

CURSO:
"Energías Alternativas en Canarias"

A.C.E.C.

Dr. Francisco Jarabo Friedrich
1994/95

ESQUEMAS

LA ENERGÍA Y SUS FORMAS

Energía: definición

Formas de energía: mecanismos de transporte

Principios de la Termodinámica: cantidad y calidad

EFICACIA DE CONVERSIÓN DE LA ENERGÍA

Eficacia, eficiencia o rendimiento

Rendimiento energético

Rendimiento económico

Rendimiento social

TRANSFORMACIÓN DE LA ENERGÍA

Energía primaria

Energía secundaria

Energía final y energía útil

Potencia

LA ENERGÍA: BASE DE LA CIVILIZACIÓN ACTUAL

Descubrimiento y utilización de la energía:

* Fuego, aprovechamiento agrícola y ganadero, rueda (transportes)

Edad Antigua:

* Velas, rueda hidráulica y molinos de viento

Edad Media:

* Energía magnética (brújula) y energía química (pólvora)

Edad Moderna/Contemporánea:

* Máquina de vapor: Revolución Industrial

* Madera y carbón como fuentes energéticas

* Aparece el petróleo (1859): generador eléctrico, luz eléctrica, motor de combustión, automóvil

* Energía nuclear (1942)

* CRISIS ENERGÉTICA (1973 - 1979) : 6.000 tep anuales

- Ahorro de energía

- Búsqueda de nuevas fuentes

- Estabilización de precios del petróleo desde 1986

- Soluciones energéticas alternativas.

CARACTERÍSTICAS DEL CONSUMO ENERGÉTICO ACTUAL

Petróleo: vida familiar, política mundial, economía internacional y estrategias de desarrollo nacional

Hechos:

- * Consumo de petróleo en el nivel de los años 70
- * No se ha encontrado sustituto del petróleo
- * Recesión económica y problemas estructurales

Revisión de las políticas energéticas, estudio de nuevas fuentes y diversificación del aprovisionamiento

Etapas de transición hacia nuevas fuentes: mayores necesidades, crecimiento de la población

Futuro predecible:

- * Consumo de hidrocarburos seguirá siendo fundamental
- * Existen incertidumbres en el ámbito mundial
- * Variación de los precios, posiblemente al alza
- * Necesidad de aumentar su consumo los países en desarrollo
- * Grandes inversiones para lograr un nuevo equilibrio energético
- * Necesidad de diversificar las fuentes de energía
- * Posible competencia con otros objetivos económicos
- * Soluciones energéticas a muy largo plazo

RECURSOS ENERGÉTICOS RENOVABLES Y NO RENOVABLES

Energías no renovables, de origen terrestre, ya que llevan almacenadas en la Tierra desde hace millones de años y, por tanto, son recursos finitos y de distribución geográfica irregular:

- * combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas natural)
- * uranio (energía nuclear de fisión)
- * fósiles alternativos (pizarras bituminosas, arenas asfálticas)

Energías renovables, que tienen su origen en el flujo continuo de la energía del Sol y se disipan a través de ciclos naturales:

- * Energía solar, directa, que atraviesa la atmósfera sin experimentar cambios sensibles
- * Energía eólica, o energía contenida en el viento
- * Energía de la biomasa, energía química almacenada en las plantas verdes y que se extiende a todos los seres vivos y sus residuos
- * Energía geotérmica, cuyo origen remoto también está en el Sol, pero actualmente contenida en el interior de la Tierra
- * Energía hidráulica, contenida en las masas de agua situadas a cierta altura
- * Energía del mar, que se manifiesta de tres formas distintas: mareas, diferencias de temperatura y olas

Características de la energías renovables:

- * Abundantes localmente
- * Explotación no gratuita
- * Bajo deterioro del medio ambiente

Factores de éxito de las nuevas tecnologías energéticas renovables:

- * Conocimiento de las necesidades y posibilidades
- * Demanda popular
- * Integración en los sistemas energéticos actuales
- * Sencillez y bajo coste de la tecnología
- * Apoyo institucional, tanto educativo como económico

MAGNITUDES ENERGÉTICAS

APARATO	POTENCIA (W)	CONSUMO ANUAL NORMAL (kW.h)
Estufa eléctrica	8.000	600
Frigorífico	100	600
Lavadora	3.000	500
Lavavajillas	1.500	300
Televisor b/n	200	100
Televisor color	300	200
Plancha	1.000	25
Máquina de afeitarse	15	0,5
Bombilla	60	50
Tubo fluorescente	40	30
Tostadora	1.000	20
Radio	50	50

1 kW.h:	energía que se obtiene de 10 m ³ de agua, cuando éstos caen desde una altura de 40 m, y pueden proporcionar: 1 a 2 horas de calefacción en invierno 2 a 5 horas de televisión en color 1.000 litros de agua bombeados desde una profundidad de 50 m
1 MW.h:	energía que permite mover un automóvil a lo largo de unos 1.000 km
1 GW.h:	energía que consume una ciudad de alrededor de 100.000 habitantes en un día
1 TW.h:	energía producida por una pequeña central nuclear a lo largo de 2 meses

SITUACIÓN ENERGÉTICA DE LAS ISLAS CANARIAS

Importancia del petróleo exterior

Refino de 4 millones de Tm/año:

- * Mercado interior (40%): consumo interno
Electricidad (50%): 1.000 MW
- * Mercado exterior (60%): suministro al transporte

Situación:

- * Canarias depende del petróleo
- * La cobertura está asegurada
- * Distribución de combustibles compleja y costosa
- * Estructura eléctrica compleja y costosa
- * Últimamente crecimiento de consumo eléctrico
- * Necesario diversificar fuentes de suministro y reducir costes
- * Relación energía/agua

Objetivos:

- * Diversificar fuentes de suministro exterior
- * Fomentar uso racional de la energía
- * Potenciar recursos propios

RECURSOS ENERGÉTICOS DE LAS ISLAS CANARIAS

Características de Canarias:

- * Balance energético muy desfavorable
- * Gran disponibilidad de fuentes renovables: solar, eólica, biomasa, geotérmica, oleaje

Inconvenientes:

- * Fuentes de baja densidad
- * Difícilmente transportables y almacenables
- * Insuficiente desarrollo tecnológico y altos costes

Resultados:

- * Actualmente no son alternativas al consumo
- * Podrían tener importancia a medio plazo

RECURSOS ENERGÉTICOS DE LAS ISLAS CANARIAS (cont.)

Solar térmica:

- * Desde 1982 instalaciones de agua caliente sanitaria
- * Existen unos 48.000 m² de colectores planos

Solar fotovoltaica:

- * Electrificación de viviendas rurales
- * Instalación de puntos de bajo consumo
- * Actualmente hay unos 250 kW instalados

Eólica:

- * Instalación de parques eólicos en Fuerteventura, Gran Canaria y Tenerife
- * La potencia actual es de unos 13 MW

Hidráulica:

- * Presencia muy restringida
- * Existen 800 kW en la isla de La Palma
- * Algunos proyectos en estudio

Geotérmica:

- * Atracción turística en Lanzarote
- * Prospecciones en Lanzarote y Tenerife

Estudios sobre:

- * Residuos urbanos (biomasa)
- * Captadores de olas (prototipos)

RECURSOS ENERGÉTICOS DE LAS ISLAS CANARIAS (cont.)

Análisis futuro:

- * Muy sensible a entornos económico y legislativo
- * Tecnología poco desarrollada
- * Desconocimiento del potencial exacto
- * Necesidad de creación de infraestructura tecnológica

Integración en la educación medioambiental:

- * Energías renovables: relación óptima medio ambiente/energía
- * Educación energética y ambiental:
 - Utilización racional de recursos
 - Actitud favorable hacia el medio ambiente
- * Divulgación en niveles educativos elementales:
 - Integración multidisciplinar
 - Desarrollo teórico-práctico

EL SOL COMO FUENTE DE ENERGÍA

Origen de la energía solar: SOL, fuente inagotable

Energía que llega a la Tierra (fuera de la atmósfera):

- * Potencia total: 10.000 veces la utilizada actualmente por el hombre
- * Densidad de flujo: 1.353 W/m^2 , "constante solar"
- * Espectro solar: UV, visible, IR

Energía que llega a la Tierra (suelo):

- * Potencia total: 2.000 veces la utilizada actualmente por el hombre
- * Densidad de flujo: 900 W/m^2
- * Componentes: directa y dispersa (o difusa)
- * Sistribución irregular: necesidad de medir y elaborar "mapas solares"

HISTORIA DE LAS APLICACIONES DE LA ENERGÍA SOLAR

- * Arquímedes: espejos para defender Siracusa (siglo III a.C.)
- * Hornos solares en el siglo XVIII
- * Generación de vapor y desalinización de agua en el siglo XIX
- * Siglo XX: calentadores de agua domésticos 1930-1940 en EE.UU.
- * Diversos desarrollos en los años 50 (cocinas solares, máquinas de vapor)
- * Resurgimiento importante después de la crisis del petróleo

SISTEMAS DE CAPTACIÓN

Características de la energía solar:

- * **Dispersión:** implica grandes superficies de captación o sistemas de concentración de los rayos solares.
- * **Intermitencia:** obliga al uso de sistemas de almacenamiento de la energía captada

Tipos de sistemas de captación:

- * **Pasivos:** no necesitan ningún dispositivo para captar la energía solar; su aprovechamiento se logra aplicando distintos elementos arquitectónicos
- * **Activos:** captan la radiación solar por medio de un elemento de determinadas características, llamado "colector"
 - **Conversión térmica** (a baja, media o alta temperatura): aprovechar el calor contenido en la radiación solar
 - **Conversión eléctrica:** aprovechar la energía luminosa de la radiación solar para generar directamente energía eléctrica mediante el "efecto fotovoltaico"

UTILIZACIÓN PASIVA DE LA ENERGÍA SOLAR

Captación, almacenamiento y distribución de la energía de forma natural

Elementos arquitectónicos:

- * **Acrisolamiento:** capta la energía solar y retiene el calor igual que un invernadero
- * **Masa térmica:** constituida por los elementos estructurales del edificio o por algún material acumulador específico (agua, tierra, piedras), tiene como misión almacenar la energía captada

Aplicaciones:

- * Calefacción y refrigeración domésticas
- * Actividades agrícolas (invernaderos, secaderos, establos)

CONVERSIÓN TÉRMICA DE BAJA TEMPERATURA

Calentamiento de agua por debajo de su punto de ebullición:

"Sistema solar activo de baja temperatura":

- * Sistema colector: capta la energía solar y está constituido por "placas solares", "captadores" o "paneles"
 - Superficie captadora de la radiación solar
 - Circuito por donde circula el fluido que transfiere el calor captado
 - Cubierta transparente
 - Aislamiento térmico
 - Caja protectora que acopla el conjunto al resto de la instalación
- * Subsistema de almacenamiento: constituido por depósitos que almacenan el agua caliente procedente de los paneles
- * Subsistema de distribución: instalación de tuberías y accesorios, que permite transportar el agua caliente desde el colector hasta los depósitos de almacenamiento y desde aquí a los puntos de consumo

CONVERSIÓN TÉRMICA A TEMPERATURAS MEDIAS

Temperaturas superiores a 100 °C

Concentración de la energía: lentes o **espejos** la canalizan hacia un "foco"

Colector típico: cilindro-parabólico (temperaturas menores de 300 °C)

- * Necesita orientación
- * Es más caro que el panel plano
- * Volumen de acumulación necesario menor que para el panel plano

Aplicaciones:

- * Domésticas
- * Industriales (granjas solares):
 - Desalinización, refrigeración, climatización, producción de electricidad

CONVERSIÓN TÉRMICA A ALTAS TEMPERATURAS

Temperaturas superiores a 300 °C

Alto grado de concentración: grandes paraboloideas o muchos espejos planos

Sistema típico: central solar de torre con "heliostatos"

- * Temperaturas mayores de 500 °C
- * Producción de vapor de alta presión
- * Generación de electricidad

CONVERSIÓN ELÉCTRICA: SISTEMAS FOTOVOLTAÍCOS

Efecto fotovoltaico: producción de una corriente eléctrica en un material semiconductor como consecuencia de la absorción de radiación luminosa

Semiconductor: material con características especiales de conductividad eléctrica. Tipo "n", tipo "p", según las impurezas ("dopado")

Célula solar fotovoltaica: disco monocristalino de silicio dopado, hasta hacerlo, en su superficie expuesta al Sol de tipo "n" y en su parte inferior de tipo "p"

Módulo fotovoltaico: conexión de varias células fotovoltaicas montadas entre dos láminas de vidrio que las protegen de la intemperie

Panel fotovoltaico: serie de módulos montados sobre un soporte mecánico; según se conecten en serie o en paralelo, puede conseguirse casi cualquier valor de tensión y de intensidad de corriente

Sectores de aplicación fotovoltaica:

- * Aplicaciones remotas: lugares donde sólo se prevé un pequeño consumo de electricidad (repetidores de radio y televisión, radiofaros, balizas, etc.), y en los que es necesario una acumulación en baterías
- * Usos rurales: instalaciones aisladas de la red general que no suelen requerir acumulación (riego, molienda, descascarillado, etc.)
- * Autogeneración: centros de consumo conectados a la red, utilizando la energía solar como base y la energía de la red eléctrica como complemento
- * Grandes centrales: generación masiva de electricidad, sólo posible en condiciones favorables de evolución de la tecnología fotovoltaica, el coste de las fuentes energéticas convencionales y las condiciones climáticas

Elevado coste de las células; reducción basada en:

- * Utilización de nuevos materiales: existen semiconductores con propiedades fotovoltaicas, cuyo coste de producción es mucho más bajo que el del silicio
- * Aumento de la radiación incidente: existen dos opciones
 - Utilizar células bifaciales, capaces de recibir la radiación solar por ambas caras
 - Utilizar concentración óptica por medio de lentes

EL ORIGEN DEL VIENTO

Viento: corriente de aire resultante de las diferencias de presión en la atmósfera provocadas por variaciones de temperatura

Tipos de circulación del aire en la atmósfera:

- * Circulación planetaria: debida a la incidencia de los rayos solares sobre la Tierra y a la rotación de ésta; varía según la zona y la época del año
- * Circulación a pequeña escala: viene determinada por la orografía del terreno, como las montañas y la presencia del mar

Variables que afectan el régimen de vientos (importancia en el diseño):

- * Situación geográfica
- * Características climáticas
- * Estructura topográfica
- * Irregularidades del terreno
- * Altura sobre el nivel del suelo

LA ENERGÍA DEL VIENTO

Conversión: 2 % de la energía recibida por la Tierra (20 veces el consumo actual)

Energía cinética: su aprovechamiento se basa en frenar el aire

Potencia obtenible depende de la **velocidad** y del **área de captación**

BREVE HISTORIA DEL APROVECHAMIENTO EÓLICO

Molinos de grano persas de eje vertical

Máquina babilonia para el bombeo de agua (1700 a.C.)

Siglo XI: molinos mediterráneos con rotores a vela

Siglo XVIII: molinos centroeuropeos automatizados

Siglo XIX: multipala americano

Siglo XX: teorías aerodinámicas para el diseño

A raíz de la crisis energética:

- * Elaboración de mapas eólicos y localización de emplazamientos
- * Cálculo, diseño y construcción de plantas de gran potencia

MAQUINAS EÓLICAS

Máquina eólica: cualquier dispositivo accionado por el viento

Aeromotor: utilización directa de la energía mecánica

Aerogenerador: acciona un generador eléctrico

Elementos de una máquina eólica:

* Soportes

- Autoportantes: torres de estructura metálica, de hormigón o tubulares
- Atirantados: estructuras unidas al suelo por cables tensados que permiten, en las máquinas pequeñas, abatir la máquina para su mantenimiento o reparación

* Sistema de captación: rotor (compuesto de "palas")

Según el eje de giro:

- Eje horizontal
- Eje vertical

Parámetros de funcionamiento:

- Velocidad típica de giro: relación entre la velocidad de la punta de la pala y la velocidad del viento; rotores lentos (velocidad típica próxima a 1) o rápidos (velocidad típica de 5 a 8)
- Rendimiento aerodinámico o "coeficiente de potencia": fracción de la energía del viento que se transforma en energía mecánica; oscila entre el 20 y el 40%, dependiendo de las características geométricas de las palas:

* Longitud

* Perfil, o forma del borde de ataque de la pala contra el viento

* Calaje, o ángulo de ataque de la pala contra el viento

* Anchura

* Sistema de orientación (sólo para rotores de eje horizontal):

- Cola
- Rotores laterales
- Efecto de conicidad (máquinas medianas)
- Motores auxiliares (máquinas grandes)

MAQUINAS EÓLICAS (cont.)

- * Sistema de regulación
 - Puesta en bandera
 - Paso variable de las palas
 - Frenado del eje
- * Sistema de transmisión
 - Poleas, engranajes o cigüeñal-biela (aeromotores)
 - Multiplicadores (aerogeneradores)
- * Sistema de generación
 - Dinamo (corriente continua)
 - Alternador (corriente alterna)

DISEÑO DE INSTALACIONES EÓLICAS

Factores de diseño:

- * Emplazamiento: viento regular y alta velocidad media (información meteorológica):
 - Mapas eólicos: información del nivel medio de los vientos en un área geográfica, situando las zonas energéticamente más idóneas
 - Distribuciones de velocidad: estudio zonal de un mapa eólico del número de horas al año en que el viento tiene una dirección y una velocidad dadas
 - Perfiles de velocidad: estudio puntual de la variación de la velocidad del viento con la altura respecto al suelo
- * Tamaño de la máquina:
 - Pequeñas (aplicaciones individuales)
 - Medianas (integración en parques eólicos)
 - Grandes (generación eléctrica aislada)
- * Costes:
 - Dependen del tamaño de la máquina y de sus aplicaciones

APLICACIONES DE LA ENERGÍA EÓLICA

Centralizadas: producción masiva de electricidad vertida a la red de distribución

- * Aerogeneradores de gran potencia: aerogeneradores en el rango de potencias de los MW; potencia instalable muy grande, pero con problemas técnicos
- * Parques eólicos: centrales eólicas formadas por agrupaciones de aerogeneradores de mediana potencia (alrededor de 100 kW) conectados entre sí, que vierten su energía conjuntamente a la red

Autónomas: obtención de energía a pequeña escala:

- * Energía mecánica: aplicación inmediata en el bombeo de agua por medio de bombas de pistón, de tornillo helicoidal o centrífugas
- * Energía térmica: obtenible a partir de la energía mecánica bien por calentamiento de agua por rozamiento mecánico, o bien por compresión del fluido refrigerante de una bomba de calor
- * Energía eléctrica: aplicación más frecuente; obliga a su almacenamiento o a la interconexión del sistema de generación autónomo con la red de distribución eléctrica
- * Aplicaciones autónomas típicas:
 - Bombeo de agua y riego
 - Acondicionamiento y refrigeración de almacenes
 - Refrigeración de productos agrarios
 - Secado de cosechas
 - Calentamiento de agua
 - Acondicionamiento de naves de cría de ganado
 - Alumbrado y usos eléctricos diversos (repetidores, estaciones)

LA FORMACIÓN DE LA BIOMASA

Energía de la biomasa: energía solar almacenada en forma de energía química
materia orgánica o materia viva

Fotosíntesis: transformación de productos minerales en materia orgánica con ayuda
de la energía solar (rendimiento \approx 1%)

Potencial 5 veces el eólico pero limitado por:
dispersión, difícil recolección y dificultades de transporte

FUENTES DE BIOMASA PARA FINES ENERGÉTICOS

Biomasa: conjunto de materiales orgánicos generados a partir de la fotosíntesis o bien
producidos en la cadena biológica

Tipos:

- * Biomasa vegetal
- * Biomasa animal
- * Biomasa residual (vegetal, animal)
- * Biomasa fósil (carbón, petróleo)

Obtención de energía útil:

- * Utilizar como fuente de biomasa los residuos (perspectivas inmediatas de aprovechamiento)
- * Utilizar como fuente de biomasa los llamados "cultivos energéticos", plantaciones destinadas exclusivamente a producir energía (importancia significativa sólo a medio o largo plazo)

FUENTES DE BIOMASA PARA FINES ENERGÉTICOS (cont.)

Tipos de residuos:

* Residuos agrarios

- Residuos agrícolas: fracción de las plantas cultivadas que es preciso separar para obtener el fruto o para facilitar el cultivo (pajas de cereales, residuos de poda de frutales y viñedo y tallos de cultivos textiles y de oleaginosas)
- Residuos forestales: materiales que se originan en la elaboración de madera o en la limpieza de los montes (ramas, cortezas, virutas, serrín, hojas, tocones y raíces)
- Residuos ganaderos: deyecciones de los animales estabulados en las explotaciones ganaderas

* Residuos industriales: industrias alimentarias

* Residuos urbanos

- Residuos sólidos urbanos: materiales generados en los procesos de consumo humano que son destinados al abandono; es la biomasa residual más aprovechable ya que está concentrada, es imprescindible su recogida y es necesario su transporte
- Aguas residuales urbanas: líquidos procedentes de la actividad humana, cuya fracción sólida contiene una apreciable cantidad de biomasa residual; su depuración genera fangos de alta carga contaminante, que hay que reducir

FUENTES DE BIOMASA PARA FINES ENERGÉTICOS (cont.)

Cultivos energéticos: cosechas que se desarrollan atendiendo al valor que poseen como fuente de energía. Esta faceta agrícola se conoce como "Agroenergética"

* Cultivos tradicionales

- Cereales
- Caña de azúcar
- Remolacha
- Mandioca
- Plantaciones forestales

* Cultivos poco frecuentes

- Cardos
- Patata
- Chumberas
- Ágaves
- Helechos

* Cultivos acuáticos

- Algas convencionales y unicelulares
- Jacinto de agua

* Cultivos de plantas productoras de combustibles líquidos

- Palmeras
- Euforbias
- Ricino
- Jojoba
- Copaiba
- Membrillo negro

PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN DE LA BIOMASA EN ENERGÍA

Ventajas de los combustibles obtenidos:

- Presentan escaso contenido en azufre
- No forman escorias en su combustión
- Tienen bajo contenido en cenizas
- Contribuyen a mejorar la calidad del medio ambiente

Tipos de procesos:

- * Extracción directa
- * Procesos termoquímicos: aplicación de elevadas temperaturas con exceso de oxígeno (combustión), en presencia de cantidades limitadas de oxígeno (gasificación) o en ausencia del mismo (pirólisis); los materiales más idóneos son los de bajo contenido en humedad (madera, paja, cáscaras, etc.) y se generan mezclas de combustibles sólidos, líquidos y gaseosos
- * Procesos bioquímicos: se llevan a cabo mediante diversos tipos de microorganismos, que degradan las moléculas complejas a compuestos simples de alta densidad energética; se utilizan para biomasa de alto contenido en humedad, siendo los más corrientes la fermentación alcohólica para producir etanol y la digestión anaerobia, para la producción de metano

EXTRACCIÓN DE HIDROCARBUROS

Numerosas especies vegetales producen en su metabolismo hidrocarburos o compuestos afines, de elevado poder calorífico. Estos se pueden extraer de forma directa con disolventes, aunque según la especie vegetal puede variar el tratamiento previo, los disolventes utilizados a lo largo del proceso (y que hay que reciclar) y las diferentes fracciones obtenidas al final de cada operación

COMBUSTIÓN

La combustión directa u oxidación completa para dar dióxido de carbono, agua, cenizas y calor (único componente energético útil del proceso), es el sistema más elemental para la recuperación energética de la biomasa

Factores más importantes:

- * Exceso de oxígeno: 20 - 40% superior al teórico
- * Temperatura de combustión: 600 - 1.300 °C
- * Características del combustible:
 - Físicas: densidad, tamaño y humedad (la menor posible)
 - Químicas: bajo contenido en azufre
 - Térmicas: dependen de las físicas y las químicas

Elementos de los sistemas de combustión:

- * Horno
- * Equipo de recuperación de calor (caldera)
- * Sistema de utilización de la energía (conducción de vapor, turbogenerador)

GASIFICACIÓN

Procesos de combustión en condiciones de defecto de oxígeno, con producción de monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrógeno y metano, en proporciones diversas según la composición de la materia prima y las condiciones del proceso. La temperatura de operación oscila entre 700 y 1.500 °C y el oxígeno se limita entre un 10 y un 50% del teóricamente necesario para una combustión completa

Dos variantes principales (según la cantidad de oxígeno):

- * Gasificación con aire: obtención de "gas de gasógeno" o "gas pobre", utilizado como combustible para obtener vapor y electricidad
- * Gasificación con oxígeno y vapor de agua: obtención de "gas de síntesis", transformable en combustibles líquidos (metanol y gasolinas)

PIRÓLISIS

Descomposición de la biomasa por la acción del calor (a unos 450 °C) en ausencia de oxígeno; la naturaleza y la composición de los productos finales dependen de las propiedades de la biomasa tratada, de la temperatura y presión de operación y de los tiempos de permanencia del material en la unidad de pirólisis

Grupos de productos:

- * Gases compuestos por hidrógeno, óxidos de carbono e hidrocarburos
- * Líquidos hidrocarbonados
- * Residuos sólidos carbonosos

FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA

Obtención de alcohol por fermentación de los hidratos de carbono simples (azúcares) o complejos (almidón o celulosa) productos del almacenamiento en las plantas de la energía solar captada

Etapas de la fermentación según la biomasa de partida:

- * Pretratamiento de la biomasa: transformación de la materia prima para favorecer la fermentación por medio de trituración, molienda o pulverización
- * Hidrólisis: transformación, en medio acuoso, de las moléculas complejas en azúcares sencillos por medio de enzimas (hidrólisis enzimática) o mediante el uso de reactivos químicos (hidrólisis química)
- * Fermentación alcohólica: conversión de los azúcares en etanol por la acción de microorganismos (levaduras) durante 2 a 3 días bajo condiciones controladas:
 - Temperatura: 27 - 32 °C
 - Acidez: pH entre 4 y 5
 - Concentración de azúcares: inferior al 22%
 - Concentración final de etanol: inferior al 14%
- * Separación y purificación del etanol: destilación de la masa fermentada para obtener etanol comercial del 96% o destilación adicional con un disolvente (benceno) para obtener etanol absoluto (99,5%)

Propiedades combustibles del etanol comparadas con la gasolina:

- * Poder calorífico menor: menor potencia y mayor consumo
- * Calidad antidetonante mayor (mayor índice de octano): mayor aceleración y velocidad punta
- * Calor de vaporización mayor: dificultades en el arranque pero mayor rendimiento
- * Punto de ebullición constante: problemas de arranque

Modificaciones de un motor de gasolina para trabajar con etanol:

- * Aumento de la relación de compresión
- * Recalibrado del carburador
- * Calentamiento del aire de entrada al carburador
- * Modificación del sistema de encendido
- * Uso de bujías especiales

DIGESTIÓN ANAEROBIA

Fermentación microbiana en ausencia de oxígeno que da lugar a una mezcla de gases (principalmente metano y dióxido de carbono), conocida como "biogás" y a una suspensión acuosa o "lodo" que contiene los componentes difíciles de degradar y los minerales presentes en la biomasa. La materia prima preferentemente utilizada es la biomasa residual con alto contenido en humedad, especialmente los residuos ganaderos y los lodos de depuradora de aguas residuales urbanas

VARIABLES QUE AFECTAN AL PROCESO:

- * Temperatura: se encuentra un óptimo de funcionamiento alrededor de los 35 °C
- * Acidez: determina la cantidad y el porcentaje de metano en el biogás, habiéndose encontrado que el valor óptimo de pH oscila entre 6,6 y 7,6
- * Contenido en sólidos: se suele operar en mejores condiciones con menos de un 10% en sólidos, lo que hace de la biomasa de alto contenido en humedad la más adecuada
- * Nutrientes: para el crecimiento y la actividad de las bacterias, éstas tienen que disponer de carbono, nitrógeno, fósforo, azufre y algunas sales minerales
 - Tóxicos: aparte del oxígeno, inhiben la digestión concentraciones elevadas de amoníaco, sales minerales y algunas sustancias orgánicas como detergentes y pesticidas

Características de los recipientes de digestión (digestores):

- * Tamaño: determinado por tres variables interdependientes:
 - Concentración de sólidos degradables
 - Velocidad de alimentación de sólidos
 - Tiempo de permanencia de los sólidos en el digestor
- * Tipo: existen diversos tipos de digestores

Aplicaciones del biogás:

- * Fuente de calor (cocina, alumbrado)
- * Combustión en calderas de vapor para calefacción
- * Combustible de motores acoplados a generadores eléctricos

Aplicaciones del lodo:

- * Fertilización de suelos

EL FENÓMENO GEOTÉRMICO

Geotermia: fenómeno referido al calor almacenado en el interior de la Tierra

Energía geotérmica: energía derivada del calor almacenado en el interior de la Tierra que se produce de forma continua por la desintegración de los materiales radiactivos que existen en muy pequeñas proporciones en las rocas naturales

Gradiente geotérmico: variación de la temperatura con la profundidad; su valor normal es de unos 30 °C/km; las anomalías geotérmicas (hasta 200 °C/km) permiten extraer el calor

Flujo geotérmico: flujo de calor que produce el gradiente geotérmico; su valor normal es de unos 60 mW/m²

Manifestaciones superficiales: alteraciones geotérmicas que pueden indicar su existencia:

- * Volcanismo reciente
- * Zonas de alteración hidrotermal
- * Emanaciones gaseosas
- * Fuentes termales y minerales
- * Anomalías térmicas

EL DESARROLLO GEOTÉRMICO MUNDIAL

Aguas termales desde la época de los romanos

Siglo XX: usos más sofisticados de los fluidos geotérmicos

- * Larderello (Italia), 1904: electricidad y productos químicos
- * Islandia, 1925: agua caliente para calefacción (mayor del mundo)
- * Otros países: Nueva Zelanda, México, El Salvador, California (EE.UU.)

EL SISTEMA GEOTÉRMICO

Condiciones de extracción:

- * Zona de elevada temperatura
- * Roca porosa capaz de retener agua

Yacimiento geotérmico: volumen de roca con temperatura anormalmente elevada para la profundidad a que se encuentra, susceptible de ser recorrida por una corriente de agua que pueda absorber calor y transportarlo a la superficie.

Tipos de yacimientos geotérmicos:

- * Sistemas hidrotérmicos
Fuente de calor a poca profundidad sobre la cual se halla un acuífero encerrado entre rocas impermeables; el aporte de agua es meteórico; los sistemas con predominio de vapor son más fácilmente explotables
- * Sistemas geopresurizados
Acuífero muy profundo soportando gran presión y saturado con gas natural; aún no explotados
- * Sistemas de roca seca caliente
Rocas impermeables a muy alta temperatura; es necesario aportar agua artificialmente y crear grandes superficies de transmisión de calor (fracturando la roca); en investigación

EXPLOTACIÓN Y UTILIZACIÓN DE YACIMIENTOS GEOTÉRMICOS

Datos necesarios de un yacimiento:

- * Profundidad y espesor del acuífero
- * Calidad, caudal y temperatura del fluido
- * Permeabilidad y porosidad de las rocas

Tipos de yacimientos según su temperatura:

- * Alta temperatura, mayor de 150 °C; obtención de electricidad
- * Baja temperatura, menor de 150 °C; aprovechamiento del calor

Variables de diseño de una central geotérmica:

- * Caudal del pozo
- * Temperatura del yacimiento
- * Composición del fluido (líquido-vapor)
- * Temperatura del agua de refrigeración
- * Contenido en sustancias extrañas

Procesos de conversión en energía eléctrica:

- * Conversión directa: sólo utilizable para yacimientos de vapor seco
- * Expansión súbita o "flash": utilizada en yacimientos con predominio de la fase líquida, puede ser también de dos etapas de expansión
- * Proceso de ciclo binario: utiliza en la turbina un fluido secundario calentado por el fluido geotérmico y se aplica a yacimientos con agua conteniendo gran cantidad de sales
- * Proceso de flujo total: aprovecha las fases líquida y vapor mediante válvulas de expansión y turbinas especiales, aunque aún no se utiliza comercialmente

EXPLOTACIÓN Y UTILIZACIÓN DE YACIMIENTOS GEOTÉRMICOS (cont.)

Aplicaciones del agua caliente geotérmica:

- * Calefacción urbana
- * Calefacción industrial
- * Calefacción agrícola

Componentes de una instalación de calefacción geotérmica:

- * Dos pozos, uno de producción y otro de inyección
- * Dos bombas, una de extracción del fluido caliente y otra de reinyección de los efluentes fríos
- * Un intercambiador de calor al pie del pozo de producción
- * Una conducción conectada al intercambiador para el transporte del agua calentada por el fluido geotérmico hasta el consumidor

Inconvenientes de la geotermia de baja temperatura:

- * Grandes inversiones iniciales
- * Bajo rendimiento
- * Imposibilidad de transporte

FACTORES AMBIENTALES

Posibles factores adversos:

- * Utilización del terreno
- * Influencia sobre el suelo
- * Niveles de ruido
- * Contaminación del aire
- * Uso y contaminación de las aguas
- * Contaminación térmica y efectos climáticos
- * Alteración de ecosistemas

EL AGUA Y SU ENERGÍA

Energía hidráulica (energía del agua): energía transformada durante el ciclo hidrológico

- * Evaporación
- * Precipitación
- * Disipación de energía por cambio de nivel

Energía de una corriente de agua:

- * Potencial, debida a su elevación
Permite aprovechar pequeños caudales con grandes desniveles
- * Cinética, debida a su velocidad
Permite aprovechar grandes caudales con pequeños desniveles

Ventajas de la energía hidráulica:

- * No contaminante
- * Rendimientos de transformación muy altos (>80%)
- * Obtención directa de energía mecánica (sin etapa calorífica)
- * Aprovechable con dispositivos de cualquier tamaño

EVOLUCIÓN HISTÓRICA DEL APROVECHAMIENTO HIDRÁULICO

Molino romano: 85 a.C.

Revolución industrial: diseño de turbinas de reacción

EMPLAZAMIENTO DE SISTEMAS HIDRÁULICOS

Datos de diseño:

- * Caudal de agua (datos pluviométricos)
- * Desnivel aprovechable (necesidad de conducciones y/o embalses)

Sistemas auxiliares:

- * Conducciones
 - Canales: hendiduras abiertas excavada en la tierra, utilizadas principalmente en agricultura
 - Tubos: conducciones cerradas que permiten transportar el agua bajo presión en un amplio rango de condiciones
- * Diques
 - Diques de terraplén: se construyen con tierra cubierta de grava o piedras y son utilizables para cualquier tamaño de construcción; algunas de sus variantes para pequeñas construcciones son el dique de troncos y el dique de piedras
 - Diques de hormigón: construidos con este material, resultan más caros, siendo el más sencillo la llamada "presa de gravedad"; suelen usarse más la "presa de arco" o la "presa de cúpula", por el ahorro de materiales

SISTEMAS CAPTADORES DE LA ENERGÍA HIDRÁULICA

Factores para la elección del dispositivo captador:

- * Caudal y desnivel
- * Localización
- * Condiciones del suelo
- * Longitud de las conducciones
- * Condiciones del agua
- * Generación de energía
- * Costes y mano de obra
- * Materiales y mantenimiento

Tipos de máquinas:

- * Ruedas hidráulicas (y turbinas de impulsión):

Energía mecánica

Bajas velocidades de rotación

- Rueda de empuje inferior (10%)
- Rueda Poncelet (75%); $h < 3$ m; $Q < 3$ m³/s
- Rueda de empuje superior: (75%); $h < 10$ m; $Q > 0,05$ m³/s
- "Turbina" Pelton: (90%); $h > 25$ m; $Q > 0,03$ m³/s; 1.000 rpm
- "Turbina" Michell: (80%) $h < 30$ m

- * Turbinas (de reacción):

Sumergidas en el agua

Paletas en forma de hélice

Rendimientos (95%) y velocidades (> 1.000 rpm) muy elevados

Elementos de la turbina:

- Canal de admisión: conducto por donde penetra el agua
- Distribuidor: paredes perfiladas que permiten encauzar el agua hacia el elemento móvil
- Rodete: dispositivo portador de los álabes, perfilados para que absorban con la mayor eficacia posible la energía cinética del agua
 - * Francis (90%)
 - * Kaplan (95%)

UTILIZACIÓN DE LA ENERGÍA HIDRÁULICA

Generación de electricidad:

Inicialmente grandes centrales hidroeléctricas

Actualmente "microcentrales" hidroeléctricas

- * Modernas turbinas
- * Bombas centrífugas invertidas

Almacenamiento por bombeo:

Centrales hidroeléctricas reversibles: turbinado/bombeo

Adaptación de la producción a la demanda de forma casi instantánea

Aprovechamiento de los excedentes en horas valle

Consumo: por cada kW.h hidráulico se consumen hasta 1,5 kW.h para el bombeo

Ventajas:

- * Son las únicas que permiten absorber energía sobrante
- * Convierten energía sobrante de horas valle en energía de horas punta, con el consiguiente aumento en la calidad de la energía
- * Permiten garantizar la potencia, independientemente de los caudales naturales

FUENTES ENERGÉTICAS DE ORIGEN MARINO

Fuentes energéticas marinas más representativas:

- * Mareas
- * Gradientes térmicos
- * Olas

LA ENERGÍA MAREMOTRIZ

Marea: movimiento periódico y alternativo de ascenso y descenso de las aguas del mar, producido por las acciones gravitatorias del Sol y de la Luna, pero también influenciado por factores terrestres

Amplitud de la marea: diferencia entre los niveles más alto y más bajo (hasta 15 m)

Margen de la marea: variación periódica de las pleamares y bajamares

Utilización de la energía de las mareas (maremotriz): separar un estuario del mar libre mediante un dique y aprovechar la diferencia de nivel mar-estuario

Historia:

Molinos de marea egipcios

Centrales maremotrices inglesas (siglo XIII)

Centrales maremotrices francesas y norteamericanas (siglo XVIII)

Primeros estudios científicos en 1920 (Francia, URSS, Canadá, y EE.UU)

Primeras centrales eléctricas en Francia (1966) y la URSS (1968)

CENTRALES MAREMOTRICES

Elementos:

- * Embalse artificial (altura > 5m; mínimo económico, 12 m)
- * Turbinas hidráulicas y generadores eléctricos

Funcionamiento básico: Ciclo elemental de efecto simple

- * Llenado durante la marea ascendente, pasando el agua al embalse a través de compuertas
- * Espera mientras baja la marea; el nivel del embalse no varía al estar las compuertas cerradas
- * Producción de energía mediante las turbinas, como consecuencia de la altura de caída del agua

Esquemas de mejora (continuidad de la producción):

- * Ciclo elemental de doble efecto (llenado/vaciado)
- * Ciclos múltiples (varios embalses)
- * Almacenamiento por bombeo

Turbinas especiales:

- * Bulbo axial: rotores de 7,5 m de diámetro y potencias de hasta 60 MW
- * Tipo tubo (Kaplan modificada)
- * Rotor anular

REALIDADES Y POSIBILIDADES DE LA ENERGÍA MAREMOTRIZ

Situación de los proyectos:

- * Central del estuario del Rance: funciona desde 1967 con un dique de 600 m, operando con mareas de hasta 13,5 m; tiene 24 turbinas bulbo de 10 MW cada una y 6 compuertas
- * Central de la bahía de Kislaya: situada en el Mar de Barents (Rusia) fue puesta en servicio en 1968; su potencia es pequeña (2 grupos de 4 MW)
- * Proyecto del estuario del Severn: cerca de Bristol (Gran Bretaña) existen mareas de más de 16 m de amplitud, que se está pensando aprovechar desde 1977
- * Proyecto de la bahía de Fundy: en la costa oriental de Norteamérica, fronteriza entre EE.UU. y Canadá existen amplitudes de marea de hasta 20 m; los estudio preliminares, acabados en 1969, están actualmente paralizados
- * Proyecto de las islas Chausey: cerca de la central del Rance, requeriría 40 km de dique, instalándose 300 grupos bulbo de 40 MW; la elevadísima inversión y el largo período de construcción (de 10 a 20 años) tienen el proyecto detenido
- * Otros proyectos maremotrices: en Rusia se pretende instalar 4 centrales, mientras que en otros países (Canadá, Australia, Corea, Argentina y República Popular China) tienen varios proyectos en perspectiva de diversa consideración

LA ENERGÍA MAREMOTÉRMICA

Concepto: gradiente de temperatura entre superficie ($> 18\text{ °C}$) y fondo (1.000 m y 4 °C) de gran potencial pero bajo rendimiento de conversión (2%)

Zonas terrestres favorables: ecuatoriales y tropicales

CENTRALES MAREMOTÉRMICAS

Definición: sistema capaz de aprovechar los gradientes térmicos oceánicos para producir energía eléctrica; máquina térmica en la que el agua superficial actúa como fuente de calor, mientras que el agua extraída de las profundidades actúa como refrigerante

Termodinámica: ciclo de Rankine

- * Abierto: el fluido de operación es la misma agua cálida de la superficie del mar
- * Cerrado: se utiliza un fluido de trabajo de bajo punto de ebullición (como el amoníaco o el propano)

Componentes de una central maremotérmica:

- * Evaporador
- * Turbina
- * Condensador
- * Tuberías y bombas
- * Estructura fija o flotante
- * Sistema de anclaje
- * Cable submarino (si la central es flotante)

Aplicaciones:

- * Producción de agua potable en los sistemas de ciclo abierto
- * Generación de hidrógeno aplicando la energía eléctrica producida, para facilitar el transporte a tierra de la energía
- * Acuicultura, utilizando el agua de las profundidades, más rica en nutrientes, para desarrollar diferentes especies marinas

PASADO, PRESENTE Y FUTURO DE LA ENERGÍA MAREMOTÉRMICA

Claude (1930) construyó la primera central maremotérmica en Cuba, que operó durante 11 días en ciclo abierto, hasta que fue destruida por una tempestad

Société Energie des Mers completó un proyecto de central maremotérmica de 7 MW netos, a instalar en Costa de Marfil. El estudio económico realizado en 1954 demostró la viabilidad del proyecto, pero éste fue abandonado por razones políticas

En 1979 se montó una pequeña planta, que produce 15 kW eléctricos, llamada Mini-OTEC, en la costa de Hawai. Con esta experiencia se construyó la central OTEC-1, también de ciclo cerrado, que proporciona 1 MW de potencia, y está en proyecto la OTEC-2, de 40 MW, todas ellas en EE.UU.

En Japón funciona una central de 1 MW y se proyecta otra de 100 MW para mediados de los años 90.

Actualmente la conversión maremotérmica en ciclo cerrado es técnicamente factible por debajo de los 25 MW, mientras que el ciclo abierto es posible comercialmente en el rango de los 10 MW

LA ENERGÍA DE LAS OLAS

Fuente: vientos marinos producen olas que transportan energía

En zonas favorables: 45 kW/m

Históricamente, los primeros intentos de aprovechar esta fuente de energía se realizaron en 1874, cuando Henning diseñó una embarcación provista de aletas que, con el movimiento de las olas, proporcionaban un movimiento de traslación

Utilización a gran escala solo planteada después de la crisis energética (Gran Bretaña, EE.UU., Japón, etc.)

CONVERTIDORES DE OLAS

Según su comportamiento dinámico:

- * Activos: los elementos de la estructura se mueven como respuesta a la ola y se extrae la energía utilizando el movimiento relativo que se origina entre las partes fijas y móviles
- * Pasivos: la estructura se fija al fondo del mar o en la costa y se extrae la energía directamente del movimiento de las partículas de agua

Según el fenómeno que produce en la ola, pueden aprovecharse:

- * Empuje de la ola
- * Variación de la altura de la superficie de la ola
- * Variación de la presión bajo la superficie de la ola

CONVERTIDORES DE OLAS (cont.)

Tipos de convertidores:

* Totalizadores: se caracterizan por estar situados perpendicularmente a la dirección de la ola incidente, paralelos al frente de la ola, pretendiendo el captar la energía de una sola vez

- Rectificador Russel: tanque de dos niveles entre los que fluye el agua a través de una turbina
- "Pato" Salter: la ola presiona sobre su parte baja obligándole a levantarse, lo que origina un movimiento de semirrotación
- Balsa Cockerell: tres flotadores entre los cuáles se instalan bombas de pistón que extraen la energía

* Atenuadores: formados por largas estructuras colocadas con su eje mayor paralelo a la dirección de propagación de las olas, pretendiéndose así absorber la energía de la ola de un modo progresivo; captan energía por dos lados

- Buque Kaimei: barco equipado con columnas de agua oscilantes, que producen 2 MW
- Bolsa de Lancaster: estructura con bolsa flexibles llenas de aire que se hace pasar por una turbina

* Absorbedores puntuales: dispositivos capaces de captar no sólo la energía de la porción de la ola directamente incidente, sino también la de un entorno más o menos amplio; suelen ser cuerpos de revolución, por lo que son indiferentes a la dirección de propagación de la ola

- Boya Masuda: cámara flotante semisumergida con una columna oscilante de agua
- Convertidor de Belfast: similar a la boya Masuda, pero mucho más avanzado

LA ETAPA DE ALMACENAMIENTO EN EL SISTEMA ENERGÉTICO

Características del almacenamiento:

- * Imprescindible para fuentes discontinuas
- * Cantidad de energía a almacenar
- * Tiempo de almacenamiento
- * Forma de almacenamiento y de consumo
- * Velocidad de almacenamiento y de consumo

Formas de almacenamiento:

- * Almacenamiento térmico
- * Almacenamiento químico y electroquímico
- * Almacenamiento mecánico
- * Almacenamiento eléctrico y magnético

ALMACENAMIENTO TÉRMICO

Utiliza líquidos y sólidos ("silos de calor")

Problemas principales:

- * Conseguir una superficie de transmisión de calor adecuada para que el intercambio de energía sea rápido
- * Evitar las fugas de calor para obtener un elevado período de almacenamiento

Aprovecha dos mecanismos de transporte:

- * Almacenamiento de calor sensible: aprovechar la capacidad calorífica de un medio al aumentar su temperatura, sin llegar a producir un cambio de fase
 - Agua caliente: $5^{\circ}\text{C} < T < 95^{\circ}\text{C}$, en pequeños tanques o a gran escala (lagos superficiales o acuíferos subterráneos)
 - Agua caliente a presión: $100^{\circ}\text{C} < T < 300^{\circ}\text{C}$, en cuevas naturales
 - Fluidos orgánicos: $300^{\circ}\text{C} < T < 350^{\circ}\text{C}$, en investigación
 - Metales fundidos (sodio, estaño, plomo): $T > 500^{\circ}\text{C}$, dificultades tecnológicas
 - Sales fundidas (nitratos, carbonatos, cloruros y fluoruros alcalinos o alcalinotérreos): $400^{\circ}\text{C} < T < 750^{\circ}\text{C}$, aún en estudio
 - Sólidos refractarios (ladrillos o bolas cerámicas): $T > 1.000^{\circ}\text{C}$, se usa aire como portador; muy utilizado en la industria pero para períodos de almacenamiento muy limitados
- * Acumulación de calor latente: utilizar el calor asociado con un cambio de fase del medio (fusión, vaporización), que se produce a temperatura constante
 - Sales hidratadas (sulfato y tiosulfato sódicos): $10^{\circ}\text{C} < T < 60^{\circ}\text{C}$, costes muy bajos
 - Hidróxidos alcalinos: $T < 500^{\circ}\text{C}$, también costes muy bajos

ALMACENAMIENTO QUÍMICO Y ELECTROQUÍMICO

Obtención de productos químicos: hidrógeno

Se obtiene por diversos métodos, a partir del agua; se recupera la energía sometiéndolo a combustión o a reacción en una "pila de combustible"

- * Gaseoso: a gran escala, comprimido en capas acuíferas, cuevas salinas o cavidades artificiales
- * Líquido: a pequeña escala, en recipientes metálicos
- * Hidruros reversibles: absorción/desorción por un metal o aleación

Transformación en energía química en acumuladores electroquímicos (baterías)

Baterías tienen baja densidad energética pero son comerciales, modulares y de acción instantánea

- * Acumuladores de plomo-ácido: actualmente los más utilizados
- * Acumuladores alcalinos (Ni/Cd, Ni/Zn, Ni/Fe): más duraderos, ligeros y capaces, pero más caros
- * Acumuladores especiales: de electrolitos sólidos con electrodos líquidos (sodio-azufre, 300 °C) o electrolitos y electrodos fundidos (litio-azufre, > 400 °C); grandes problemas técnicos
- * Acumuladores redox (Fe/Cr): almacenamiento externo de electrolitos
- * Pilas de combustible: combinan hidrógeno y oxígeno gaseoso en una disolución electrolítica para producir electricidad

ALMACENAMIENTO MECÁNICO

Energía potencial:

- * Resortes: alta densidad de potencia pero baja densidad energética
- * Compresión de gases: aire en cuevas naturales o artificiales
- * Bombeo de agua: centrales hidráulicas reversibles

Energía cinética:

- * Volantes de inercia

ALMACENAMIENTO ELÉCTRICO Y MAGNÉTICO

Almacenamiento de carga eléctrica:

- * Condensadores: cantidades muy pequeñas

Almacenamiento de campos magnéticos:

- * Bobinas superconductoras: tecnología de superconductores a "altas" temperaturas