERGIA MAREOMOTRIZ

Energía producida por el movimiento cíclico de las masas oceánicas sobre la costa (mareas).



La Rance, 240MW

Se construye un embalse conectado al mar a través de aberturas (donde se disponen Turbinas tipo bulbo) controladas por válvulas. Se las cierra para que se establezca una h conveniente entre embalse y mar, y se las abre para permitir que el agua fluya en forma alternada por las turbinas, produciendo energía.

Jorge González-FACET-UNT

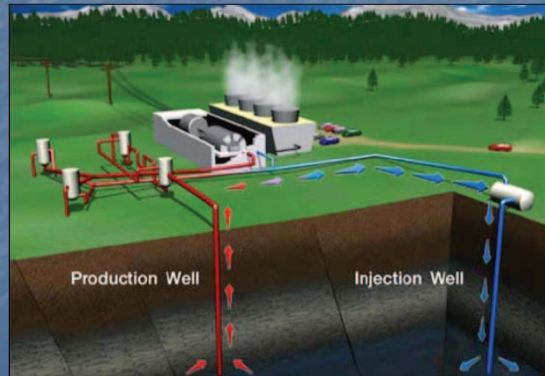
64

ENERGIA GEOTERMICA

Su origen no es el sol, sino el calor interno de la Tierra por desintegración de elementos radiactivos.

Se realizan perforaciones de hasta 5000 m para encontrar vapor o agua caliente (se usan también geisers y grietas).

El vapor y/o agua se purifican en boca de pozo → proceso de transformación → el vapor pasa por las turbinas → se condensa y se reinyecta al pozo.



Jorge González-FACET-UNT

65