

UNA VISIÓN PANORÁMICA DE LOS SISTEMAS DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA

Arístides Bryan Domínguez

**Buenos Aires
REPÚBLICA ARGENTINA**

**Versión original: 07.2014
Última revisión y ampliación: 09.2019**

CONTENIDO

PRÓLOGO DEL AUTOR

1. ACERCA DE LA ENERGÍA

1. INTRODUCCIÓN.
2. FUENTES DE ENERGÍA.
3. CONVERSIÓN, TRANSPORTE, DISTRIBUCIÓN Y CONSUMO DE ENERGÍA.

2. EL ALTERNADOR SINCRÓNICO – Núcleo del proceso de conversión de energía mecánica en energía eléctrica.

3. TRANSPORTE Y LA DISTRIBUCIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

1. SISTEMA ARGENTINO DE INTERCONEXIÓN ELÉCTRICA.
2. SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA ARGENTINO.
3. TENSIONES ELÉCTRICAS EN ARGENTINA.

4. LOS TURBOMOTORES – Núcleos de los procesos de conversión de energía térmica, hidráulica y eólica en energía cinética de rotación.

1. TIPOS DE TURBOMOTORES.
2. PRINCIPIOS Y ECUACIONES FUNDAMENTALES.
3. ECUACIÓN DE LA ENERGÍA.
4. ECUACIÓN DE LA ENERGÍA APLICADA A UNA TURBOMÁQUINA.
5. POTENCIA DE UNA TURBOMÁQUINA.

5. CENTRALES CONVERSoras DE ENERGÍA.

- 1. CENTRALES HIDRÁULICAS.**
- 2. CENTRALES EÓLICAS.**
- 3. CENTRALES TÉRMICAS A GAS.**
- 4. CENTRALES TÉRMICAS A VAPOR A COMBUSTIBLES FÓSILES LÍQUIDOS Y SÓLIDOS.**
- 5. CENTRALES TÉRMICAS A VAPOR A COMBUSTIBLE NUCLEAR.**
- 6. CENTRALES SOLARES.**
- 7. PARÁMETROS DE LAS CENTRALES A VAPOR.**
- 8. CENTRALES DE CICLO COMBINADO.**

6. CLASIFICACIÓN DE LAS CENTRALES SEGÚN EL TIPO DE CARGA.

- 1. CENTRALES PARA CARGA DE BASE.**
- 2. CENTRALES PARA CARGA DE PUNTA.**
- 3. CENTRALES PARA CARGA INTERMEDIA.**

7. SÍNTESIS DE LOS PROCESOS DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA.

- 1. CENTRALES TÉRMICAS.**
- 2. CENTRALES HIDRÁULICAS Y EÓLICAS.**

8. CONTAMINACIÓN DE LA ATMÓSFERA DE LA TIERRA.

- 1. LA ATMÓSFERA TERRESTRE.**
- 2. COMPOSICIÓN QUÍMICA.**
- 3. EXTENSIÓN.**
- 4. CAPAS Y DIVISIONES.**
- 5. RADIACIÓN ULTRAVIOLETA, SMOG, LLUVIA ÁCIDA Y EFECTO INVERNADERO.**
- 6. INFLUENCIA DE LAS CENTRALES TÉRMICAS SOBRE EL MEDIO AMBIENTE.**

9. LOS ACCIDENTES NUCLEARES.

- 1. ESCALA INTERNACIONAL DE EVENTOS NUCLEARES-**
- 2. NIVELES DE GRAVEDAD.**
- 3. ACCIDENTE EN LA CENTRAL NUCLEAR DE CHERNÓBIL.**
- 4. ACCIDENTE EN LA CENTRAL NUCLEAR FUKUSHIMA I.**

10. EPÍLOGO.

- 1. PÉRDIDAS DE ENERGÍA.**
- 2. PROTOCOLO DE KYOTO (1997) Y ACUERDO DE PARÍS (2015).**
- 3. ASIGNACIÓN DE RECURSOS.**
- 4. RESPONSABILIDAD SOCIAL.**

PRÓLOGO DEL AUTOR

Este documento fue elaborado teniendo en mente cinco propósitos fundamentales:

- 1. Señalar las importantes pérdidas de energía debidas a la muy baja eficiencia de los motores térmicos utilizados en las centrales termoeléctricas que funcionan con combustible fósil y con combustible nuclear (*).**
- 2. Enfatizar la importancia de reducir las emisiones contaminantes producidas en los procesos de combustión de las centrales térmicas de combustibles fósiles, teniendo en cuenta lo establecido en el Protocolo de Kyoto (1997) y en la legislación argentina vigente, así como en el Acuerdo de París (2015) (*).**
- 3. Señalar los sistemas actuales de conversión de energía sobre los que es necesario y prioritario incrementar los recursos destinados a “realizar investigaciones tecnológicas relevantes e impulsar su implementación efectiva”, con los propósitos de “utilizar las fuentes gratuitas de energía” y “reducir drásticamente las pérdidas de energía y las emisiones contaminantes” (*).**
- 4. Resaltar la “Responsabilidad Social” que tienen el gobierno (los tres poderes con sus respectivos organismos técnicos), las Empresas, las Academias Nacionales, los Consejos Profesionales, los Colegios de Ingenieros y las Universidades en el estudio y aporte de soluciones a los problemas señalados en los puntos 1, 2 y 3 (*).**
- 5. Utilizarlo en la enseñanza de la Ingeniería.**

(*) Ver Capítulo 10.

1

ACERCA DE LA ENERGÍA

1.1 INTRODUCCIÓN

1.1.1 MATERIA

De acuerdo a la mecánica newtoniana **la materia es la componente sustancial del Universo.**

La *materia* se presenta en el Universo en tres formas denominadas *fases*: la fase *sólida*, la fase *líquida* y la fase *gaseosa* (esta última incluye el *vapor*). Los *fluidos* comprenden las fases líquida y gaseosa de la materia.

La *estructura* de la materia es *discontinua*, está formada por partículas denominadas *moléculas*, las moléculas están formadas por *átomos* y éstos están constituidos básicamente por un *núcleo* y por *electrones* que giran y gravitan alrededor de éste.

El núcleo está formado por uno o más *protones* y eventualmente por *neutrones*.

Los protones y los neutrones son partículas cuyas masas son aproximadamente iguales, pero los protones tienen una carga eléctrica positiva y los neutrones tienen carga eléctrica nula.

Los electrones tienen una carga eléctrica negativa **e** del mismo valor que la de los protones. Consecuentemente:

LA MATERIA ES ELÉCTRICAMENTE NEUTRA

1.1.2 ENERGÍA

A la materia se asocia algo que denominamos **energía**.

La Física nos enseña que:

Un cuerpo ubicado a una cierta posición en el campo gravitatorio tiene **energía potencial gravitatoria**. Un cuerpo en movimiento (sólido o fluido) tiene **energía cinética** y que tanto la **energía potencial** como la **energía cinética** son formas de **energía mecánica**.

Un combustible tiene **energía química**,

Un cuerpo cargado eléctricamente tiene ubicado en un campo eléctrico tiene **energía potencial eléctrica**,

De los núcleos atómicos de la materia puede obtenerse **energía nuclear por medio de dos reacciones nucleares**: la “fisión nuclear” y la “fusión nuclear”.

Todas éstas son formas de energía

La **energía** representa una **capacidad** para realizar una **acción** que la Física denomina **trabajo mecánico**.

Una forma de energía puede ser convertida en otra

Las distintas formas de energía pueden convertirse en energía mecánica y ésta puede realizar un trabajo mecánico.

Todas las formas de energía son transformables en calor

El calor es la forma más degradada de la energía

Cuando se transmite calor a un cuerpo, éste aumenta su **energía interna**.

La energía interna de un cuerpo cuya temperatura es T_1 se puede **transferir** hacia otro cuerpo cuya temperatura T_2 sea menor que T_1 y esta transferencia de energía se hace en forma de calor.

EL CALOR ES ENERGÍA EN TRÁNSITO DESDE UN CUERPO HACIA OTRO

1.1.3 CONVERSIÓN DE ENERGÍA

Algunos *dispositivos utilizados para convertir una forma de energía en otra* son muy antiguos.

Los ***molinos de viento*** y las ***ruedas hidráulicas*** eran conocidos en la antigüedad. Convertían la energía cinética del viento o la energía cinética de una corriente de agua respectivamente en ***energía mecánica de rotación***.

Eran empleados como ***motores*** para accionar máquinas que molían cereales (de allí el origen del nombre de molinos - molino es la máquina que realiza la acción de moler, por ejemplo un cereal).

Los molinos de viento también fueron y son empleados para accionar ciertos tipos de bombas a émbolo que permiten extraer agua de los acuíferos subterráneos.

En el siglo XIX aparecieron varias clases de ***turbinas hidráulicas***. Éstas son motores, más precisamente ***turbomotores***, que convierten la energía hidráulica de las corrientes de agua en energía mecánica de rotación.

Durante y después de la Revolución Industrial aparecieron diversos tipos de ***motores térmicos***, denominados así porque la energía química de un combustible fósil se convierte en energía térmica, a través de una reacción química denominada ***combustión***.

Estos son: los ***motores alternativos de combustión externa*** (máquinas a vapor), los ***motores alternativos de combustión interna*** (motores Diesel y a nafta) y los ***turbomotores de combustión externa*** (turbinas a vapor, turbinas a gas). Los mecanismos propios de estos motores permiten convertir esta energía térmica en energía mecánica de rotación.

La energía mecánica no es apta para ser transportada a grandes distancias. Esta limitación obliga a emplearla localmente. Debido a ello, toda vez que se requiere llevar energía a lugares distantes es necesario hacerlo bajo otra forma que sea más fácilmente transportable.

Los combustibles son transportables, pero aún así el suministro de energía en forma masiva y económica no queda totalmente resuelto en forma eficiente.

En el siglo XIX aparecieron los primeros **“generadores” eléctricos**. Debe entenderse que estas máquinas no generan energía eléctrica sino que convierten la energía mecánica de rotación en energía eléctrica y deben ser accionados por un **“motor”**.

En el siglo XX se descubrieron **dos reacciones nucleares**:

La fisión nuclear: El impacto de un neutrón sobre un núcleo atómico de un material pesado produce la fragmentación de este último, con la consecuente formación de dos núcleos más livianos y la liberación de una gran cantidad de energía en forma de calor. El calor liberado de esta forma es utilizado para calentar agua y convertirla en vapor, el que a su vez es utilizado para accionar las turbinas a vapor.

La fusión nuclear: La fusión es la reacción nuclear que tiene lugar en el Sol y las estrellas. Los núcleos de hidrógeno colisionan gracias a la alta temperatura y la fuerza de gravedad que se producen en el núcleo de estos cuerpos estelares, fusionándose hasta formar átomos de helio más pesados y liberando enormes cantidades de energía.

Los diversos tipos de **“motores”** se emplearon para accionar los **“generadores” eléctricos**.

Aparecieron así las primeras **centrales conversoras de energía** (denominadas inicialmente **usinas**).

En la actualidad, una **central convertidora de energía** es una instalación compleja donde se produce:

La conversión de energía hidráulica o energía eólica en energía mecánica de rotación y la conversión de ésta en energía eléctrica. Las instalaciones donde se realizan estos procesos se denominan respectivamente **centrales hidroeléctricas** y **centrales eólicas**.

La conversión de energía química o de energía nuclear en energía térmica, la conversión de éstas en energía mecánica de rotación y la conversión de esta última en energía eléctrica. Las instalaciones en las que se realizan estos procesos se denominan respectivamente **centrales termoeléctricas de combustible fósil** y **centrales termoeléctricas de combustible nuclear**.

En síntesis, en estas centrales se produce la conversión de energía hidráulica, eólica, química o nuclear, en energía mecánica de rotación, que luego es convertida en energía eléctrica. *Esto último tiene una justificación muy importante:*

La energía eléctrica, a diferencia de la energía mecánica, es apta para ser transportada a grandes distancias. Es posible entonces llevar la energía eléctrica hasta centros de consumo alejados del centro de conversión, donde es reconconvertida en energía mecánica y en calor.

*Debe tenerse presente sin embargo que los procesos de conversión de energía química y de energía nuclear en energía mecánica de rotación **no se realizan con la misma eficiencia** con que se realizan los procesos de conversión de energía hidráulica y de energía eólica en energía mecánica de rotación.*

- **En el caso de la energía química** liberada por la combustión de un combustible fósil y de la energía nuclear liberada por una reacción de fisión de un “combustible” nuclear, el fluido (gas o vapor) que se expande dentro de la turbina (a gas o a vapor respectivamente) *“está sometido a un ciclo termodinámico”*. **Consecuentemente la energía interna y la entalpía del gas o del vapor sufren variaciones sensibles en su pasaje a través del rotor de la turbina.**
- **En el caso de la energía hidráulica**, la masa específica del agua se mantiene prácticamente constante dentro del rango de presiones en el cual operan las turbinas. Además el flujo se realiza en condiciones cuasi-isotérmicas. Puede admitirse entonces que el agua que fluye a través de la turbina *“no está sometida a ningún ciclo termodinámico”*; en consecuencia su energía interna y su entalpía no sufren variaciones sensibles en el pasaje a través del rotor. Las energías que se aprovechan son las energías potencial y cinética del agua.
- **En el caso de la energía eólica**, las variaciones de la masa específica y la temperatura del aire, dentro del rango de presiones en el que operan las turbinas eólicas, son pequeñas. La energía interna y la entalpía del aire no sufren variaciones sensibles en su pasaje a través del rotor. La energía que se aprovecha es solamente la energía cinética del viento.

1.2 FUENTES DE ENERGÍA (según su origen)

Energía química de los combustibles (Petróleo y sus derivados, Gas, Carbón): La energía química de estos combustibles es liberada por medio de una reacción química denominada *combustión*. Se convierte en calor para luego ser transformada en energía cinética de rotación y luego en energía eléctrica. Las centrales térmicas de combustible fósil operan en general con **vapor sobrecalentado** a temperaturas y presiones superiores a las correspondientes al vapor saturado.

Energía Hidráulica: El agua contenida en reservorios (naturales y artificiales) tiene energía potencial que luego se transforma en energía cinética en las corrientes y las caídas del agua. Los griegos fueron los primeros en aprovecharla por medio de la rueda hidráulica, que inventó Filón de Bizancio en el siglo III a.C. para bombear agua. Más tarde se inventaron los distintos tipos de turbomotores hidráulicos (turbinas Pelton, Francis y Kaplan), que se utilizan para accionar los “generadores” eléctricos.

Energía Nuclear: Es energía que puede ser liberada a través de dos reacciones nucleares:

Fisión de núcleos de átomos de elementos químicos muy pesados. El núcleo fisionado puede emitir más neutrones que, al chocar con otros átomos, inician una reacción en cadena autosustentada que produce energía en forma continua.

Fusión de núcleos de elementos químicos muy ligeros.

En ambos casos interesa el desarrollo de los sistemas físicos que permiten llevar a cabo la liberación controlada de esta energía. La energía liberada en ambas reacciones debe ser transformada, primero en energía calorífica, ésta a su vez en energía mecánica y finalmente en energía eléctrica.

Energía Eólica: Es la energía cinética de los vientos. Puede ser aprovechada como tal en forma directa o ser convertida en electricidad. Una de sus primeras aplicaciones de la energía eólica la hicieron los sumerios quienes armaron las primeras embarcaciones de vela hace unos 3500 años. Otra son los molinos de viento, cuya historia se remonta a la antigua Persia. Fueron empleados para moler granos y para bombear agua.

Energía Solar: En el Sol se producen reacciones termonucleares que liberan una enorme cantidad de energía que llega a la Tierra en forma de radiación solar. Se la emplea para producir calor mediante calefactores solares o electricidad por medio de centrales conversoras de energía solar en energía eléctrica (centrales que reflejan y concentran la radiación solar y centrales que emplean paneles solares).

Energía Geotérmica: Existen pozos geotérmicos, formaciones rocosas que han atrapado agua que se calienta por el calor de la Tierra. Puede estar en forma de vapor, de mezcla vapor-líquido o líquido caliente. Desde tiempos remotos, el ser humano ha usado las aguas termales con diversos fines.

Energía de la Biomasa: Resulta de la materia viva y los desechos orgánicos cuando se los utiliza como combustible. La energía química de la biomasa se puede transformar en cualquier forma de energía. En el uso de la biomasa como fuente energética se emplean principalmente árboles, plantas, desechos animales y vegetales.

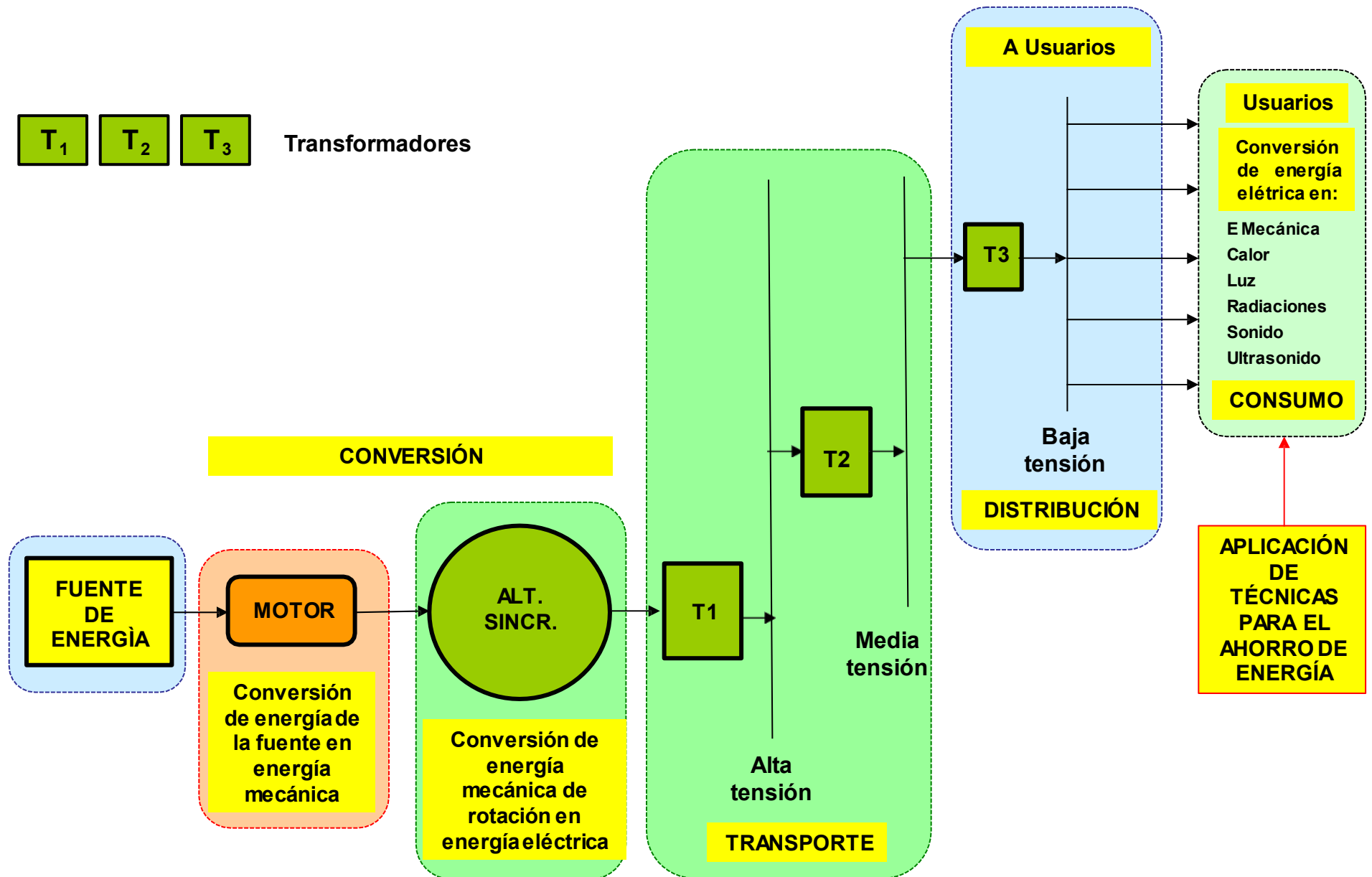
Energía de las olas (energía undimotriz u olamotriz): Es la que permite la obtención de electricidad a partir de energía mecánica generada por el movimiento de las olas. Es uno de los tipos de energías renovables más estudiados actualmente, y presenta enormes ventajas frente a otras energías renovables debido a que en ella se presenta una mayor facilidad para predecir condiciones óptimas que permitan la mayor eficiencia en sus procesos.

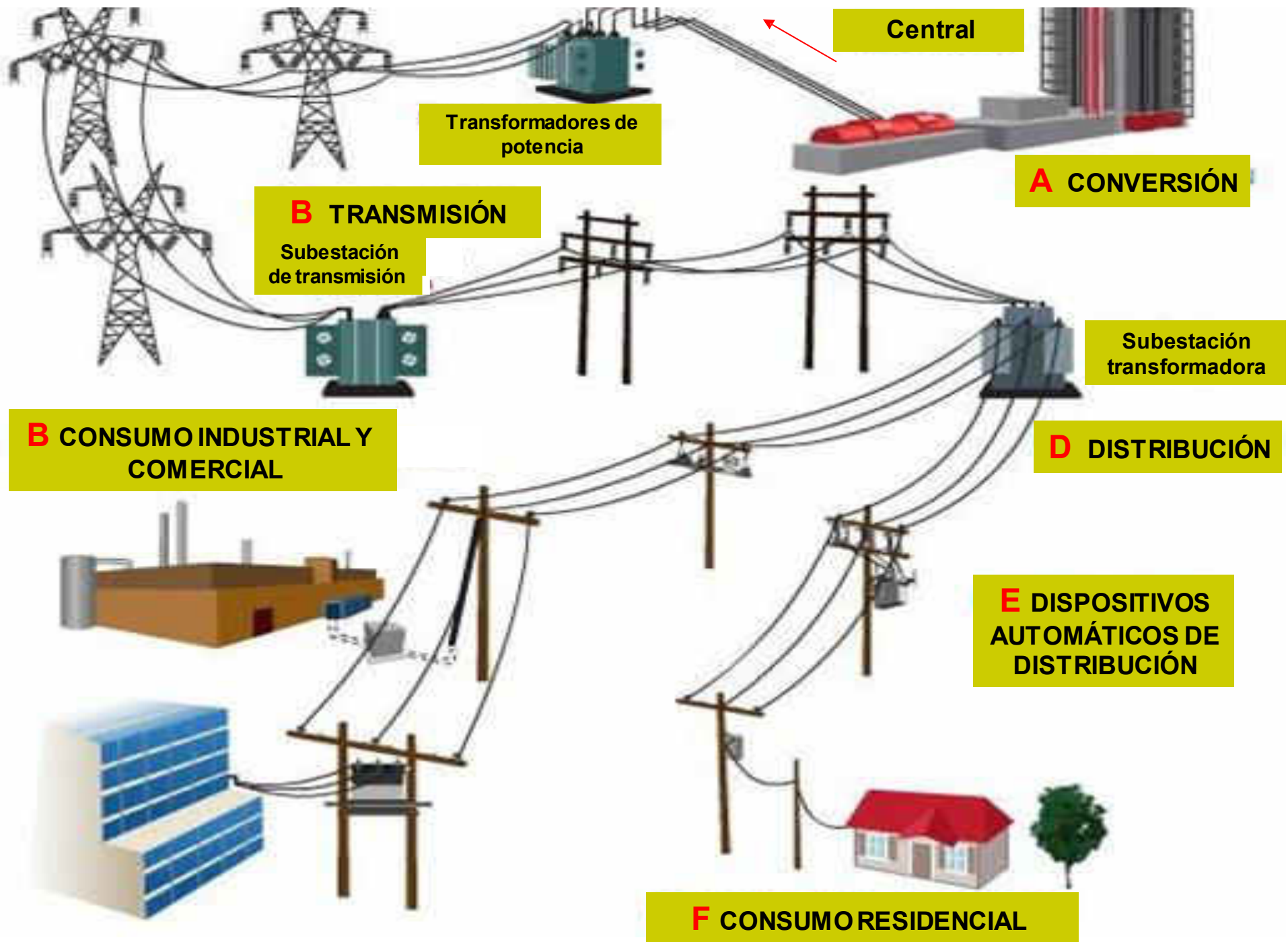
NOTA: Existen varias clases de equipos para el aprovechamiento de la energía de las olas (de columna de agua oscilante, oscilantes, colectores de olas, estructuras flotantes).

Energía Geotérmica: Existen pozos geotérmicos, formaciones rocosas que han atrapado agua que se calienta por el calor de la Tierra. Puede estar en forma de vapor, de mezcla vapor-líquido o líquido caliente. Desde tiempos remotos, el ser humano ha usado las aguas termales con diversos fines.

NOTA: Este documento no incluye el análisis de los sistemas de conversión de “energía geotérmica”, “energía de biomasa” “ y energía de las olas”.

1.3 CONVERSIÓN, TRANSPORTE, DISTRIBUCIÓN Y CONSUMO DE ENERGÍA

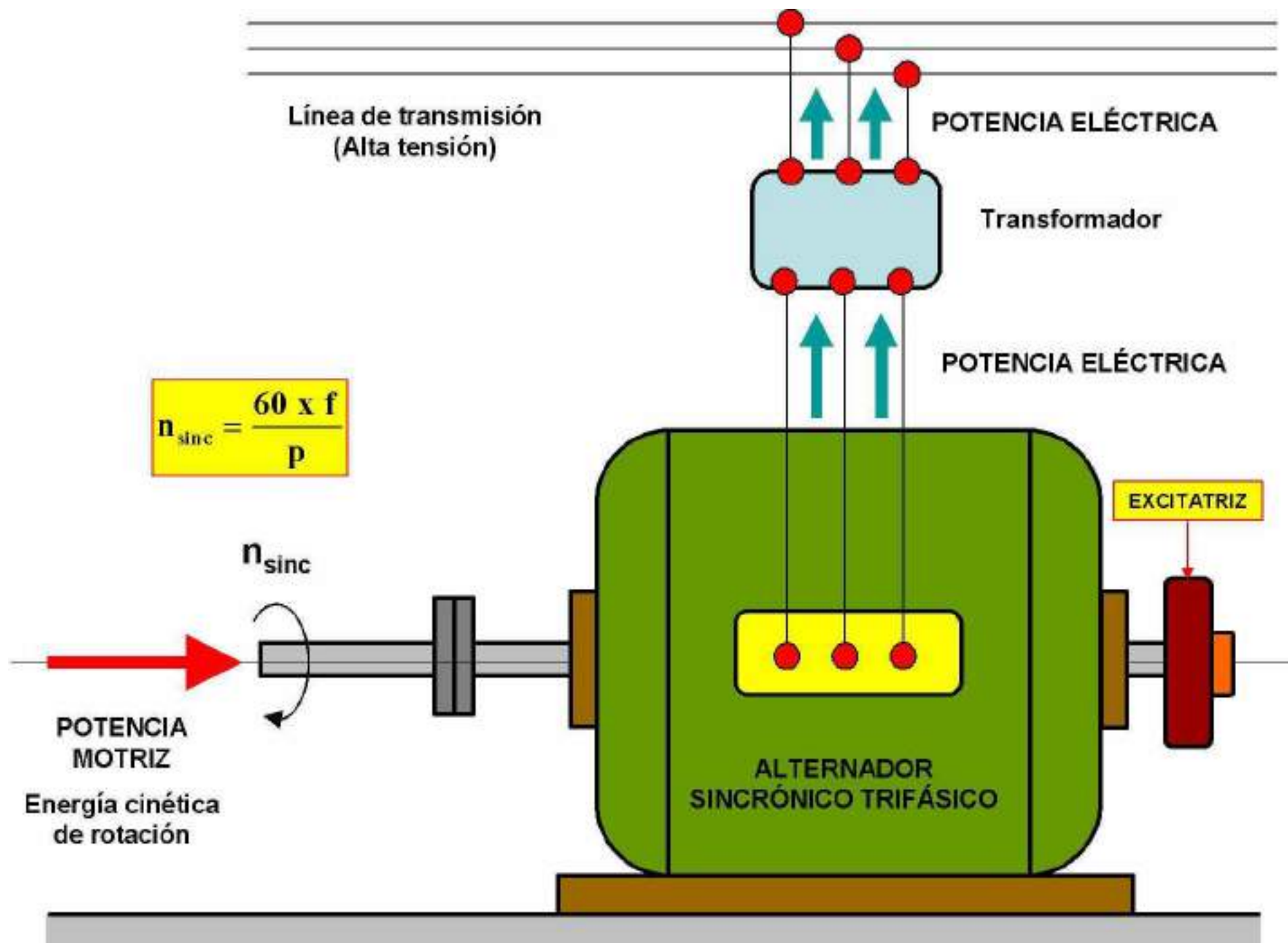


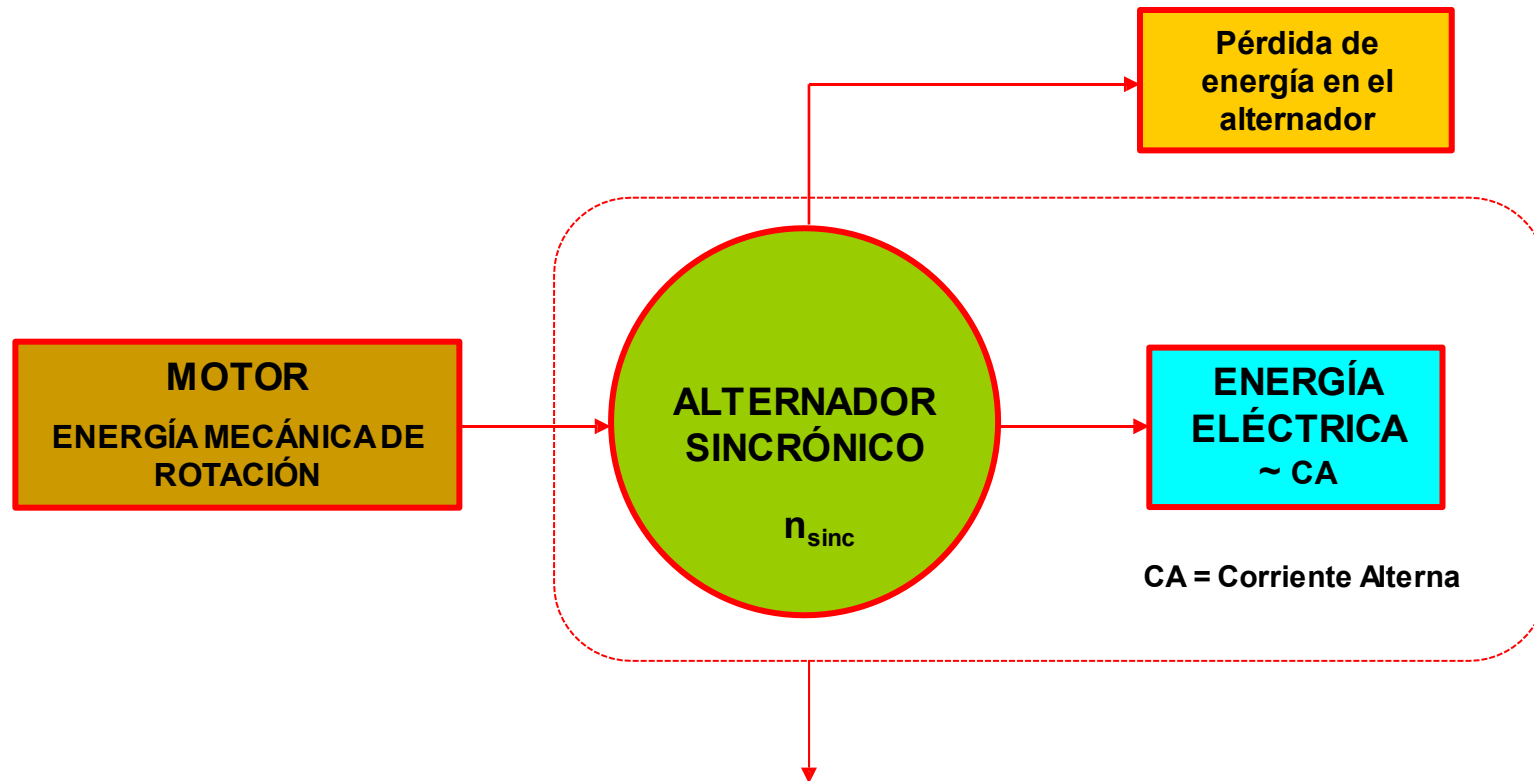


2

EL ALTERNADOR SINCRÓNICO

**NÚCLEO DEL PROCESO DE CONVERSIÓN DE
ENERGÍA MECÁNICA EN ENERGÍA ELÉCTRICA**





La eficiencia del proceso de conversión de energía mecánica de rotación en energía eléctrica en el alternador sincrónico es muy alta

**La energía eléctrica es la única forma de energía
apta para ser trasladada a grandes distancias**

Ninguna de las otras formas de energía tiene esta característica

3

**TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN DE LA ENERGÍA
ELÉCTRICA**

3.1 SISTEMA ARGENTINO DE INTERCONEXIÓN ELÉCTRICA

Las reformas impuestas a principios de la década de los 90 dividieron el sector eléctrico en:

- generación (**conversión de energía**)
- transmisión
- distribución

La generación (**conversión**) tiene lugar en un mercado competitivo y mayormente liberalizado, con el 75% de la capacidad de generación en manos de compañías privadas.

Los sectores de transmisión y distribución están altamente regulados y son mucho menos competitivos que el sector de la generación.

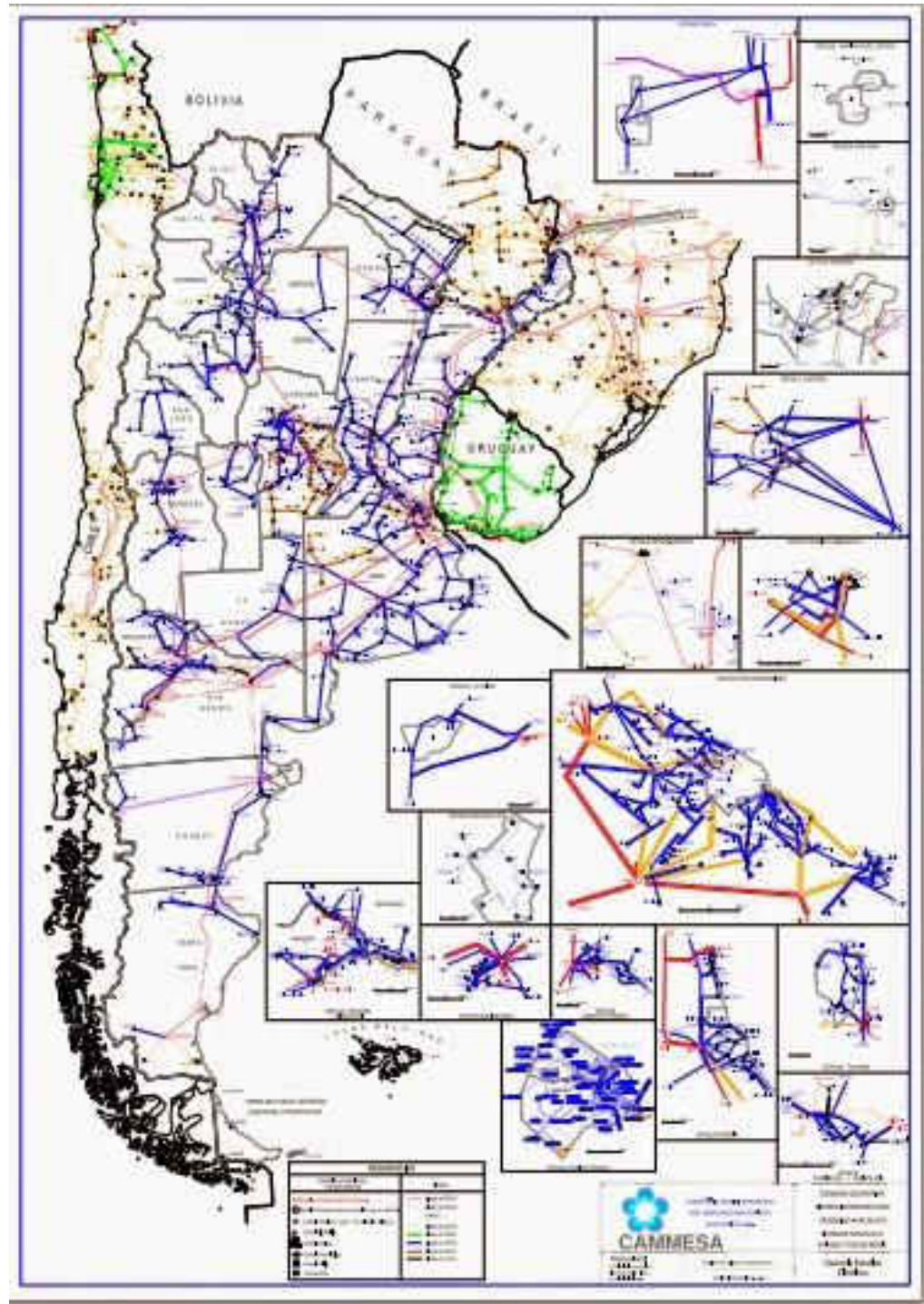
El **Sistema Argentino de Interconexión** (SADI) está compuesto por:

- El Mercado Eléctrico Mayorista (MEM).
Abastece el norte y centro del país.
- El SIP (Sistema Interconectado Patagónico).
Cubre el sur del país, formando el Mercado Eléctrico Mayorista Sistema Patagónico (MEMSP).

Los dos sistemas están integrados desde marzo de 2006.

También existen:

- Los Sistemas Eléctricos Aislados
- Los Sistemas Interconectados no MEM



3.2 SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA ARGENTINO

SISTEMA DE CENTRALES CONVERSoras

CENTRALES ELÉCTRICAS PRINCIPALES: Hidráulicas, Térmicas de combustible fósil y de combustible nuclear.

OTROS SISTEMAS DE MENOR CUANTÍA: Eólicas, Solares y Geotérmicas.

SISTEMA DE TRANSMISIÓN

LÍNEAS DE ALTA Y EXTRA ALTA TENSIÓN. Reciben la energía eléctrica de las centrales y la transportan a los grandes centros de consumo y transformación.

SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

LÍNEAS DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN. Llegan hasta centros menores de transformación, donde por sucesivas etapas y arreglos, transportan la energía hasta cada uno de los usuarios, a la tensión requerida por ellos.

USUARIOS

Con sus propios equipos realizan la conversión de la energía eléctrica, en otras formas convenientes de energía, para accionar:

Equipos de luz en las viviendas, ascensores, bombas de elevación de agua, alumbrado público, accionamientos mediante motores en las industrias, producción de calor o frío industrial, medios de transporte electrificados, espectáculos públicos, servicios de agua potable, procesamiento industriales diversos, servicios hospitalarios y otras formas de aplicar la energía eléctrica.

3.3 TENSIONES ELÉCTRICAS EN ARGENTINA

Volts	kiloVolts	LÍNEAS	km total país
220 V		Circuitos en viviendas comunes	
380 V		Motores de ascensores y bombas de agua en viviendas	
380 V		Motores comunes en las industrias	
13.200 V =	13,2 kV	De media tensión	
66.000 V =	66 kV	De media tensión (antiguas)	
132 000 V =	132 kV	De alta tensión	6 000 km
220.000 V =	220 kV	De alta tensión	500 km
330.000 V =	330 kV	De alta tensión	1 100 km
550.000 V =	550 kV	De extra alta tensión	9 292 km



MAPA DE RED Y CENTRALES ELÉCTRICAS

Mapa de redes eléctricas (de menos de 500 kV y de 500 kV y mayores), con las centrales eléctricas (clasificadas según su potencia generadora) y las localidades interconectadas.



ESTACIÓN TRANSFORMADORA



TRANSFORMADORES DE POTENCIA



TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN



ESTACIÓN TRANSFORMADORA
Provincia de Corrientes, Argentina.

**TORRE DE UNA LÍNEA DE
ALTATENSIÓN**



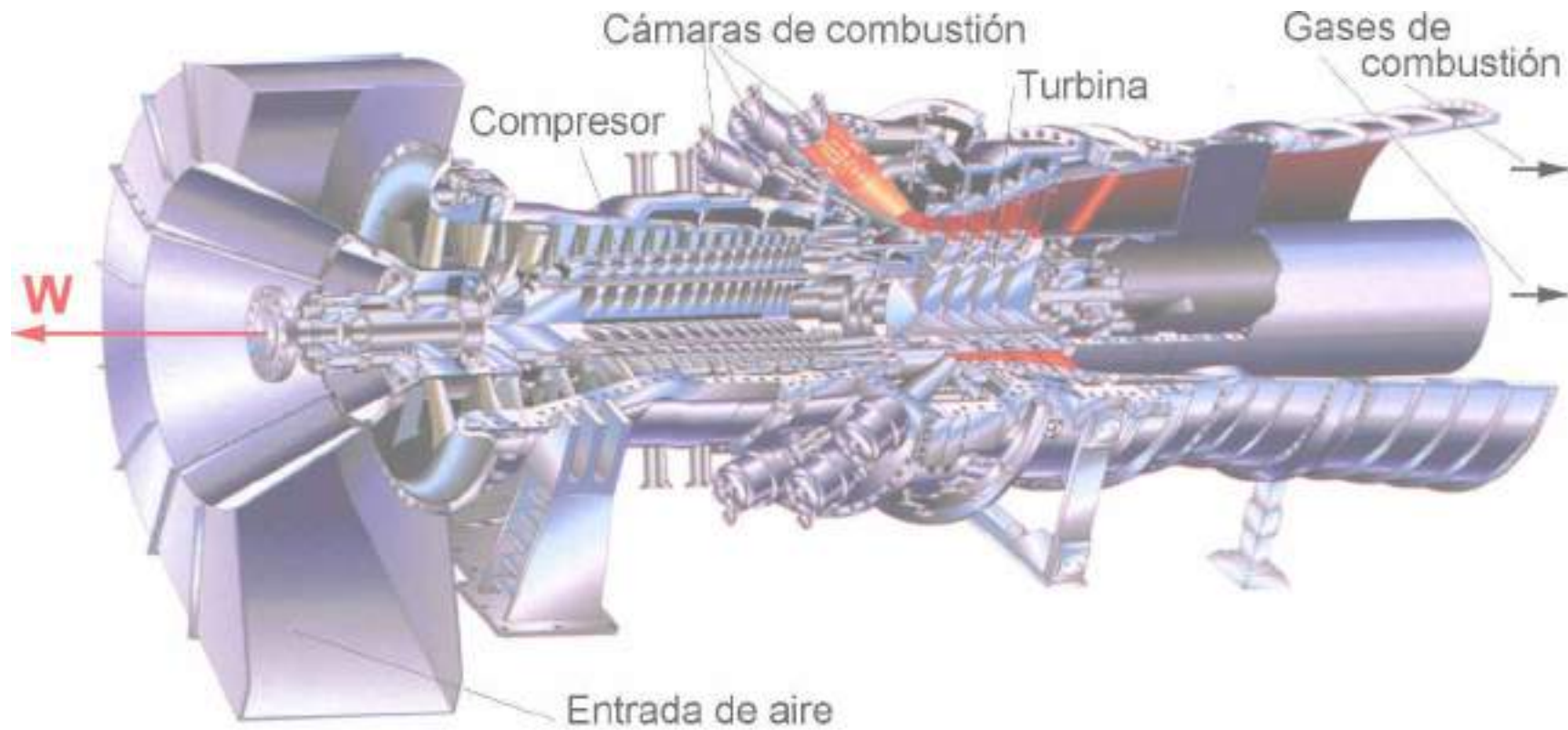
4

LOS TURBOMOTORES

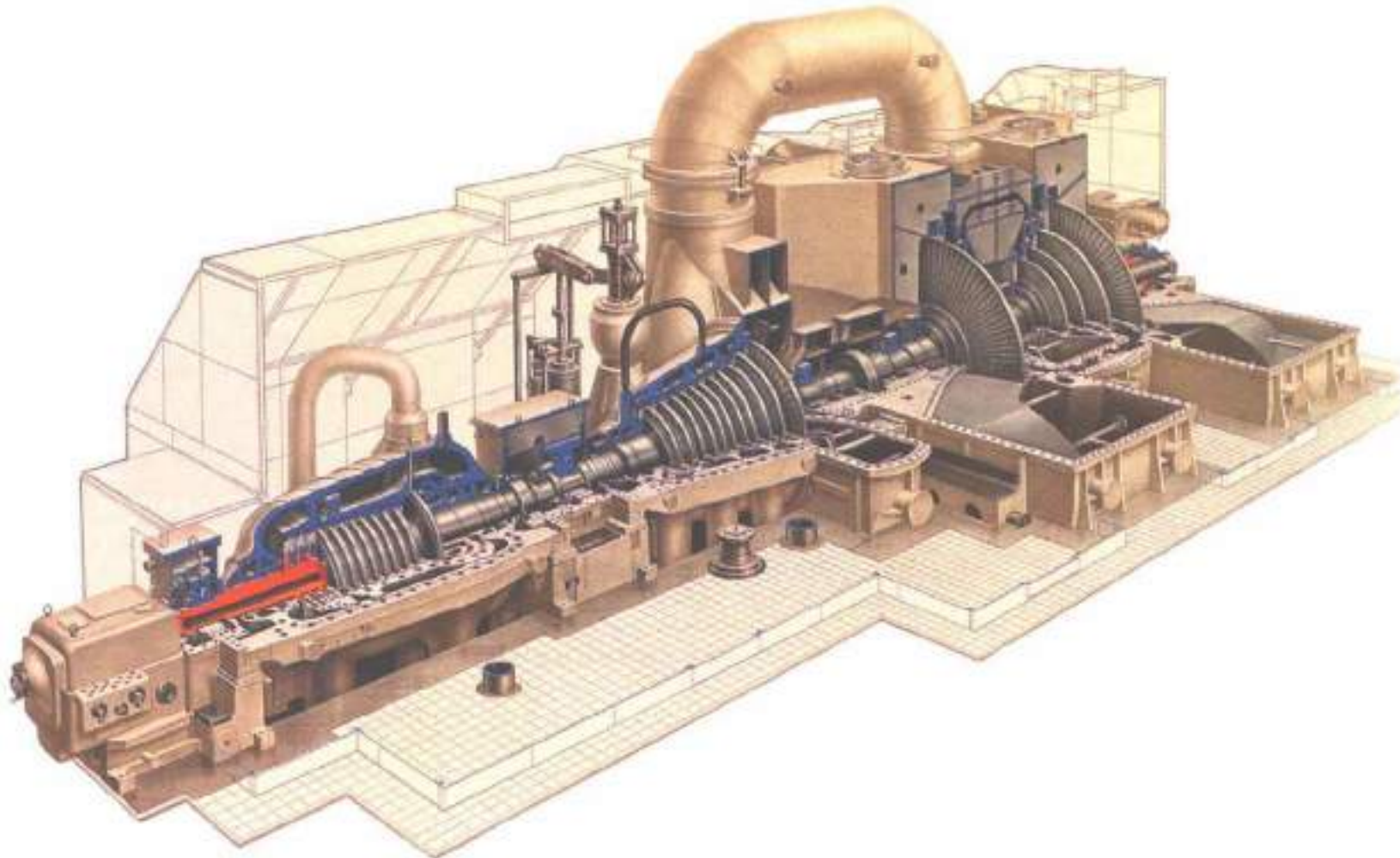
**NÚCLEOS DE LOS PROCESOS DE CONVERSIÓN DE
ENERGÍA TÉRMICA, HIDRÁULICA Y EÓLICA EN
ENERGÍA CINÉTICA DE ROTACIÓN**

4.1 TIPOS DE TURBOMOTORES

4.1.1 Turbina a gas



4.1.2 Turbina a vapor

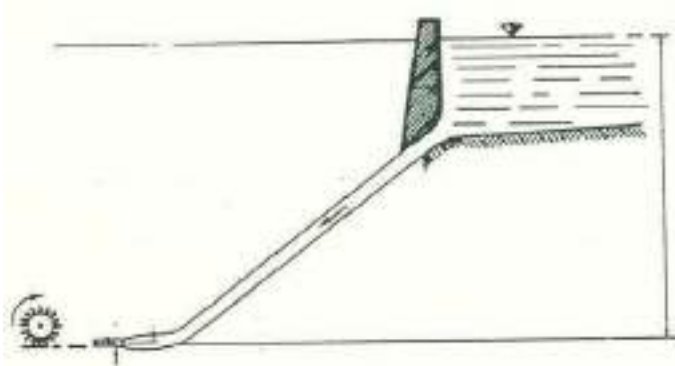


TURBINA A VAPOR DE FLUJO AXIAL

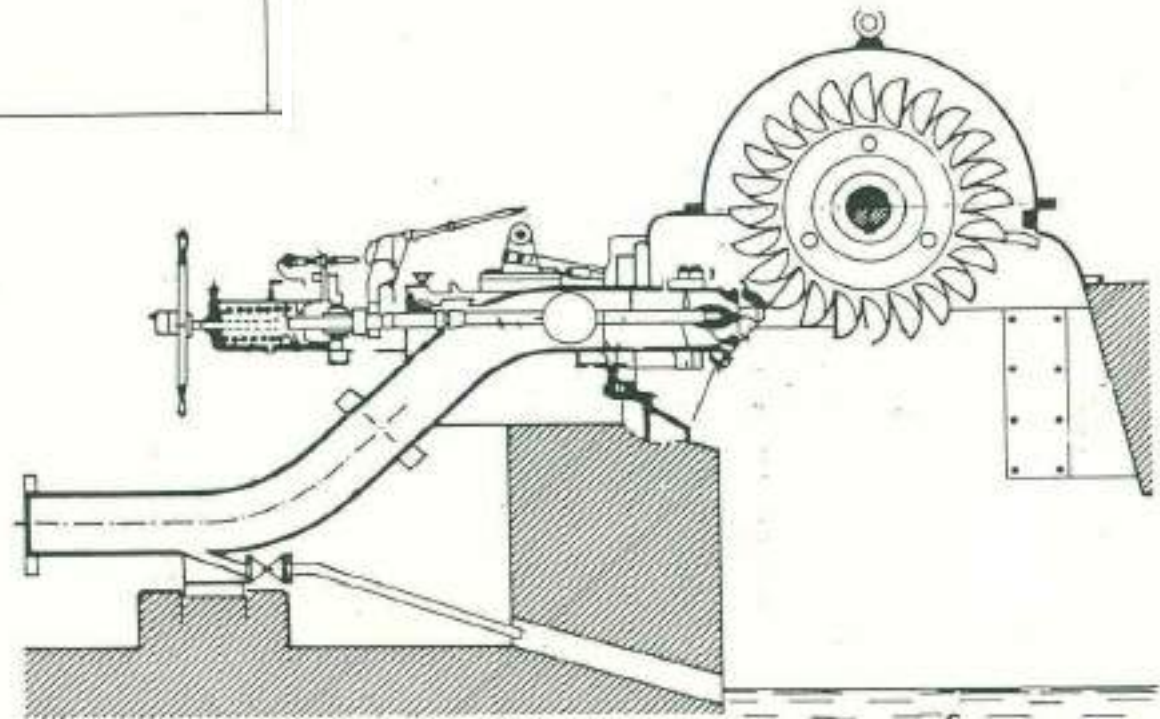
Una turbina a vapor es un *turbomotor térmico* accionado por vapor proveniente de una *caldera* o un *generador de vapor*, que se expande en su interior haciendo girar el *rotor*. El *rotor de la turbina* está compuesto básicamente por un *eje motriz* con varias *series de álabes*, sobre los cuales el vapor ejerce su fuerza expansiva apoyándose sobre las partes fijas de la turbina. El rotor tiene un solo grado de libertad, ya que únicamente puede rotar alrededor de su eje. El *momento motor de la turbina* es igual a la suma vectorial de los momentos de las fuerzas que el vapor ejerce sobre los álabes, con respecto al eje de rotación.

4.1.3 Turbinas hidráulicas

a) Turbina Pelton



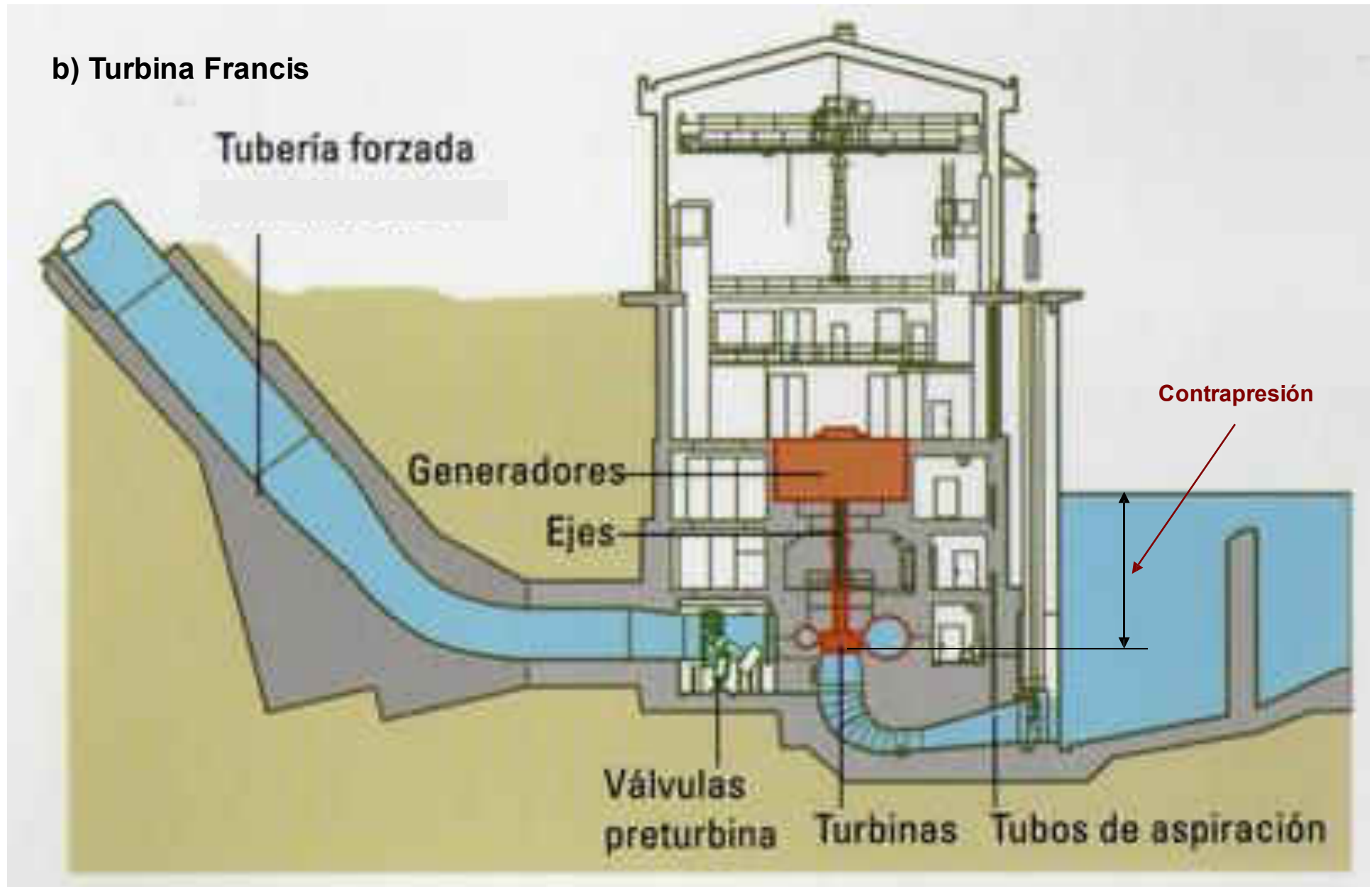
RotorPelton



TURBINA PELTON CON 1 INYECTOR

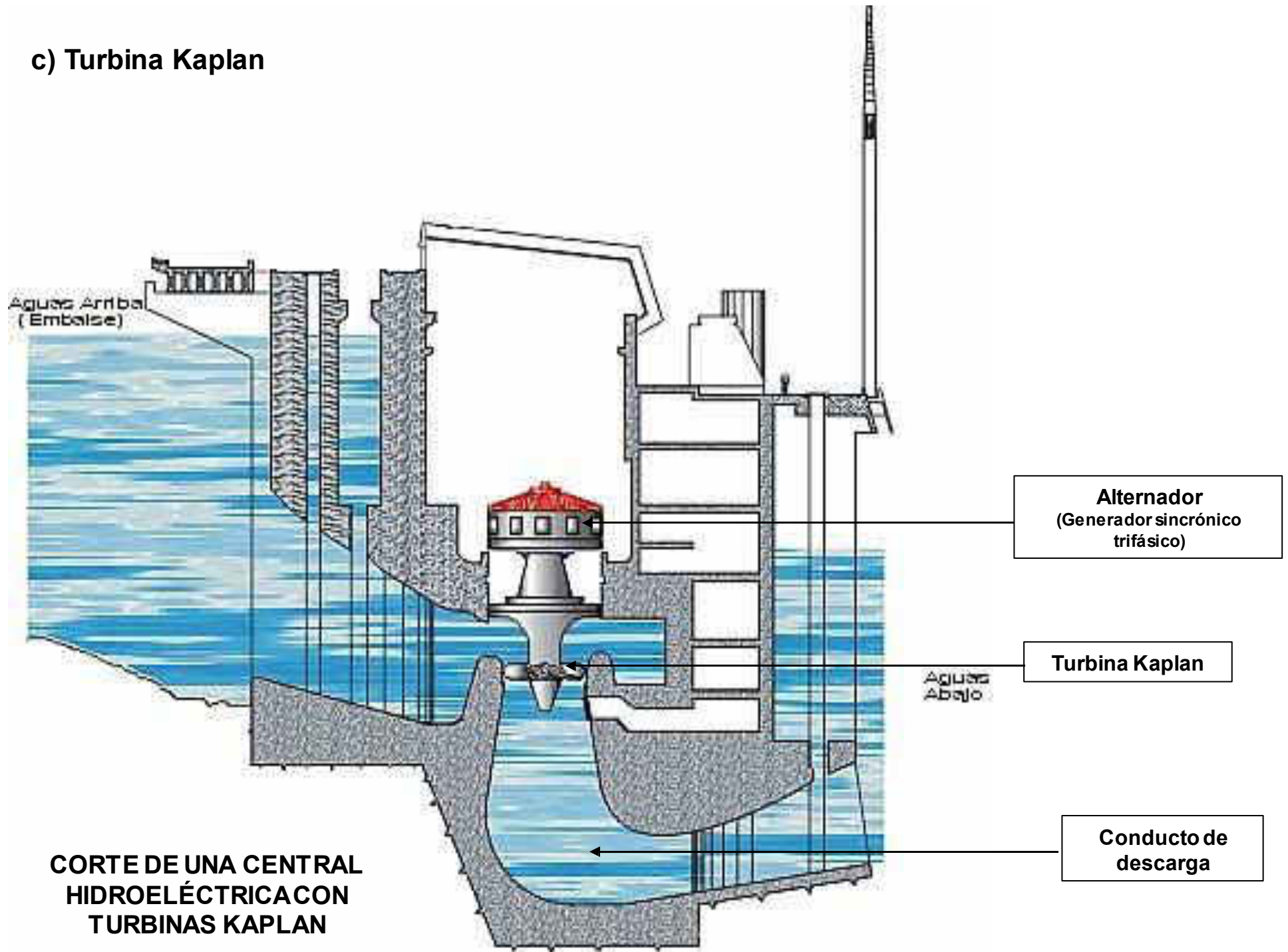
Desde la salida del inyector, durante su pasaje por el rotor y a la salida, el agua se encuentra a la presión atmosférica

b) Turbina Francis



CORTE DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA CON TURBINAS FRANCIS

c) Turbina Kaplan



4.1.4 Turbinas eólicas



4.2 PRINCIPIOS Y ECUACIONES FUNDAMENTALES DER LA MECÁNICA DE FLUIDOS.

PRINCIPIOS

Conservación de la masa

Conservación de la cantidad de movimiento

Conservación del momento cinético

Conservación de la energía (primer principio de la termodinámica)

Comportamiento del fluido

ECUACIONES

Ecuación de continuidad

Ecuación de la cantidad de movimiento

Ecuación del momento cinético

Ecuación de la energía

Leyes de la reología

El propósito de esta presentación no es el de describir las acciones dinámicas que el fluido ejerce sobre las partes fijas y móviles de los turbomotores que rigen funcionamiento, sino mostrar la potencia y el rendimiento pueden obtenerse de ellos.

En razón de ello sólo se hará referencia a la ecuación de la energía, señalando los términos de esta ecuación que se mantienen y los términos se anulan en cada tipo de turbomotor.

4.3 ECUACIÓN DE LA ENERGÍA.

$$\Delta Q - \Delta W = \Delta E$$

Ésta es la expresión matemática del **primer principio de la Termodinámica** aplicado a un sistema termodinámico que solamente intercambia calor y trabajo mecánico con su medio externo.

ΔQ = Calor que el fluido de trabajo (agua, gas) **intercambia** con el medio externo

ΔW = Trabajo mecánico que el sistema **intercambia** con el medio externo.

ΔE = Energía total del fluido de trabajo (potencial, cinética, interna, de presión).

En un intervalo infinitésimo dt de tiempo:

$$\delta Q - \delta W = dE$$

Dividiendo por dt se obtiene la ecuación de la energía en forma de energías por unidad de tiempo (potencias):

$$\frac{\delta Q}{dt} - \frac{\delta W}{dt} = \frac{dE}{dt}$$

A) En los turbomotores térmicos (turbinas a vapor y a gas)

$$\Delta Q - \Delta W = \Delta E$$

ΔQ = Calor que el fluido de trabajo (agua, gas) **recibe** del medio externo, que puede ser liberado en:

- la combustión de un combustible fósil (carbón, fuel oil, gas oil, gas natural)
- una reacción nuclear de *fisión* de un “combustible” nuclear (p. ej. Uranio, Torio)
- una reacción nuclear de *fusión* (reacción termonuclear como la que se produce en en nuestro Sol).
- la radiación solar (centrales solares).
- una fuente de energía geotérmica.
- la energía de la biomasa.
- la energía de las olas.

“La eficiencia de estos procesos de liberación de calor es muy alta”

ΔW = Trabajo mecánico que el sistema **entrega** al medio externo.

ΔE = Energía total del fluido de trabajo (potencial, cinética, interna, de presión).

B) En los turbomotores hidráulicos y eólicos (turbinas hidráulicas y eólicas)

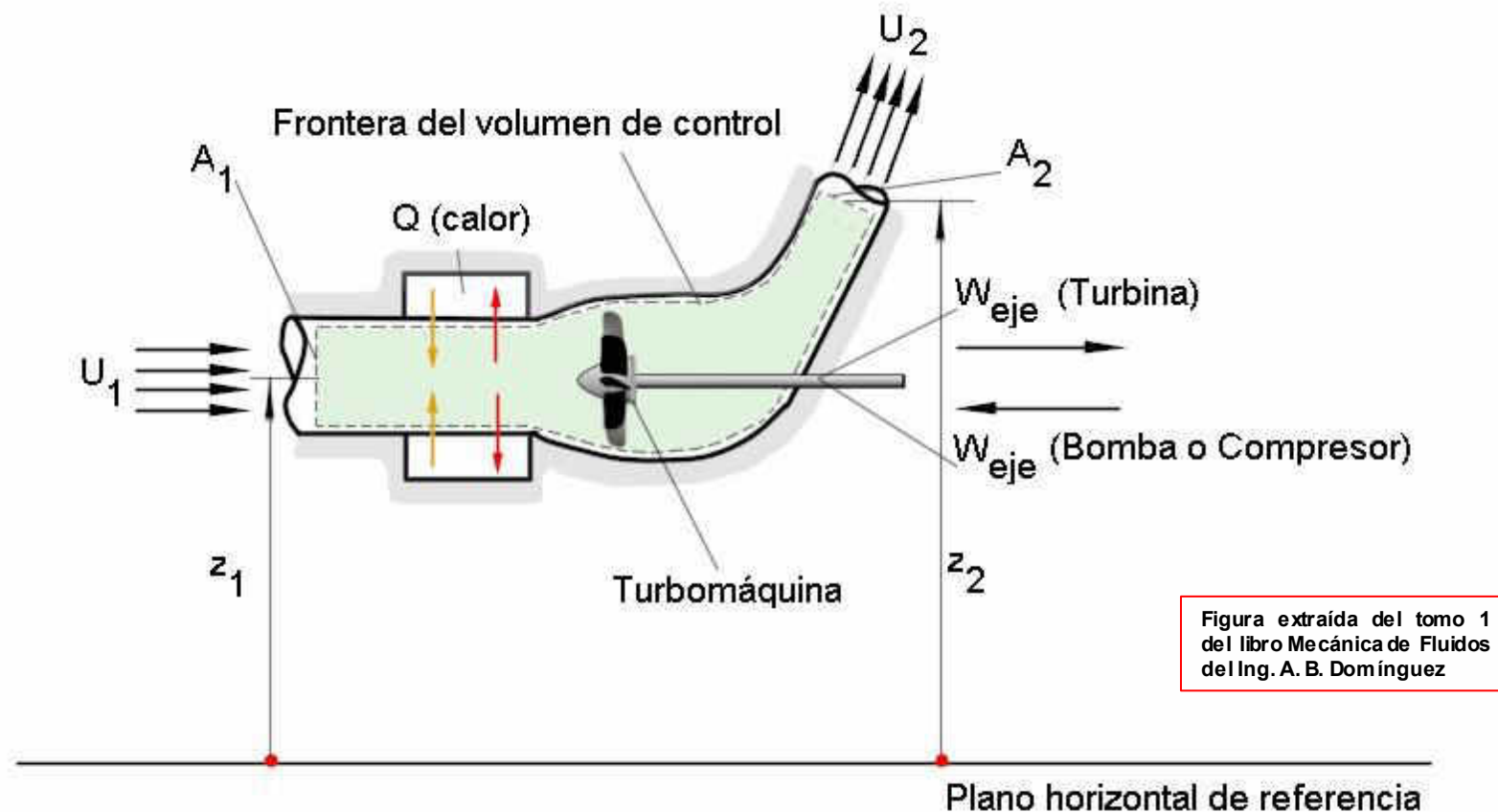
$$\Delta Q - \Delta W = \Delta E$$

$$\Delta Q = 0$$

ΔW = Trabajo mecánico que el sistema **entrega** al medio externo.

ΔE = Energía total del fluido de trabajo (potencial, cinética, interna, de presión).

4.4 ECUACIÓN DE LA ENERGÍA APLICADA A UNA TURBOMÁQUINA.



a) Para fluidos compresibles con transferencia de calor, es:

$$\frac{\delta Q}{dt} - \frac{\delta W_{\text{eje}}}{dt} = \iint_{A=A_1+A_2} \left(u + \frac{p}{\rho} + g z + \frac{v^2}{2} \right) \rho (\{v\} \times \{dA\})$$

$u + p/\rho = i = \text{Entalpía específica del fluido de trabajo}$

b) Para fluidos incompresibles con transferencia de calor y flujos unidimensionales en las secciones de entrada (1) y de salida (2):

$$\left[z + \frac{p}{\gamma} + \alpha \frac{U^2}{2g} \right] = \left[z + \frac{p}{\gamma} + \alpha \frac{U^2}{2g} \right] + \frac{W_{\text{eje}}}{kg_f} - \frac{Q}{kg_f} + \frac{(u_2 - u_1)}{g}$$

z = Cota geométrica con respecto a un plano horizontal de referencia (datum).

p = Presión.

U²/2g = Energía cinética calculada con la velocidad media del fluido en la sección.

α = Coeficiente de energía cinética.

W_{eje} = Potencia mecánica intercambiada con el medio externo en el eje del rotor.

Q = Calor intercambiado con el medio externo.

u = Energía interna específica.

c) Para fluidos incompresibles sin transferencia de calor y flujos unidimensionales en las secciones entrada (1) y de salida (2):

$$\left[z + \frac{p}{\gamma} + \alpha \frac{U^2}{2g} \right] = \left[z + \frac{p}{\gamma} + \alpha \frac{U^2}{2g} \right] + \frac{W_{\text{eje}}}{kg_f} + J_{1-2}$$

J₁₋₂ = Pérdida de carga (energía expresada en m) entre las secciones 1 y 2.

4.5 POTENCIA DE UNA TURBOMÁQUINA.

4.5.1 Turbinas a vapor y turbinas a gas

$$N_{e \text{ Turb}} = k \eta_{e \text{ turb}} g Q_m (i_1 - i_2) = k \eta_{e \text{ turb}} g Q_m \Delta i$$

$N_{e \text{ Turb}}$ = Potencia efectiva disponible en el eje de la turbina.

k = Constante cuyo valor depende de las unidades utilizadas.

$\eta_{e \text{ Turb}} = \eta_m \eta_v \eta_t$ = Rendimiento efectivo de la turbina ("**inferior al 30%**").

η_m = Rendimiento mecánico de la turbina (toma en consideración las pérdidas de energía de origen puramente mecánico de la turbina).

η_v = Rendimiento volumétrico de la turbina (toma en consideración las pérdidas de energía debidas a las fugas de vapor o de gas en la turbina).

η_t = Rendimiento del ciclo termodinámico de la turbina (**es el más bajo de los tres; no alcanza el 30%**).

Depende fundamentalmente de la diferencia entre:

- la temperatura de entrada del gas a la turbina y la de salida del gas a la atmósfera, en el caso de las turbinas a gas.
- la temperatura de entrada del vapor a la turbina y la temperatura de condensación del vapor, en el caso de las turbinas a vapor.

Q_m = Caudal másico de vapor o de gas que ingresa a la turbina (flujo másico de gas o de vapor por unidad de tiempo).

$i = u + p/\rho$ = Entalpía específica del fluido de trabajo (vapor o gas)

$\Delta i = i_1 - i_2$ = Diferencia entre las entalpías

- del gas en la entrada y en la salida de la turbina a gas, o
- del vapor en la entrada a la turbina a vapor y en el condensador.

Δi es función del poder calorífico del combustible.

$$\eta_{eTurb} = \frac{\text{Potencia disponible en el eje}}{\text{Potencia total recibida}} = \eta_m \eta_v \eta_t$$

Potencia total recibida por la turbina = Potencias mecánica y calórica del fluido =
 $= g Qm (\frac{1}{2} \Delta V^2 + \Delta i)$

“La eficiencia de los procesos de conversión de calor en energía mecánica de rotación es muy baja”

“Esto se debe a que el fluido está sometido a un ciclo termodinámico”

4.5.2 Turbinas hidráulicas.

La masa específica del agua se mantiene prácticamente constante dentro del rango de presiones en el cual operan estas turbinas. Además el flujo se realiza en condiciones cuasi-isotérmicas.

Puede admitirse entonces que el agua que fluye a través de la turbina, “*no está sometida a un ciclo termodinámico*”. **La energía interna y la entalpía no sufren variaciones sensibles en su pasaje a través del rotor.**

$$N_{e \text{ Turb}} = k \eta_{e \text{ turb}} g Q_m \underbrace{[(z_1 - z_2) - \Sigma J]}_{\Delta H_{\text{neto}}} = k \eta_{e \text{ turb}} g \rho Q_v \Delta H_{\text{neto}}$$

$N_{e \text{ Turb}}$ = Potencia efectiva disponible en el eje de la turbina.

k = Constante cuyo valor depende de las unidades utilizadas.

$\eta_{e \text{ Turb}} = \eta_m \eta_v \eta_h$ = Rendimiento efectivo de la turbina.

η_m = Rendimiento mecánico de la turbina (toma en consideración las pérdidas de energía de origen puramente mecánico de la turbina).

η_v = Rendimiento volumétrico de la turbina (toma en consideración las pérdidas de energía debidas a las fugas de agua en la turbina).

η_h = Rendimiento hidrodinámico de la turbina (toma en consideración las pérdidas de energía de origen puramente hidrodinámico en la turbina (fricción, choque, etc.).

ρ = Masa específica del agua.

Q_v = Caudal volumétrico de agua que atraviesa el rotor de la turbina (flujo volumétrico de agua por unidad de tiempo).

ρQ_v = Caudal másico de agua que atraviesa el rotor de la turbina (flujo másico de agua por unidad de tiempo).

$z_1 - z_2$ = Diferencia entre las cotas geométricas de las secciones 1 y 2.

ΣJ = Pérdidas de carga en las tuberías de alimentación y descarga de la turbina.

$\Delta H_n = H_{n1} - H_{n2}$ = Diferencia entre las alturas hidrodinámicas totales netas del agua entre la entrada y a la salida de la turbina hidráulica.

$$\eta_{eTurb} = \frac{\text{Potencia disponible en el eje}}{\text{Potencia hidráulica recibida}} = \eta_m \eta_v \eta_h$$

Potencia hidráulica recibida por la turbina = $g \rho Q_v \Delta H_n$

“La eficiencia del proceso de conversión de energía hidráulica en energía mecánica de rotación es muy alta”

“Esto se debe a que el fluido no está sometido a un ciclo termodinámico”

4.5.3 Turbinas eólicas.

Las variaciones de la masa específica y la temperatura del aire, dentro del rango de presiones en el que operan estas turbinas, son pequeñas. **La energía interna y la entalpía del aire no sufren variaciones sensibles en su pasaje a través del rotor.** La energía mecánica disponible en el eje de una turbina eólica, por unidad de masa de aire, está dada por la expresión siguiente:

$$\Delta W_{\text{eje}} = \cancel{\Delta Q} + \left(\cancel{\Delta u} + \cancel{\frac{\Delta p}{\rho}} \right) + \cancel{g \Delta z} + \frac{\Delta V^2}{2} \approx \frac{\Delta V^2}{2}$$

$\cong 0$	$\cong 0$	$\cong 0$	$\neq 0$
Calor recibido del medio externo	Variación de la entalpía	Variación de la energía potencial	Variación de la energía cinética

$$\eta_{\text{eTurb}} = \frac{\text{Potencia disponible en el eje}}{\text{Potencia eólica recibida}} = \eta_m \eta_v \eta_{\text{aerodinámico}}$$

“La eficiencia del proceso de conversión de energía eólica en energía mecánica de rotación es alta, pero significativamente menor que en el caso de la energía hidráulica”

4.5.4 CONCLUSIONES

Los rendimientos mecánicos η_m correspondientes a las turbinas a vapor y a gas son aproximadamente del mismo orden que los correspondientes a las turbinas hidráulicas y eólicas. Lo mismo sucede con los rendimientos volumétricos η_v . Sin embargo, no sucede lo mismo si se comparan los valores del rendimiento termodinámico η_t de las turbinas a vapor y a gas con el rendimiento hidrodinámico η_h de las turbinas hidráulicas y eólicas.

En las turbinas a gas, η_t depende fundamentalmente de la diferencia entre la temperatura de entrada del gas a la turbina y la de salida del gas a la atmósfera.

En las turbinas a vapor, η_t depende fundamentalmente de la diferencia entre la temperatura de entrada del vapor a la turbina y la temperatura de condensación del vapor.

Para las temperaturas que soportan los materiales actuales, el rendimiento de los ciclos termodinámicos, tanto de las turbinas a gas como a vapor es del orden del 30%.

En cambio, el rendimiento η_h en las turbinas hidráulicas y en las turbinas eólicas es muy alto, ya que supera el 90% en todos los casos.

Las energías de las corrientes fluidas (hidráulica y eólica) *no se convierten directamente en energía eléctrica*, sino que *deben ser convertidas previamente en energía mecánica de rotación*.

La energía química de un combustible, liberada por la reacción de combustión, *no se convierte directamente en energía eléctrica*, sino en calor, que es utilizado para generar vapor, éste es empleado para accionar una *turbina a vapor*, que a su vez impulsa un *generador de energía eléctrica*, o bien para generar gas, que es utilizado para accionar una *turbina a gas*, que a su vez impulsa un *generador de energía eléctrica*.

La energía nuclear liberada por la reacción de fisión *no se convierte directamente en energía eléctrica*, sino en calor, que es utilizado para generar vapor, éste es empleado para accionar una *turbina a vapor*, que a su vez impulsa un *generador de energía eléctrica*.

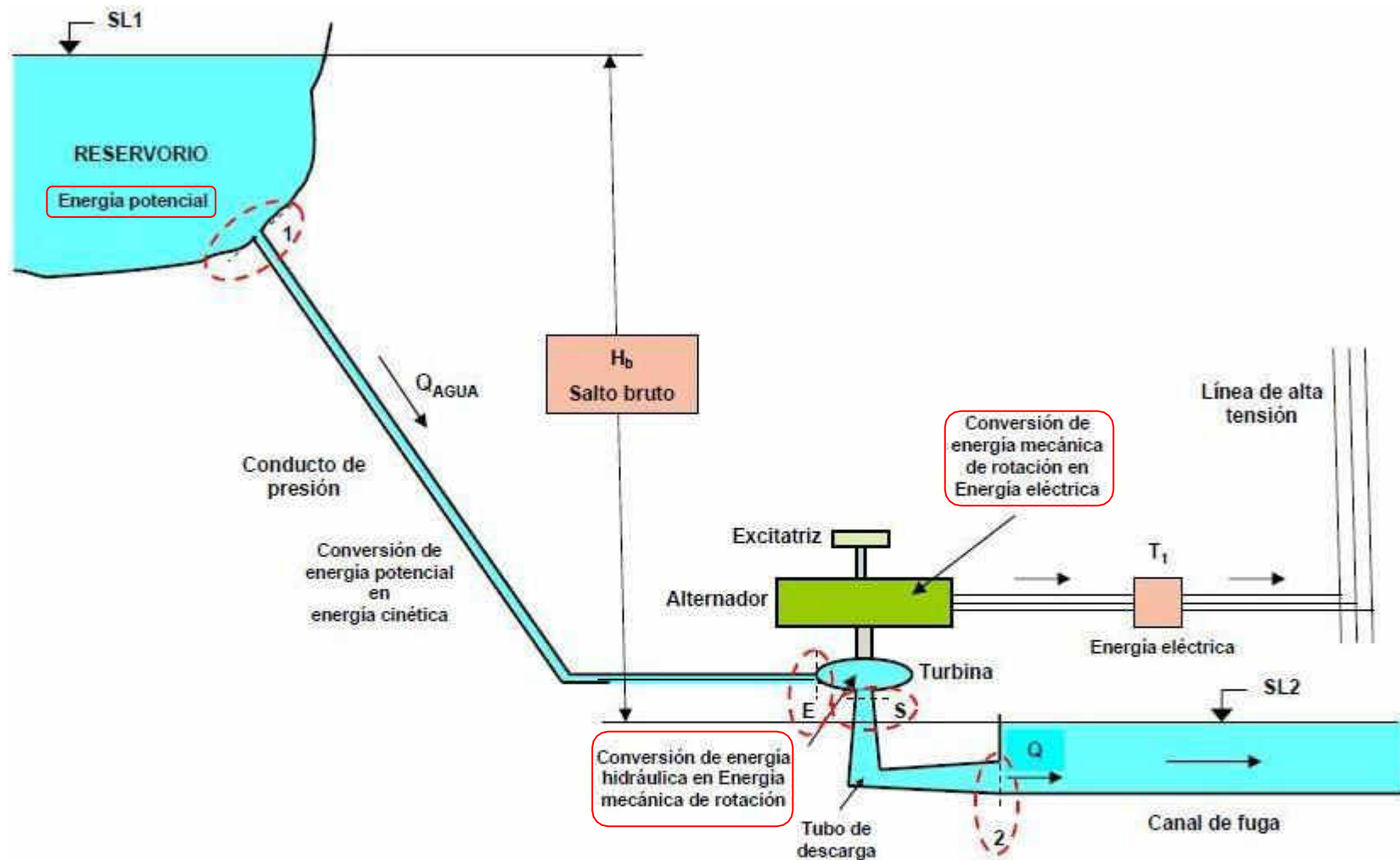
Finalmente, debe señalarse que la conversión de la energía mecánica de rotación en energía eléctrica se realiza con una eficiencia muy alta.

5

CENTRALES CONVERSoras DE ENERGÍA

5.1

CENTRALES HIDRÁULICAS



Potencia hidráulica bruta	$N_b = \gamma Q H_b$
Potencia hidráulica neta	$N_n = N_b - \gamma Q (\sum J_{1-E} + J_{S-2})$
Potencia mecánica efectiva en el eje de la turbina	$N_e = \eta_T N_n$

Figura extraída del del libro
Energía Hidroeléctrica del
Ing. A. B. Domínguez

CONVERSIÓN DE ENERGÍA EN UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA

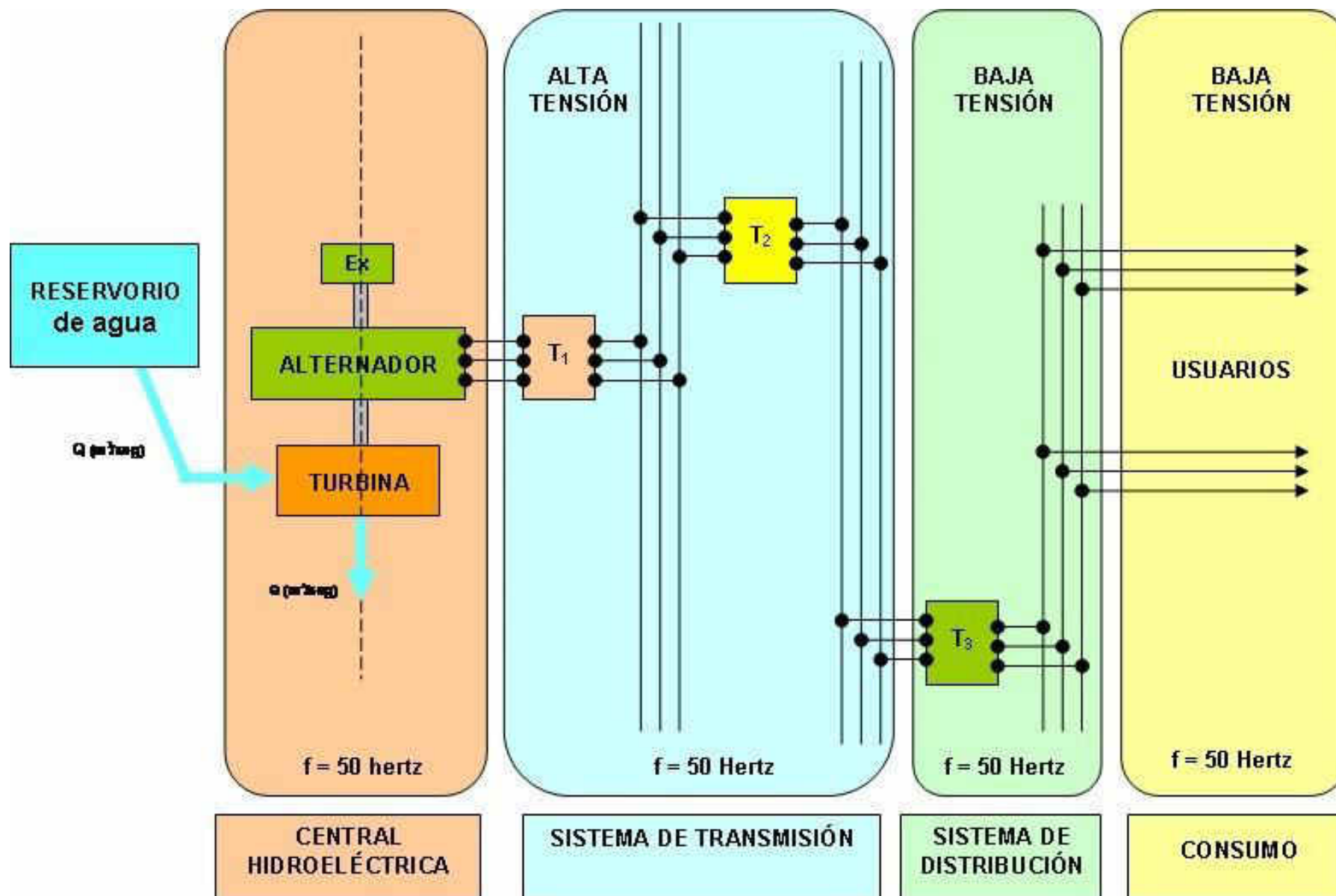


Figura extraída del libro
Energía Hidroeléctrica del
Ing. A. B. Domínguez

SISTEMAS DE CONVERSIÓN, TRANSMISIÓN, DISTRIBUCIÓN Y CONSUMO DE ENERGÍA

La turbina, el alternador y la excitatriz van acoplados sobre un mismo eje. Esto significa que las tres máquinas giran a la misma velocidad.

Como el alternador es un generador sincrónico trifásico, su velocidad de rotación es la velocidad sincrónica n_{sinc} , que depende de la frecuencia f de la red y del número de pares de polos p del alternador:

$$n_{\text{sinc}} = \frac{60 \times f}{p}$$

n_{sinc} = Velocidad sincrónica del alternador (rpm)

f = Frecuencia de la red (en Argentina $f = 50$ Hertz = 50 ciclos/seg)

p = Número de pares de polos del alternador (1, 2, 3, . . .)

60 seg/min

Para $f = 50$ ciclos/seg las velocidades sincrónicas posibles son:

p	1	2	3	
$n_{\text{sinc}} = 60 \times 50/p$	3000	1500	1000	

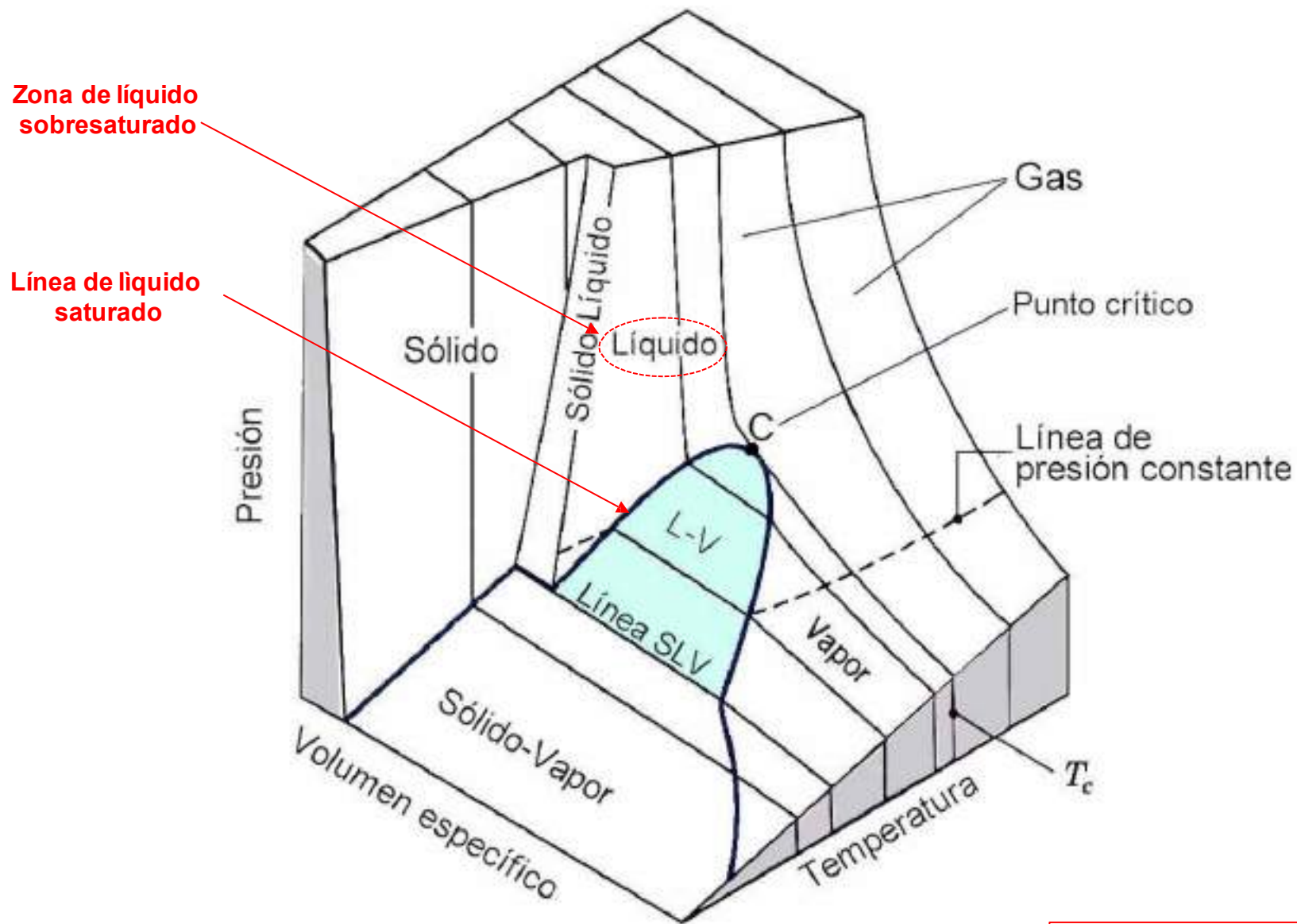
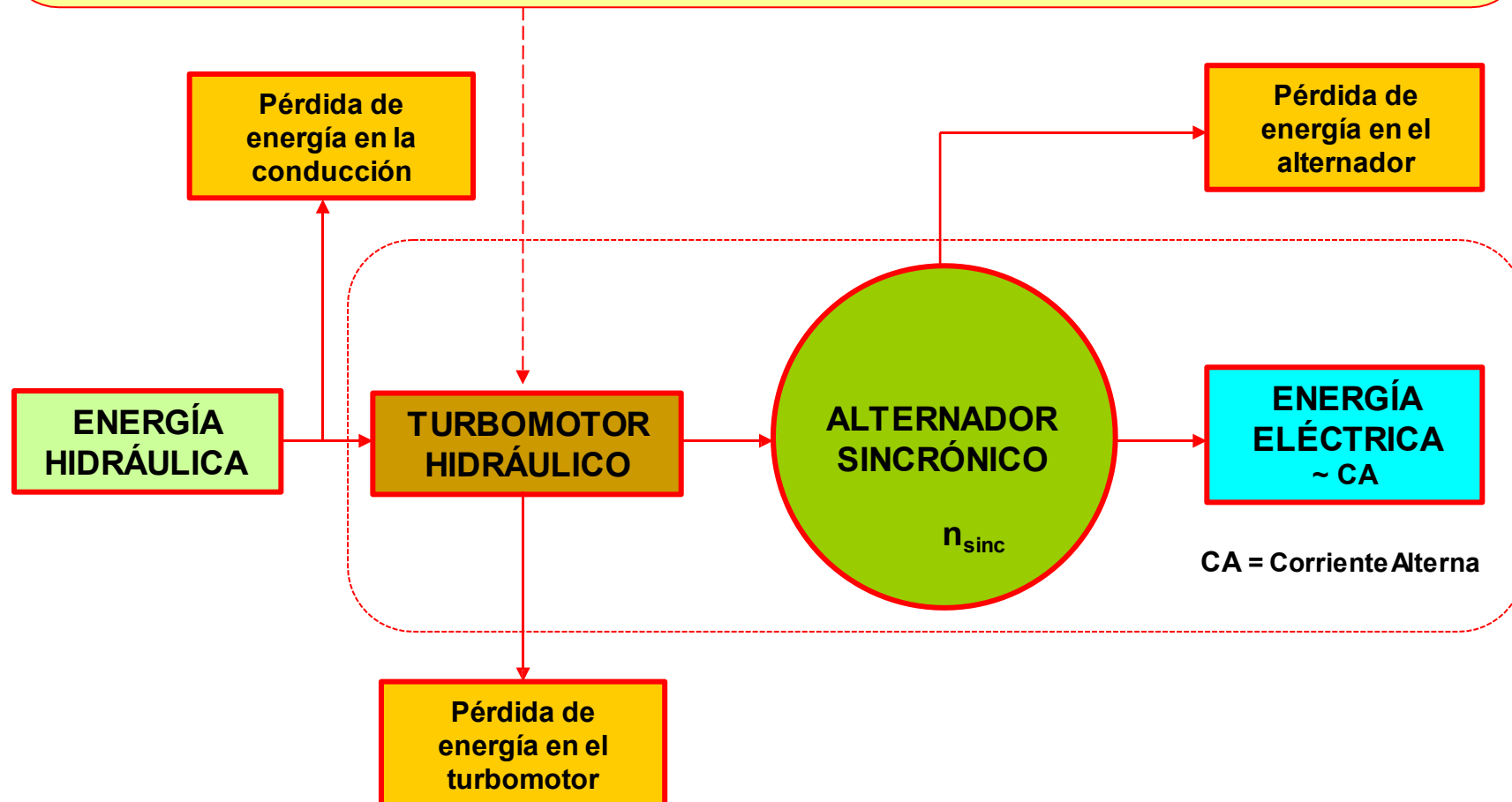


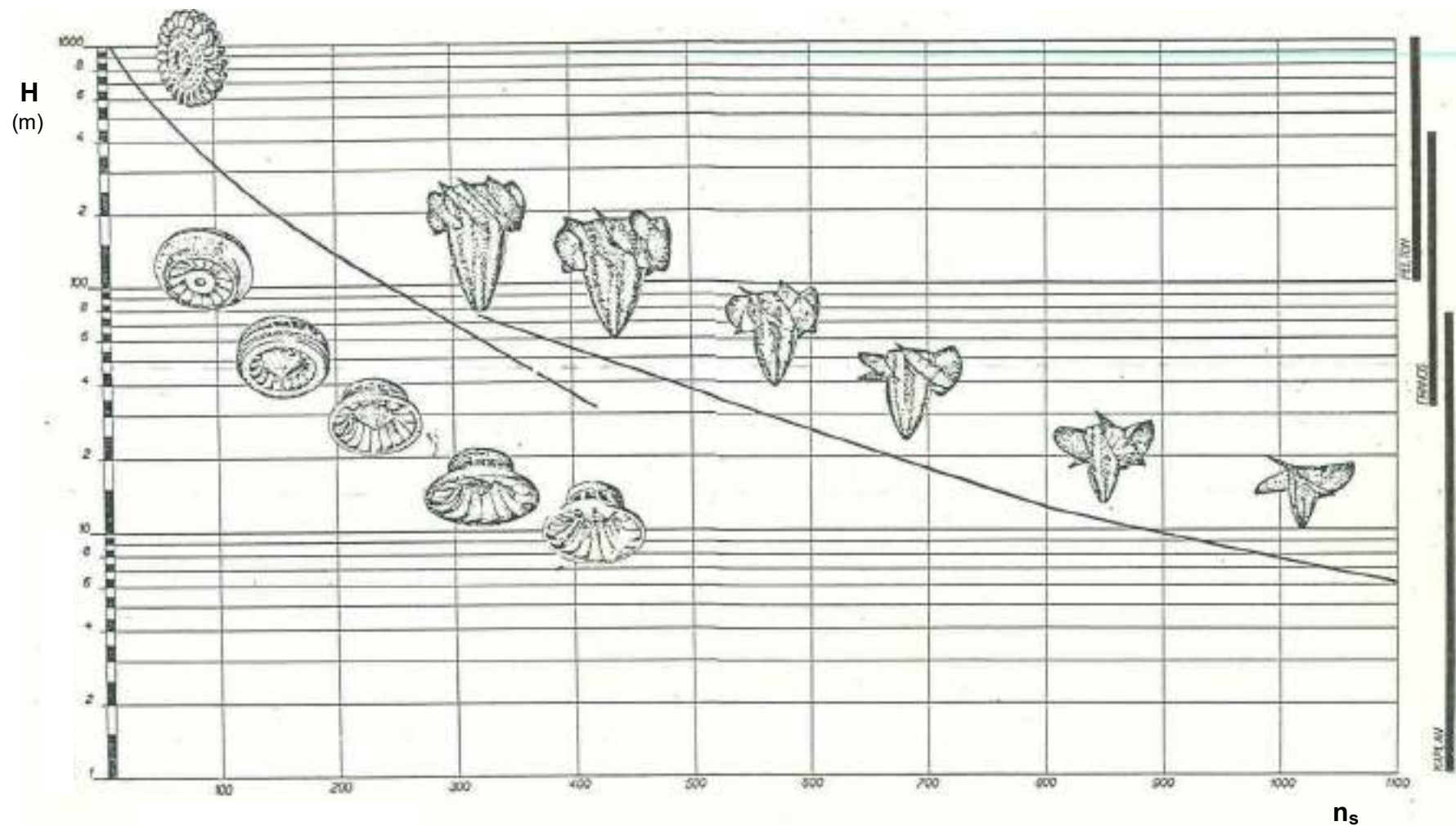
Figura extraída del tomo 1 del libro Mecánica de Fluidos del Ing. A. B. Domínguez

DIAGRAMA p , V , T PARA EL AGUA

$$\eta_{eTurb} = \frac{\text{Potencia en el eje}}{\text{Potencia hidráulica recibida}} = \eta_m \eta_v \eta_h$$



CENTRAL HIDRÁULICA



RANGOS DE APLICACIÓN DE LAS TURBINAS PELTON, FRANCIS Y KAPLAN

Diagrama $H = H(n_s)$

H = Altura topográfica (m) ; n = rpm ; N = Potencia (CV o W) ; $n_s = n N^{1/2} / H^{5/4}$ = número específico de revoluciones

CENTRAL HIDROELÉCTRICA YACYRETÁ

Potencia instalada 3200 MW

A la Argentina le aporta 1800 MW

**Abastece el 22% de la demanda de
electricidad argentina y genera el 60%
de la energía hidroeléctrica del país.**





CENTRAL HIDROELÉCTRICA YACYRETÁ

5.2

CENTRALES EÓLICAS

Las centrales eólicas de gran potencia no acumulan energía sino que la entregan directamente a la red.

Los generadores eólicos de baja potencia acumulan la energía en bancos de baterías y parte de ella es utilizada para el consumo de la vivienda.

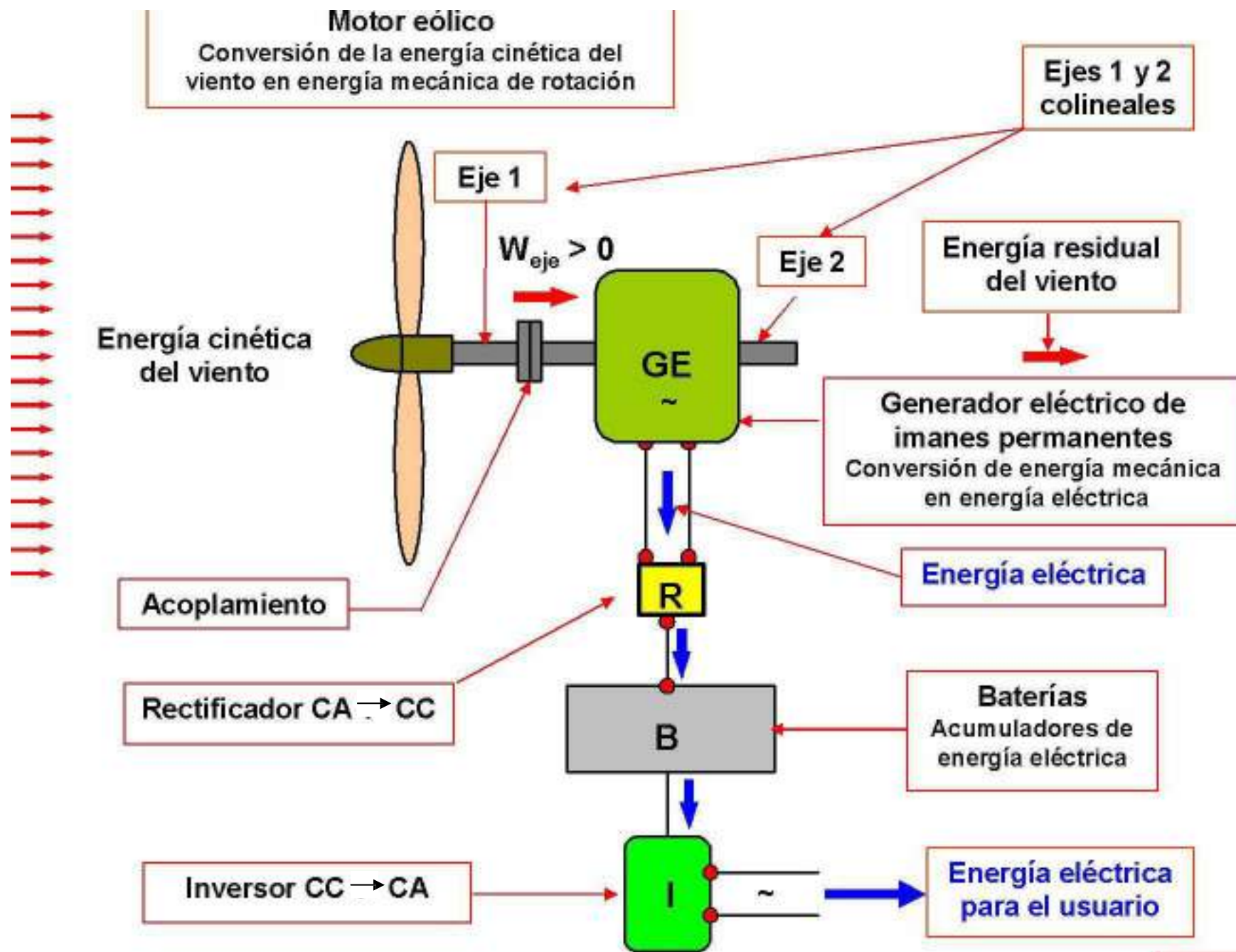


PARQUE EÓLICO *ANTONIO MORÁN*
Comodoro Rivadavia, provincia de Chubut, Argentina



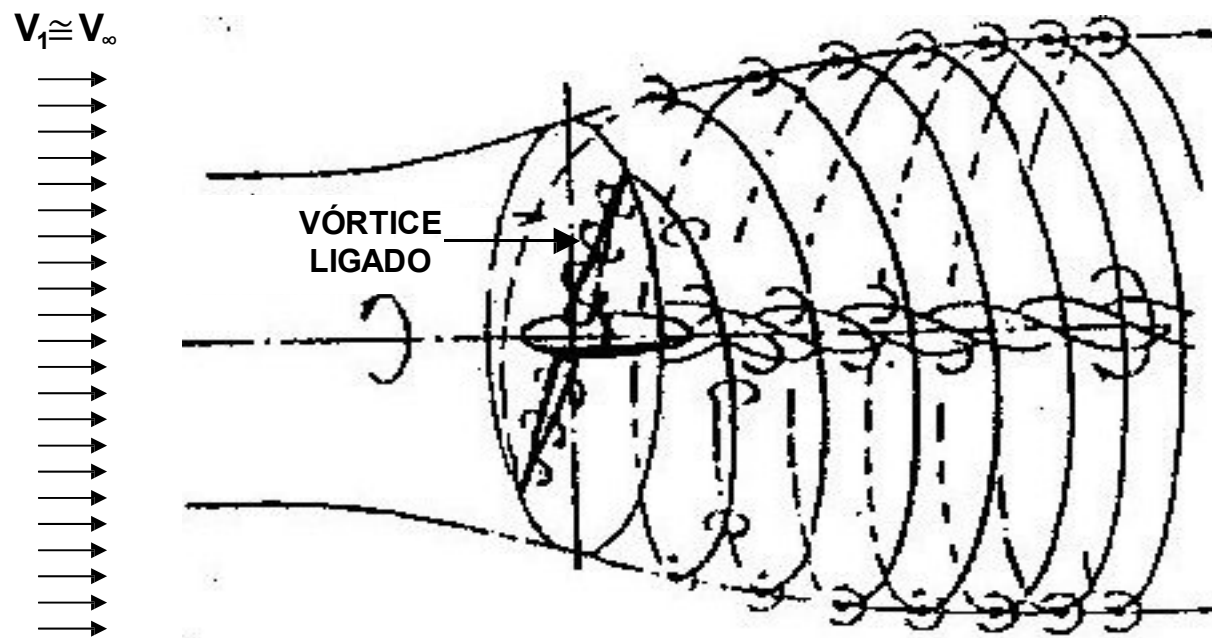
PARQUE DE AEROGENERADORES

Cerca de Palm-Springs, California, EEUU

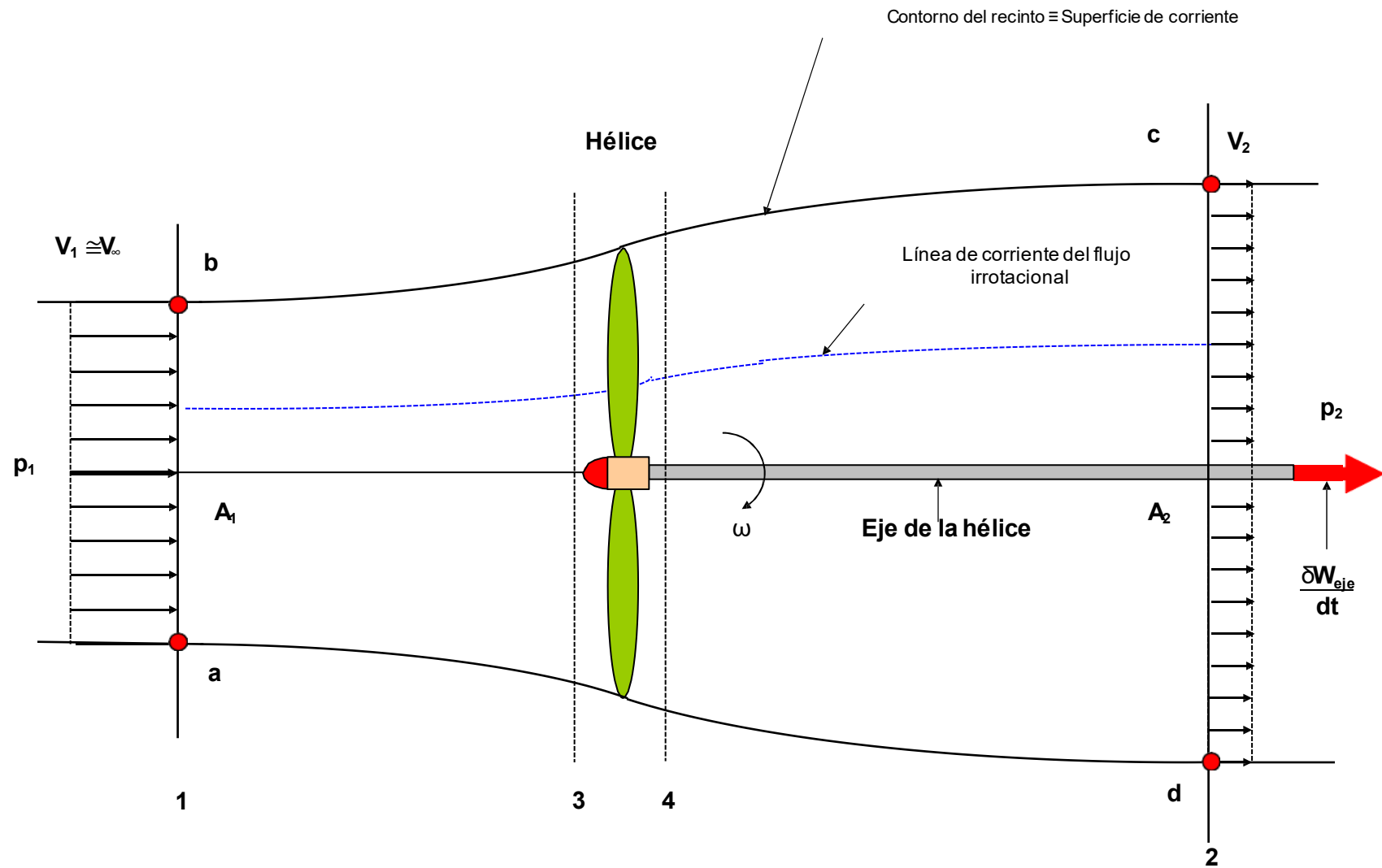


ESQUEMA DE UN GENERADOR EÓLICO DE BAJA POTENCIA

Figura extraída de la presentación del trabajo Generadores Eólicos del Ina. A. B. Domínguez



TUBO DE FLUJO Y VÓRTICES EN UN MOTOR EÓLICO

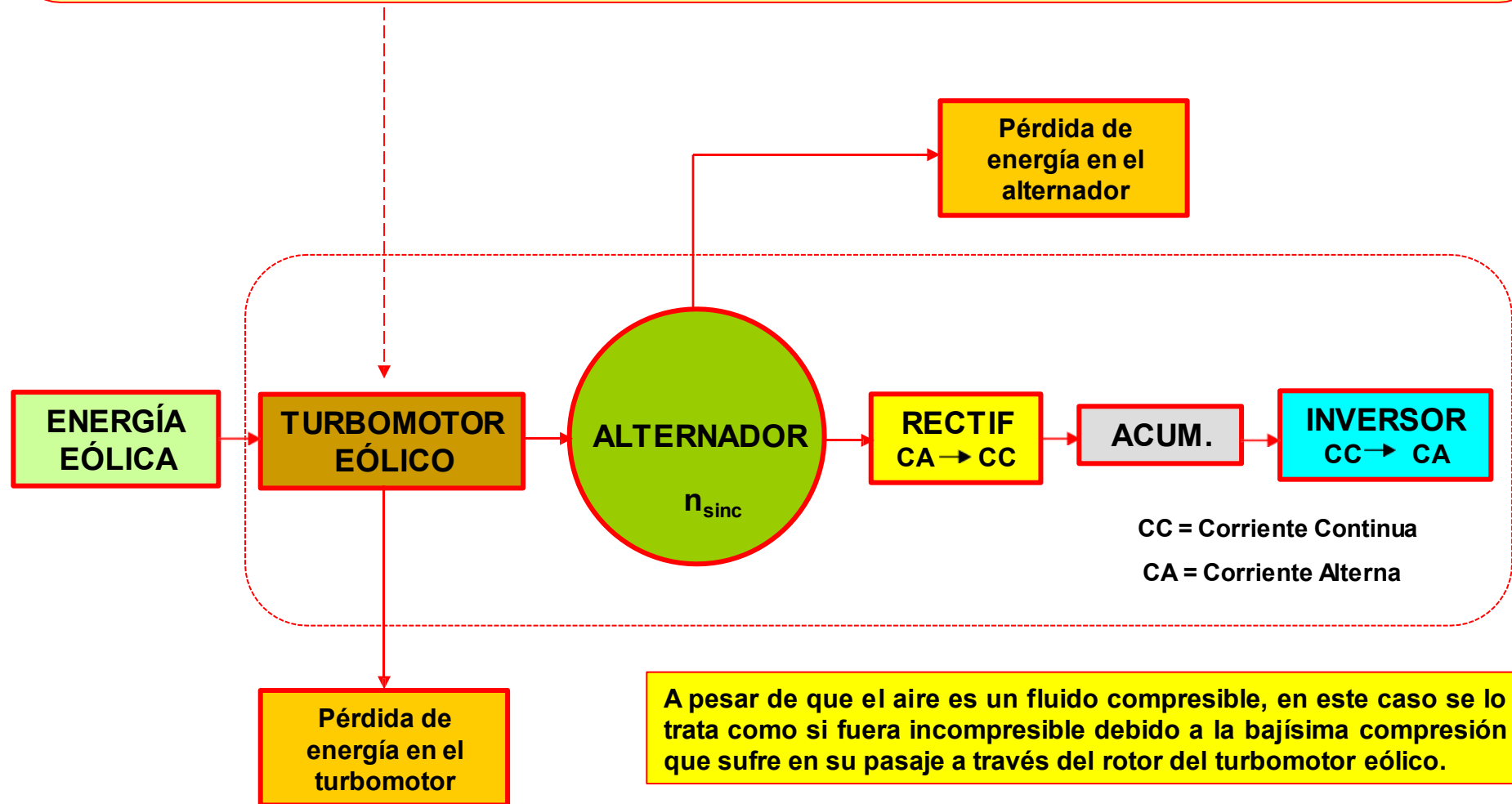


abcd = recinto finito (volumen de control)

TUBO DE FLUJO

Bajo la hipótesis de flujo irrotacional

$$\eta_{eTurb} = \frac{\text{Potencia disponible en el eje}}{\text{Potencia eólica recibida}} = \eta_m \eta_v \eta_{\text{aerodinámico}}$$



CENTRAL EÓLICA

	Central	Proponente	Potencia MW
1	Malaspina I	IMPSA	50,0
2	Pto. Madryn Oeste	Energías Sustentables S.A.	20,0
3	Malaspina II	IMPSA	30,0
4	Pto. Madryn II	Emgasud Renovables S.A.	50,0
5	Pto. Madryn I	Emgasud Renovables S.A.	50,0
6	Rawson I	Emgasud Renovables S.A.	50,0
7	Rawson II	Emgasud Renovables S.A.	30,0
8	Pto. Madryn Sur	Patagonia Wind Energy S.A.	50,0
9	Pto. Madryn Norte	International New Energies S.A.	50,0
10	KOLUEL KAIKE I	IMPSA	50,0
11	KOLUEL KAIKE II	IMPSA	25,0
12	Loma Blanca I	Isolux S.A.	50,0
13	Loma Blanca II	Isolux S.A.	50,0
14	Loma Blanca III	Isolux S.A.	50,0
15	Loma Blanca IV	Isolux S.A.	50,0
16	Tres Picos I Básica	Sogesic S.A.	49,5
17	Tres Picos II Básica	Sogesic S.A.	49,5

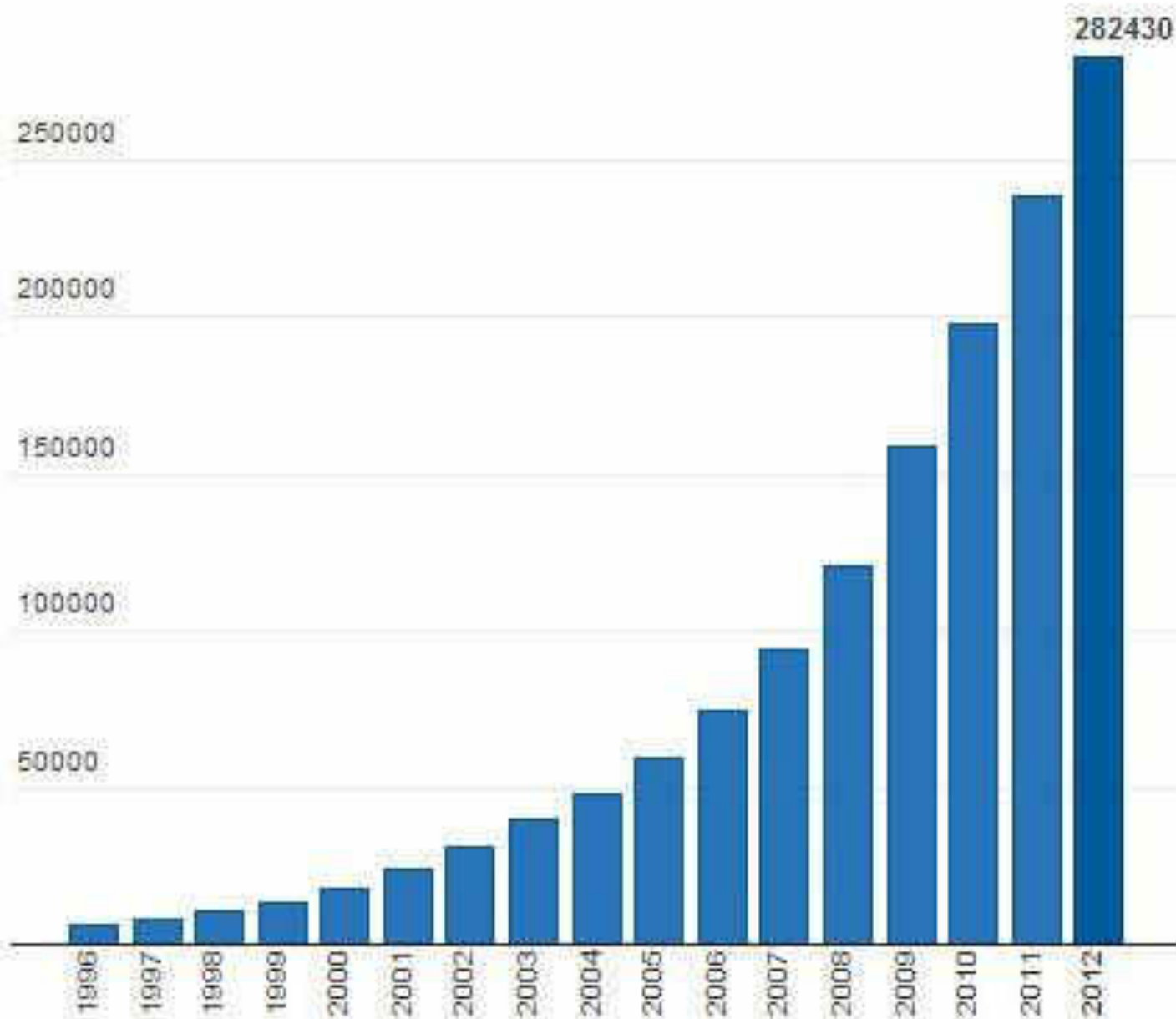
LOS 20 PARQUES EÓLICOS MÁS GRANDES DEL MUNDO

La mayoría de las plantas de energía eólica de mayor potencia se encuentran en los Estados Unidos. El Horse Hollow Wind Energy Center en Texas es el parque eólico mas grande del mundo con 421 turbinas.

1	Horse Hollow Wind Energy Center	736 MW (Estados Unidos)	11	Stateline Wind Project	300 MW (Estados Unidos)
2	Tehachapi Pass Wind Farm	690 MW (Estados Unidos)	12	King Mountain Wind Farm	281 MW (Estados Unidos)
3	San Geronio Pass Wind Farm	619 MW (Estados Unidos)	13	Alto Minho Parque Eólico	240 MW (Portugal)
4	Altamont Pass Wind Farm	606 MW (Estados Unidos)	14	Wild Horse Wind Farm	229 MW (Estados Unidos)
5	Sweetwater Wind Farm	505 MW (Estados Unidos)	15	Blue Canyon Wind Farm	225 MW (Estados Unidos)
6	Peetz Wind Farm	400 MW (Estados Unidos)	16	Roscoe Wind Farm	209 MW (Estados Unidos)
7	Buffalo Gap Wind Farm	353 MW (Estados Unidos)	17	Maranchon Parque Eólico	208 MW (España)
8	Maple Ridge Wind Farm	322 MW (Estados Unidos)	18	Fenton Wind Farm	206 MW (Estados Unidos)
9	Whitelee Wind Farm	322 MW (Reino Unido)	19	New Mexico Wind Energy Center	204 MW (Estados Unidos)
10	Thorntonbank Wind Farm	300 MW (Bélgica)	20	Vankusawade Wind Park	201MW (India)

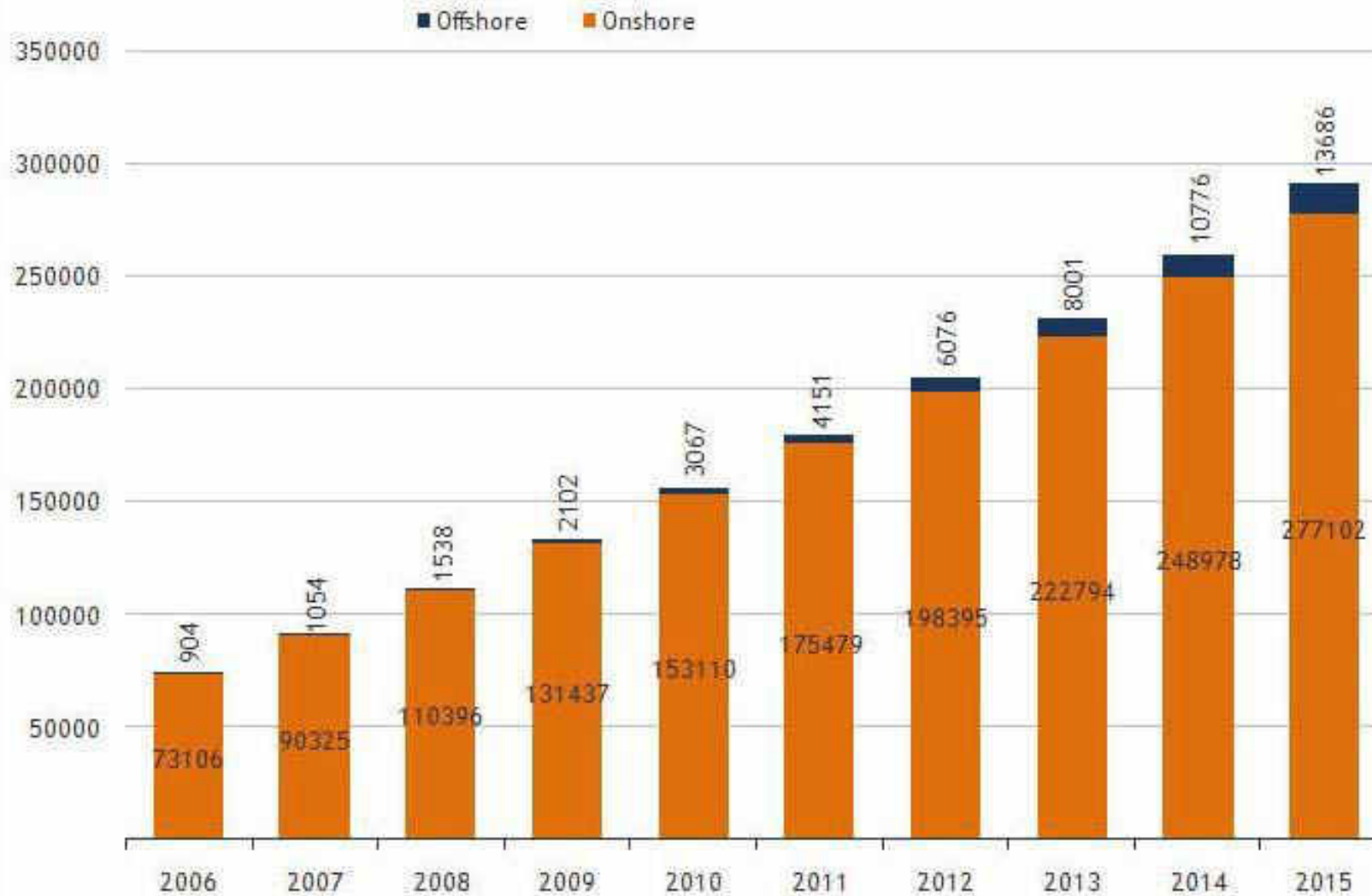
Fuente: AllRanking

Global cumulative installed wind capacity (MW)



SOURCE: GWEC

Energía Eólica Total Instalada (MW)



PRONÓSTICOS DE CRECIMIENTO

Según un informe de la consultora *Emerging Energy Research* (EER):

La capacidad de energía eólica mundial se prevé que aumente a más de 290 GW a finales de 2015 desde los 91 GW de 2007.

En 2015 la potencia procedente de energías eólicas, tanto *offshore* como *onshore*, se habrá incrementado en más de un 300% respecto a la potencia instalada actualmente.

La mayor parte de este crecimiento se considera que se producirá en los EE.UU. y China, mientras que Europa perderá su liderazgo.

Se espera que la región de Asia supere América del Norte para 2015 en el total de capacidad de energía eólica.

El rápido crecimiento en Asia está siguiendo la tendencia de las previsiones de EER que el año pasado hizo, cuando se estima que en 2010 China y la India contribuirá 80 por ciento de los 6 GW crecimiento en Asia para 2015.

Fuente: Engineering Research (EER).

NOTA: According to the Global Wind Energy Council, more than 90 percent of the world's offshore wind capacity is installed in northern Europe. About 12 Gw of offshore wind was in service at the end of 2015, just 3 percent of the world's total installed wind energy.

© 2016 Bloomberg L.P

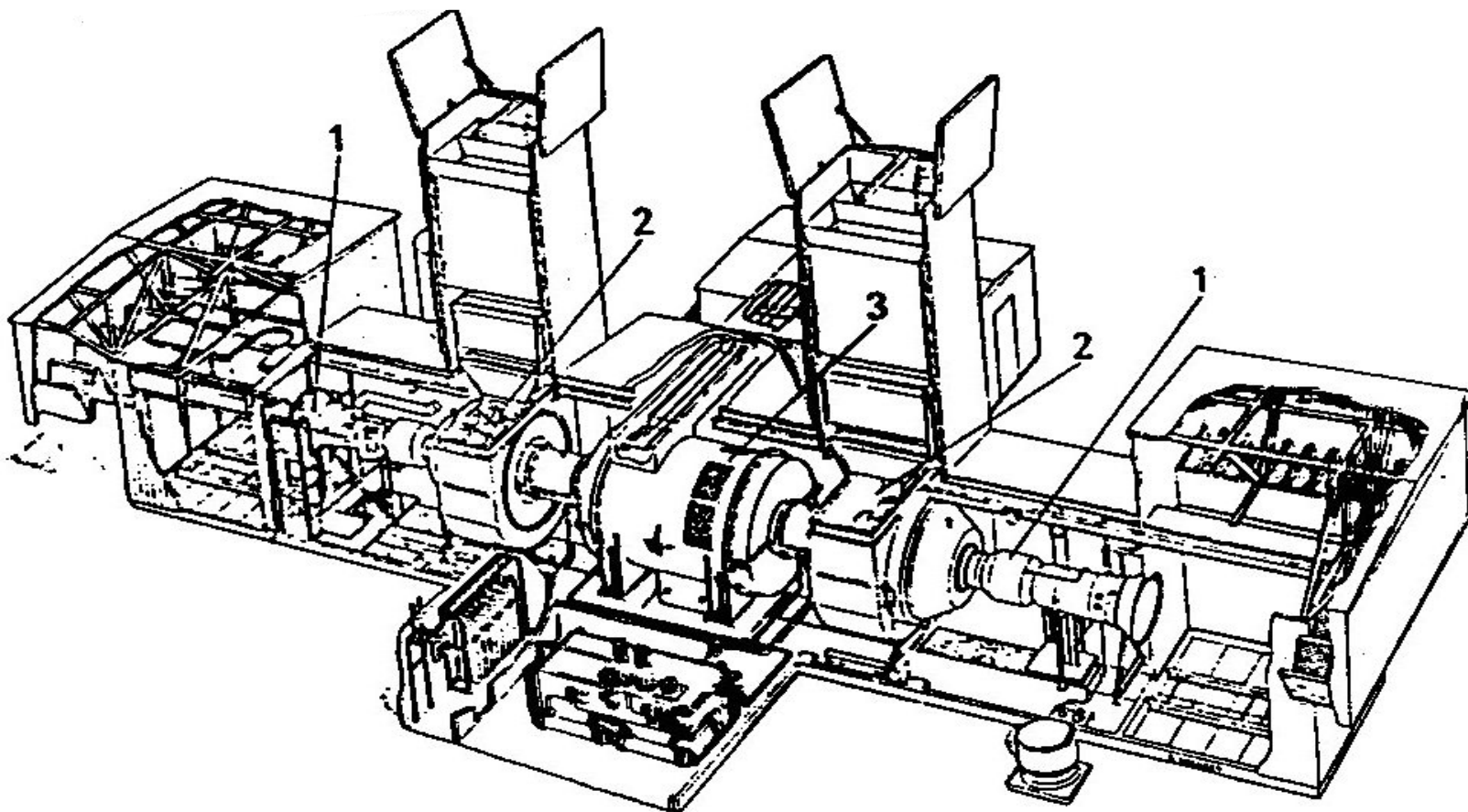
5.3

CENTRALES TÉRMICAS A GAS





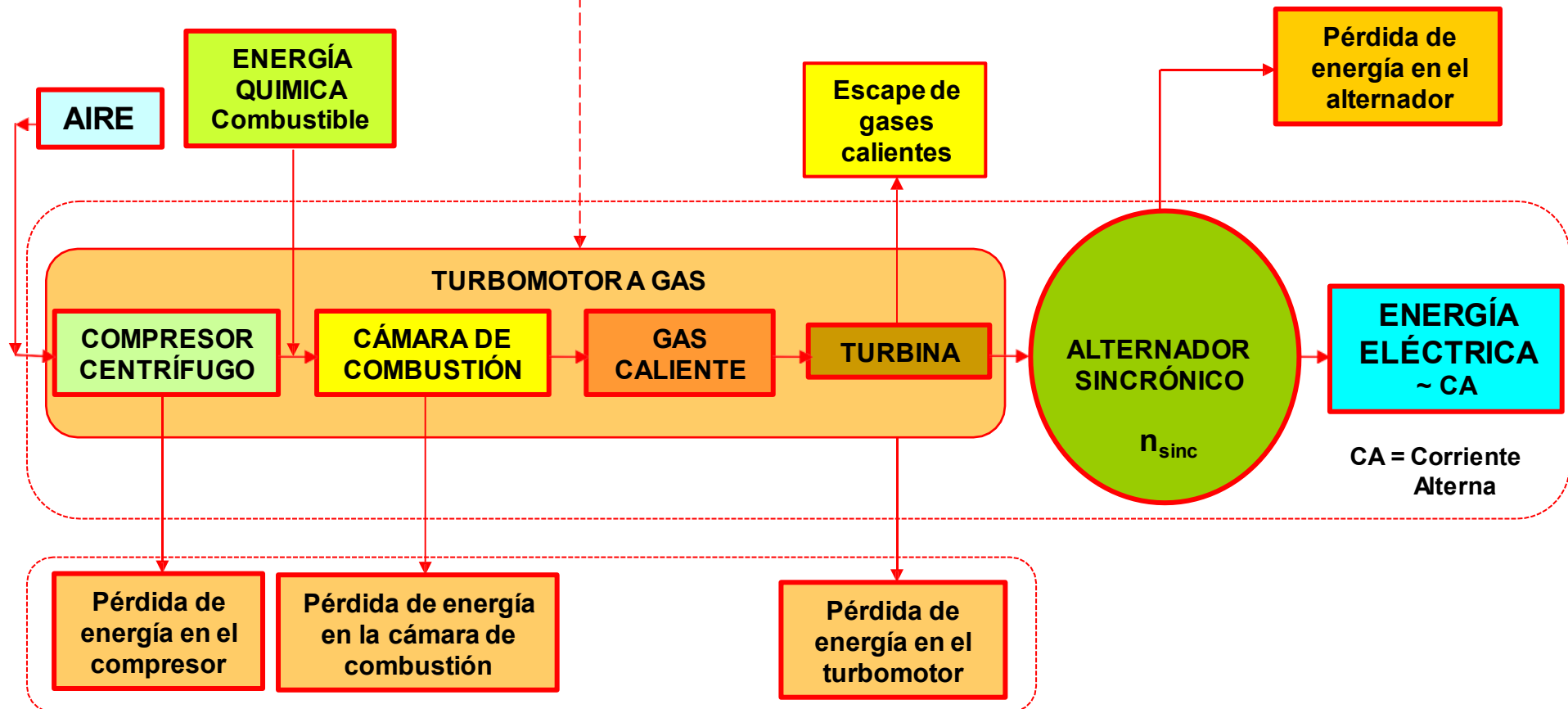
CENTRAL TERMOELÉCTRICA COSTANERA
TURBOGRUPOS BRITISH THOMSON-HOUSTON DE 120 MW CADA UNO



CENTRAL TÉRMICA A GAS STAL-LAVAL

- (1) Dos turborreactores utilizados como generadores de gas
- (2) Dos turbinas de gas de escape libre.
- (3) Un alternador sincrónico trifásico.

$$\eta_{eTurb} = \frac{\text{Potencia disponible en el eje}}{\text{Potencia total recibida}} = \eta_m \eta_v \eta_t$$



CENTRAL TÉRMICA A GAS



Diagrama presión – volumen

Diagrama temperatura - entropía

CICLO BRAYTON DE UNA TURBINA A GAS



GEORGE BRAYTON

1830-1892

Ingeniero Mecánico norteamericano

Autor del ciclo termodinámico que lleva su nombre



TURBINA ROLLS ROYCE
Central en Ushuaia, Tierra del Fuego

5.4

CENTRALES TÉRMICAS A VAPOR A COMBUSTIBLES FÓSILES LÍQUIDOS Y SÓLIDOS

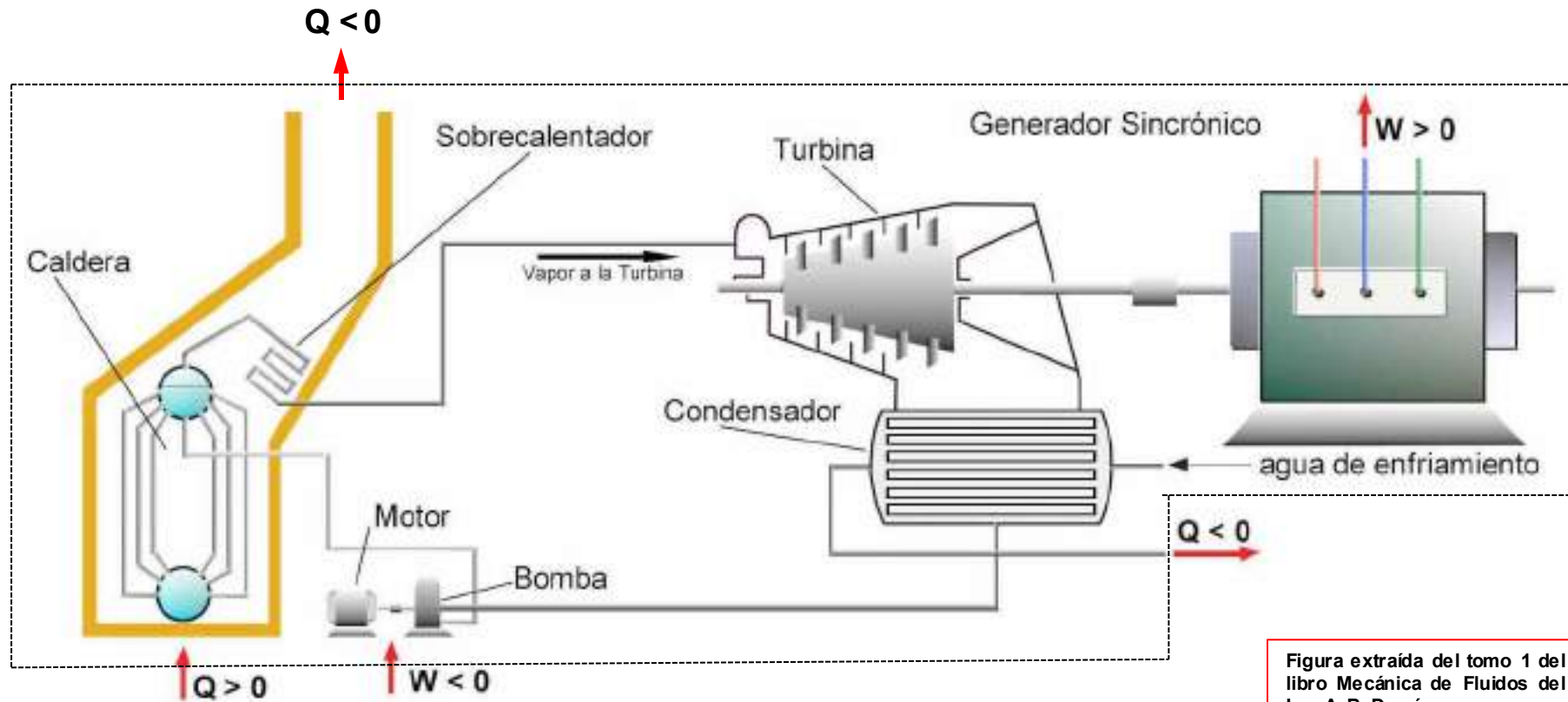


Figura extraída del tomo 1 del libro Mecánica de Fluidos del Ing. A. B. Domínguez

CENTRAL TÉRMICA A VAPOR DE COMBUSTIBLE FÓSIL

Sistema cerrado - Sólo intercambia calor y trabajo con su medio externo.

El agua de enfriamiento que circula por el condensador no es masa que el sistema intercambia con el medio externo, sino que es el medio utilizado para extraer calor del sistema y entregarlo a la *fuentes fría* (lago, río o torre de enfriamiento).

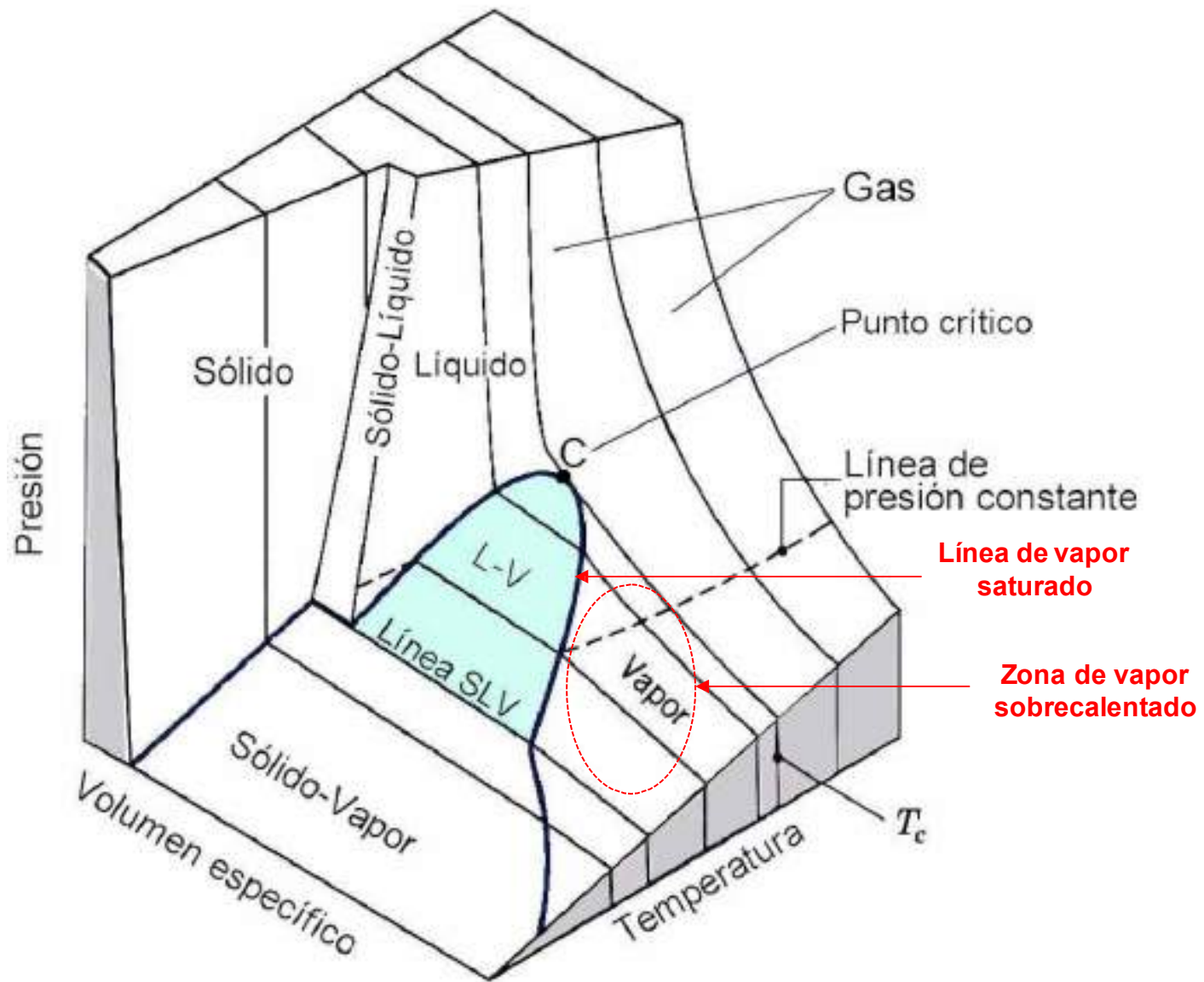
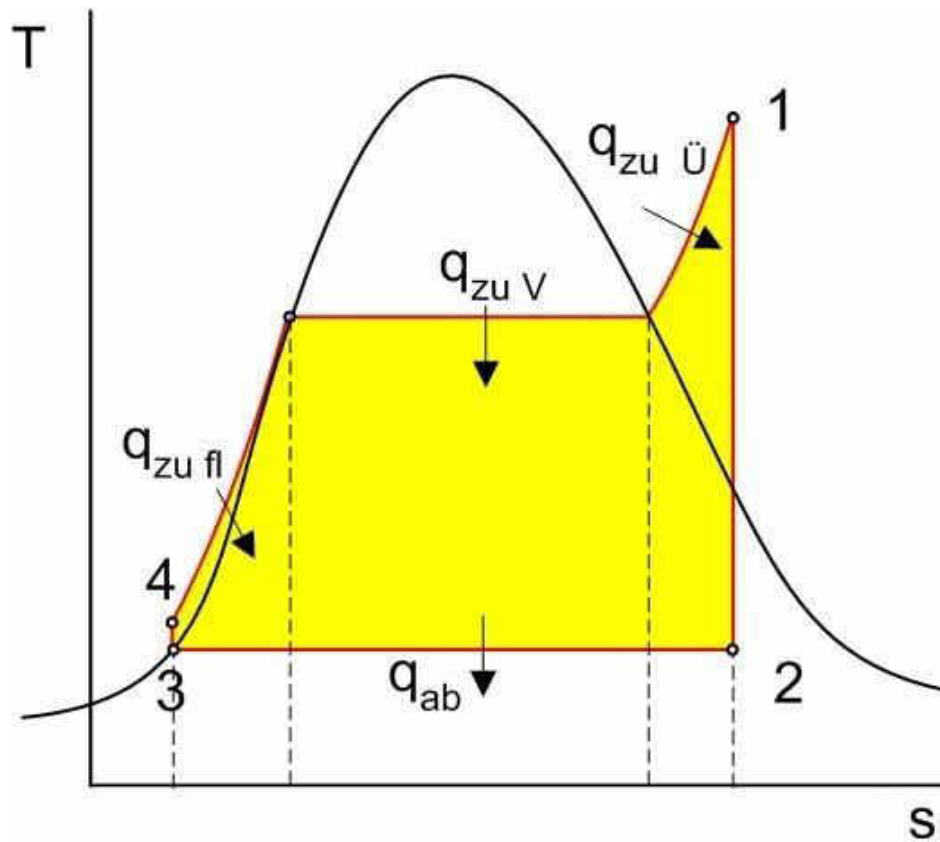
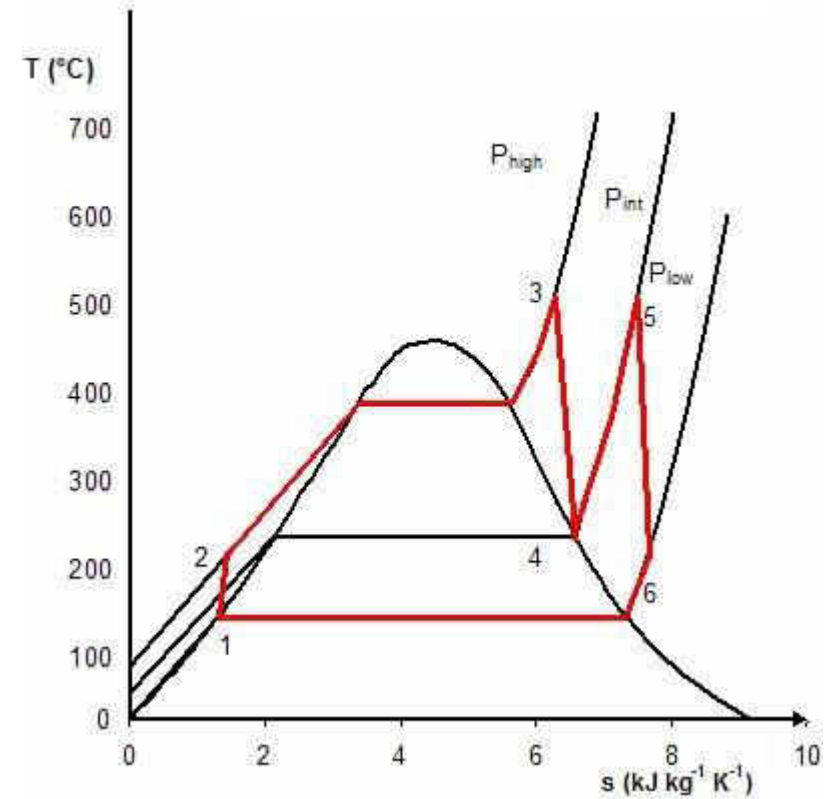


Figura extraída del tomo 1 del libro Mecánica de Fluidos del Ing. A. B. Domínguez

DIAGRAMA p , V , T PARA EL AGUA

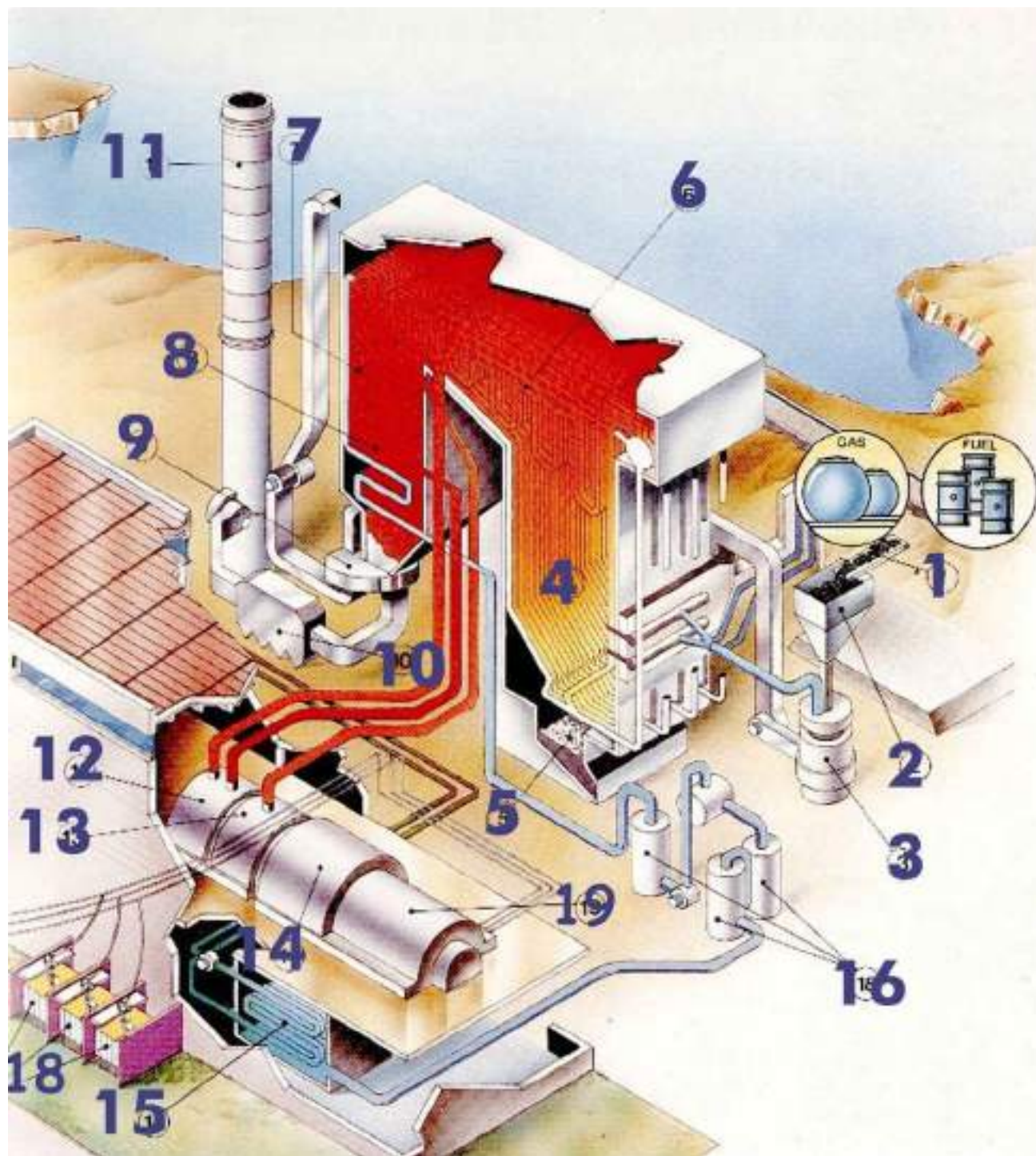


CICLO RANKINE
Con sobrecalentamiento del vapor



CICLO RANKINE REGENERATIVO
Con sobrecalentamiento
y recalentamiento intermedio

DIAGRAMAS TEMPERATURA - ENTROPÍA



1. Cinta transportadora
2. Tolva
3. Molino
4. Caldera
5. Cenizas
6. Sobrecalentador
7. Recalentador
8. Economizador
9. Calentador de aire
10. Precipitador
11. Chimenea
12. Turbina de alta presión
13. Turbina de media presión
14. Turbina de baja presión
15. Condensador
16. Calentadores
17. Torre de refrigeración
18. Transformadores
19. Generador
20. Línea de transporte de energía eléctrica

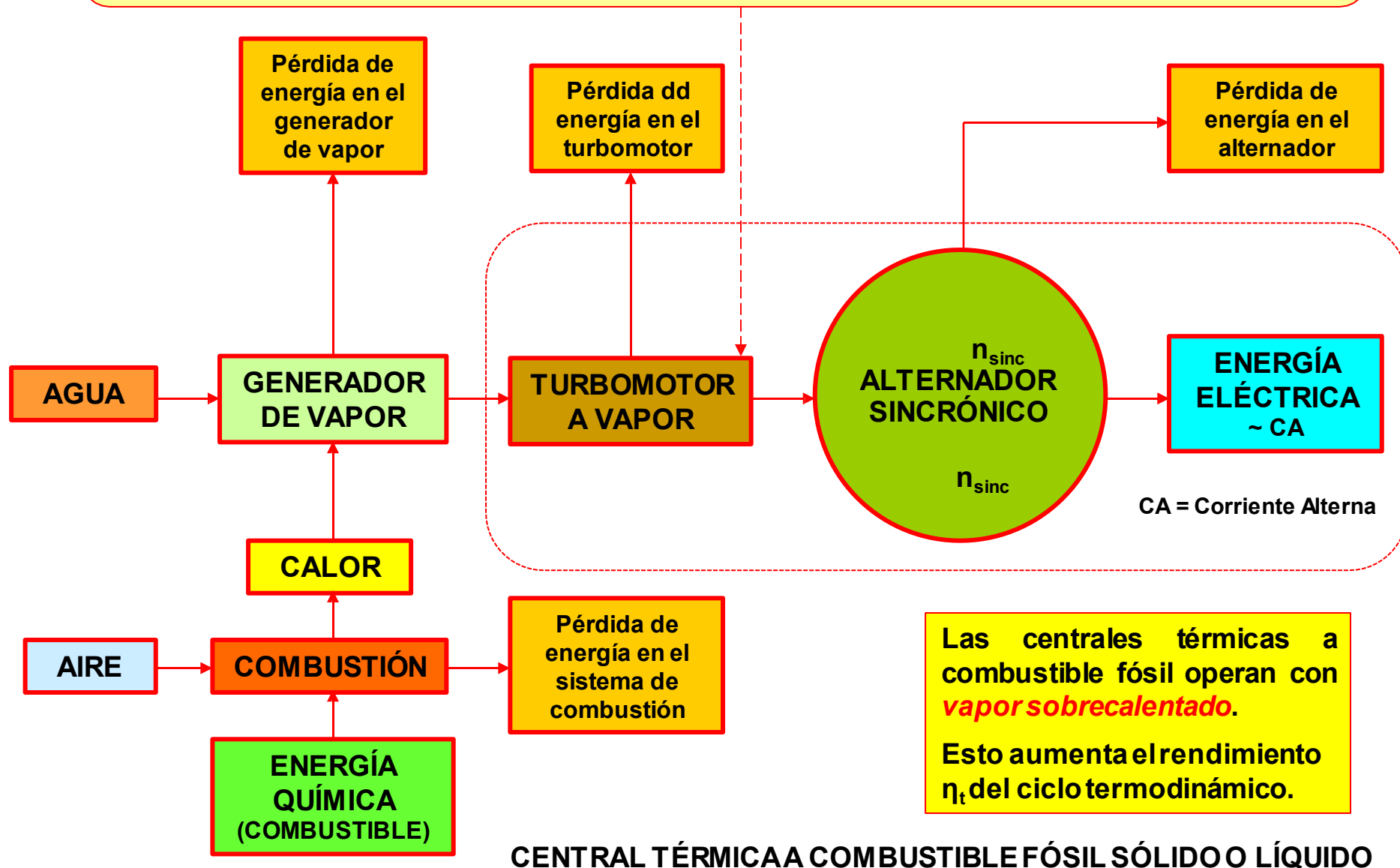
CENTRAL TERMOELÉCTRICA A VAPOR

Combustible: Carbón



CENTRAL TERMOELÉCTRICA RÍO TURBIO
SANTA CRUZ, ARGENTINA
Combustible: Carbón. Potencia 240 MW

$$\eta_{eTurb} = \frac{\text{Potencia disponible en el eje}}{\text{Potencia total recibida}} = \eta_m \eta_v \eta_t$$



5.5

**CENTRALES TÉRMICAS A VAPOR
A COMBUSTIBLE NUCLEAR**

5.5.1 CENTRALES DE FISIÓN NUCLEAR

FISIÓN NUCLEAR

Escisión de un núcleo pesado en dos núcleos más livianos llamados fragmentos de fisión.

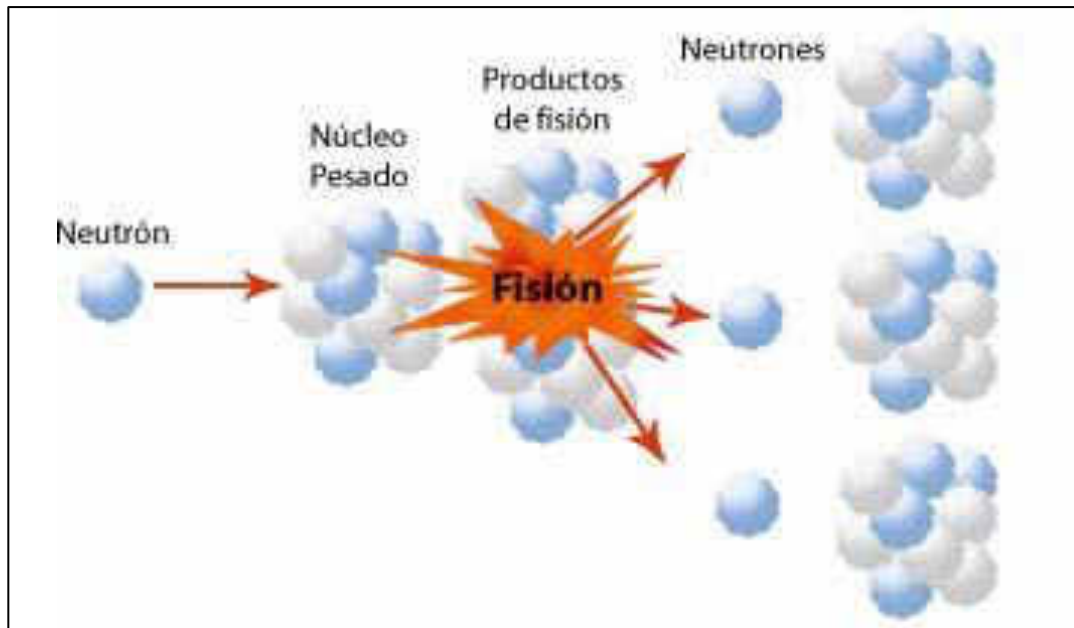
El aprovechamiento de la energía liberada por la **fisión de núcleos pesados** se ha establecido ya a nivel mundial.

El aprovechamiento de la energía liberada por la **fisión de núcleos pesados** se ha establecido ya a nivel mundial.

Los dispositivos en los cuales se produce la liberación controlada de la energía de fisión son los **reactores nucleares de fisión**.

El funcionamiento de un reactor nuclear de fisión depende de diversas interacciones de los neutrones con los núcleos atómicos de ciertos materiales fisionables.

Los materiales básicos que pueden emplearse para obtener energía nuclear por fisión son los elementos químicos **Uranio** y **Torio**.

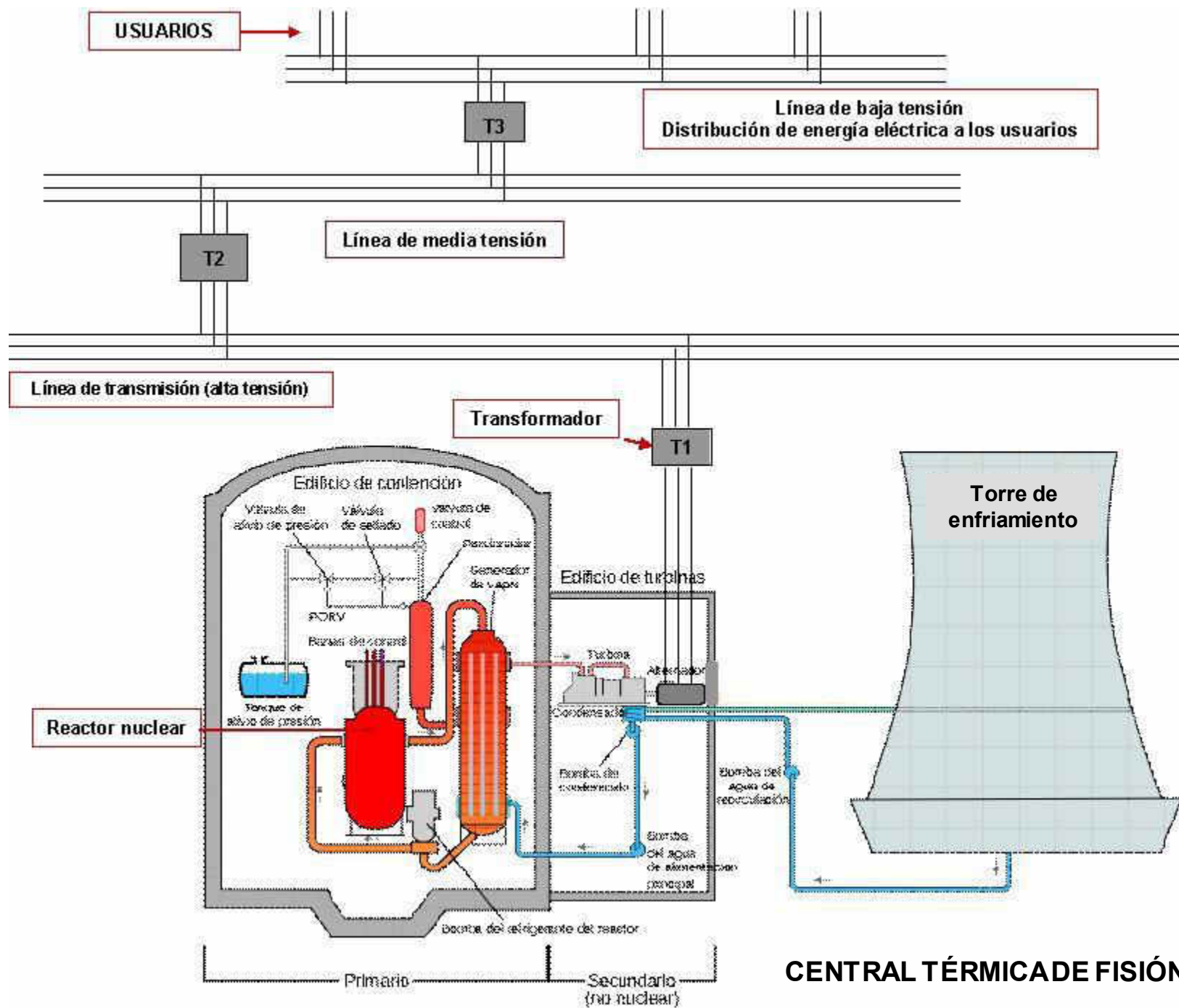


Reacción de fisión del ^{235}U



EL DEFECTO DE MASA Δm PRODUCE UN DESPRENDIMIENTO DE ENERGÍA POR NÚCLEO DE URANIO.

$$\Delta E = +\Delta m \cdot 931,5 \text{ MeV}$$



CENTRAL TÉRMICA DE FISIÓN NUCLEAR



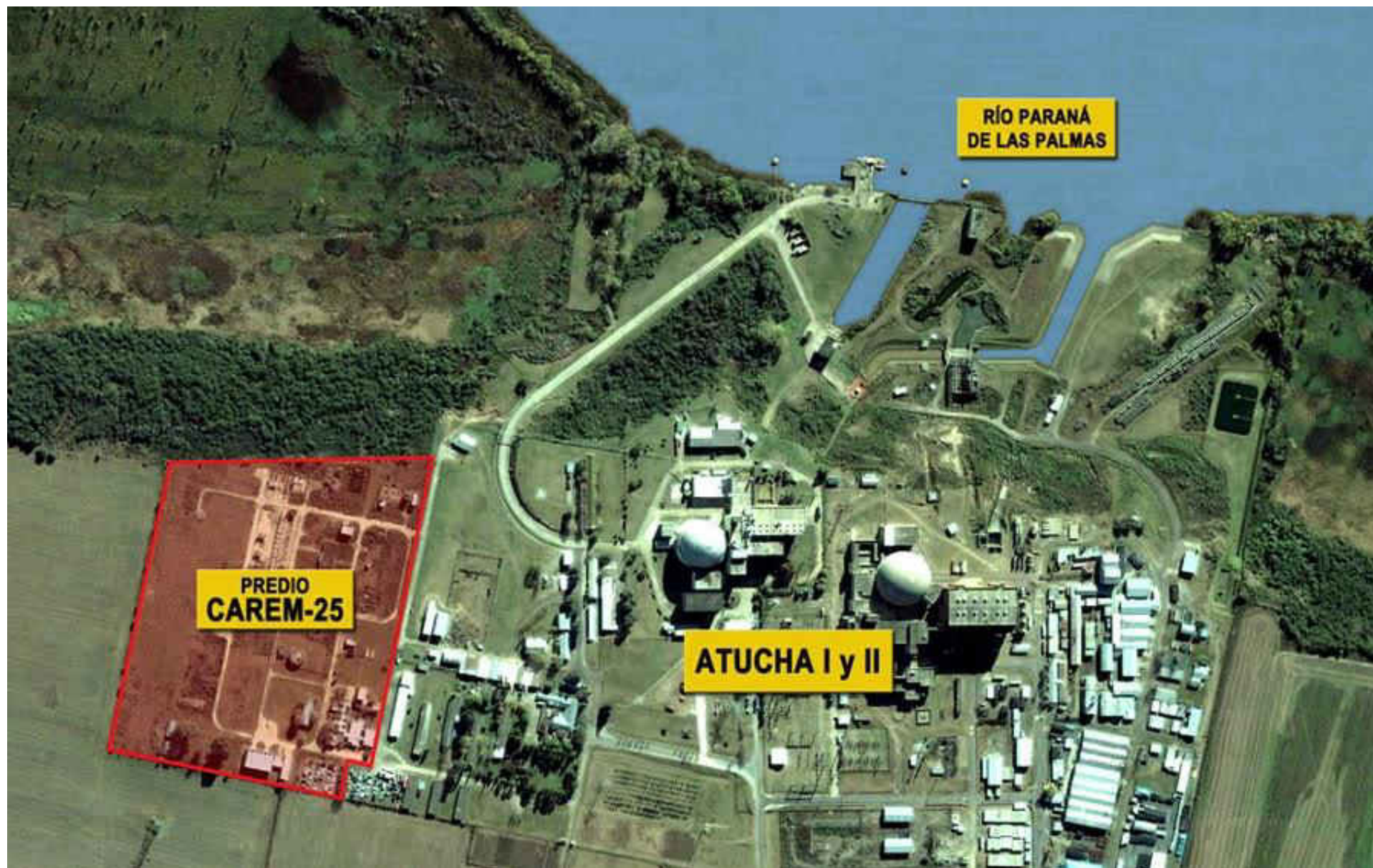
**CENTRALES
TÉRMICAS A
COMBUSTIBLE
NUCLEAR**

**ATUCHA I
(363 MWe)**

Y

**ATUCHA II
(692 MWe)**

**Lima, Zárate,
Provincia de
Buenos Aires,
Argentina**



**CENTRALES TÉRMICAS A COMBUSTIBLE NUCLEAR ATUCHA I Y II
Y PREDIO RESERVADO PARA EL REACTOR CAREM-25
Argentina**



CENTRAL TÉRMICA DE COMBUSTIBLE NUCLEAR EN EL EMBALSE DEL RÍO III
Provincia de Córdoba, ARGENTINA
648 MWe



**CENTRAL TÉRMICA DE COMBUSTIBLE NUCLEAR EN EL EMBALSE DEL RÍO III
TURBINA Y ALTERNADOR
CÓRDOBA, ARGENTINA**



CENTRAL TÉRMICA DE COMBUSTIBLE NUCLEAR ATUCHA 2
TURBINA Y ALTERNADOR
BUENOS AIRES, ARGENTINA

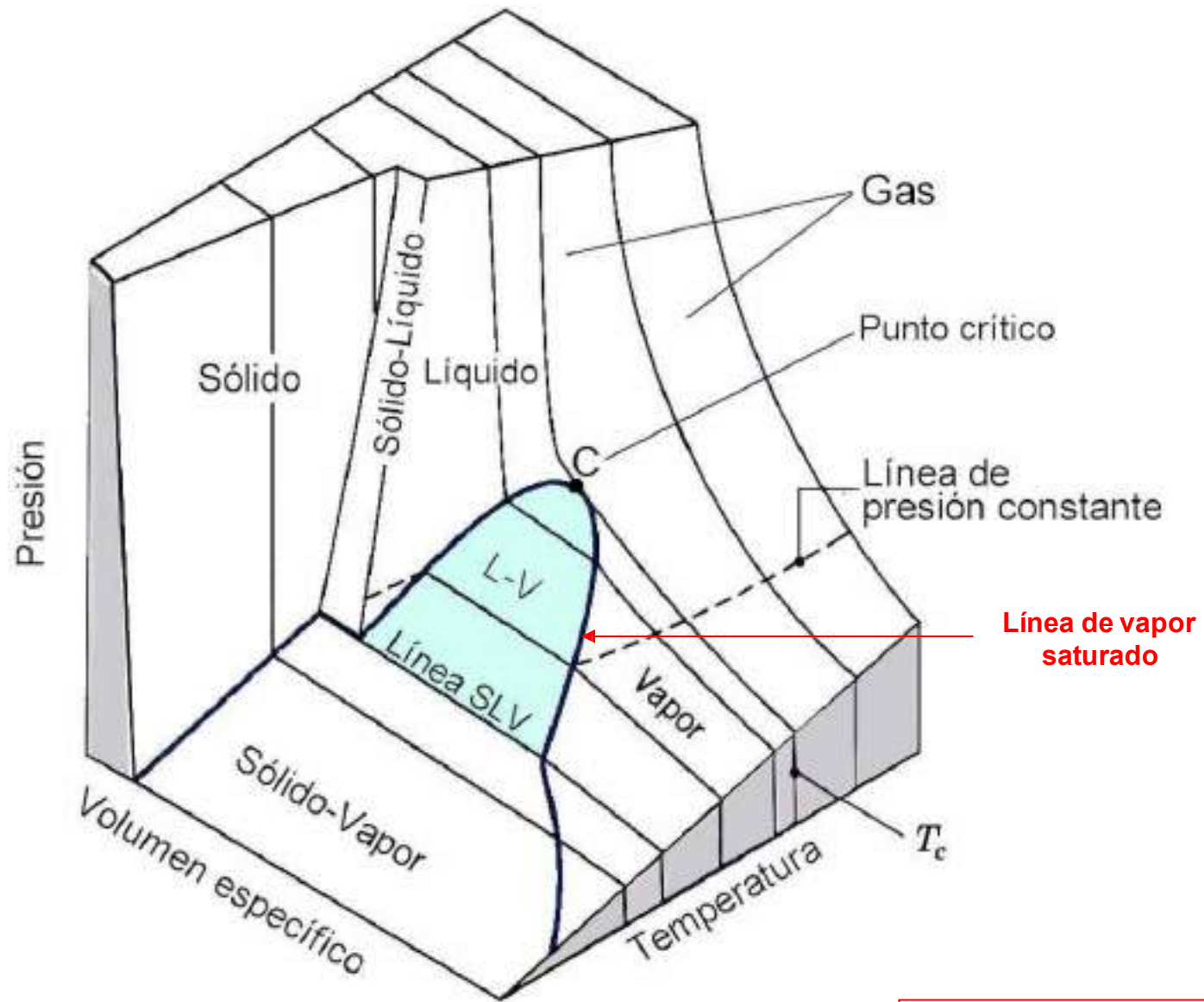


Figura extraída del tomo 1 del libro Mecánica de Fluidos del Ing. A. B. Domínguez

DIAGRAMA p , V , T PARA EL AGUA

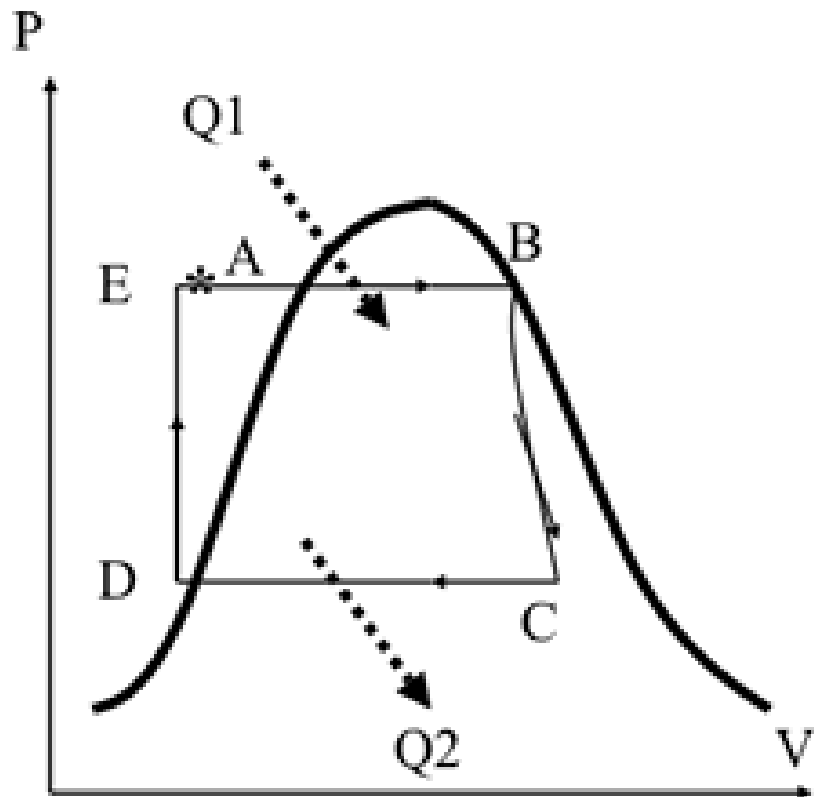


Diagrama presión - volumen

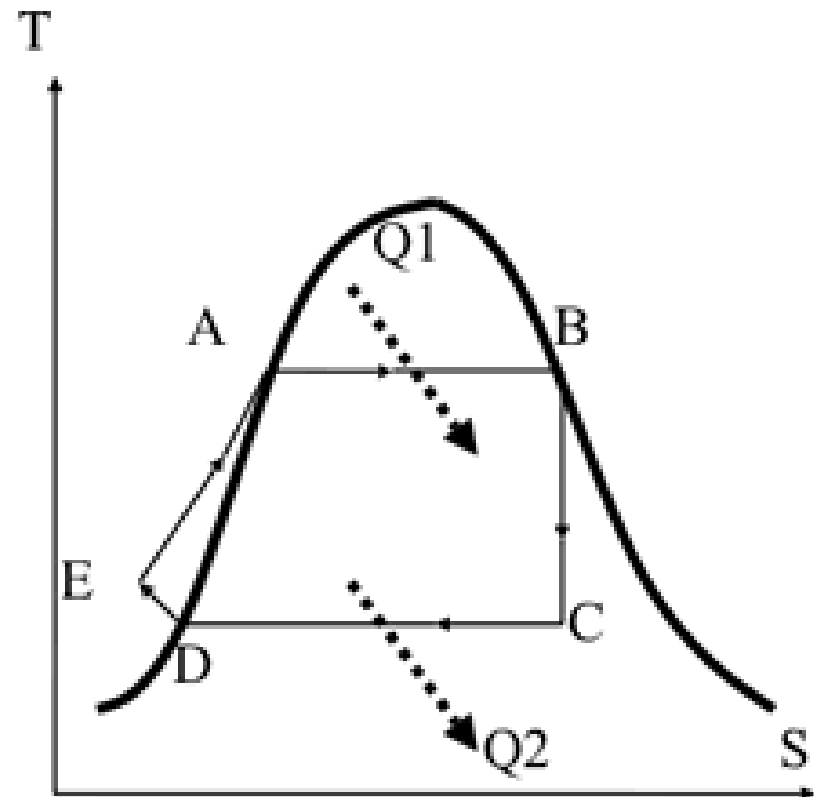


Diagrama temperatura – entropía

CICLO RANKINE PARA VAPOR SATURADO
Sin sobrecalentamiento



WILLIAM JOHN MACQUORN RANKINE

1820 Edimburgo, Escocia – 1872 Glasgow, Escocia
Ingeniero y físico escocés

Fue uno de los fundadores de la termodinámica, en particular en el desarrollo de la teoría de la máquina a vapor.

Publicó un libro titulado *Manual of the Steam Engine and Other Prime Movers* (Manual de la máquina a vapor y de otros motores).

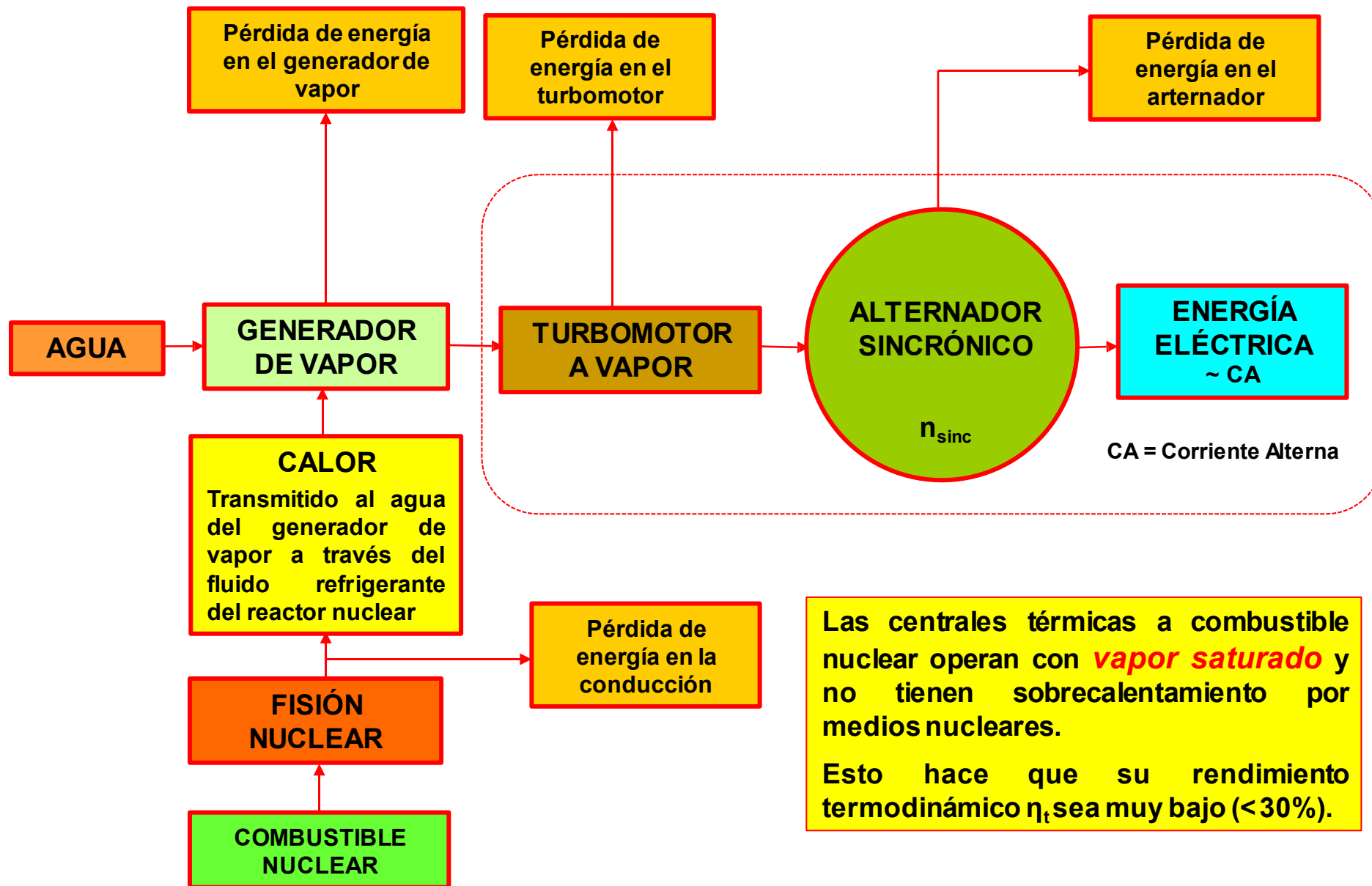
Este manual fue un clásico durante muchos años y representó el primer intento de tratamiento sistemático de la teoría de la máquina a vapor.

Rankine desarrolló un ciclo termodinámico para la máquina a vapor (conocido como **ciclo Rankine**), que fue el ciclo standard para este tipo de máquinas en las que el fluido de trabajo es un vapor condensable.

También fue autor de un trabajo titulado *On the Thermodynamic Theory of Waves of Finite Longitudinal Disturbance*.

Rankine también trabajó en mecánica de suelos.

Su trabajo sobre *estabilidad de muros de sostenimiento* representó un adelanto en el tema.



CENTRAL TÉRMICA A COMBUSTIBLE NUCLEAR

$$\eta_{\text{eTurb}} = \frac{\text{Potencia disponible en el eje}}{\text{Potencia total recibida}} = \eta_m \eta_v \eta_t$$

Potencia total recibida por la turbina = Potencias mecánica y calórica del fluido =
 $= g Q_m (\frac{1}{2} \Delta V^2 + \Delta i)$

El rendimiento termodinámico η_t de la turbina es bajo porque opera con **vapor saturado**.

La potencia calórica del fluido es la recibida de la reacción de fisión del combustible nuclear utilizado por el reactor.

La potencia del reactor nuclear es directamente proporcional al “flujo neutrónico” en el reactor.

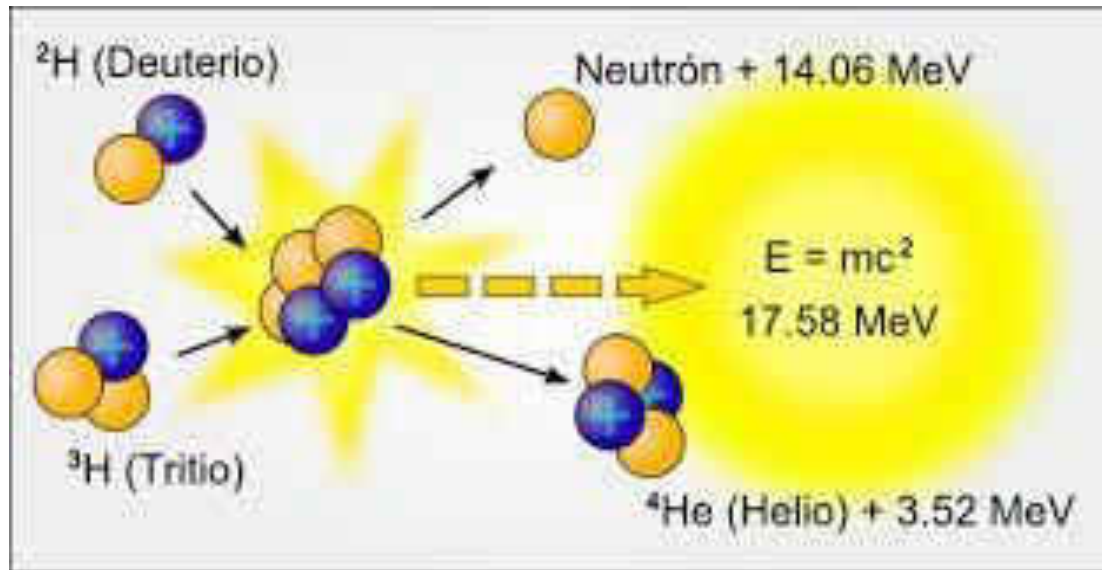
El flujo del fluido refrigerante (*) en los canales del reactor nuclear no es un flujo en fase simple sino en fase doble (líquido-vapor).

(*) Agua pesada en las centrales de la República Argentina.

Las centrales térmicas a combustible nuclear operan con **vapor saturado** y no tienen sobrecalentamiento por medios nucleares. Esto hace que su rendimiento termodinámico η_t sea muy bajo (< 30%).

5.5.1 CENTRALES DE FUSIÓN NUCLEAR

FUSIÓN NUCLEAR – Unión de dos núcleos livianos y formación de



La fusión es la reacción nuclear que tiene lugar en el Sol y las estrellas. Los núcleos de hidrógeno colisionan gracias a la alta temperatura y la fuerza de gravedad que se producen en el núcleo de estos cuerpos estelares, fusionándose hasta formar átomos de helio más pesados y liberando enormes cantidades de energía.

La reacción de fusión más eficiente es la conocida como DT, que se produce entre dos isótopos de hidrógeno, deuterio (D) y tritio (T). Esta reacción produce la mayor cantidad de ganancia de energía con las temperaturas más bajas.

Para obtener fusión en un laboratorio deben cumplirse tres condiciones: una temperatura muy elevada (aproximadamente 100 millones de grados Celsius), la suficiente densidad de partículas de plasma (para aumentar las posibilidades de que se produzcan colisiones) y el suficiente tiempo de contención (para mantener el plasma, que tiene tendencia a expandirse, dentro de un volumen definido).

"La energía producida por fusión nuclear es limpia, no genera dióxido de carbono ni deja residuos radiactivos, no tiene peligro de derretimiento del reactor, y su combustible (hidrógeno, que se extrae del agua) es ilimitado".

Una central de fusión utiliza calor para producir vapor y después electricidad mediante turbinas a vapor y generadores eléctricos.

EL PROYECTO DE FUSIÓN NUCLEAR ITER

El acrónimo ITER responde a las siglas *International Thermonuclear Experimental Reactor*

(Reactor Experimental Termonuclear Internacional)

La palabra "Iter" también significa "el camino" en latín.

En el proyecto ITER colaboran 35 países comprendidos dentro de siete miembros principales: China, la Unión Europea, Japón, Corea del Sur, Rusia y Estados Unidos. Tras la firma del Acuerdo para su desarrollo en 2006 los miembros se han comprometido a compartir el coste de la construcción, operación y desmantelamiento del proyecto, así como los resultados experimentales y cualquier propiedad intelectual generada.

España participa en el ITER activamente: alrededor de 50 empresas españolas han obtenido más de 100 contratos por un importe superior a los 600 millones de euros. España está fabricando los primeros componentes europeos para el proyecto ITER, y también participa en el ensamblaje de los nueve sectores de la cámara de vacío y de los 54 puertos del reactor.

La construcción de las instalaciones donde se alojará el ITER comenzaron en 2010.

En 2015 se trasladaron los primeros componentes de gran tamaño, la primera fase de ensamblaje está prevista que comience en 2018, la fase de puesta en marcha en 2024, el primer plasma en 2025 y el comienzo de la operación de fusión DT en 2035.

Fuentes: ITER y Foro Nuclear

El principio teórico de funcionamiento ya se probó en el laboratorio, pero solo por períodos cortísimos y con una gran inversión de energía: hasta ahora no se alcanzó el punto de equilibrio entre la energía que se necesita para acelerar las partículas y la que se obtiene con la fusión.

Los científicos esperan que al aumentar su tamaño lograrán mantener la reacción de fusión por largos períodos y alcanzarán una efectividad mucho mayor.

El reactor Tokamak está diseñado para producir diez veces la energía que recibe.

En los años cincuenta, los físicos soviéticos Igor Tam y Andrei Sakharov diseñaron el “Tokamak” basándose en las ideas propuestas por Oleg Lavrentiev, considerado el “padre de ITER”, cuyos inicios datan de 1986.

Pero décadas más tarde, las dificultades todavía no están resueltas. El problema es que la fusión no es tan fácil de producir. En primer lugar, los núcleos atómicos están eléctricamente cargados y no quieren juntarse. Para fusionarlos, se necesita imprimirles velocidad, y eso se consigue aumentando la temperatura. ITER deberá calentar un gas a 150 millones de grados, estado de la materia conocido como “plasma”.

Para confinar y controlar el plasma en el interior del dispositivo, se emplean potentes campos electromagnéticos generados por gigantescos electroimanes de cientos de toneladas de peso y de alrededor de 15 metros de alto, dispuestos en forma toroidal.

El corazón del Tokamak es una cámara de vacío en forma toroidal. Dentro de esta cámara, y bajo la de enormes presiones y temperaturas, el combustible de hidrógeno gaseoso se convierte en plasma para permitir la fusión de los átomos del hidrógeno.

Las partículas cargadas del plasma pueden controlarse mediante las enormes espirales magnéticas que hay ubicadas alrededor de la vasija.

El desarrollo del reactor de fusión nuclear contribuyó notoriamente al desarrollo de una rama de la mecánica de fluidos conocida como magnetofluidodinámica.

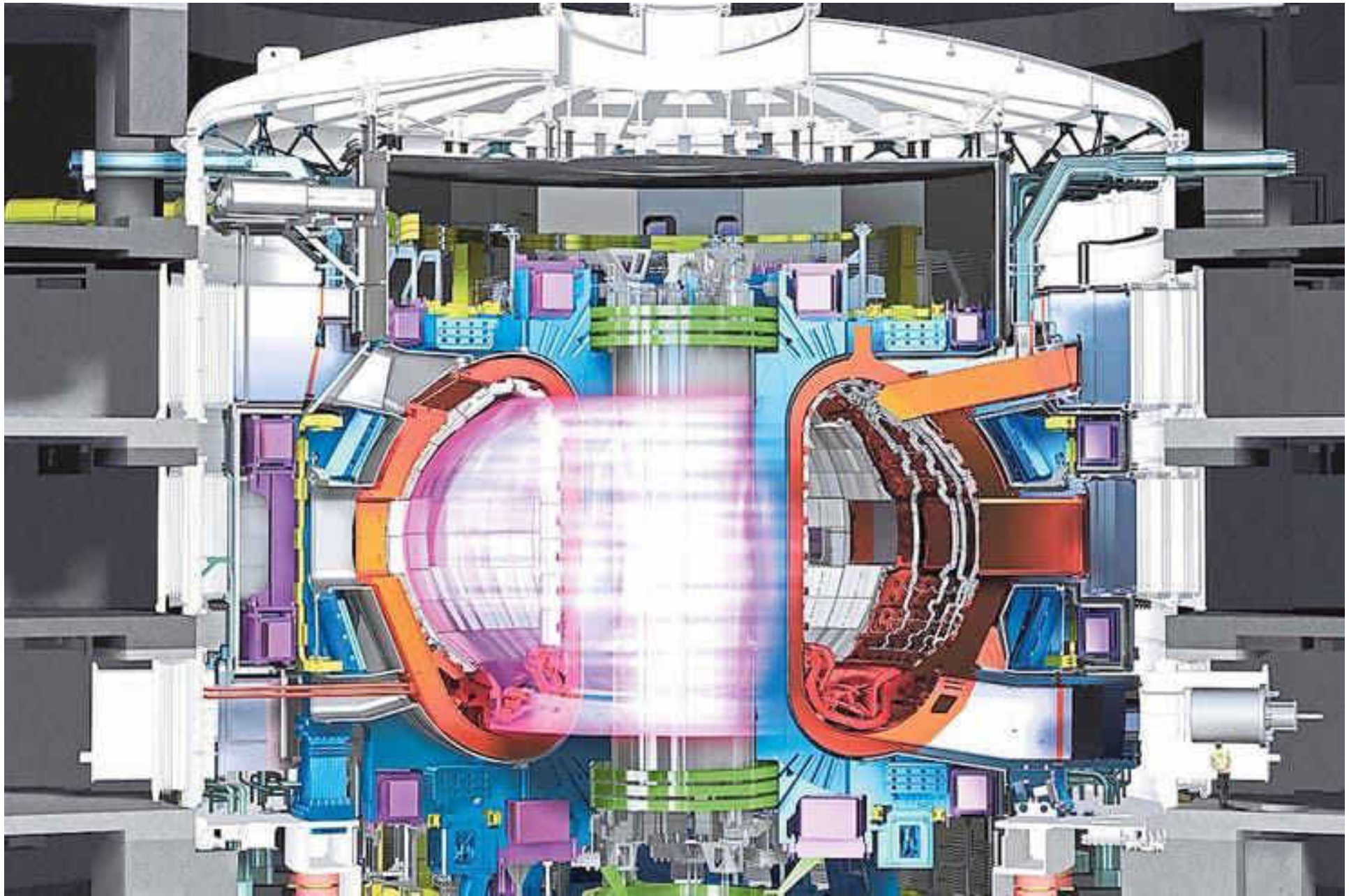
El objetivo de ITER es probar todos los elementos necesarios para la construcción y funcionamiento de un reactor de fusión nuclear comercial.

Se espera que en 2025 logrará generar el primer plasma y que después se necesitarán 10 años para ajustar todos los procesos y comenzar con las operaciones.

El Tokamak será el primer dispositivo de fusión que conseguirá una ganancia neta de energía (es decir, se produce más energía que la absorbida por el funcionamiento del sistema), así como el primer dispositivo que mantendrá la fusión durante periodos largos de tiempo. está diseñado para producir 500 MW.

La energía se absorbe dentro del Tokamak en forma calor, adherido a las paredes de la vasija.

La central de fusión utiliza calor para producir vapor y después electricidad mediante turbinas a vapor y generadores eléctricos.



REACTOR NUCLEAR “TOKAMAK” DEL PROYECTO ITER
Cadarache, Provence, Sur de Francia



CONSTRUCCIÓN DEL REACTOR “TOKAMAK” DEL PROYECTO ITER



INTERIOR DEL REACTOR TOKAMAK

El Tokamak utiliza campos magnéticos muy potentes para confinar y controlar el plasma. La energía se absorbe dentro del Tokamak en forma calor, adherido a las paredes de la vasija.

La central de fusión utiliza este calor para producir vapor y después electricidad mediante turbinas a vapor y generadores eléctricos.

5.6

CENTRALES SOLARES

5.6.1

ENERGÍA SOLAR

EFFECTOS NOTABLES DE LA RADIACIÓN SOLAR

El **Sol** es el gran motor del **ciclo hidrológico**.

La **luz solar** actuando sobre el **agua** es la fuerza motriz del ciclo hidrológico y de los cambios climáticos.

El **dióxido de carbono** es esencial para el crecimiento de las plantas y, por ende, para la vida animal.

La radiación solar es el motor del proceso de **“fotosíntesis”**(1).

La **fotosíntesis** es un **proceso metabólico** (2) que llevan a cabo algunas células de ciertos **organismos autótrofos** (3) para sintetizar sustancias orgánicas a partir de otras inorgánicas.

Para desarrollar este proceso **la energía luminosa se convierte en energía química estable**.

(1) **Fotosíntesis**: Del griego **photo**, que es sinónimo de “luz”; **syn**, que es equivalente a “con”, y **thesis**, que puede definirse como “conclusión o posición”.

(2) **Metabolismo**: Conjunto de los cambios químicos y biológicos que se producen continuamente en las células vivas de un organismo.

(3) **Organismos autótrofos y heterótrofos**: Ver diapositiva siguiente.

ORGANISMOS AUTÓTROFOS: Son los que generan su propio alimento, a través de sustancias inorgánicas para su metabolismo. Los organismos autótrofos producen su masa celular y materia orgánica, a partir del dióxido de carbono, que es inorgánico, como única fuente de carbono, usando la luz o sustancias químicas como fuente de energía. Las plantas y otros organismos que usan la fotosíntesis son fotolitoautótrofos; las bacterias que utilizan la oxidación de compuestos inorgánicos como el anhídrido sulfuroso o compuestos ferrosos como producción de energía se llaman quimiolitotróficos. Los órganos autótrofos son los que producen el alimento de esos seres. Los seres autótrofos son una parte esencial en la cadena alimenticia, ya que absorben la energía solar o fuentes inorgánicas como el dióxido de carbono y las convierten en moléculas orgánicas que son utilizadas para desarrollar funciones biológicas como su propio crecimiento celular y la de otros seres vivos llamados heterótrofos que los utilizan como alimento. Los seres heterótrofos como los animales, los hongos, y la mayoría de bacterias y protozoos, dependen de los autótrofos ya que aprovechan su energía y la de la materia que contienen para fabricar moléculas orgánicas complejas. Los heterótrofos obtienen la energía rompiendo las moléculas de los seres autótrofos que han comido. Incluso los animales carnívoros dependen de los seres autótrofos porque la energía y su composición orgánica obtenida de sus presas, en última instancia, procede de los seres autótrofos que comieron sus presas. También se pueden clasificar en: fotosintéticos y quimiosintéticos.

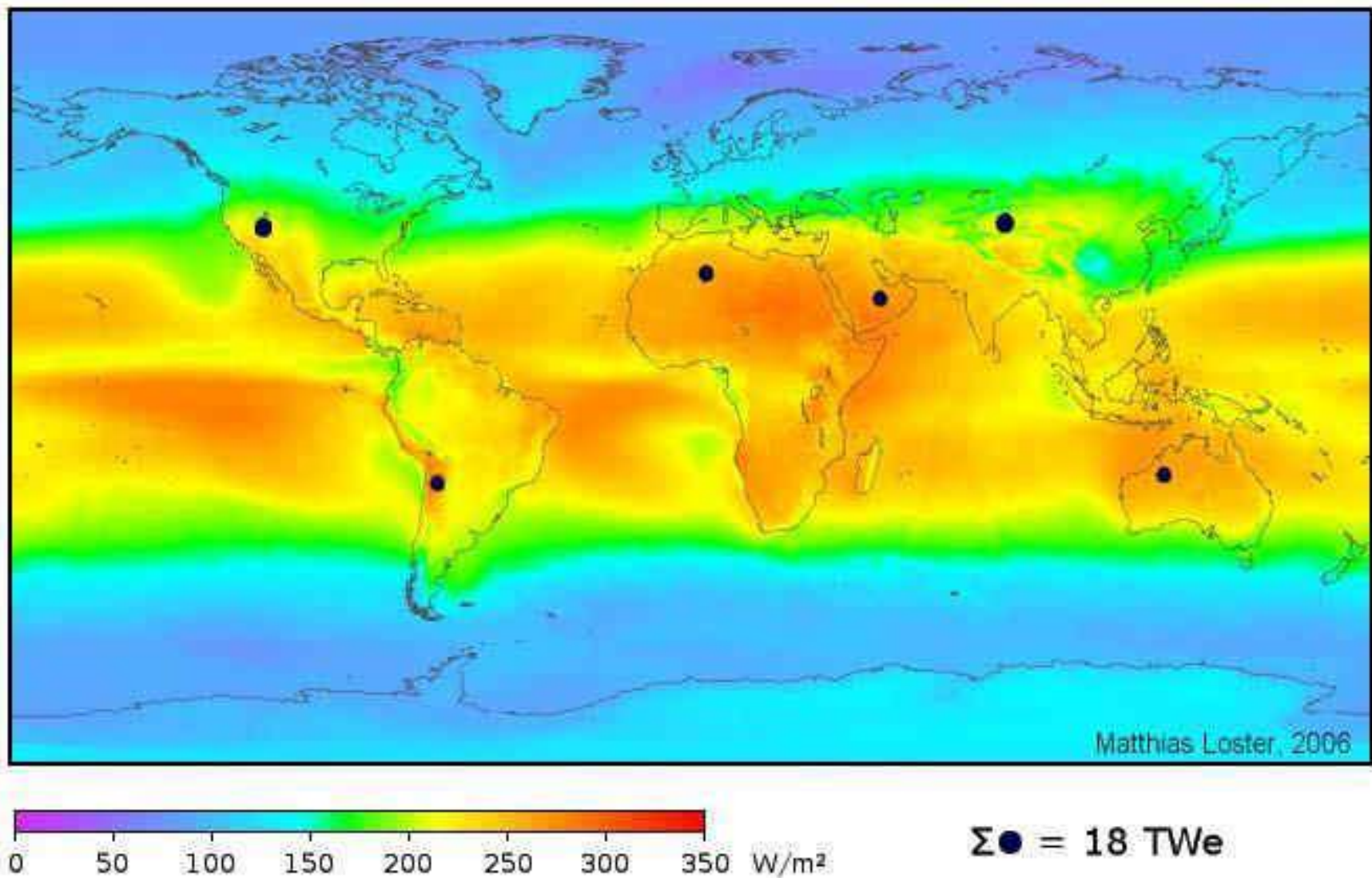
ORGANISMOS HETERÓTROFOS (del griego *hetero* -otro, desigual, diferente- y *trofo* -que se alimenta): Son los que deben alimentarse con las sustancias orgánicas sintetizadas por otros organismos, bien autótrofos o heterótrofos a su vez. Entre los organismos heterótrofos se encuentra multitud de bacterias y predominantemente los animales.

Un organismo heterótrofo es aquel que depende de otro, es decir; de una fuente externa de moléculas orgánicas, en cuanto a su energía. Según el origen de la energía que utilizan los organismos heterótrofos, pueden dividirse en:

- **Fotorganotrofos:** Estos organismos fijan la energía de la luz. Constituyen un grupo muy reducido de organismos que comprenden la bacteria purpúrea y familia de pseudomonadales. Sólo realizan la síntesis de energía en presencia de luz y en medios carentes de oxígeno.
- **Quimiorganotrofos:** Utilizan la energía química extraída directamente de la materia orgánica. A este grupo pertenecen todos los integrantes del reino animal, todos del reino de los hongos, gran parte de los moneras (*) y de las arqueobacterias. Los autótrofos y los heterótrofos se necesitan mutuamente para poder existir.

(*) **Monera o mónera:** Es un reino de la clasificación de los seres vivos para algunos sistemas de clasificación, como el de Lynn Margulis, que agrupa a los organismos procariotas, siendo aún utilizada en muchos manuales y libros de texto. El término actual equivalente es procariota y se define como el reino de organismos microscópicos que habitan todos los ambientes y que están formados por una sola célula sin núcleo definido (célula procariota).

Sin embargo, muchos especialistas consideran actualmente que esta denominación es obsoleta, pues se sostiene que en realidad se trata de dos grupos diferentes: arqueas y bacterias (éste último incluye las llamadas algas verdeazules o cianobacterias).



La instalación de centrales de energía solar en las zonas marcadas en el mapa podría proveer algo más que la energía actualmente consumida en el mundo (asumiendo una eficiencia de conversión energética del 8 %), incluyendo la proveniente de calor, energía eléctrica, combustibles fósiles, etcétera. Los colores indican la radiación solar promedio entre 1991 y 1993 (tres años, calculada sobre la base de 24 horas por día y considerando la nubosidad observada mediante satélites).

5.6.2

CENTRALES QUE OPERAN POR REFLEXIÓN Y CONCENTRACIÓN DE RAYOS SOLARES

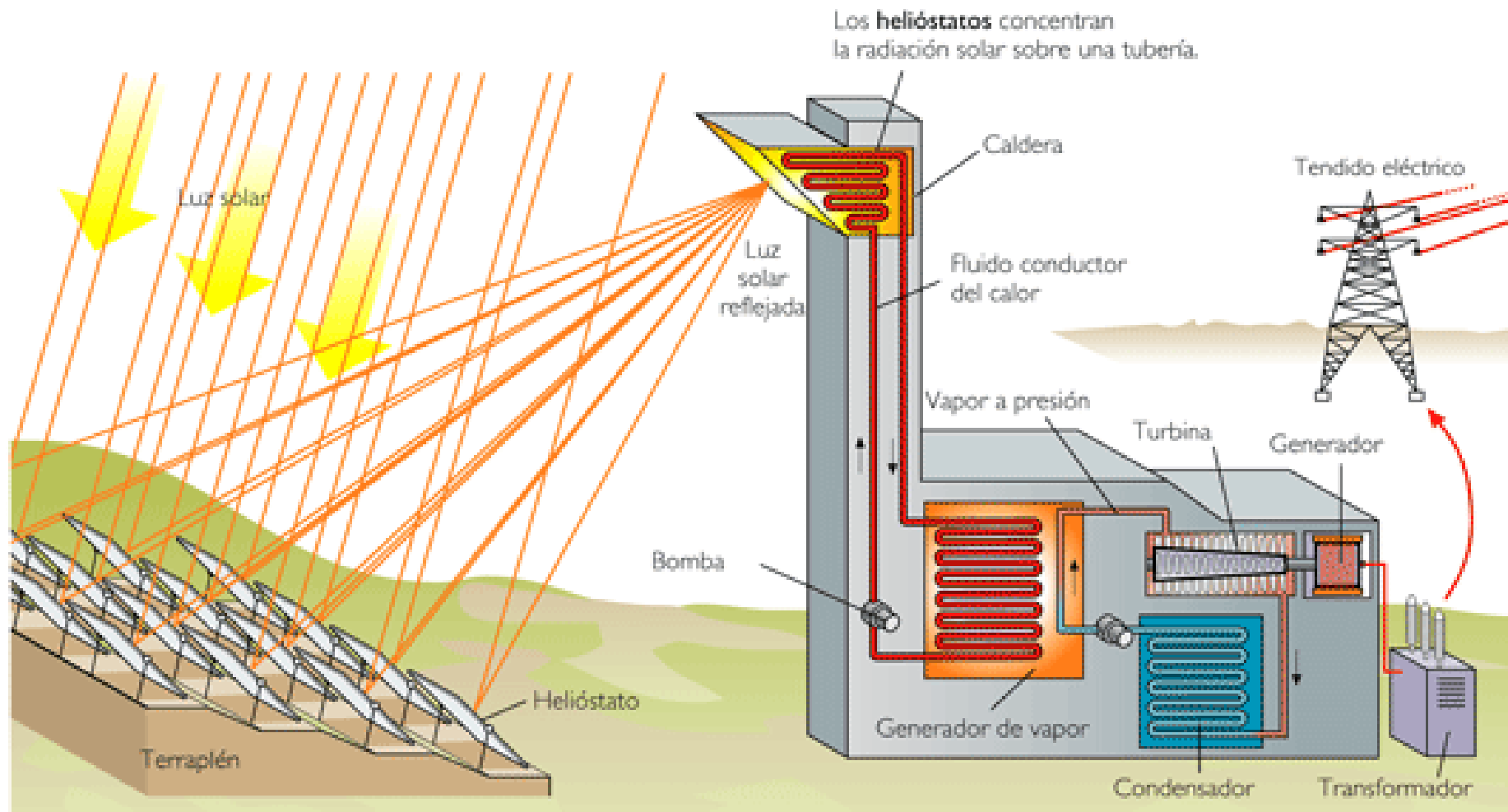
El empleo de la reflexión y concentración de la radiación solar con espejos curvos es muy antiguo.

Los espejos curvos -**“ustor oris”** o espejos ustorios (*)- eran una de las armas de la variada gama proyectada por Arquímedes y los ingenieros siracusanos para la defensa de Siracusa (Sicilia) durante el asedio de la flota del general romano Claudio Marcelo en la Segunda guerra púnica (212 a.J.C.).

(*) **ustor oris**: del latín **que quema**. El término *ustorio* no tiene aquí el sentido “mágico” como en el caso de los *espejos ustorios* de la Edad Media, de los que se decía que *reflejaban el porvenir*.



EMPLEO DE LOS ESPEJOS USTORIOS DE ARQUÍMEDES EN LA DEFENSA DE SIRACUSA



CENTRAL SOLAR A VAPOR QUE OPERA POR REFLEXIÓN Y CONCENTRACIÓN DE RAYOS SOLARES MEDIANTE HELIOSTATOS

Constructivamente, es necesario concentrar la radiación solar para que se puedan alcanzar temperaturas elevadas, de $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$, y obtener así un rendimiento aceptable en el ciclo termodinámico, que no se podría obtener con temperaturas más bajas.

La captación y concentración de los rayos solares se hacen por medio de espejos con orientación automática que apuntan a una torre central donde se calienta el fluido, o con mecanismos más pequeños de geometría parabólica.

El conjunto de la superficie reflectante y su dispositivo de orientación se denomina *heliostato*.

CENTRAL GEMASOLAR

Planta de energía solar por concentración con sistema de almacenamiento térmico en sales fundidas propiedad de Torresol Energy. Está situada en el término municipal de Fuentes de Andalucía, en la provincia de Sevilla, España.

Potencia eléctrica nominal: 19,9 MW

Producción eléctrica neta esperada: 110 GWh/ año

Campo solar: con 2.650 heliostatos en 185 hectáreas

Sistema de almacenamiento térmico: el tanque de almacenamiento de sales calientes permite una autonomía de generación eléctrica de hasta 15 horas sin aporte solar.

La prolongación del tiempo de funcionamiento de la planta en ausencia de radiación solar y la mejora de la eficiencia en el uso del calor del sol consiguen que la producción de Gemasolar sea muy superior a la alcanzable con otras tecnologías en una instalación de igual potencia.

El aumento notable de la eficiencia energética de la planta asegura la producción eléctrica durante unas 6.500 horas al año, 1,5 a 3 veces más que otras energías renovables. De este modo, suministrará energía a 25.000 hogares y reducirá en más de 30.000 toneladas al año las emisiones de CO₂.

La energía generada por Gemasolar se enviará mediante una línea de alta tensión a la subestación de Villanueva del Rey (Andalucía, España), donde se inyecta a la red eléctrica.

La incorporación de un sistema de almacenamiento térmico en sales fundidas permite la producción de electricidad en ausencia de radiación solar.

El calor recogido por las sales (capaces de alcanzar temperaturas superiores a los 500º) sirve para generar vapor y, con él, producir energía eléctrica.

El excedente de calor acumulado durante las horas de insolación se almacena en el tanque de sales calientes.



HELIOSTATOS Y TORRE CENTRAL

Gemasolar es la primera planta a escala comercial en el mundo que aplica la tecnología de receptor de torre central y almacenamiento térmico en sales fundidas.



CENTRAL GEMASOLAR

Fuentes de Andalucía, en la provincia de Sevilla, España

Inicio de actividad: mayo de 2011



GEMASOLAR EN OPERACIÓN



The DESERTEC
100 GW of solar power throughout Northern Africa



PLANTA TERMOSOLAR ANDASOL DE ESPEJOS PARABÓLICOS (150 MW), ESPAÑA.
Utiliza un sistema de tanques con sales fundidas para almacenar el calor generado por la radiación solar, de forma que pueda seguir generando electricidad durante la noche.



PLANTASOLAR TÉRMICA DE IVANPAH

Tres enormes huertos solares en medio del desierto de Mojave, que comparten los estados de Nevada y California. Generan electricidad para 140.000 hogares. El complejo Ivanpah ocupa un área de 13 km² a 60 km al sur de Las Vegas. El desierto del Mojave recibe luz solar durante 330-350 días al año. Su elevación y el aire seco potencian esas condiciones propicias. Ver diapositiva siguiente.



UNO DE LOS TRES HUERTOS SOLARES QUE COMPONEN LA PLANTA SOLAR TÉRMICA DE IVANPAH

A plena capacidad, sus tres torres de 139 metros de altura y sus más de 300.000 espejos controlados por ordenador, pueden producir 392 MW, un suministro energético limpio equivalente a reducir 400.000 toneladas de dióxido de carbono al año, similar a quitar 72.000 vehículos de la circulación. Ayudará al Estado de California a acercarse al objetivo de obtener el 33 % de su electricidad de fuentes renovables para el año 2020.

La propiedad de Ivanpah se la reparten las compañías NRG Energy, BrightSource Energy y Google. Por sí sola proporciona el 30% de toda la energía solar generada en los Estados Unidos.

A diferencia de la energía fotovoltaica, que convierte la radiación solar directamente en electricidad, esta instalación genera calor. Los más de 300.000 espejos colocados en círculos concéntricos alrededor de las tres torres reflejan y concentran la radiación solar en una caldera situada en la parte superior de cada una de las torres, elevando la temperatura del agua que contiene a más de 1.000 grados Fahrenheit. Este calor hace girar las turbinas, que accionan los generadores de electricidad.



LIMPIEZA DE ESPEJOS SOLARES

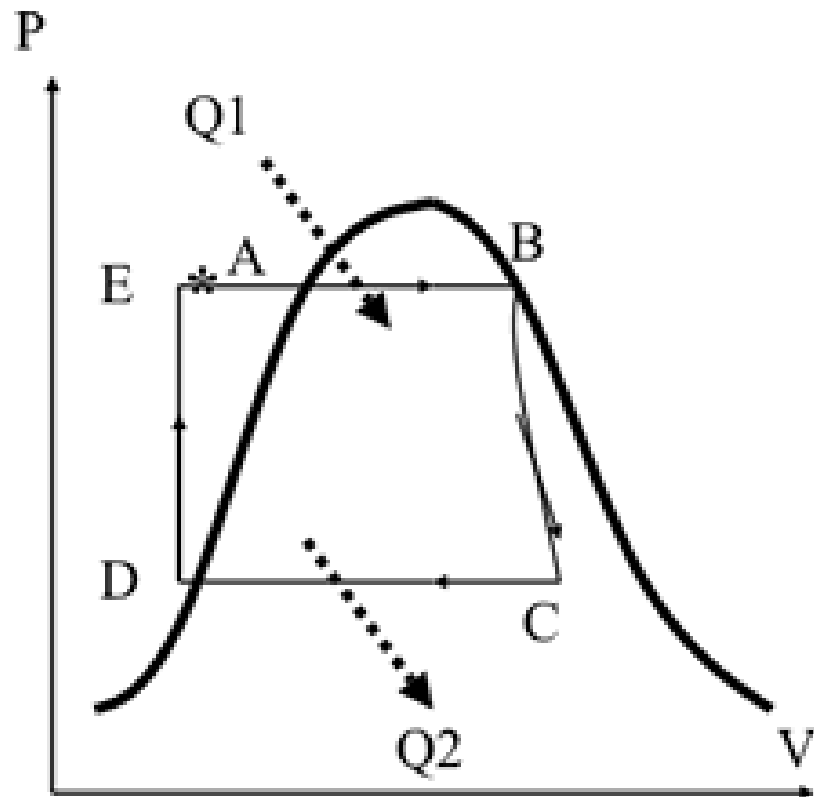


Diagrama presión - volumen

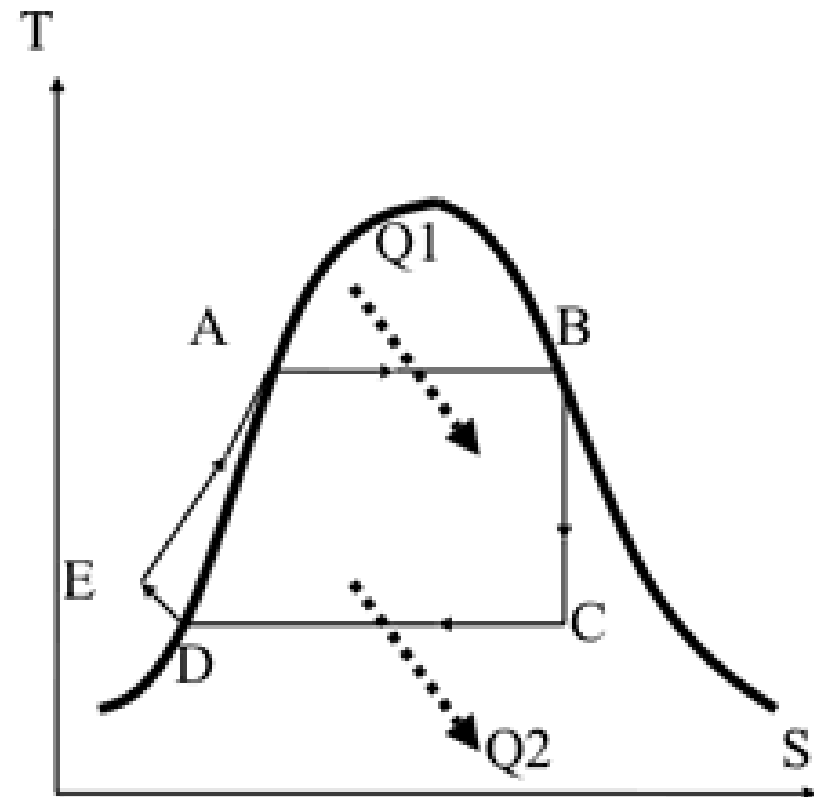
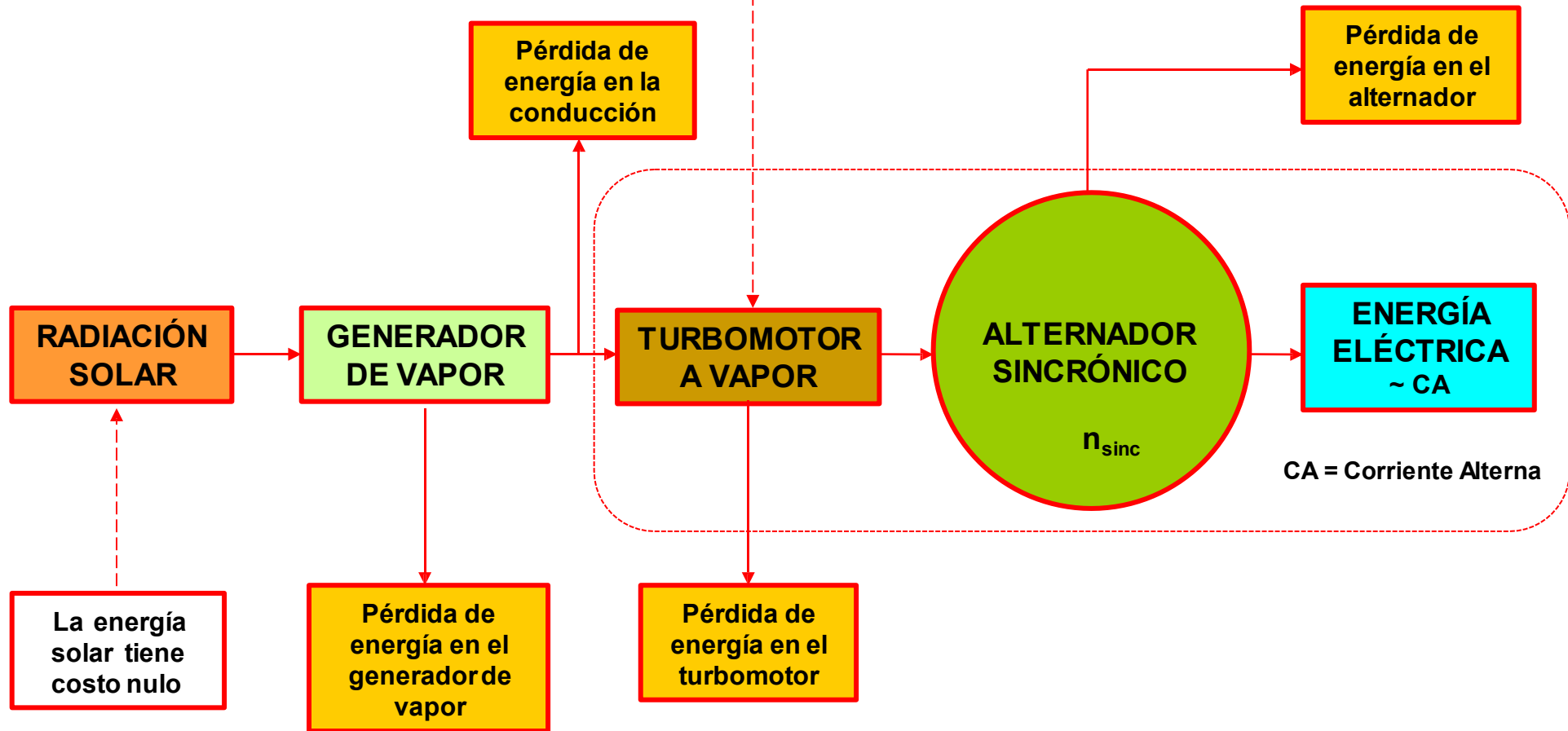


Diagrama temperatura - entropía

CICLO RANKINE PARA VAPOR SATURADO
Sin sobrecalentamiento

$$\eta_{eTurb} = \frac{\text{Potencia disponible en el eje}}{\text{Potencia total recibida}} = \eta_m \eta_v \eta_t$$



CENTRAL QUE OPERA POR REFLEXIÓN Y CONCENTRACIÓN DE RADIACIÓN SOLAR

NOTA SOBRE EL MOTOR STIRLING DE AIRE CALIENTE

El motor Stirling es un motor térmico de combustión externa. Funciona por compresión y expansión cíclica de aire u otro gas, diferentes temperaturas de manera tal que existe una conversión neta de energía térmica en trabajo mecánico. El calor fluye dentro y fuera del motor a través de sus paredes.

A diferencia de la máquina de vapor, que usa agua tanto en sus fases líquida y gaseosa como fluido de trabajo, *el motor Stirling encierra una cantidad fija de fluido gaseoso como aire o helio.*

Como en todos los motores térmicos, el ciclo termodinámico consiste en comprimir el gas frío, el calentamiento del gas, la expansión del gas caliente, y, finalmente, el enfriamiento del gas antes de repetir el ciclo.

El “regenerador” no es un componente indispensable, pero permite alcanzar mayores rendimientos.

Es un “intercambiador interno de calor” que tiene la función de absorber y ceder calor en las evoluciones isocóricas (*) del ciclo termodinámico.

El regenerador divide al motor en dos zonas:

- una zona caliente
- una zona fría.

Está constituido por un medio poroso con conductividad térmica despreciable, que contiene un fluido.

El fluido se desplaza de la zona caliente a la fría durante los diversos ciclos de trabajo, atravesando el regenerador.

(*) Evoluciones isocóricas: Evoluciones termodinámicas a volumen constante.



REVERENDO ROBERT STIRLING
1790 - 1878
Inventor del motor de aire caliente

EL MOTOR STIRLING

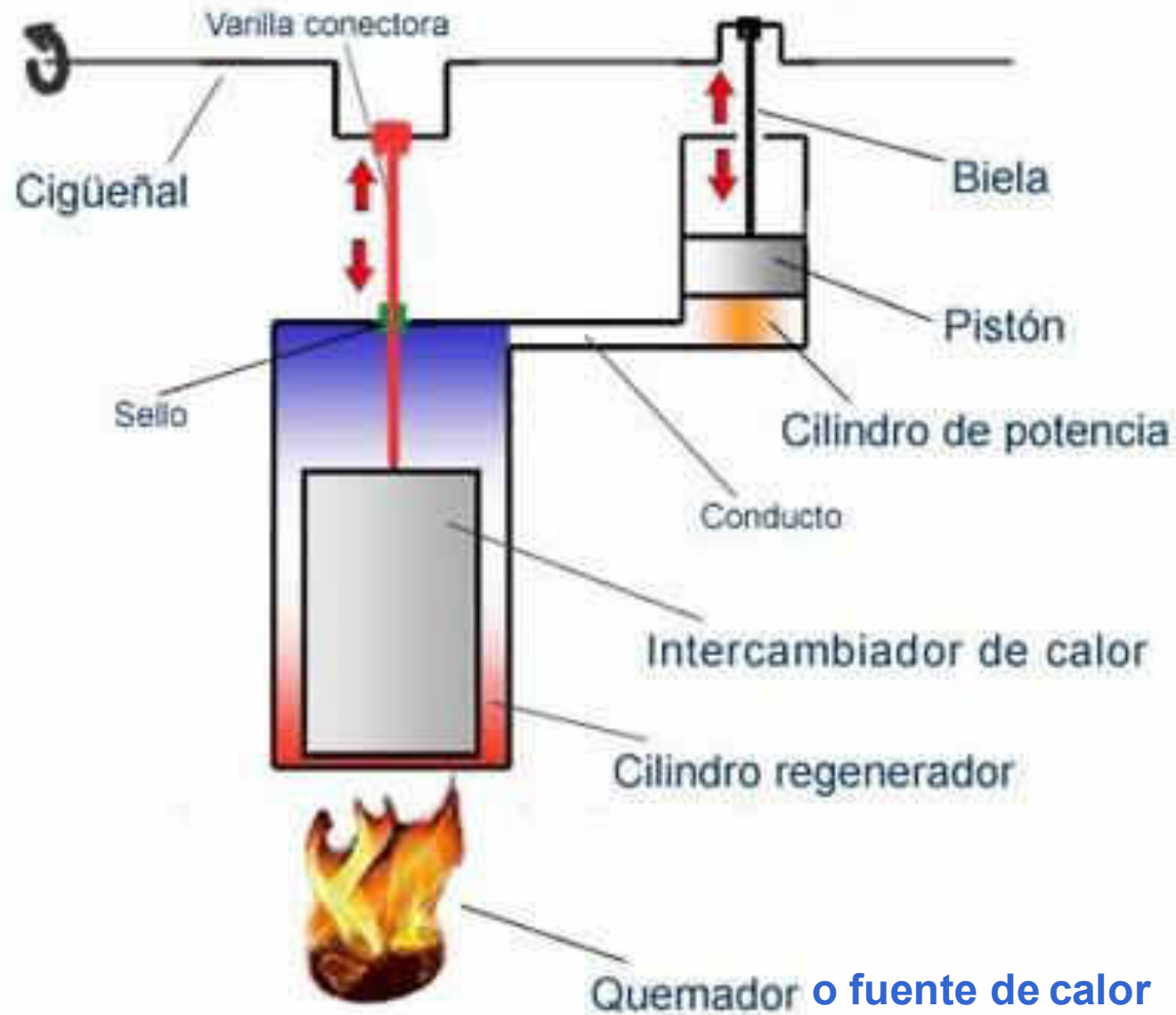
Fue inventado y patentado en 1816 por el reverendo escocés Robert Stirling.

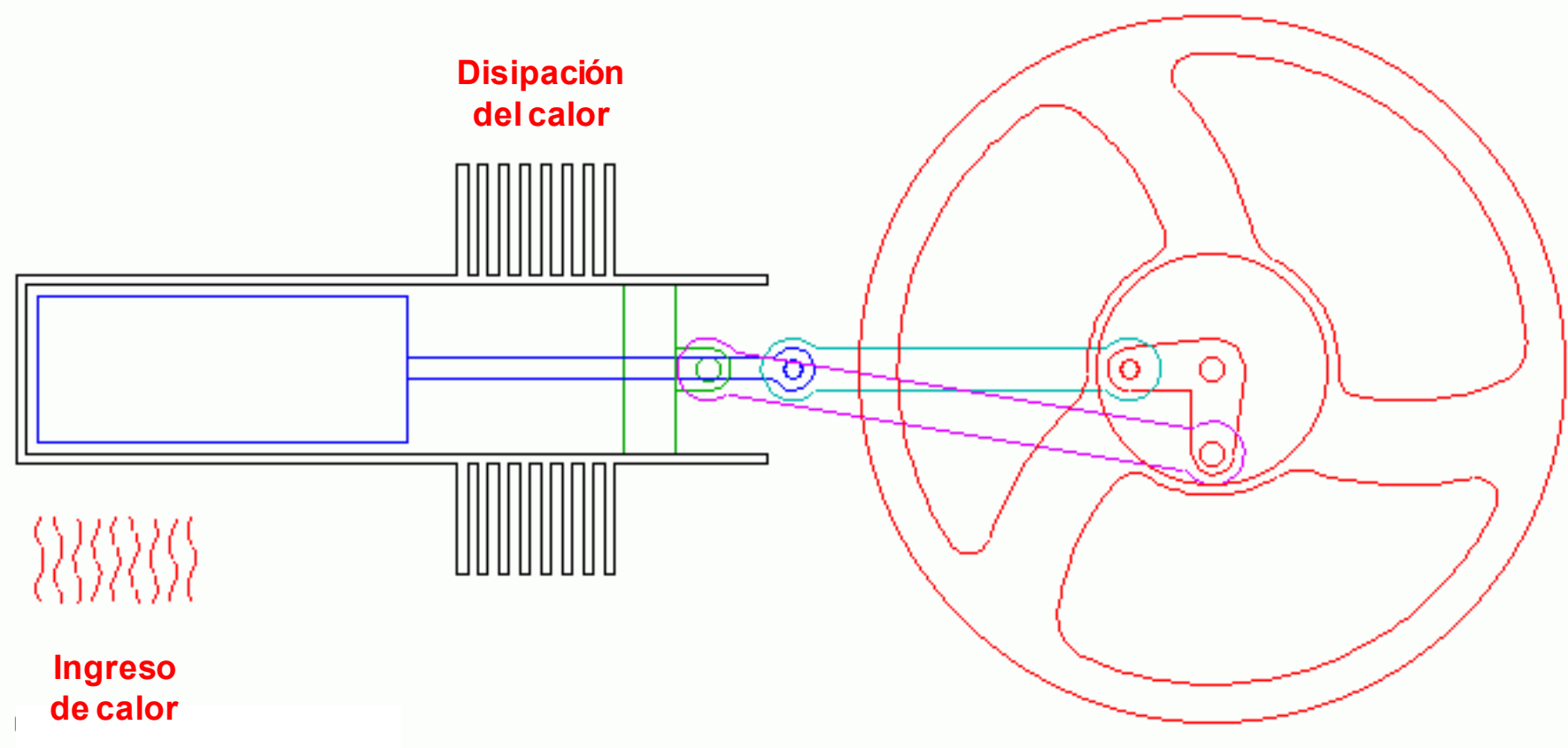
Inicialmente fue ideado con el fin de reemplazar a las máquinas de vapor que, debido a las frecuentes explosiones, causaban numerosos accidentes en las fábricas.

Funcionaba con aire caliente a baja presión, por lo que era más seguro y tenía menor riesgo de explosión que las máquinas de vapor que se usaban en aquella época.

Robert Stirling patentó este motor junto con un dispositivo que mejoraba el rendimiento térmico y que él denominó “economizador de calor” y que hoy es conocido como “regenerador”.

Motor Stirling Simple





MOTOR *STIRLING* DE AIRE CALIENTE
El motor Stirling puede tener 1, 2, 3 o más émbolos.

La facilidad de uso, el funcionamiento silencioso con cualquier tipo de combustible y la seguridad, hicieron que los motores Stirling fueran muy populares hasta el final del siglo XIX, y se utilizaran con buenos resultados para el accionamiento de bombas de agua y maquinaria ligera como mezcladoras, compresores de aire, aserradoras, etc.

Sin embargo, la potencia de estos motores era baja en relación a su peso.

Con la invención del motor de explosión, el uso del motor Stirling fue decayendo y se dejó de utilizar.

A finales de los años 30 unos ingenieros de Philips intentaron poner a punto un motor Stirling para alimentar unos equipos eléctricos.

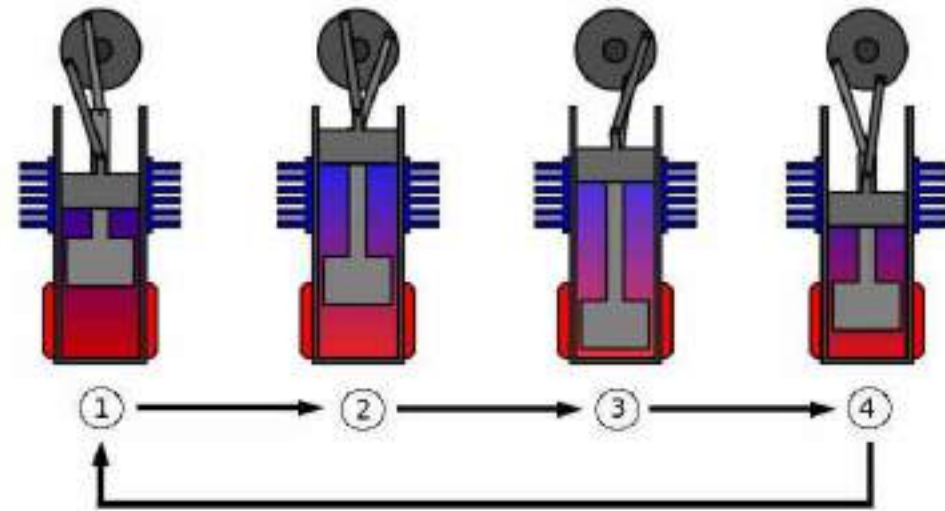
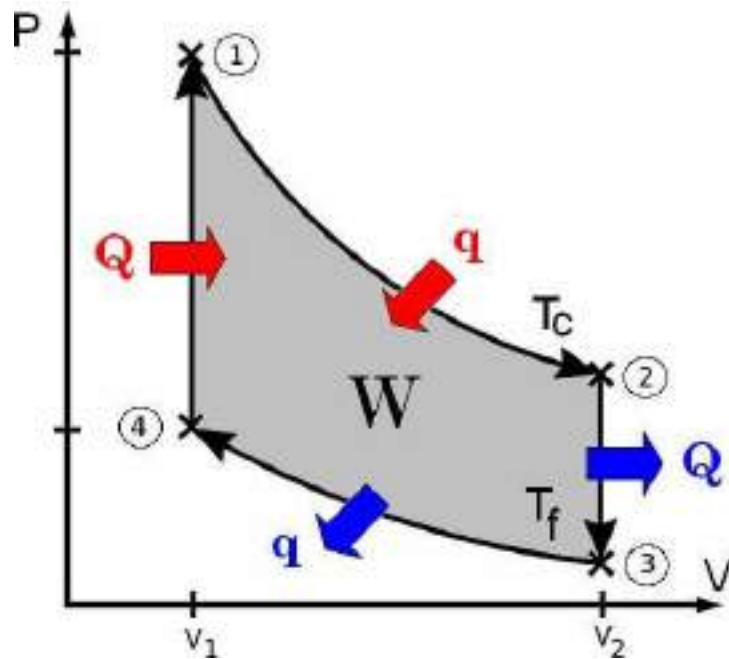
En esa época, el conocimiento sobre la física térmica y los fluidos térmicos era mucho mayor, y se disponía de nuevos materiales, como el acero inoxidable, por lo que los resultados fueron mejores.

En los años 50 los ingenieros de Philips lograron que su motor Stirling alcanzara una potencia 30 veces superior a la de los primeros modelos. Este hecho suscitó un gran interés y se propusieron gran cantidad de proyectos y estudios sobre el tema.

Después de este auge momentáneo, los motores Stirling fueron relegados a un segundo plano durante varias décadas.

La crisis del petróleo de 1973 reabrió el interés, pero fue la NASA, con su investigación sobre sistemas de alta eficiencia térmica alimentados por energía solar, la que le dio un nuevo impulso a esta tecnología que parecía obsoleta.

Durante estos últimos años, el interés en los motores Stirling ha aumentado debido al gran número de características favorables que presentan, ya que tienen el potencial para ser más eficientes que los motores diesel o a gasolina.



MOTOR STIRLING

Ciclo termodinámico ideal

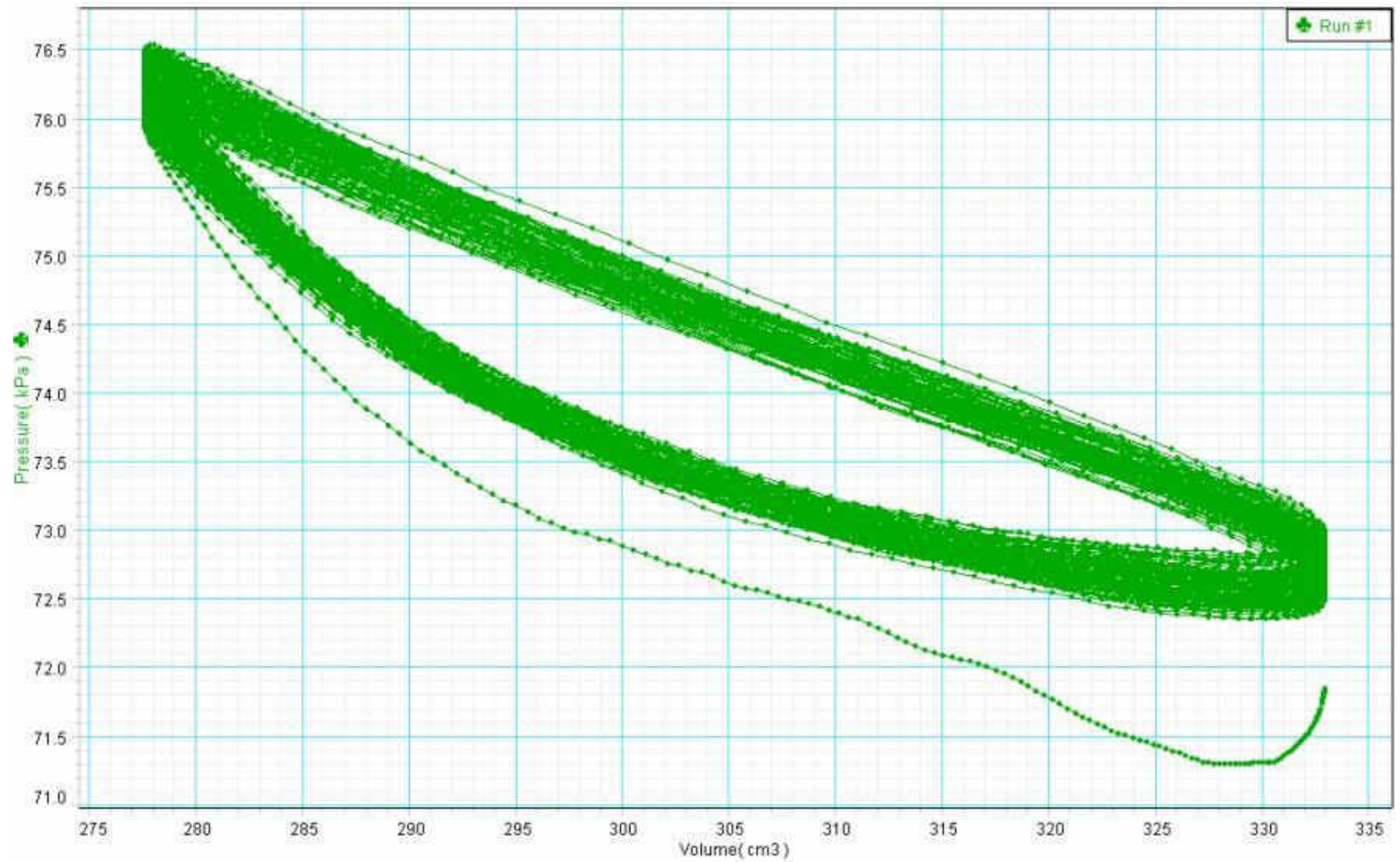
El ciclo termodinámico del motor Stirling consta de dos transformaciones isocóricas (calentamiento y enfriamiento a volumen constante) y dos isothermas (compresión y expansión a temperatura constante)

El ciclo Stirling real tendría un rendimiento algo inferior al del Ciclo de Carnot.

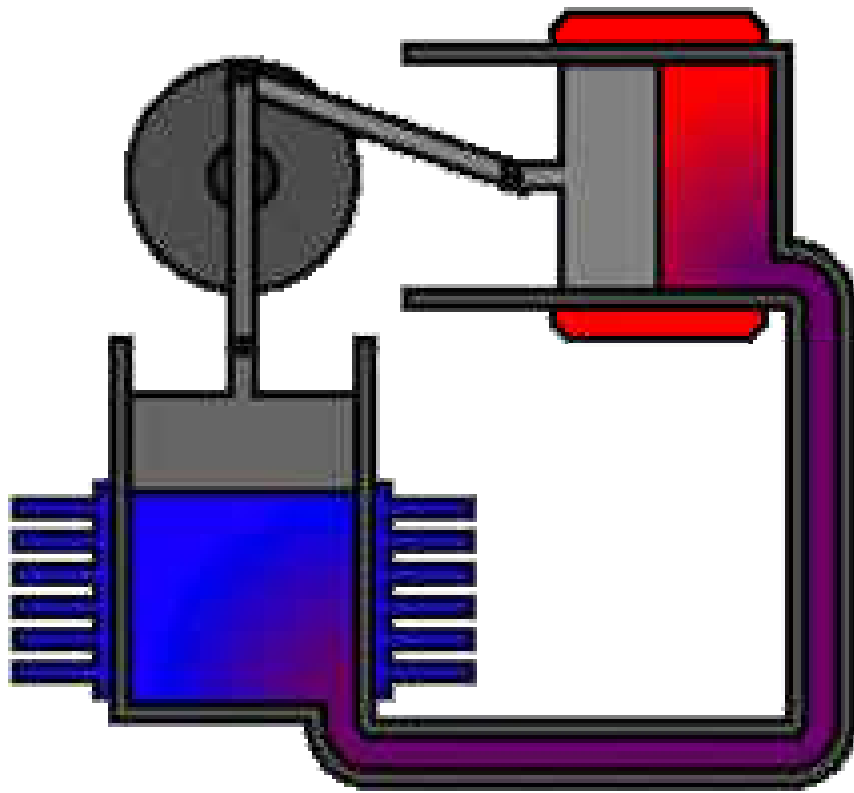
El rendimiento del ciclo Stirling es sensible a la temperatura exterior, por lo que su eficiencia es mayor en climas fríos e inferior en climas como los de los países ecuatoriales.

Conserva también la ventaja de los motores de combustión externa de las mínimas emisiones de gases contaminantes.

Admite también fuentes de calor que no requieran combustión, como la energía solar.



MOTOR STIRLING
Ciclo termodinámico experimental



MOTOR STIRLING TIPO ALFA

Tiene dos cilindros:

- el rojo es mantenido a presión y temperatura altas
- el azul es el enfriador

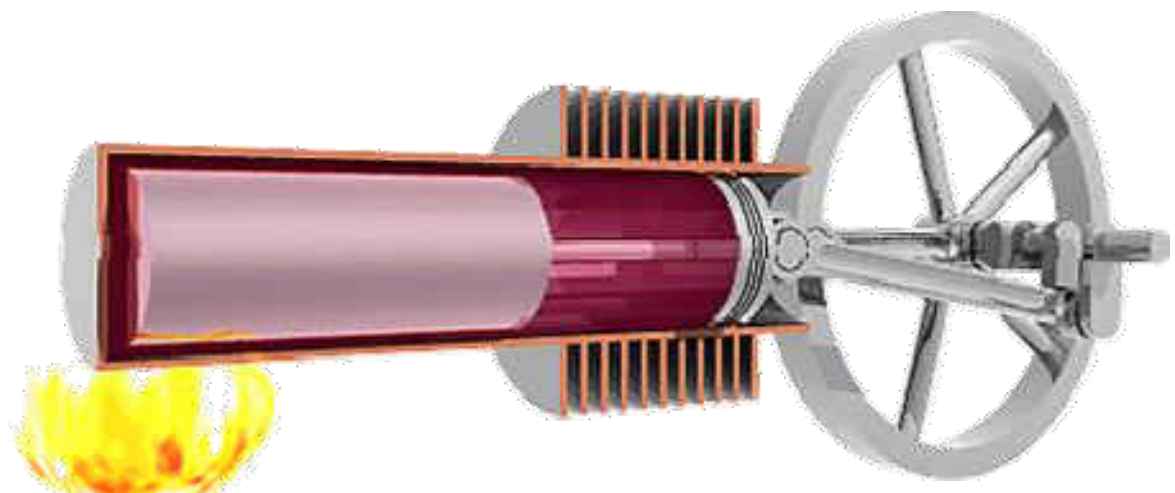
El conducto entre los dos cilindros contiene el regenerador.

MOTOR STIRLING TIPO BETA

Tiene un único cilindro con dos culatas, una con calor y otra en frío, y dos émbolos.

El émbolo libre desplaza el aire entre el espacio caliente y frío.

El émbolo de potencia al final del eje mueve el volante.



EL MOTOR STIRLING Y LA ENERGÍA SOLAR

Los sistemas que utilizan motores Stirling para producir electricidad a partir de la energía solar se conocen como disco-Stirling.

Muchos expertos creen que esta tecnología tiene un futuro prometedor, ya que ha demostrado eficiencias superiores a las demás aplicaciones de energía solar.

Los disco-Stirling se utilizan en energía solar termoelectrica, que es la que aprovecha la radiación solar incidente para calentar un fluido que posteriormente se hará pasar por una etapa de una turbina que generará electricidad.

Son pequeños discos parabólicos independientes conectados a un motor Stirling que está situado en el foco de la parábola. Consiguen concentrar la luz solar entre 1.000 y 4.000 veces y así se obtiene el calor suficiente para que el motor pueda funcionar.

En Estados Unidos y también en España se encuentran las mayores plantas termoelectricas del mundo.

Algunas de ellas estarán pobladas por miles de unidades disco-Stirling.

ESPAÑA: Plataforma Solar de Almería (los ha estudiado desde 1992), Sanlúcar la Mayor, Sevilla (hay instalados 8 sistemas disco-Stirling).

PLATAFORMASOLUCAR

La plataforma constará de 300 MW, 50MW a partir de tecnología de torre, 250 MW obtenidos de colectores cilíndrico-parabólicos, 3 MW los produce la tecnología fotovoltaica y 80 KW a partir de tecnología disco Stirling.

Con una potencia de 300 MW, proporcionará electricidad limpia para 153 000 hogares y evitará la emisión de 185 000 t anuales de CO₂, un total de 4 millones de t durante su vida útil.

El proyecto ocupará un área de 800 hectáreas y generará empleo para 300 operarios.

Actualmente, la plataforma tiene cuatro plantas en operación (Sevilla PV, Casaquemada, PS10 y PS20) inyectando energía a la red y otras tres plantas en construcción (Solnova 1, Solnova 2 y Solnova 4).

DISCO SOLAR PARABÓLICO

Concentra la radiación solar sobre un elemento calefactor de un motor Stirling de aire caliente

Toda la unidad actúa como un seguidor solar





Los discos parabólicos han evolucionado tanto en EEUU como en Europa hacia la construcción de unidades autónomas conectadas a motores Stirling situados en el foco.

Los sistemas disco/Stirling han demostrado la mayor eficiencia de conversión de radiación solar en energía eléctrica con valores máximos del 30 % y hasta un 25 % de promedio diario en unidades de 7 a 25 kW.

La superficie cóncava del concentrador está cubierta por:

- **espejos de vidrio** de segunda superficie, con su correspondiente curvatura parabólica, o bien por
- **espejos delgados o polímeros metalizados** de primera superficie, soportados sobre una estructura de fibra de vidrio o de membrana tensionada.

Los receptores para sistemas disco/Stirling son de tipo cavidad, con una pequeña apertura y su correspondiente sistema de aislamiento.



UNIDAD DISCO-STIRLING



UNIDADES DISCO-STIRLING
Villarobledo, Albacete, España

Conversores solares termoelectrónicos compuestos por una parábola reflectante y un motor térmico Stirling. La capacidad inicial de la planta es de 1 MW. El objetivo es ampliar la potencia hasta alcanzar 71 MW.

CONCLUSIONES SOBRE LOS MOTORES STIRLING

El motor Stirling es un motor térmico más eficiente que los motores de combustión interna, las máquinas alternativas y las turbinas a vapor y a gas.

Puede utilizar cualquier fuente de calor:

- cualquier combustible fósil, en cuyo caso es un motor de combustión externa**
- una reacción nuclear**
- la radiación solar, en cuyo caso es un motor Stirling solar.**

Este motor no puede ser acelerado rápidamente, en consecuencia no es conveniente para propulsar automóviles y camiones. No obstante existen muchas aplicaciones en las que no es necesaria una aceleración rápida.

Pueden ser utilizados para propulsar trenes, aeroplanos y barcos.

Algunos submarinos de las armadas de algunos países utilizan motores Stirling, debido a su alta eficiencia y funcionamiento silencioso.

También se los emplea para el accionamiento de bombas, alternadores eléctricos y en procesos industriales.

La eficiencia energética del motor es mayor con temperaturas altas en la parte caliente y bajas en la parte fría.

Los conjuntos disco-Stirling aún son caros debido al costo de los elementos utilizados para reflejar y concentrar la radiación solar sobre la zona caliente del motor (espejos parabólicos y lentes).

La concentración de los rayos solares es esencial para lograr rendimientos altos.

EL MOTOR STIRLING Y LA PROPULSIÓN NAVAL INDEPENDIENTE DE AIRE (PIA)

Este término PIA engloba las tecnologías que permiten a un submarino operar sin la necesidad de emerger a la superficie o tener que usar el sistema snorkel para acceder al oxígeno de la atmósfera.

El término usualmente excluye el uso de energía nuclear y más bien se trata de aumentar o reemplazar el sistema de propulsión diesel-eléctrica de naves no nucleares.

La PIA es usualmente implementada como una fuente auxiliar.

La mayoría de estos sistemas generan electricidad que activa un motor para propulsión o para recargar las baterías del submarino.

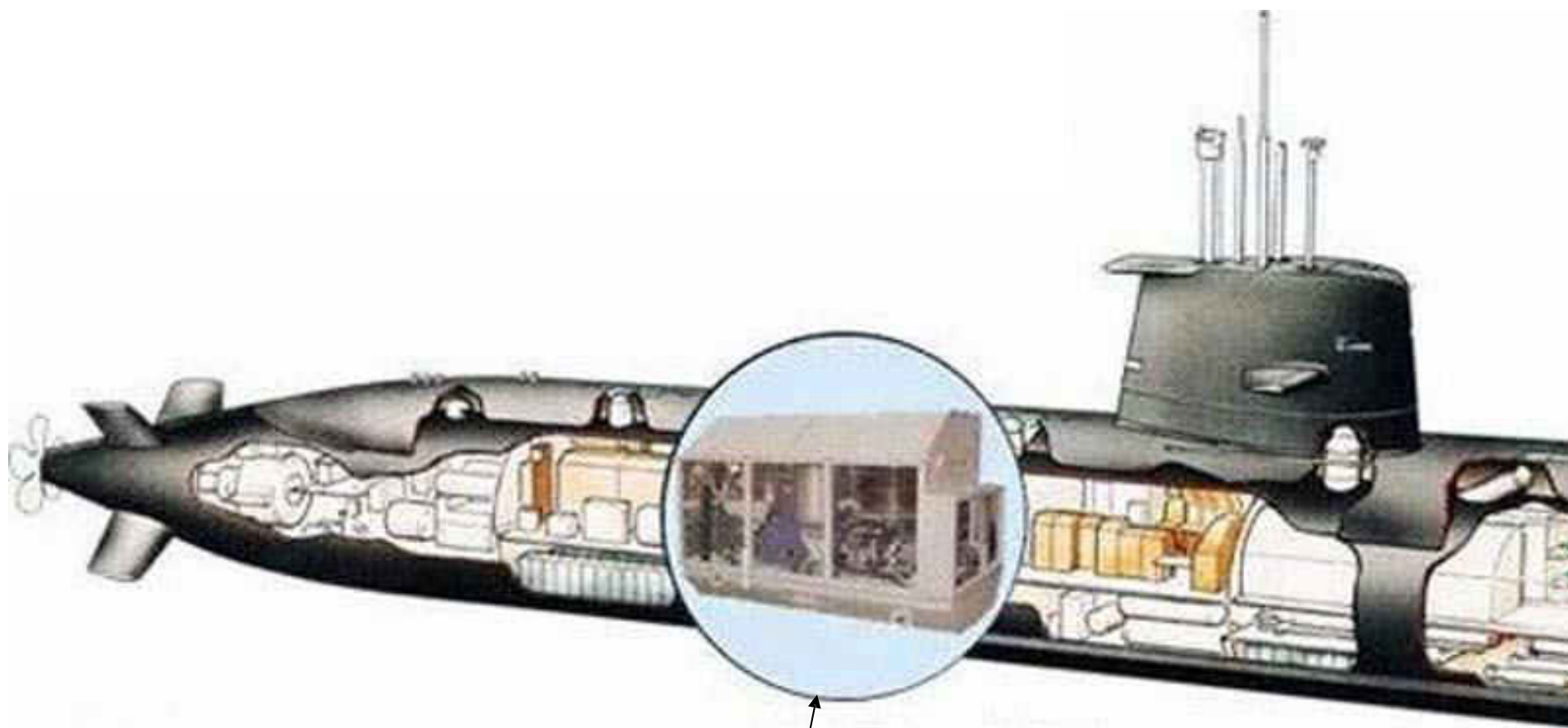
El sistema eléctrico del submarino además es usado para proveer ventilación, iluminación, calefacción, etc.

Estos servicios consumen muy poca energía comparados con la propulsión.

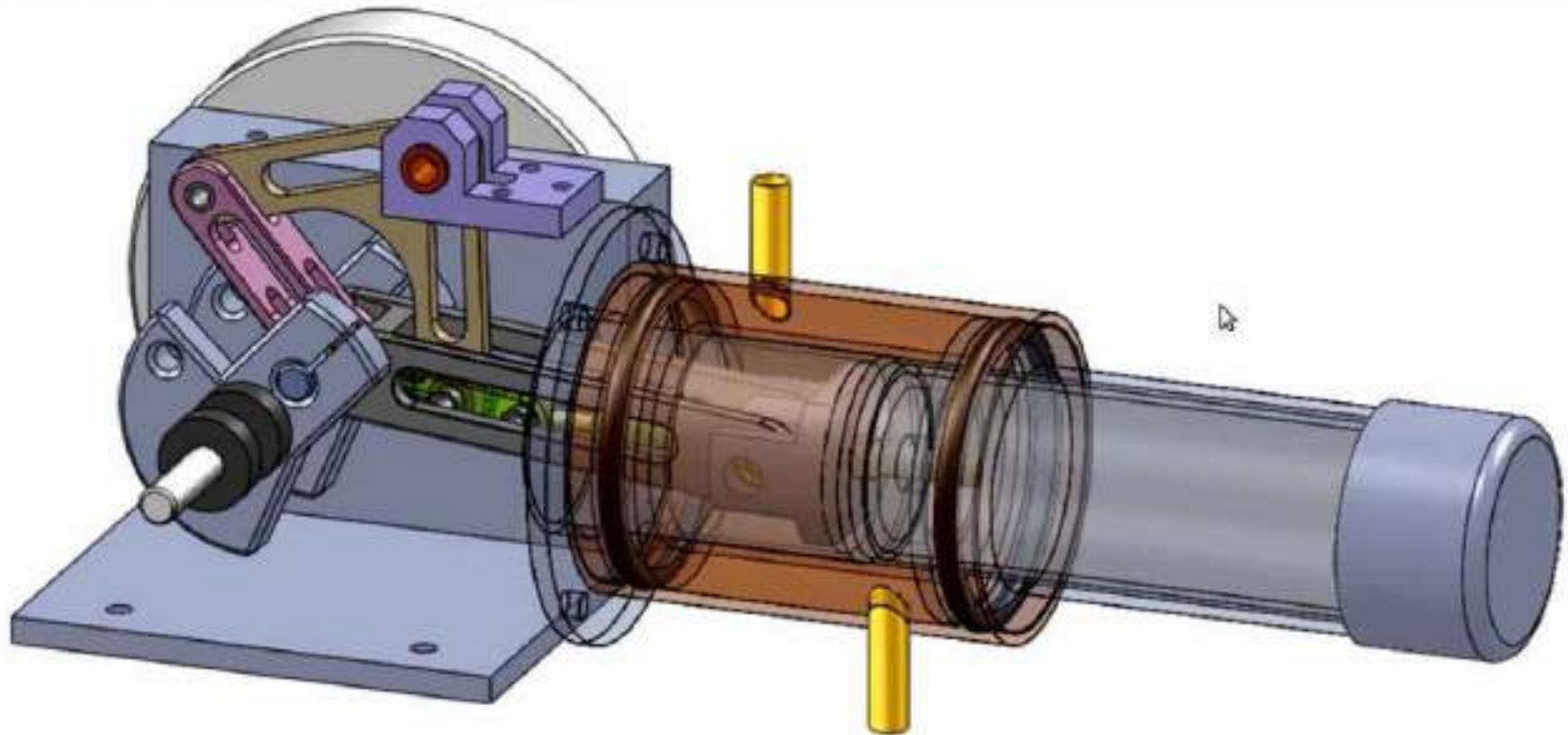
Este sistema de propulsión puede ser adaptada en submarinos existentes mediante la inserción de una sección adicional de casco.

La PIA normalmente no provee la energía suficiente para reemplazar totalmente la propulsión dependiente de aire, pero permite al submarino permanecer sumergido durante más tiempo que los submarinos convencionales sin PIA.

PIA: Propulsión independiente de aire (en idioma inglés AIP: Air Independent Propulsion).



Motor auxiliar Stirling



MOTORSTIRLING

El constructor naval sueco Kockums ha construido tres submarinos Clase Gotland para la Armada Real de Suecia que fueron equipados con un Motor Stirling auxiliar el que usa oxígeno líquido y combustible diesel para activar generadores de 75 kilowatt, para propulsión o para cargar las baterías.

La autonomía que permite el PIA (AIP) para las naves de 1500 toneladas es aproximadamente 14 días a una velocidad de 5 nudos (9 km/h).

Los submarinos de ataque de la clase Gotland son los más modernos de la Armada de Suecia. Están diseñados principalmente para misiones anti-superficie y anti-submarinas.

En superficie, el submarino es propulsado por dos conjuntos de motores MTU.

Sumergido, el motor Stirling de propulsión independiente de aire (Air Independent Propulsion AIP) se utiliza para impulsar el generador de 75 Kw (101 shp), para propulsión o para cargar las baterías.

El motor utiliza oxígeno líquido y combustible diesel.

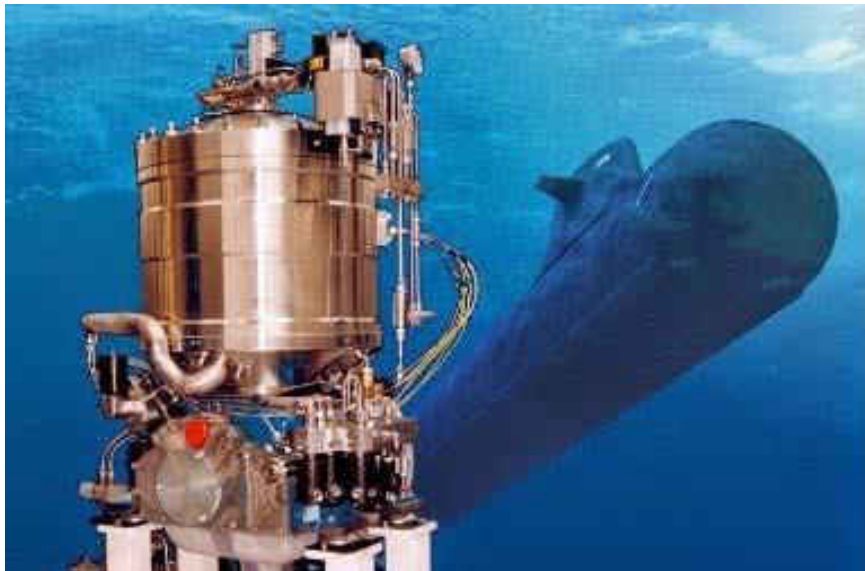
El motor Stirling es muy silencioso y puede utilizar el agua de mar circundante como un disipador térmico para aumentar la eficiencia.

Kockums además ha entregado motores Stirling a Japón. Los nuevos submarinos Japoneses estarán equipados con motores Stirling.

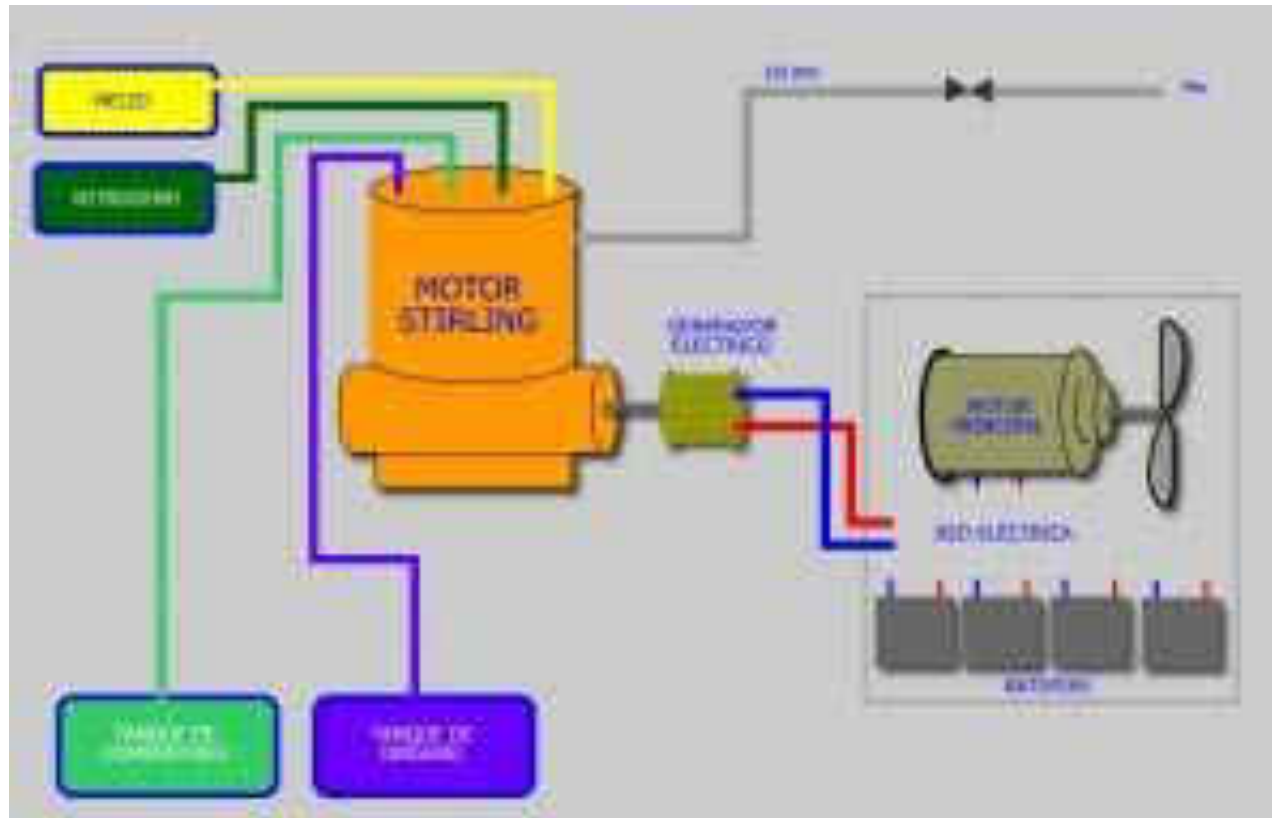
La primera nave de esta clase, el Sōryū, fue lanzada el 5 de diciembre del 2007 y entró en operación durante el año 2009.



**SUBMARINO
CLASE GOTLAND
DE LA ARMADA
DE SUECIA**



**MOTOR STIRLING
PARA SUBMARINO**



ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA PIA (o AIP) STIRLING DE KOCKUMS

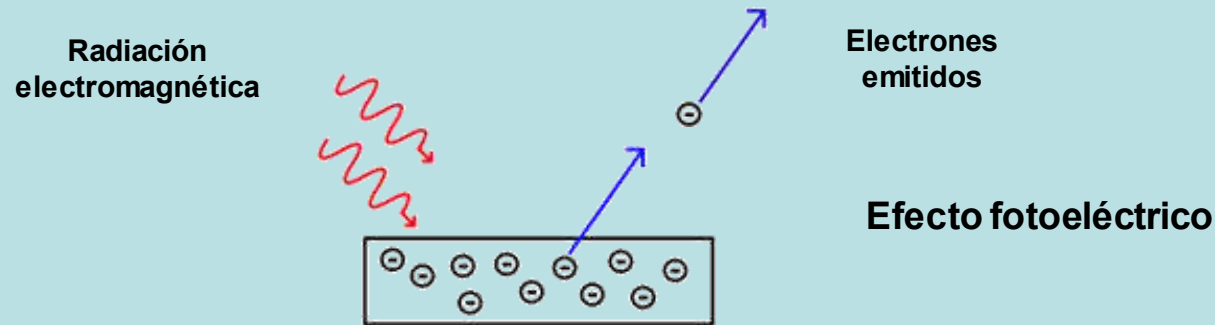
5.6.3

CENTRALES SOLARES FOTOVOLTAICAS

INTERACCIONES ENTRE LA LUZ Y LA MATERIA

EFFECTO FOTOELÉCTRICO: Consiste en la emisión de electrones por un material cuando se hace incidir sobre él una radiación electromagnética (luz visible o ultravioleta, en general).

Fue descubierto y descrito por Heinrich Hertz en 1887, al observar que el arco que salta entre dos electrodos conectados a alta tensión alcanza distancias mayores cuando se ilumina con luz ultravioleta que cuando se deja en la oscuridad.



FOTOCONDUCTIVIDAD: Es el aumento de la conductividad eléctrica de la materia (o en diodos) provocada por la luz.

Fue descubierta por Willoughby Smith en el selenio hacia la mitad del siglo XIX.

EFFECTO FOTOVOLTAICO: Es la transformación parcial de la energía lumínica en energía eléctrica.

Fue descubierto por Alexandre-Edmond Becquerel en 1839.

La primera célula solar fue fabricada por Charles Fritts en 1884. Estaba formada por selenio recubierto de una fina capa de oro.



ALEXANDRE-EDMOND BECQUEREL

Físico francés

Descubridor del efecto fotovoltaico en 1839.

Este descubrimiento fue fundamental para el desarrollo de las células fotoeléctricas.

La primera célula solar no se fabricó hasta 1883.

Su creador fue Charles Fritts, quien recubrió una muestra de selenio semiconductor con pan de oro para formar la unión.

Este primitivo dispositivo presentaba una eficiencia menor del 1%, pero demostró de forma práctica que, efectivamente, producir electricidad con luz era posible.

ENERGÍA SOLAR

El Sol es una esfera gaseosa formada fundamentalmente por: helio, hidrógeno y carbono.

La masa del Sol es 330.000 veces la masa de la Tierra.

Se estima que su edad es de unos 6.000 millones de años.

El Sol se comporta como un reactor nuclear de fusión, en el que se producen intensas reacciones termonucleares que transforman la energía nuclear en energía de radiación, energía que llega a la Tierra.

El Sol envía a la Tierra en una hora la misma cantidad de energía que utiliza la civilización humana en todo un año.

No toda la energía que se produce en el Sol llega a la superficie terrestre.

Al atravesar la atmósfera, la radiación pierde intensidad a causa de la absorción, la difusión y la reflexión por acción de: gases, vapor de agua y partículas en suspensión que existen en la atmósfera terrestre.

La Tierra recibe del Sol:

Radiación directa: Es la que atraviesa la atmósfera sin sufrir ningún cambio en su dirección.

Radiación dispersa o difusa: Es la que recibimos después de los fenómenos de reflexión y difusión.

ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

La energía solar fotovoltaica se basa en la captación de energía solar y su transformación en energía eléctrica por medio de “**paneles o módulos solares fotovoltaicos**”.

Los paneles captan la energía solar transformándola directamente en energía eléctrica, que se almacena en acumuladores, para que pueda ser utilizada fuera de las horas de luz.

CÉLULAS FOTOVOLTAICAS: Están formadas por metales sensibles a la luz que desprenden electrones cuando los fotones inciden sobre ellos. **Convierten energía luminosa en energía eléctrica.**

Están elaboradas a base de silicio puro, con adición de impurezas de ciertos elementos químicos. Cada célula puede generar de 2 a 4 Amperios, a un voltaje de 0,46 a 0,48 V.

PANELES SOLARES: Las células se montan en serie sobre “paneles o módulos solares” para conseguir un voltaje adecuado a las aplicaciones eléctricas.

Los módulos fotovoltaicos admiten tanto “**radiación directa**” como “**radiación difusa**”, y pueden generar energía eléctrica incluso en días nublados.

PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS

Captan la energía solar y la convierten directamente en electricidad



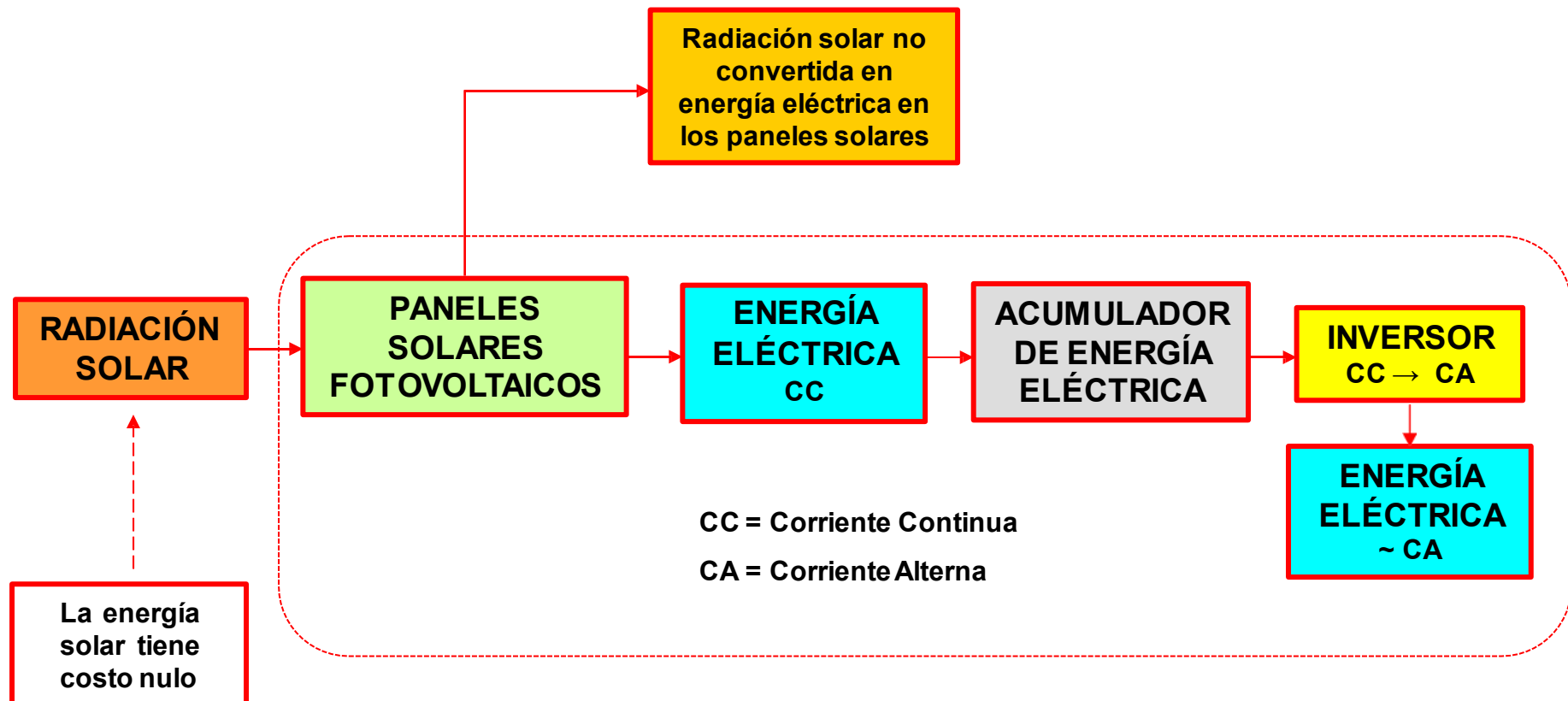


LIMPIEZA DE PANELES SOLARES



Equipos para limpieza





LAS CENTRALES SOLARES FOTOVOLTAICAS

- **Convierten la radiación solar directamente en electricidad**
- **No requieren de ninguna turbomáquina térmica**
- **No tienen partes rotativas**
- **Todos sus componentes son estáticos**

CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA

PANELES FOTOVOLTAICOS

Los paneles fotovoltaicos están formados por numerosas **celdas** que convierten la luz en electricidad. Las celdas a veces son llamadas **células fotovoltaicas** (del griego "fotos", luz).

Las celdas funcionan por el efecto fotovoltaico: La energía lumínica produce cargas positivas y negativas en dos semiconductores próximos de diferente tipo, produciendo así un campo eléctrico capaz de generar una corriente.

Los materiales típicos de las celdas solares son: El "**silicio cristalino**" y el "**arseniuro de galio**".

Los cristales de arseniuro de galio son creados especialmente para uso fotovoltaico, mientras que los cristales de silicio están disponibles en lingotes standard, producidos principalmente para el consumo de la industria microelectrónica.

Una celda de silicio de 6 cm de diámetro, expuesto a luz solar directa, puede producir una corriente de alrededor 0,5 amperios a 0,5 voltios (equivalente a un promedio de 90 W/m², en un rango de usualmente 50-150 W/m², dependiendo del brillo solar y la eficacia de la celda).

El arseniuro de galio es más eficaz que el silicio, pero también más costoso.

Las células de silicio más comúnmente empleadas en los paneles fotovoltaicos se puede dividir en tres subcategorías:

Células de silicio monocristalino: Están constituidas por un único cristal de silicio. Este tipo de células presenta un color azul oscuro uniforme.

Células de silicio policristalino (también llamado multicristalino): Están constituidas por un conjunto de cristales de silicio, lo que explica que su rendimiento sea algo inferior al de las células monocristalinas. Se caracterizan por un color azul más intenso.

Células de silicio amorfo: Son menos eficientes que las células de silicio cristalino pero también menos costosas. Este tipo de células es, por ejemplo, el que se emplea en relojes y calculadoras.

PUNTO DE MÁXIMA POTENCIA P_m

Una placa o célula solar puede operar en un amplio rango de voltajes e intensidades de corriente. Esto puede lograrse variando la resistencia de la carga, en el circuito eléctrico, por una parte, y por la otra variando la impedancia de la célula desde el valor cero (valor de cortocircuito) a valores muy altos (circuito abierto) y se puede determinar el punto de potencia máxima teórica, es decir, el punto que maximiza V y tiempo frente a I , o lo que es lo mismo, la carga para la cual la célula puede entregar la máxima potencia eléctrica para un determinado nivel de radiación.

El punto de potencia máxima de un dispositivo fotovoltaico varía con la iluminación incidente.

EFICIENCIA EN LA CONVERSIÓN DE ENERGÍA η

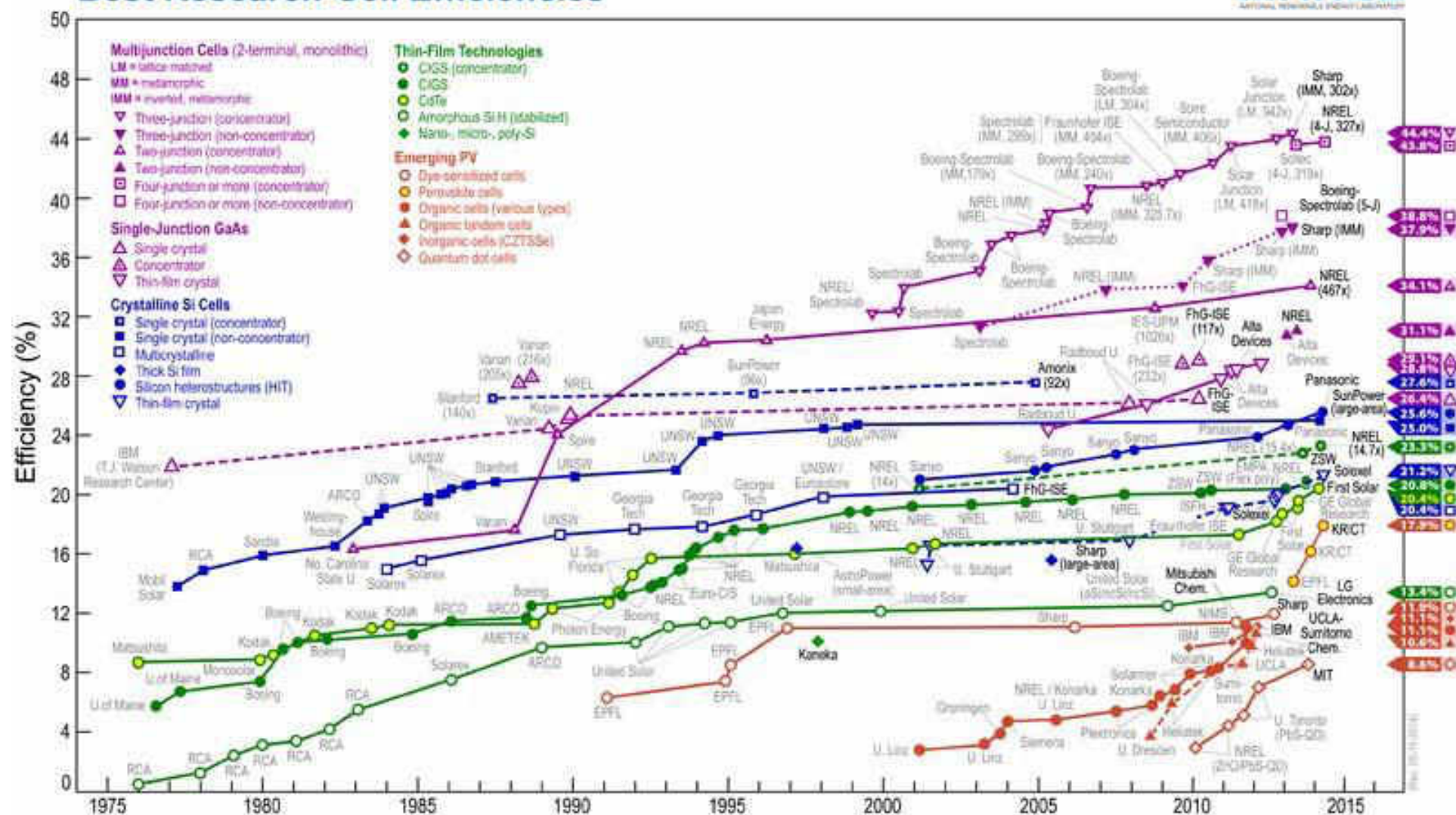
La eficiencia de una celda solar es la parte de la potencia de luz solar absorbida que es convertida en energía eléctrica cuando una célula solar está conectada a un circuito eléctrico.

Se calcula por la relación entre el punto de potencia máxima P_m dividido por el producto entre la luz que llega a la celda (Irradiancia E [W/m^2]) bajo condiciones standard (*) y el área superficial de la célula solar A_c [m^2].

$$\eta = \frac{P_m}{E A_c}$$

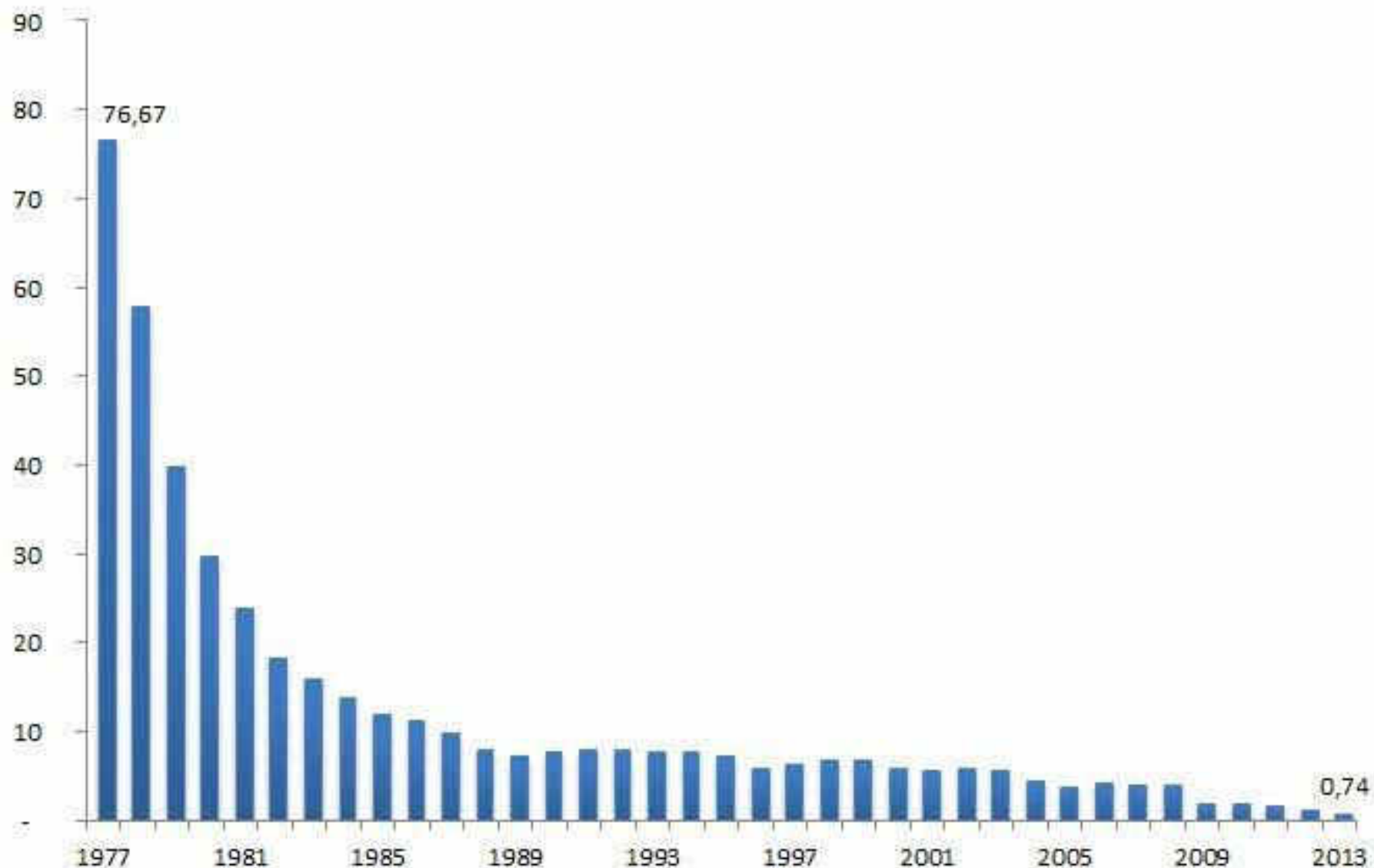
(*) Condiciones standard: Especifican una temperatura de 25 °C y una irradiancia de 1000 W/m^2 con una masa de aire espectral de 1,5 (AM 1,5). Esto corresponde a la irradiación y espectro de la luz solar incidente en un día claro sobre una superficie solar inclinada con respecto al sol con un ángulo de 41,81° sobre la horizontal.

Best Research-Cell Efficiencies



CRONOLOGÍA DE LAS EFICIENCIAS DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA LOGRADAS EN CÉLULAS SOLARES FOTOVOLTAICAS
(Fuente: *National Renewable Energy Laboratory* de Estados Unidos)

Precio de las células fotovoltaicas de silicio cristalino (en \$/Wp)



EVOLUCIÓN DEL PRECIO DE LAS CÉLULAS FOTOVOLTAICAS DE SILICIO CRISTALINO (EN \$/WP)

Datos: Bloomberg New Energy Finance

ENTRE 1977 Y 2013

(Fuente: Bloomberg New Energy Finance)

COMPONENTES DE UNA CENTRAL FOTOVOLTAICA

Generador Solar: Conjunto de paneles fotovoltaicos que captan energía luminosa y la transforman en *corriente continua a baja tensión*.

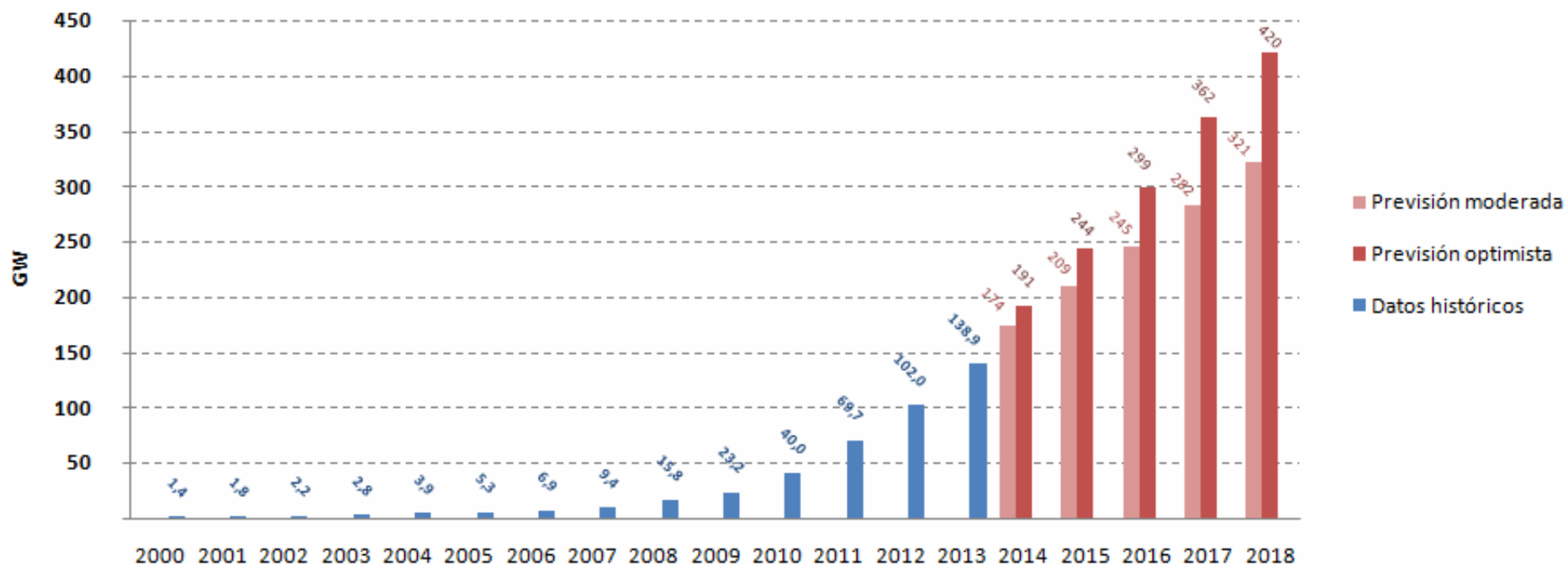
Acumulador: Almacena la energía producida por el generador. Una vez almacenada existen dos opciones:

- Utilizar la corriente continua de baja tensión para consumo directo.
- Transformar la corriente continua en corriente alterna a través de un inversor.

Regulador de carga: Su función es evitar sobrecargas o descargas excesivas al acumulador, ya que los daños podrían ser irreversibles.

Inversor: Se encarga de transformar la corriente continua producida por el campo fotovoltaico en corriente alterna, que alimentará directamente a los usuarios.

NOTA: A finales de 2012, en España la potencia solar fotovoltaica instalada alcanzaba los 4.381 megavatios, lo que la sitúa como una de las más altas del mundo y la tercera de Europa, por detrás de Alemania e Italia.



POTENCIA FOTOVOLTAICA INSTALADA EN EL MUNDO

Datos históricos hasta 2013 y previsión hasta 2018

Fuente: IDEA Concurso “Estudio sobre el análisis de viabilidad de un modelo de balance neto para instalaciones FV en viviendas en España”

CENTRALES FOTOVOLTAICAS A GRAN ESCALA

Plantas fotovoltaicas más grandes del mundo (julio de 2012)

Proyecto	País	Potencia
<i>Agua Caliente Solar Project</i>	Estados Unidos	247 MW
<i>Charanka Solar Park</i>	India	214 MW
<i>Golmud Solar Park</i>	China	200 MW
<i>Perovo Solar Park</i>	Ucrania	100 MW
<i>Sarnia Photovoltaic Power Plant</i>	Canadá	97 MW
<i>Brandenburg-Briest Solarpark</i>	Alemania	91 MW
<i>Solarpark Finow Tower</i>	Alemania	84.7 MW
<i>Montalto di Castro Photovoltaic Power Station</i>	Italia	84.2 MW
<i>Eggebek Solar Park</i>	Alemania	83.6 MW
<i>Senftenberg Solarpark</i>	Alemania	82 MW
<i>Finsterwalde Solar Park</i>	Alemania	80.7 MW
<i>Okhotnykovo Solar Park</i>	Ucrania	80 MW
<i>Lopburi Solar Farm</i>	Tailandia	73.16 MW
<i>Rovigo Photovoltaic Power Plant</i>	Italia	72 MW
<i>Lieberose Photovoltaic Park</i>	Alemania	71.8 MW



PARQUE SOLAR WALDPOLENZ

En Brandis, cerca de Leipzig, se está construyendo el parque solar "Waldpolenz". Esta central abarca un área de 110 hectáreas. En 2011 su potencia fue extendida a 52 MWp.

**PROYECTO PV
SOUNDLESS
FREISING**

En una autopista de
Alemania





PARQUE SOLAR FOTOVOLTAICO EN BRUHRain
Alemania



CAMPO DE ENERGÍA SOLAR EN ISRAEL

**Ubicado en el desierto Aravá, cerca del Kibutz Ketura
Cubre más de 50 hectáreas y tiene 140.343 paneles solares.**



CALIFORNIA VALLEY SOLAR RANCH (CVSR)

250MW solar photovoltaic (PV) power project developed in San Luis Obispo County, California, US.

Construction of the project started in September 2011 and full commercial operations began in October 2013. The power plant uses high-density 1.5MW solar power blocks, which are fast, cost-effective and significantly reduce land usage. A total of 749,088 solar panels are installed at the plant.



CHINA INAUGURÓ LA PLANTA FLOTANTE DE ENERGÍA SOLAR MÁS GRANDE DEL MUNDO

29 de mayo de 2017

La empresa líder mundial en la producción de paneles fotovoltaicos Sungrow Power Supply Co. anunció la instalación de la planta solar flotante más grande del mundo en Huainan, en la provincia de Anhui, en China. La instalación fue construida sobre una laguna artificial profunda entre 4 y 10 metros, que se formó por la extracción de carbón -uno de los combustibles fósiles más contaminantes- en una mina vecina. La planta tiene capacidad de generar hasta 40 megavatios por día, una cantidad de energía suficiente para abastecer a 28 mil personas. La planta flotante tiene algunas ventajas ulteriores: su posición sobre el agua reduce la evaporación y el ambiente más fresco mejora el rendimiento de los paneles y hace más fácil su mantenimiento.

CAPACIDAD TOTAL INSTALADA (MWp)

Desde 2005 hasta finales de 2011

PAÍS O REGIÓN	Total 2005	Total 2006	Total 2007	Total 2008	Total 2009	Total 2010	Total 2011
Total mundial	354	355	438	494	820	1,193	1,707
<i>Unión Europea</i>	0	0	11	62	384	638	1,108
Marruecos	0	0	0	0	0	20	20
Estados Unidos	354	355	427	432	512	517	517
Italia	0	0	0	0	0	4.7	4.7
Irán	0	0	0	0	0	17	17
España	0	0	11	61	382	632	1,102
Egipto	0	0	0	0	0	0	20
Argelia	0	0	0	0	0	0	25
Alemania	0	0	0	0	0	1.5	1.5

MWp (MegaWattios pico): Es la potencia máxima que se alcanza o puede alcanzarse en un determinado momento en que se den las condiciones adecuadas.

MWp: Unidad de potencia energética normalmente asociada con células fotovoltaicas.

Dado que las condiciones de producción de energía eléctrica dependen bastante de factores externos a la célula, el valor de la potencia dado en Wp o en MWp es un valor obtenido en condiciones ideales específicas.

El valor de la potencia de un determinado sistema fotovoltaico que funcione en corriente continua y a una potencia medida, cuando este sistema es irradiado por una luz que simula a luz solar con una potencia de 1000 W/m², a una temperatura de 25 °C.

VENTAJAS DE LAS CENTRALES SOLARES FOTOVOLTAICAS

- La energía proviene de una fuente gratuita **(el SOL)**.
- El proceso de conversión de energía es inofensivo para el medio ambiente.
- No tienen elementos móviles rotativos (sus componentes son estáticos).
- Reemplazan a otras fuentes de energía (combustibles fósiles o nucleares).
- La tecnología de las celdas solares está en permanente perfeccionamiento.
- La principal demora en su utilización masiva radica en una financiación insuficiente para la investigación.

NOTA: A finales de 2012, la potencia solar fotovoltaica instalada en España alcanzaba los 4.381 megavatios. Esto la sitúa como una de las más altas del mundo y la tercera de Europa, por detrás de Alemania e Italia.



TURANOR
NAVE SOLAR FOTOVOLTAICA

Tiene 537m² de paneles fotovoltaicos. Alcanza una velocidad de 8 nudos. Su sistema de acumulación de energía eléctrica le permite navegar durante 3 días sin luz solar. Es la primera nave propulsada por energía solar que ha dado la vuelta al mundo (casi 60.000 km de recorrido).



HÉLICES PROPULSORAS DE PASO VARIABLE





OCELLE

Nave diseñada para funcionar exclusivamente con energías extraídas del sol, el viento y el agua sin producir ningún tipo de contaminación.

Estará dotado de tres velas rígidas gigantes, recubiertas con paneles solares, que permitirán al buque navegar a una velocidad de crucero de más de 15 nudos.



HELIOS

**Prototipo de avión no tripulado de la NASA propulsado mediante energía solar fotovoltaica
Fotografía del avión en vuelo**



Avión Solar IMPULSE 2 da la primera vuelta al mundo sin combustible 2015

El avión está hecho de fibra de carbono y está propulsado por más de 17.000 células solares que recubren unas alas de 72 metros, casi tan largas como las de un Airbus A380. Las celdas solares recargan cuatro baterías de polímero de litio totalizando 633 kilogramos cada una. El Impulse 2 pesa 2300 kilogramos, aproximadamente lo que pesa un automóvil.

En total, el aparato recorrerá 35.000 kilómetros a una velocidad relativamente modesta (entre 50 y 100 km/h) y sobrevolará dos océanos, el Pacífico y el Atlántico a 8500 metros de altitud como máximo.

Le llevará cinco meses, y 25 días de vuelo efectivo.

El regreso está previsto a Abu Dabi a finales de julio o comienzos de agosto.

Tiene planeado escalas en Omán, India, Mianmar y China, antes de cruzar el Océano Pacífico a Hawái.

Después de Omán, los destinos siguientes son India y Birmania, antes de la etapa más larga del trayecto: cinco días consecutivos de vuelo para un solo piloto encargado de ir de Nankin, en China, al archipiélago estadounidense de Hawai, en el Pacífico.

Después de Hawái, se dirigirá a Phoenix, en Arizona, y al aeropuerto más grande de Nueva York, el Aeropuerto Internacional John F. Kennedy.

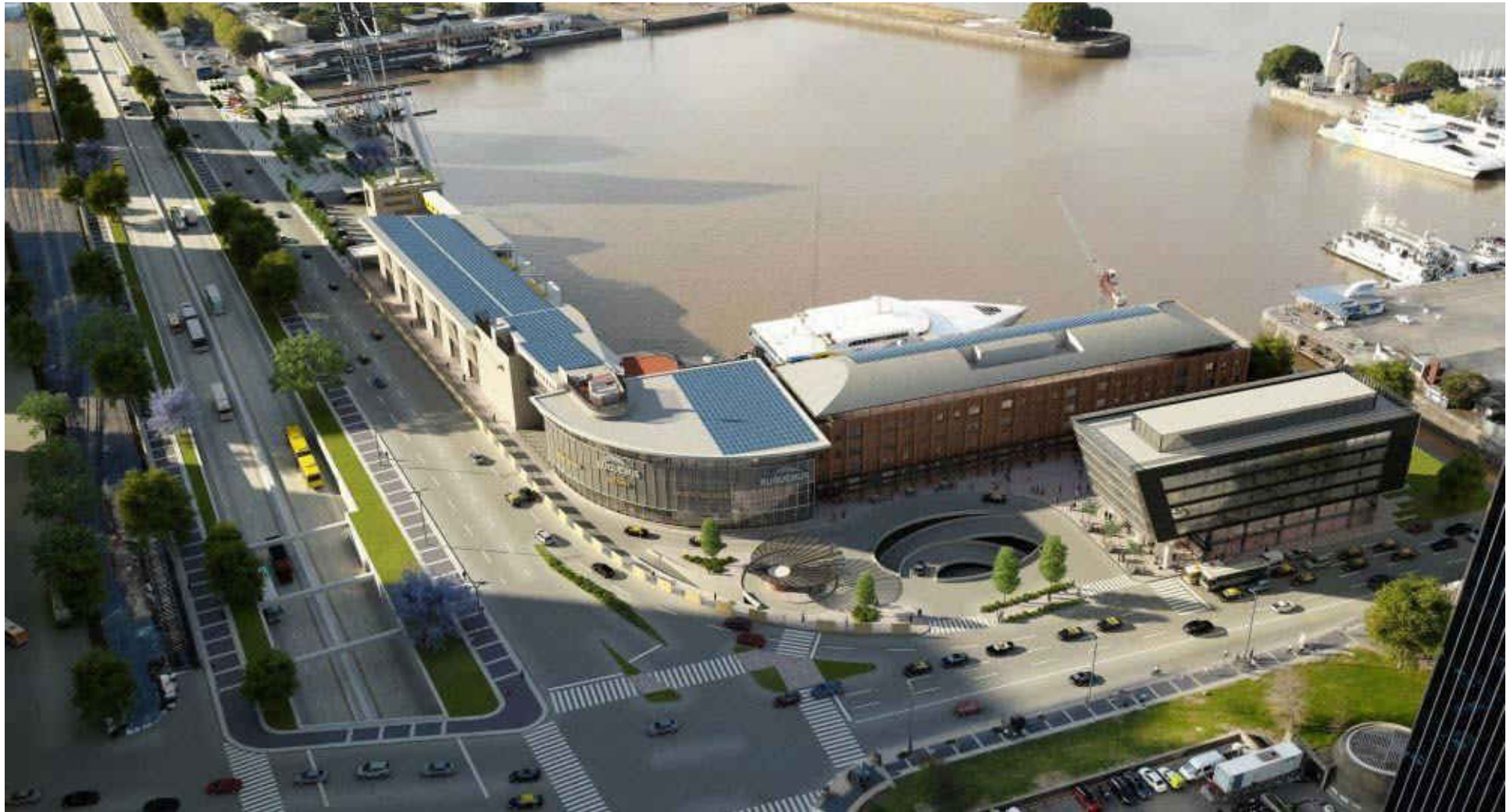
El curso a través del Atlántico dependerá del clima, y podría incluir una escala en el sur de Europa o Marruecos antes de terminar.



CUBIERTA FOTOVOLTAICA DEL ESTADIO NACIONAL DE KAOHSIUNG, TAIWAN
Sede de los Juegos Mundiales de 2009



**PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS INSTALADOS EN UNA SOMBRILLADE UNA PLAYA
DE ESTACIONAMIENTO DE AUTOMÓVILES EN HOLANDA**

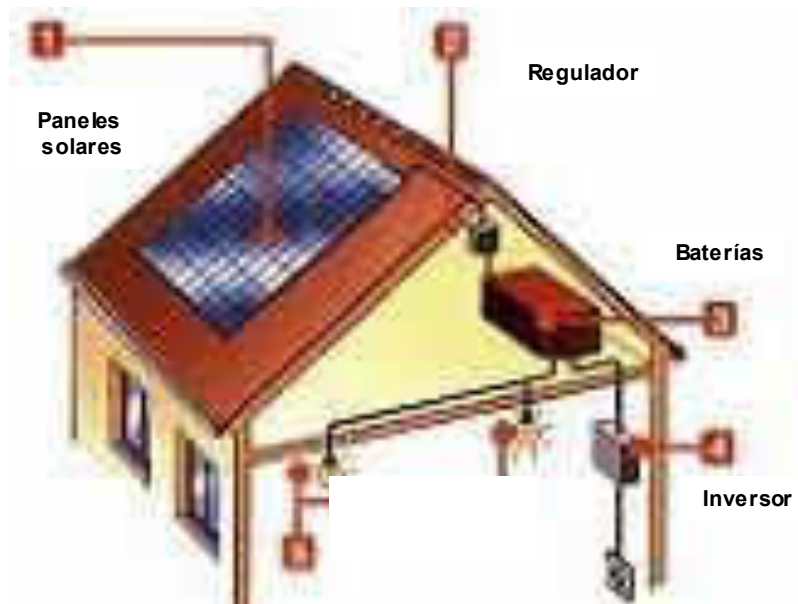


EDIFICIOS DE BUQUEBUS

Dársena Norte, Puerto Madero, Buenos Aires, Argentina

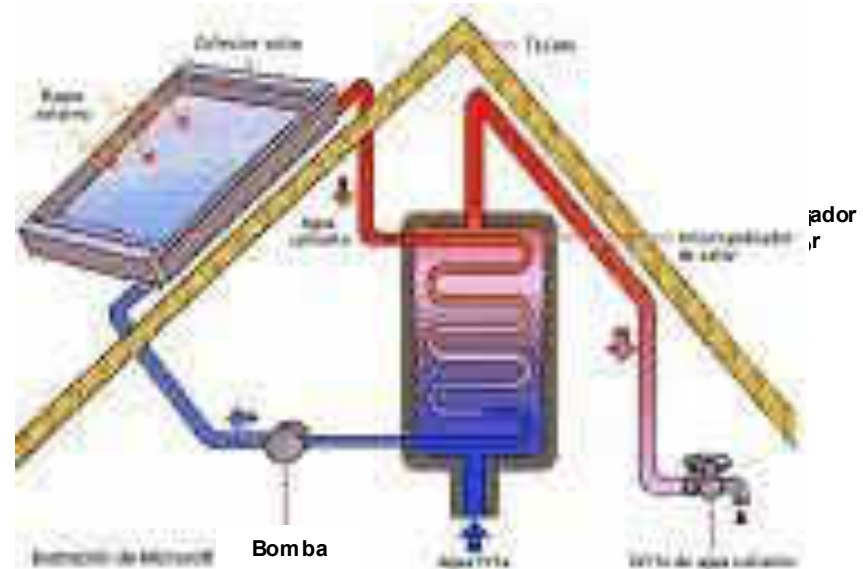
Vista de los paneles solares en las azoteas de los edificios

En la primera etapa (ya concluida) se generarán 440 kW/h, que cubrirán el 70% del consumo eléctrico de la empresa. En la segunda fase, se incorporarán 560 kW de potencia adicionales, que permitirán exceder el consumo de las instalaciones.



ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Los **paneles solares** dirigidos al sol, generan una corriente continua que, mediante un **regulador** cargan las **baterías**. Las baterías alimentan un **inversor** que convierte la **corriente continua** en **alterna** igual a la de la red.



ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

Los **calefactores solares** captan radiación solar y un sistema de **tubos de vidrio** la convierten en calor, que es utilizado para calentar agua u otros fluidos. La circulación puede producirse por **termosifón** o mediante una **bomba**.

ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA Y TÉRMICA EN VIVIENDAS



CALEFACTOR SOLAR TÉRMICO
Capta la energía solar y la convierte en calor

PANELES SOLARES HÍBRIDOS

Los paneles de funcionamiento híbrido producen tanto electricidad como calor.

Un “**panel solar convencional**” aprovecha entre el 15 y el 25 % de la radiación solar, mientras que los paneles híbridos aprovechan parte de la radiación restante.

Los **paneles solares híbridos primitivos** tenían bajos rendimientos en el rango de temperaturas medias-altas, en el que se pierde la mayor parte del calor.

Los **paneles solares híbridos actuales** triplican el rendimiento térmico y mejoran en un 15% la generación eléctrica respecto a los convencionales, además de reducir en un 40% la superficie necesaria.

El aislamiento de la cara frontal de los nuevos paneles reduce las pérdidas de calor.

Una cubierta transparente y aislante, rellena de gas inerte, mejora la eficiencia energética del panel.

Las características químico-físicas del gas evitan las pérdidas por convección y todo el calor que no se pierde se emplea para calentar el agua que circula por dentro del panel.

5.6.4

ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

BATERÍAS PARA CENTRALES SOLARES



ALMACENAMIENTO TERMOQUÍMICO DE ENERGÍA

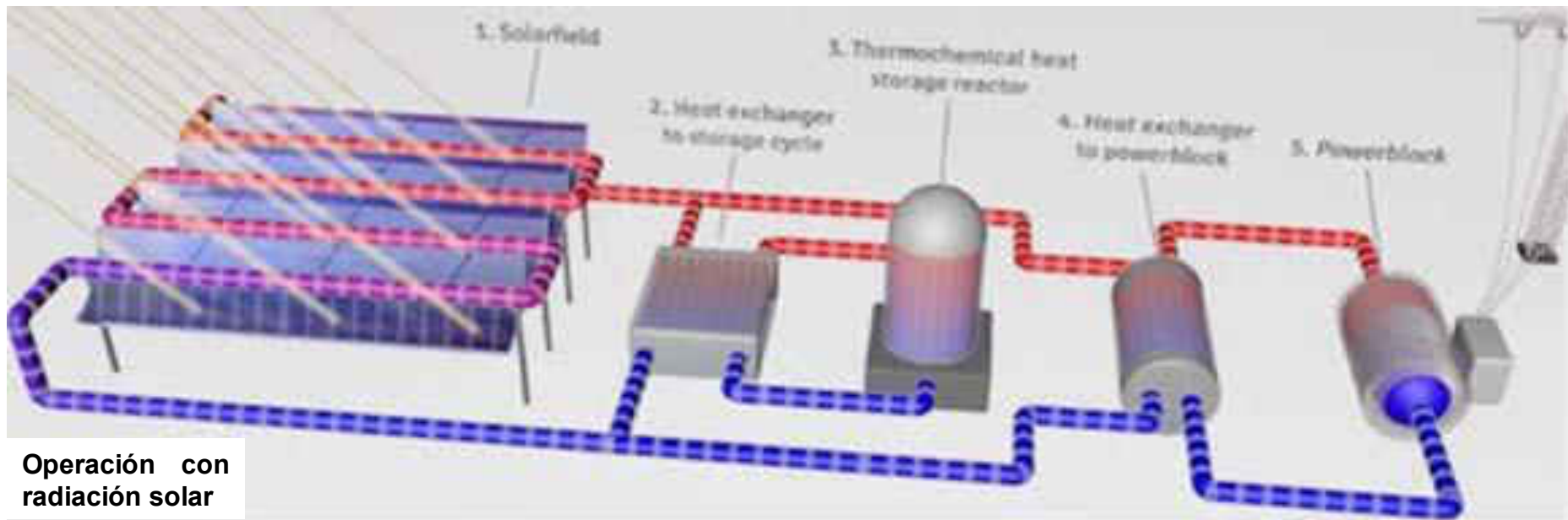
El almacenamiento termoquímico de energía presenta como principales ventajas su alta densidad de almacenamiento, por encima del almacenamiento en forma de calor sensible o latente, y su posibilidad de trabajar a altas temperaturas, fuera del rango de estabilidad de las sales fundidas (que es el único sistema de almacenamiento térmico implantado comercialmente).

Esto último facilitará su acoplamiento a plantas futuras, diseñadas para trabajar en un rango mayor de temperaturas, con el consiguiente incremento de la eficiencia global del proceso.

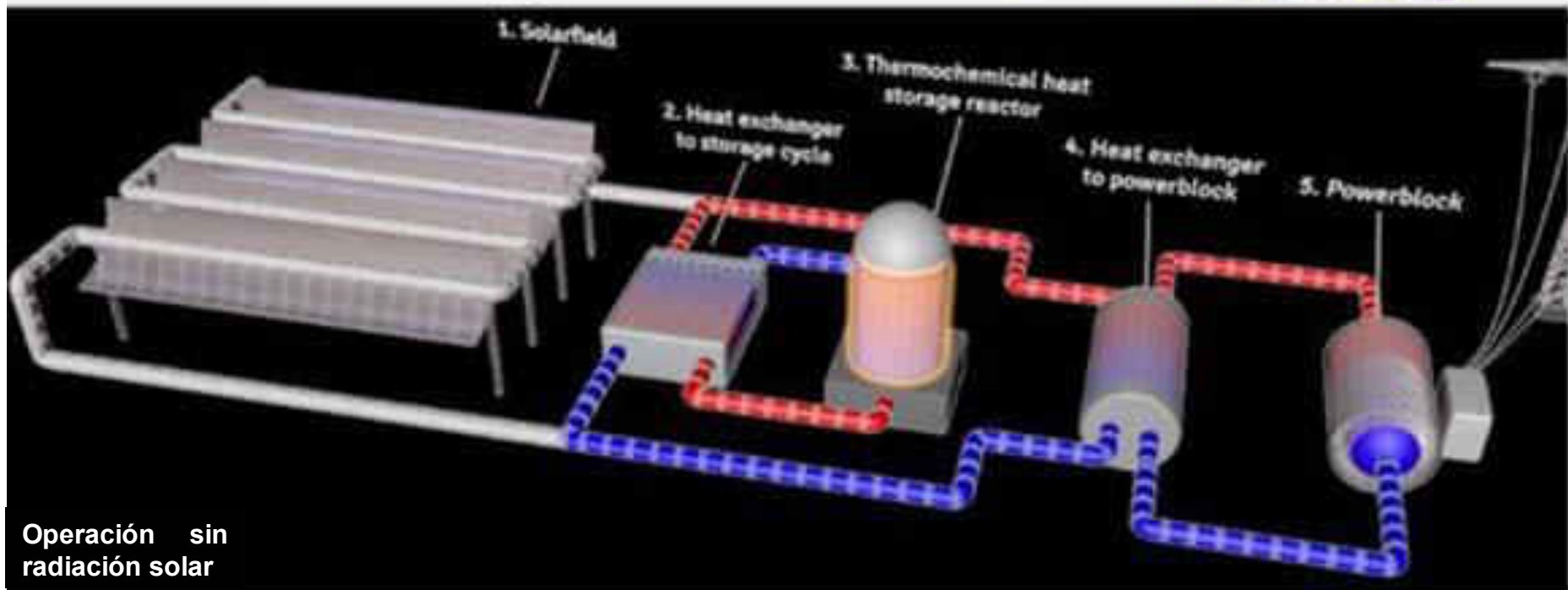
El funcionamiento de estos sistemas está basado en la reversibilidad que presentan algunas reacciones gas-sólido.

Durante las horas de sol, parte de la energía captada se emplearía en llevar a cabo una reacción endotérmica (carga).

Los productos de esta reacción son almacenados de forma separada, para luego, durante la noche o cuando el recurso solar sea escaso, recombinarlos, teniendo lugar una reacción exotérmica (descarga) que liberaría la energía almacenada previamente y que sería empleada en el bloque de potencia para producir electricidad.



Operación con radiación solar



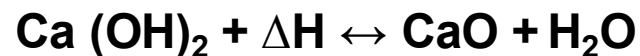
Operación sin radiación solar

ALMACENAMIENTO TERMOQUÍMICO DE ENERGÍA PARA CENTRALES SOLARES TÉRMICAS

Esquemas de funcionamiento

El almacenamiento termoquímico de energía se centra en el desarrollo de dos sistemas:

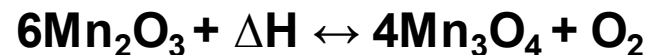
El primero está basado en la deshidratación del hidróxido cálcico y re-hidratación del óxido cálcico, está diseñado para su acoplamiento a centrales con captadores solares de tipo cilindro-parabólico.



$$T_{eq} = 507^\circ\text{C a 1 bar}$$

$$\Delta H = 100\text{kJ/mol}$$

El segundo está basado en el par redox Mn_2O_3 - Mn_3O_4 , está pensado para su incorporación a centrales solares tipo torre, con receptor volumétrico de aire.



$$T_{eq} = 980^\circ\text{C a 1 bar}$$

$$\Delta H = 31,8 \text{ kJ/mol}$$

5.7

PARÁMETROS DE LAS CENTRALES A VAPOR

PARÁMETROS EN LA ADMISIÓN

Centrales de combustible fósil

Centrales de combustible nuclear

Presión

100 a 250 bar

$\cong 70$ bar

Temperatura

540°C

Temp. Vap. Sat.

$\cong 285^\circ\text{C}$

PARÁMETROS EN EL ESCAPE

Refrig. c/agua fría sin recircular

Refrig. en torre húmeda

Refrig. en torre seca

Presión

0,5 bar

0,1 bar

0,2 bar

Temperatura

33°C

45°C

55°C

1 bar = 0,987 atm = 750,12 mm Hg

1 atm = 1 kg_f/cm²

5.8

CENTRALES DE CICLO COMBINADO

TURBINA A GAS - TURBINA A VAPOR

o

TURBINA A VAPOR – TURBINA A GAS

Las centrales de **ciclo combinado** son un tipo de central que utiliza gas natural, gasoil o incluso carbón preparado como combustible para alimentar una turbina de gas.

A los gases de escape de la turbina de gas, que todavía tienen una temperatura elevada (más de 500°C), se los hace circular a través de un **generador de vapor por recuperación de calor HRSG** (*), con el objeto de generar vapor que se utiliza para accionar una segunda turbina (a vapor).

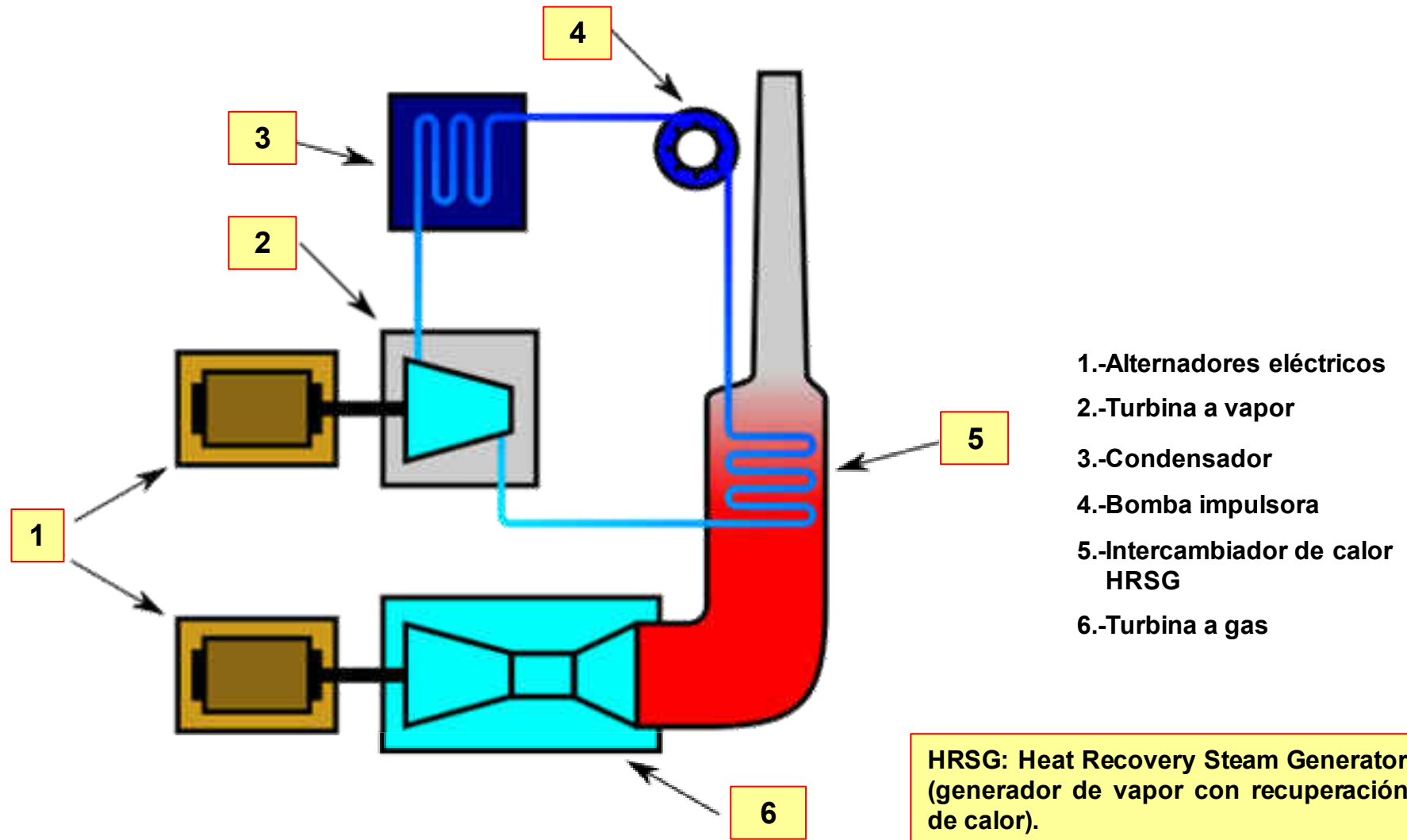
Cada una de estas turbinas (la de gas y la de vapor) está acoplada a su correspondiente alternador para entregar energía eléctrica al sistema.

Normalmente, durante el proceso inicial de estas centrales, sólo funciona la turbina de gas. Este modo de operación se denomina a **ciclo abierto**. La mayoría de las centrales de este tipo pueden intercambiar el combustible (entre gas y diesel) incluso en funcionamiento.

Como la diferencia de temperatura que se produce entre la combustión y los gases de escape es más alta que en el caso de una turbina de gas o una de vapor, se consiguen rendimientos muy superiores, del orden del 60%, superiores al rendimiento de una central de **ciclo abierto** y mucho mayores que los de una de turbina de vapor aislada.

Las centrales de **ciclo combinado** introducen una mejora al **ciclo abierto**.

(*) HRSG: Heat Recovery Steam Generator (generador de vapor con recuperación de calor).



ESQUEMA DE UNA CENTRAL DE CICLO COMBINADO TG y TV

En este caso coexisten dos ciclos termodinámicos en un mismo sistema: uno cuyo fluido de trabajo es el vapor de agua y otro cuyo fluido de trabajo es un gas producto de una combustión.

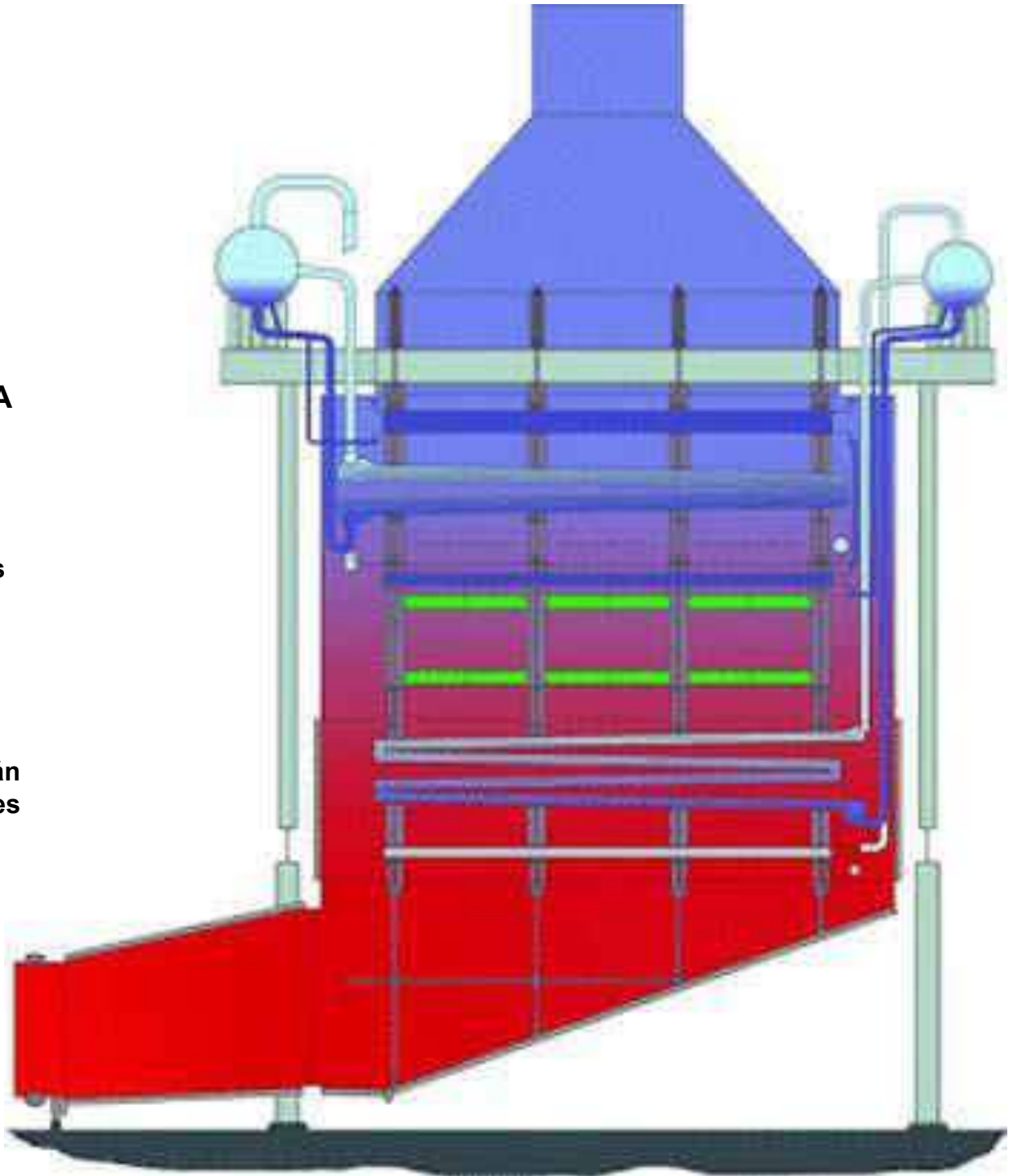
CALDERA DE RECUPERACIÓN DEL CALOR DEL ESCAPE DE UNA TURBINA A GAS (HRSG)

CARECE DE HOGAR

Los tubos de calefacción están divididos
en tres secciones:

1. Precalentamiento
2. Evaporación
3. Sobrecalentamiento

Las fases de líquido y vapor están
separadas en un tambor y el agua es
impulsada por una bomba.



CALDERA DE RECUPERACIÓN DE CALOR



TIPOS DE CENTRALES DE CICLO COMBINADO

1. Primero la TV y luego la TG (es la combinación más ventajosa).

- La TG utiliza el gas a presión que sale de la caldera.
- El vapor de escape de la TV va a una **caldera de recuperación de calor (caldera sin hogar)** donde se genera vapor.
- Tanto la TV como la TG accionan sendos alternadores.

2. Primero la TG y luego la TV.

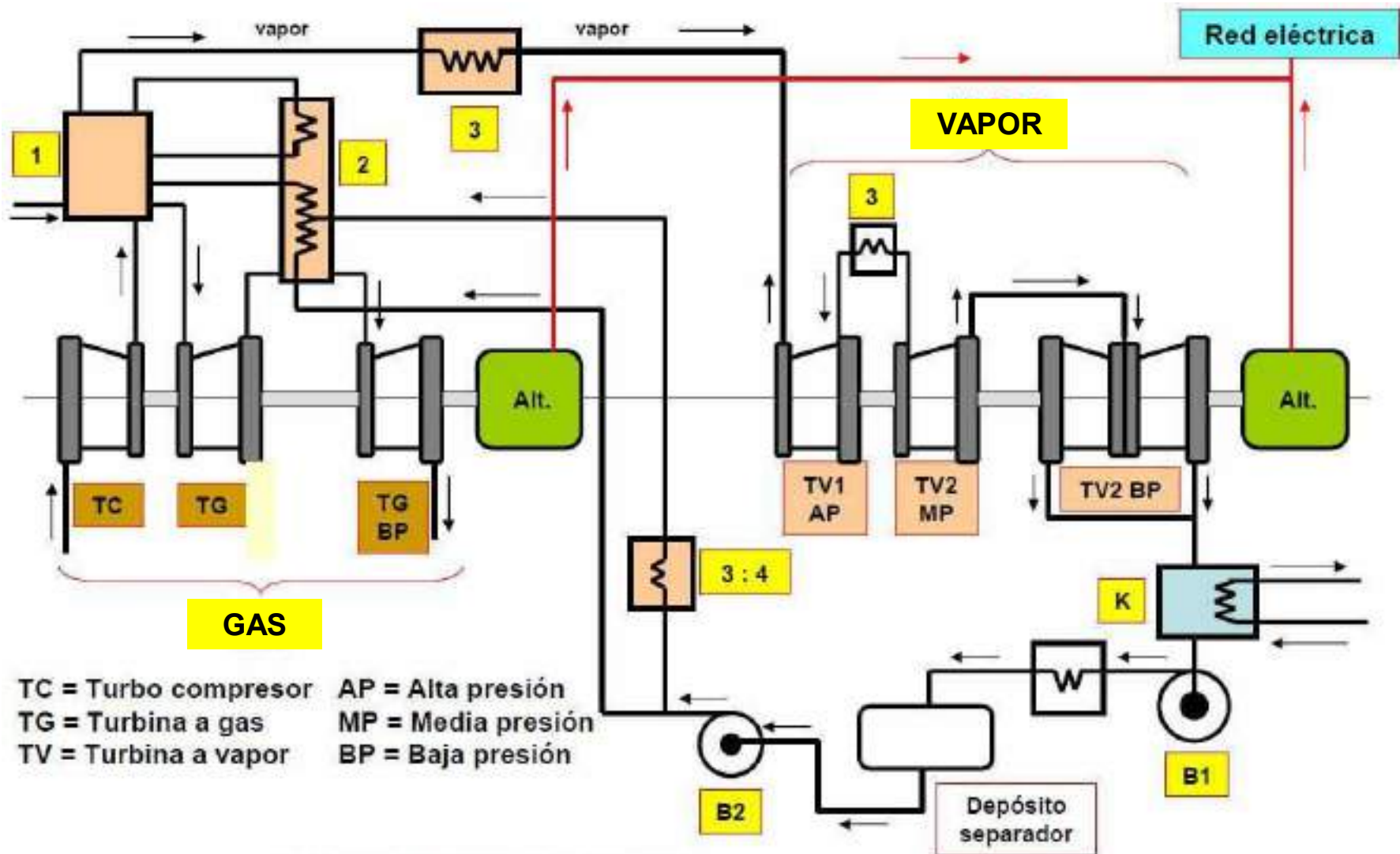
- Los gases de escape de la TG ($\leq 450^{\circ}\text{C}$) van a una **caldera de recuperación de calor (caldera sin hogar)** donde se genera vapor.
- Tanto la TG como la TV accionan sendos alternadores.

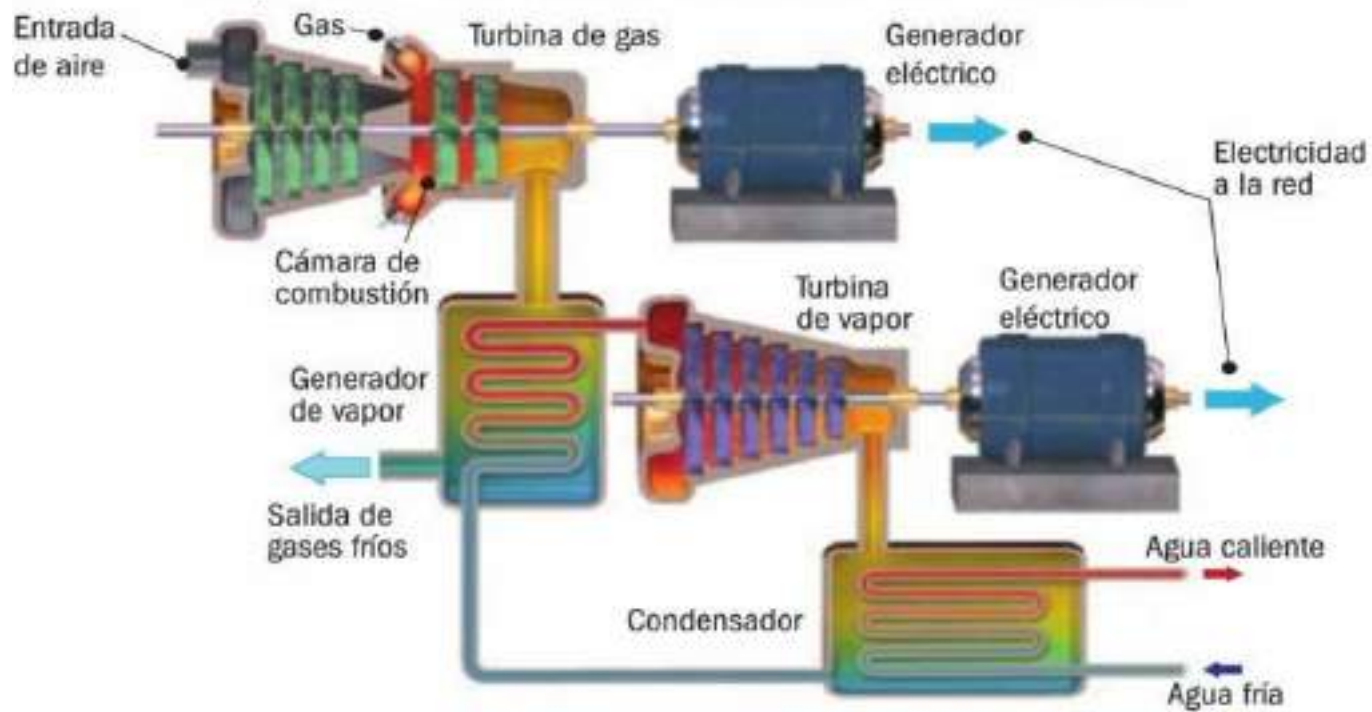
3. Cogeneración + TV/TG.

4. Cogeneración + TG/TV.

5. Variantes adicionales.

- Con o sin aporte de combustible ulterior en la combustión.
- Acoplamiento de una TG o una TV de condensación.
- Acoplamiento de una TG o una TV de contrapresión.





CENTRAL TÉRMICA DE CICLO COMBINADO TG Y TV

VENTAJAS DEL CICLO COMBINADO

Rendimiento mayor que el de una central de TV o una de TG (actualmente alcanzan rendimientos superiores al 60%).

Aumento de la temperatura de entrada a la TG.

Utilización en la TG de ciclos más efectivos que el de Brayton.

Empleo simultáneo de la cogeneración.

Adaptación a todo tipo de combustibles líquidos y gaseosos,

DESVENTAJAS DEL CICLO COMBINADO

Gastos de mantenimiento mayores que en una central de TV o de TG.

Gastos de personal mayores.

Menor disponibilidad de la central (*)

(*) A fin de lograr las mismas garantías de seguridad en las centrales de ciclo combinado, es importante que ambos grupos -TV y TG- puedan funcionar aisladamente en caso de mantenimiento o de avería de uno de ellos.



CENTRAL COSTANERA

**Está ubicada en la zona sur del área portuaria de la ciudad de Buenos Aires.
Isla De Marchi, Buenos Aires, Argentina**

Es la mayor planta termoeléctrica de Argentina.

Su potencia total instalada es de 2.324 MW. Consta de 8 grupos, 6 de ciclo convencional que producen 1.138 MW y 2 de ciclo combinado que suman 1.186 MW. Utiliza como combustible fuel oil, gas natural y gas oil.

CENTRAL COSTANERA

Se encuentra en la Isla De Marchi, que está situada en la Zona Sur del área portuaria de la ciudad de Buenos Aires.



DATOS REFERENTES A CADA GRUPO TÉRMICO ACTUALMENTE EN SERVICIO:

Unidad	Tipo	Potencia	Año
1 - 4*	Ciclo convencional	120 MWx4	1963
6	Ciclo convencional	350 MW	1976
7	Ciclo convencional	310 MW	1985
CC1	Ciclo combinado	327 MW	1995
CC2	Ciclo combinado	859 MW	1997
Potencia total instalada		2.326 MW	

En 1998 se añadió el Grupo 9, otro ciclo combinado de gas natural y gasóleo, construido por Mitsubishi y configurado por dos turbogeneradores a gas y un turbogenerador a vapor, con una potencia de 859 MW.

CENTRAL PUERTO

Tiene tres plantas termoeléctricas para la producción de energía eléctrica ubicadas en el Puerto de la Ciudad de Buenos Aires:

- dos son del tipo turbogrupos a vapor
- una es un ciclo combinado

Las Centrales **Nuevo Puerto** y **Puerto Nuevo** tienen en conjunto:

- 6 unidades del tipo a vapor
- la planta más moderna, de **Ciclo Combinado**, tiene:
 - dos turbinas de gas,
 - dos calderas de recuperación de calor,
 - una turbina a vapor.

El conjunto de estas unidades permite que Central Puerto disponga de una potencia instalada de **1.795 MW**, que corresponde al:

10% del parque de generación eléctrica del sistema interconectado
18% del parque de generación térmica de Argentina.

UBICACIÓN DE LAS CENTRALES TERMOELÉCTRICAS EN EL PUERTO DE BUENOS AIRES





CENTRAL NUEVO PUERTO

CENTRAL PUERTONUEVO

DÁRSENA D

DÁRSENA F

DÁRSENA E



CENTRAL PUERTO NUEVO

Ex Compañía Ítalo Argentina de Electricidad (CIADE)

Súper Usina "Dr. Carlos Givogri". Ex CATE, ex Cía. Ítalo Argentina de Electricidad (C.I.A.E). Dirección: Tomas A. Edison 2701, Puerto de Bs. As.. Denominación original: Súper Usina de la Cía. Ítalo Argentina de Electricidad (C.I.A.E.). Propietario actual: Central Puerto Nuevo S.A. Propietario original: Cía. Alemana Transatlántica de Electricidad (CATE)/Cía.Ítalo Argentina de Electricidad. Proyectista: Arq. Molinari/Cia. Ítalo Argentina de Electricidad (CIAE). Año de proyecto: 1927 y 1931. Constructor: Cía. Ítalo Argentina de Electricidad (CIAE). Año de construcción: 1930. Año de inauguración: 1933.

CENTRALES PUERTO NUEVO Y NUEVO PUERTO



CENTRAL NUEVO PUERTO

Ex Compañía Hispano Americana de Electricidad (CHADE)





CENTRAL PUERTO NUEVO

CENTRAL NUEVO PUERTO - Construcción - 1926
(ex Compañía Hispano Americana de Electricidad - CHADE)





PLANTA	UNIDAD	Potencia Instalada MW	Eficiencia	Combustible	Puesta en Marcha	TIPO DE UNIDAD
NuevoPuerto	Unidad 4	60	38 %	Gas/Fuel-Oil	1952	Turbina/Caldera a Vapor
	Unidad 5	110		Gas/Fuel-Oil	1965	
	Unidad 6	250		Gas/Fuel-Oil	1969	
	Unidad 7	145		Gas/Fuel-Oil	1961	
Puerto Nuevo	Unidad 8	194		Gas/Fuel-Oil	1963	
	Unidad 9	250		Gas/Fuel-Oil	1970	
	Unidad 10	282				Turbina a Vapor
Ciclo Combinado	Unidad 11	252	56 %	Gas/Diesel-Oil	2000	Turbina Gas/Caldera de Vapor
	Unidad 12	252		Gas/Diesel-Oil		Turbina Gas/Caldera de Vapor

CENTRAL DE CICLO COMBINADO BRIGADIER LÓPEZ

**Parque Industrial de la localidad de Sauce Viejo,
Provincia de Santa Fe, Argentina**

En la primera etapa, la planta generadora Brigadier López sólo funcionará bajo la modalidad de ciclo abierto. Su potencia neta será de 280 megavatios (MW). La turbina a gas podrá ser alimentada tanto con gas como con fueloil.

En la segunda etapa se añadirá el ciclo la combinado, que incluye instalación de una y turbina de vapor nueva de todo el equipo relacionado con ella.

El nuevo ciclo combinado estará formado por la turbina de gas existente, la caldera de recuperación HRSG, la turbina de vapor con su condensador y el generador eléctrico correspondiente. Cuando se complete se llegará a los 400 MW.

**HRSG: Heat Recovery Steam Generator
(generador de vapor con recuperación de calor).**





CENTRAL DE CICLO COMBINADO GENERAL SAN MARTÍN

Situada en Timbúes, próxima a la ciudad de Rosario, Provincia de Santa Fe, Argentina

Compuesta por dos turbogeneradores de gas de 280 MW cada uno, abastecidos por combustible dual (gas / gasoil), y un grupo turbo vapor que aprovecha el calor de los gases residuales de las dos anteriores. La potencia total es de 837 MW entregados al sistema a través de la Estación de Maniobra y las líneas de 500 kV. Opera desde Enero de 2010.



CENTRAL DE CICLO COMBINADO “BICENTENARIO”

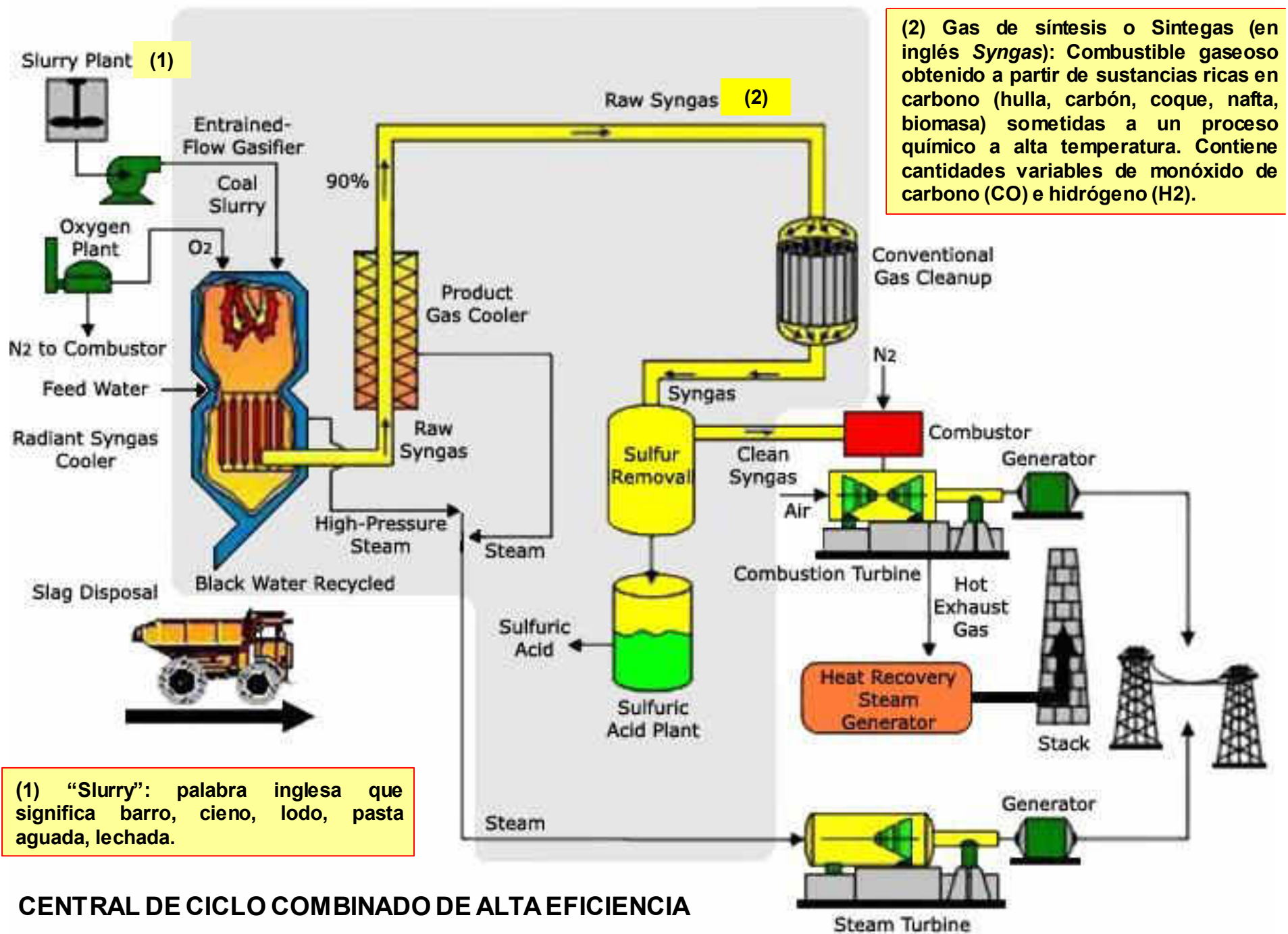
Pilar, provincia de Córdoba, Argentina

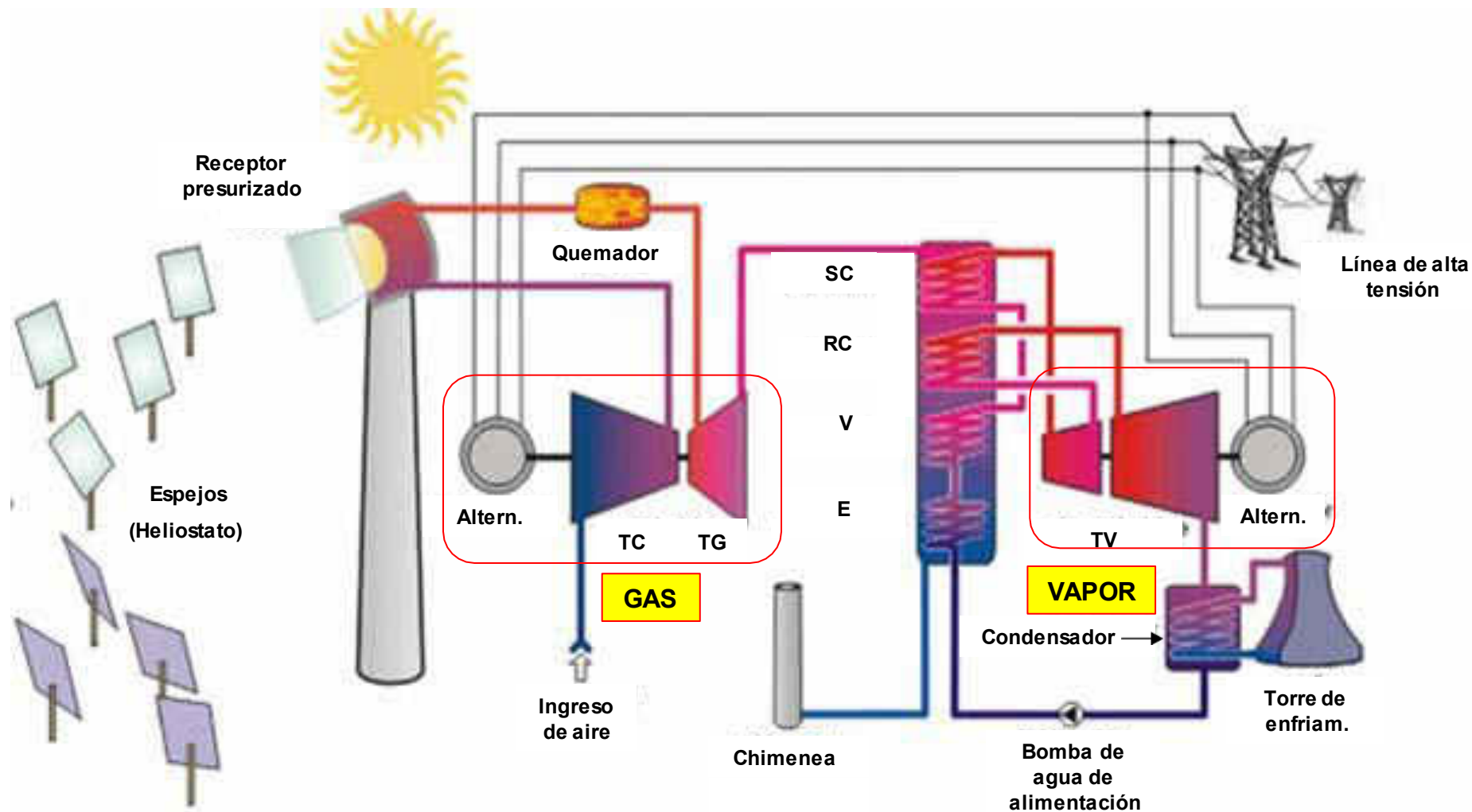
Las dos primeras turbinas, de 160 MW de potencia cada una funcionaban inicialmente a ciclo abierto, abastecidas con combustible dual (gas / gasoil). La potencia total de 465 MW se completó con una tercera turbina a vapor, que aprovecha el calor de los gases de combustión de las dos anteriores, integrando así el ciclo cerrado. Una estación transformadora y dos líneas de alta tensión 132 kV vinculan la Central con las estaciones transformadoras de la ciudad de Córdoba.



CENTRAL DE CICLO COMBINADO DE 1875 MW EN TEESSIDE, INGLATERRA

Ref.: Power Generation - 1995





TC = Turbocompresor
 TG = Turbina a gas
 TV = Turbina a vapor

SC = Sobrecalentador
 RC = Recalentador
 V = Vaporizador
 E = Economizador

CENTRAL SOLAR DE CICLO COMBINADO TG-TV

6

**CLASIFICACIÓN DE LAS CENTRALES
SEGÚN EL TIPO DE CARGA**

5.1 CENTRALES PARA CARGA DE BASE.

Funcionan ininterrumpidamente y a plena carga de 4000 a 8760 hs/año

2. CENTRALES PARA CARGA DE PUNTA.

Se arrancan y paran varias veces al día; por lo que se ha de procurar que el tiempo de arranque y parada sea el más corto posible.

Funcionan desde unos centenares de hs/año hasta 2500 hs/año.

3. CENTRALES PARA CARGA INTERMEDIA.

Se paran por la noche y durante los fines de semana. Funcionan de 2000 a 5000 hs/año con 250 a 300 arranques anuales.

Al buscar economía en cada uno de estos tres casos se llega a las soluciones indicadas en la diapositiva siguiente.

CENTRALES PARA CARGA DE BASE

Central hidroeléctrica (especialmente las de pasada o agua fluyente).

Central térmica de combustible nuclear.

Central de vapor sofisticada.

Central térmica de ciclo combinado sofisticada (ciclo complejo de vapor combinado con un proceso de gas).

CENTRALES PARA CARGA DE PUNTA

Centrales Diesel.

Centrales con turborreactores.

Grupos de TG.

Centrales hidroeléctricas convencionales. Centrales hidroeléctricas de acumulación por bombeo.

Acumulación de energía por aire comprimido.

Acumulación térmica.

Incremento de la presión del vapor vivo en las centrales de carga de base con capacidad de sobrecarga.

Funcionamiento con by-pass en las centrales de carga de base con capacidad de sobrecarga.

Desconectando el condensador en centrales de carga de base con capacidad de sobrecarga.

Central de vapor muy simple.

Central de vapor antigua simple.

Central combinada TV/TG con caldera de calor de escape.

CENTRALES PARA CARGA INTERMEDIA

Central de vapor simple sin recalentamiento.

Central de vapor simple con recalentamiento.

Central de vapor antigua para carga de base.

Central combinada TV/TG con caldera de vapor de escape de dos presiones.

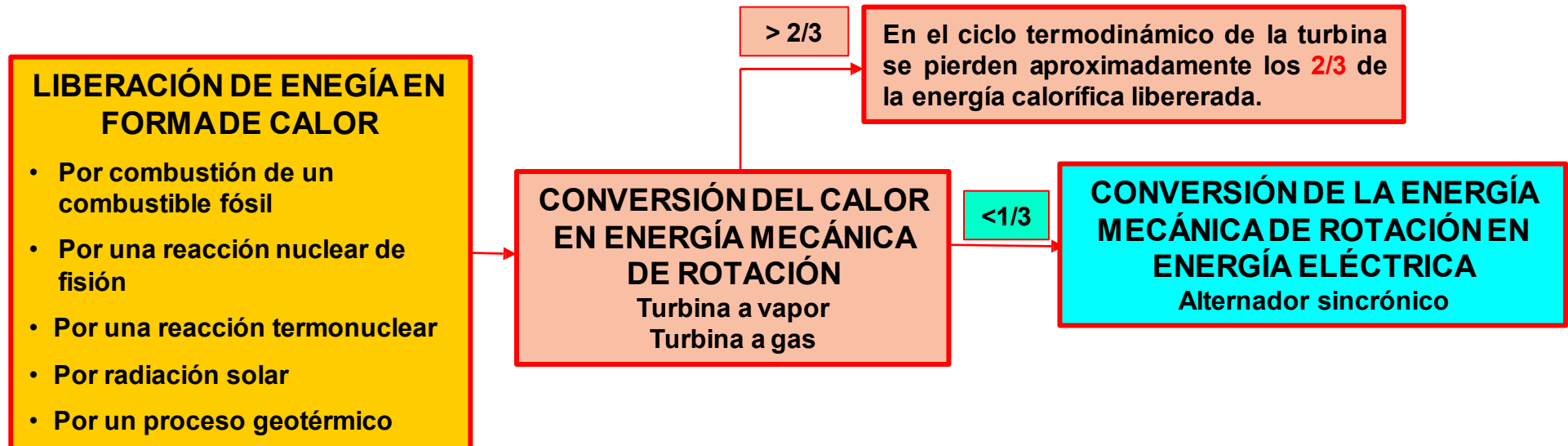
Central combinada TV/TG con caldera de vapor de escape con combustión complementaria.

Central combinada sofisticada (ciclo complejo de vapor combinado con un proceso de gas)

7

**SÍNTESIS DE LOS PROCESOS
DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA**

7.1 CENTRALES TÉRMICAS



Las centrales térmicas a vapor, de **combustible fósil**, permiten aumentar el rendimiento mediante el **sobrecalentamiento del vapor**.

El rendimiento también puede incrementarse utilizando los “**ciclos combinados**”.

Las centrales térmicas a vapor, de **combustible nuclear**, funcionan con vapor saturado (no hay sobrecalentamiento).

7.2 CENTRALES HIDRÁULICAS Y EÓLICAS



Las centrales hidráulicas son las de mayor rendimiento de todas las centrales (no están sujetas a un ciclo termodinámico).

Las centrales eólicas tienen rendimiento superior al de las centrales térmicas pero inferior al de las centrales hidráulicas.

8

CONTAMINACIÓN DE LA ATMÓSFERA DE LA TIERRA

**Extracto del capítulo 4 del tomo 2 del libro
Mecánica de Fluidos del Ing. A. B. Domínguez**

8.1 LA ATMÓSFERA TERRESTRE

Se denomina *atmósfera* a la envoltura gaseosa que rodea a la Tierra y a otros planetas de nuestro Sistema Solar.

La Tierra es el único planeta del Sistema Solar que tiene una atmósfera capaz de sustentar las formas conocidas de vida.

La atmósfera terrestre protege las distintas formas de vida existentes en la Tierra: absorbe la radiación solar ultravioleta, reduce las diferencias de temperatura entre el día y la noche y actúa como escudo protector contra los meteoritos.

8.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA

Cerca de la superficie de la Tierra la atmósfera tiene una composición química bien definida, cuyas proporciones volumétricas porcentuales se indican en el cuadro siguiente

COMPONENTE ATMOSFÉRICO	SÍMBOLO QUÍMICO	PROPORCIÓN VOLUMÉTRICA
Nitrógeno molecular	N	78,1%
Oxígeno molecular	O ₂	20,94%
Argón	A	0,93%
Dióxido de Carbono	CO ₂	≈ 0,035 (variable)
Vapor de agua	H ₂ O	pequeña cantidad
Neón	Ne	0,00182%
Helio	He	0,000524%
Criptón	Cr	0,000114%
Hidrógeno	H	0,00005%
Ozono	O ₃	0,00116%

La atmósfera de la Tierra también contiene:

- Trazas de metano, amoníaco, óxido nitroso, sulfato de hidrógeno, xenón y varios otros gases.
- Partículas sólidas y líquidas en suspensión.

El **nitrógeno** es un gas inerte que combinado con otros elementos, es un ingrediente clave en las proteínas de los animales y de las plantas.

El **oxígeno** es el gas más esencial para la vida. La provisión de oxígeno a la atmósfera ha sido relativamente constante durante los últimos siglos, pero se cree que su presencia depende de la actividad de organismos vivos. La vegetación verde (a través de la fotosíntesis y de microorganismos fotosintéticos) generó el nivel actual de oxígeno en la atmósfera; y la fotosíntesis y los microorganismos fotosintéticos son los responsables de que esta provisión continúe.

El **dióxido de carbono** y el **agua** también **son esenciales para la vida** a pesar de su pequeña proporción.

8.3 EXTENSIÓN

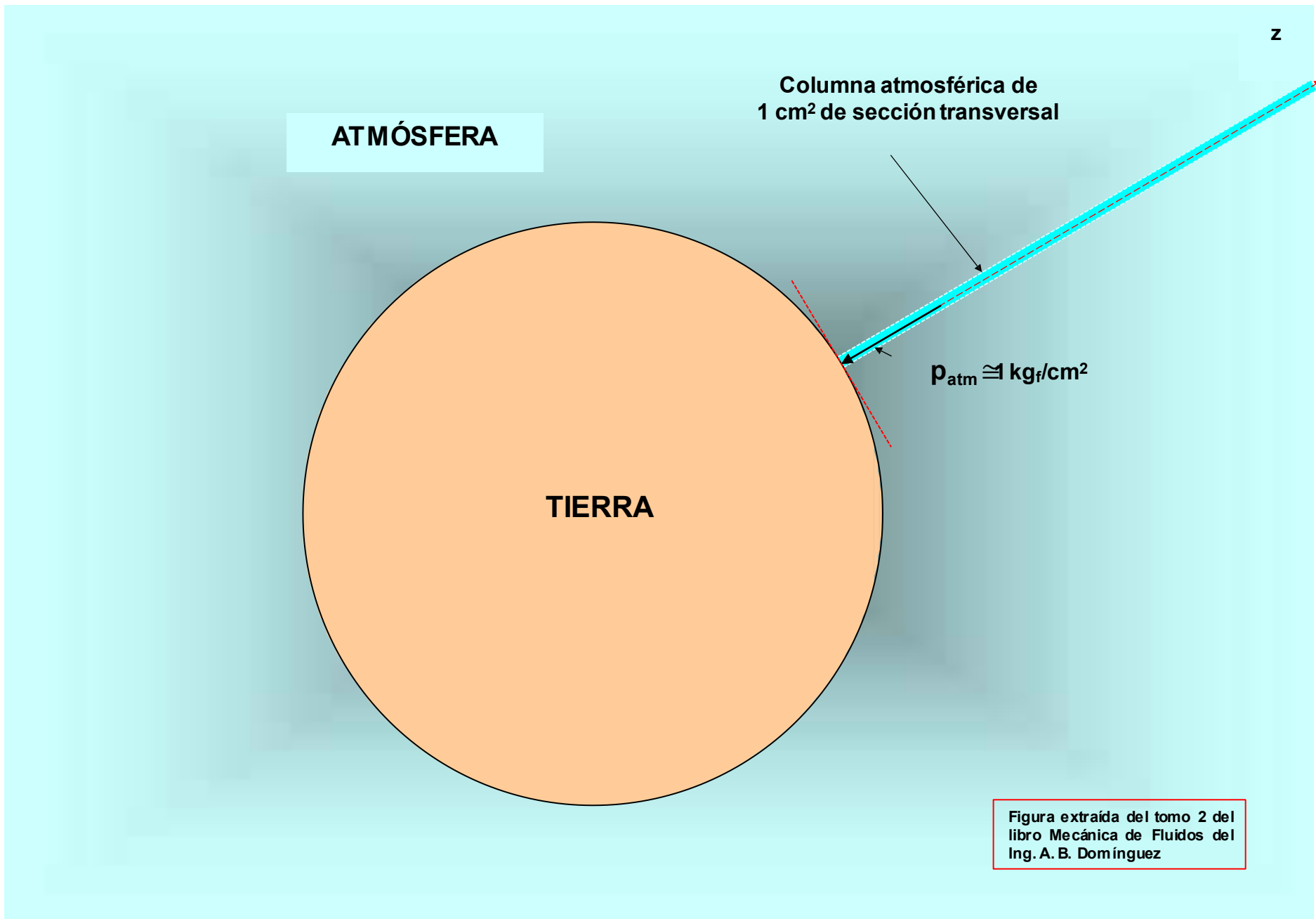
La atmósfera se extiende por encima de la superficie de la Tierra hasta una distancia de muchos miles de kilómetros, pero:

- el 95% de su masa total se encuentra dentro de una capa de unos 17 km de espesor;
- el 75% de ella se encuentra dentro de los primeros 11 km medidos desde la superficie terrestre.

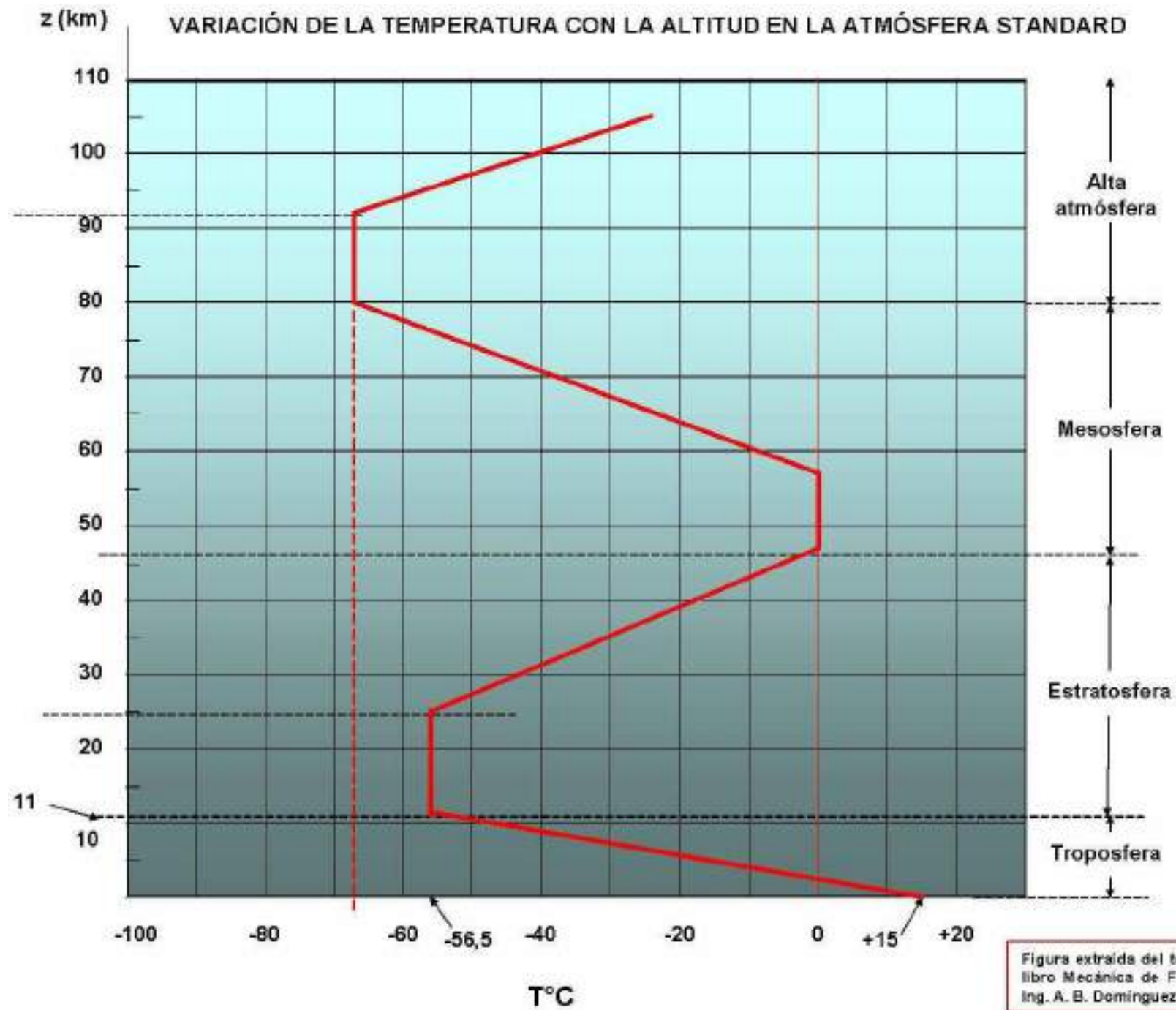
La masa específica del aire atmosférico en la superficie de la Tierra es es:

$$\rho_0 = 1,225 \text{ kg}_m/\text{m}^3$$

Este valor decrece rápidamente con la altitud z .



PESO DE LA COLUMNA ATMOSFÉRICA POR UNIDAD DE ÁREA SOBRE LA SUPERFICIE DE LA TIERRA



8.4 CAPAS Y DIVISIONES

Sobre la base de la distribución de temperaturas en la dirección vertical, la atmósfera terrestre ha sido dividida en cinco capas o regiones:

Troposfera
Estratosfera
Mesosfera
Termosfera
Exosfera

Estas capas son más gruesas en el ecuador y más delgadas en los polos. En ellas, la masa específica ρ , la presión p , la temperatura T y todas las propiedades termodinámicas varían con la altitud, la latitud y el tiempo.

La *troposfera* es el estrato cuyo borde inferior está en contacto con la superficie de la Tierra. Se extiende hasta una altura de 6 a 8 km en los polos y unos 17,7 km en el ecuador. En la troposfera la temperatura decrece con la altitud. Es dentro de la troposfera donde se sostiene la vida. Es también donde se producen grandes variaciones estacionales de la temperatura, donde se producen los cambios climáticos y donde existe el vapor de agua y por ende donde se producen las tormentas y precipitaciones.

La *estratosfera* es la capa contigua a la troposfera. Se extiende hasta una altitud de unos 50 km sobre la superficie de la Tierra. En la estratosfera la temperatura primero se mantiene constante y luego aumenta con la altitud. Dentro de ella se encuentra la *capa de ozono* (O_3 , una forma de oxígeno) que bloquea las radiaciones solares de menor longitud de onda y, en consecuencia, protege la vida en la superficie de la Tierra de los efectos dañinos de la luz ultravioleta.

Nota: La *troposfera* y la *estratosfera* tienen sistemas de circulación distintos.

- En la troposfera predominan las corrientes verticales
- En la estratosfera prevalecen los movimientos horizontales.

La *mesosfera* es la capa contigua a la estratosfera. Se extiende hasta una altitud de 80 a 85 km. Se caracteriza por un rápido descenso de la temperatura con la altitud. De igual manera que la troposfera, esta capa está sujeta a fuertes variaciones estacionales de la temperatura a grandes altitudes.

La *termosfera* es la capa contigua a la mesosfera. Se extiende hasta una altitud de 500 km. En ella la temperatura se eleva rápidamente con la altura, alcanzando un valor máximo de más de 1.000 °C a unos 400 km de altitud.

La *exosfera* es el estrato siguiente a la termosfera y es el más alejado de la superficie de la Tierra. Se extiende hasta una altitud de 1.500 a 2.000 km. En esta capa la masa específica del aire es tan baja que raramente se producen colisiones entre moléculas. Los átomos livianos, como los de Hidrógeno y Helio, pueden adquirir suficiente velocidad como para escapar de la atracción gravitatoria de la Tierra.

Las cuatro divisiones entre las cinco capas de la atmósfera se denominan respectivamente:

- ***tropopausa***
- ***estratopausa***
- ***mesopausa***
- ***termopausa***

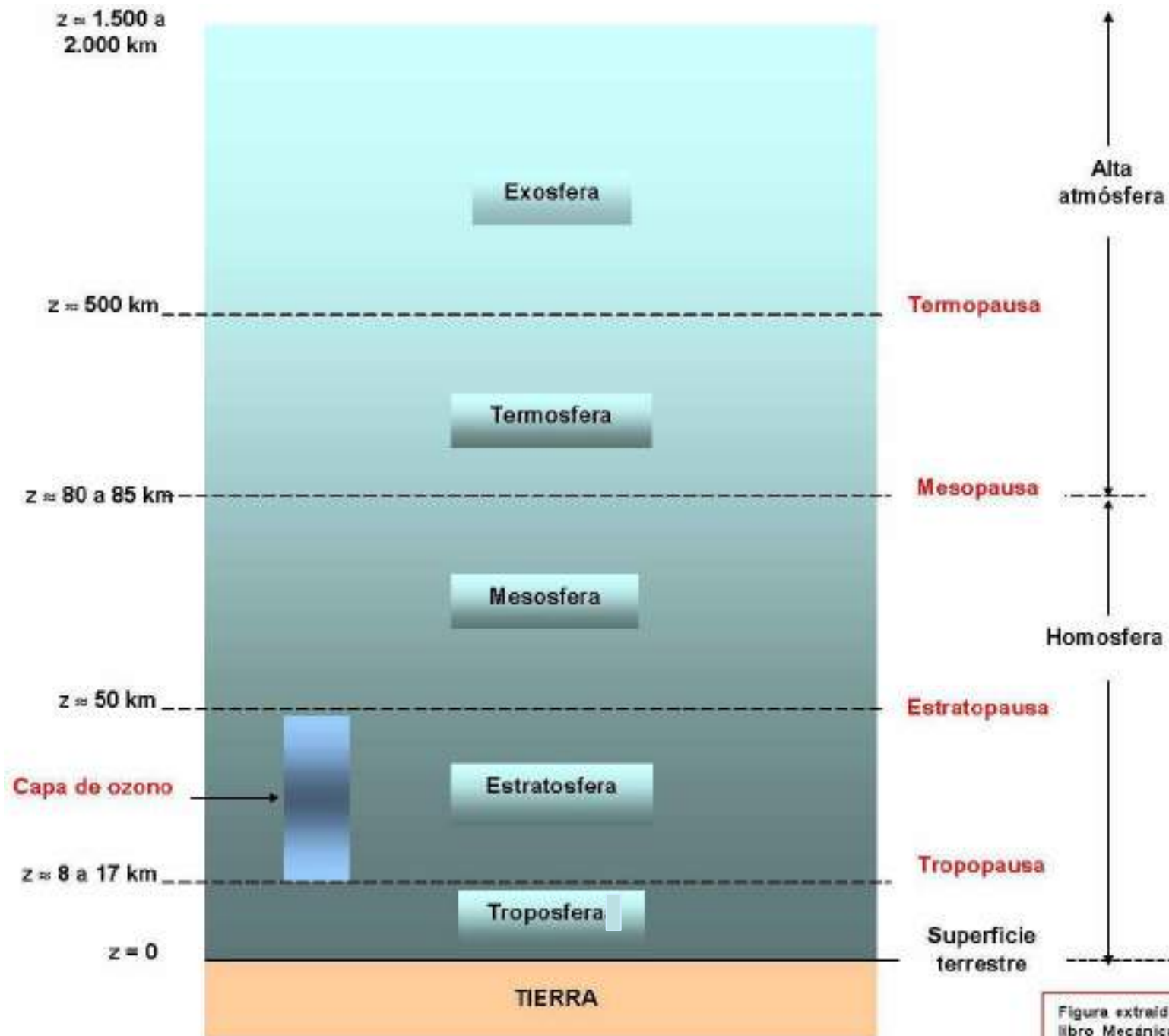


Figura extraída del tomo 2 del libro Mecánica de Fluidos del Ing. A. B. Domínguez

HOMOSFERA

La *troposfera*, la *estratosfera* y la *mesosfera* forman la denominada *homosfera*. En la *homosfera* prevalece la mezcla de *nitrógeno molecular* y *oxígeno molecular*.

ESTRATOSFERA

En la *estratosfera* la *radiación solar ultravioleta* ocasiona la disociación de cierta parte del *oxígeno molecular* (O_2) en *oxígeno atómico* (O). Éste se combina entonces con el *oxígeno molecular* y ambos forman *ozono* (O_3).

La *Capa de Ozono* (descubierta en 1985) es una concentración relativamente alta de ozono en la *estratósfera* que ayuda a evitar que buena parte de la *radiación solar ultravioleta de menor longitud de onda* alcance la superficie de la Tierra. La *capa de ozono protege a la Tierra de los rayos uv enviados por el Sol*. Esta *radiación es perjudicial para la vida vegetal y animal*.

Las *erupciones volcánicas y los manantiales de agua caliente* (ver a), continuamente incorporan *gases volátiles* a la atmósfera.

Mucho más significativo que este aporte natural es el producido por las *actividades industriales, en especial los gases resultantes de la combustión de combustibles fósiles* (petróleo y sus derivados, gas natural y carbón). Estos procesos agregan a la atmósfera una cantidad de gases nocivos, como el *monóxido de carbono* (CO), el *cloruro de hidrógeno* (ver b), el *dióxido de azufre* y el *óxido de nitrógeno* (ver c).

Estos dos últimos gases tienen un rol preponderante en la formación de la *lluvia ácida*, que se ha constituido en un problema mayor que afecta el medio ambiente. La combustión de combustibles fósiles también libera grandes cantidades de *dióxido de carbono* (CO_2) a la atmósfera. Esto puede afectar el balance en la Tierra produciendo lo que se ha denominado *efecto invernadero* (green house effect).

IONOSFERA

La mayor parte de la atmósfera está compuesta por **átomos y moléculas eléctricamente neutros**. No obstante, a grandes altitudes, una fracción significativa de los átomos y moléculas están cargados eléctricamente debido a la **fotoionización**.

Esta región, denominada **ionosfera**, comienza cerca de la superficie más alejada de la estratosfera y se extiende esencialmente a través de la mesosfera y la termosfera, pero es más característica y distinta a altitudes algo más allá de los 80 km.

MAGNETOSFERA

Otra región de la atmósfera, la **magnetosfera**, está caracterizada por otros parámetros diferentes del gradiente de temperatura.

Ésta es una vasta región en la cual **las partículas cargadas eléctricamente tienen energías superiores a las que corresponden a las velocidades térmicas, y se mueven a lo largo de las líneas de flujo del campo magnético terrestre.**

a7	Manantial o fuente (<i>spring</i> en idioma inglés): Punto donde el agua del subsuelo brota o surge a la superficie de la Tierra. Es el lugar donde un acuífero se encuentra con la superficie del suelo. Manantiales o fuentes de agua caliente (<i>hot springs</i> en idioma inglés): Son los puntos o lugares en los que el agua subterránea calentada por un proceso geotérmico aflora a la superficie de la Tierra,
b	Cloruro de Hidrógeno (ClH): Este compuesto es un gas incoloro a temperatura ambiente; en contacto con la humedad atmosférica forma vapores de ácido clorhídrico.
c	Óxido de Nitrógeno: Esta denominación se refiere tanto a cualquier compuesto binario de oxígeno y nitrógeno como a una mezcla de ambos componentes, óxidos mono nitrogenados (monóxido de nitrógeno NO) y (dióxido de nitrógeno NO₂), óxido nitroso (N₂O), trióxido trióxido dinitrogenado (N₂O₃), tetraóxido dinitrogenado (N₂O₄), pentóxido dinitrogenado (N₂O₅), siendo los tres últimos inestables. NO_x es un término genérico utilizado para designar los óxidos mono nitrogenados NO y NO₂. Estos son producidos durante la combustión, especialmente en la combustión a altas temperaturas. A temperatura ambiente, el oxígeno y el nitrógeno del aire no reaccionan entre si. En los motores de combustión interna, la combustión de la mezcla de aire y combustible se realiza a temperaturas suficientemente altas como para generar en la llama reacciones endotérmicas entre el nitrógeno atmosférico y el oxígeno, que a su vez producen varios óxidos de nitrógeno. En zonas de alta densidad de tráfico de vehículos automotores, como sucede en las grandes ciudades, las cantidades de óxidos de nitrógeno emitidas a la atmósfera pueden ser muy significativas. Cuando los NO_x y los componentes orgánicos volátiles reaccionan en presencia de la luz solar, especialmente en verano, generan una forma de polución del aire conocida como smog fotoquímico. Los niños, las personas con problemas pulmonares tales como el asma, las personas que trabajan o que realizan ejercicios al aire libre, son susceptibles a los efectos adversos del smog, tales como daños en el tejido pulmonar y reducción de las funciones pulmonares. En ciertas condiciones, cuando el monóxido de nitrógeno se disuelve en la humedad de la atmósfera, produce ácido nítrico, que es un componente de la lluvia ácida.

8.5 RADIACIÓN ULTRAVIOLETA, SMOG, LLUVIA ÁCIDA Y EFECTO INVERNADERO.

8.5.1 RADIACIÓN ULTRAVIOLETA O RADIACIÓN UV

Es la radiación electromagnética cuya longitud de onda está comprendida aproximadamente entre los 400 nm (4×10^{-7} m) y los 15 nm ($1,5 \times 10^{-8}$ m).

Su nombre proviene de que su rango empieza desde longitudes de onda más cortas de lo que los humanos identificamos como el color violeta, pero dicha luz o longitud de onda, es invisible al ojo humano al estar por encima del espectro visible. Esta radiación es parte integrante de los rayos solares y produce varios efectos en la salud al ser una radiación entre no-ionizante e ionizante.

Según su longitud de onda, se distinguen varios subtipos de rayos ultravioleta

Nombre	Abreviatura	Longitud de onda (nm)	Energía por fotón (eV)
Ultravioleta A (onda larga)	UVA	400 – 315	3,10 – 3,94
Ultravioleta B (onda media)	UVB	315 – 280	3,94 – 4,43
Ultravioleta C (onda corta)	UVC	280 – 100	4,43 – 12,40
Ultravioleta cercano (<i>near</i>)	NUV	400 – 300	3,10 – 4,13
Ultravioleta medio (<i>middle</i>)	MUV	300 – 200	4,13 – 6,20
Ultravioleta lejano (<i>far</i>)	FUV	200 – 122	6,20 – 10,16
Línea Lyman-alpha	H Lyman- α / Ly- α	122 – 121	10,16 – 10,25
Ultravioleta de vacío	VUV	200 – 10	6,20 – 124
Ultravioleta extremo	EUV	121 – 10	10,25 – 124

8.5.2 SMOG

SMOG: Es una adaptación fonética del acrónimo *smog*, que deriva de las palabras inglesas *smoke* ('humo') y *fog* ('niebla'), también conocido como "niebla contaminante".

El SMOG es una forma de contaminación originada a partir de la combinación del aire con contaminantes durante un largo período de altas presiones (anticiclón), que provoca el estancamiento del aire y, por lo tanto, la permanencia de ellos en la troposfera y a veces, en la estratosfera, debido a su mayor densidad.

Existen dos tipos de esmog:

SMOG INDUSTRIAL

SMOG FOTOQUÍMICO

SMOG INDUSTRIAL o GRIS

Se produce cuando el hollín del humo y el dióxido de azufre, producidos por combustión de carbón, se funden con la niebla creando una neblina contaminante y espesa de color marrón amarillento a nivel del suelo.

A finales de 1952 y comienzos de 1953 en Londres se produjo una grave contaminación por este tipo de *smog* en la cual murieron varios miles de personas. La concentración de contaminantes aumentó debido a la presencia de bruma estancada. Hay distintos contaminantes que pudieron provocar efectos tan adversos: dióxido de azufre (SO₂), pequeñas gotas de ácido sulfúrico (H₂SO₄) o partículas de sulfato.

Actualmente en las ciudades de países occidentales este tipo de *smog* no es importante, aunque sí el *smog* fotoquímico.

En países que siguen empleando carbón como fuente de energía, en algunos casos con altos contenidos en azufre, el problema es bastante importante.

SMOG FOTOQUÍMICO

Se dio por primera vez en Los Ángeles en 1943, cuando la combinación de óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles procedentes del escape de los vehículos reaccionaban, catalizados por la radiación solar, para formar ozono y nitrato de peroxiacilo. Al mismo tiempo se oscurecía la atmósfera, tiñendo sus capas bajas de un color pardo rojizo y cargándola de componentes dañinos para todos los seres vivos y diversos materiales.

El smog fotoquímico puede provocar enfermedades respiratorias como rinitis, bronquitis, asma, etc.

El smog fotoquímico reduce la visibilidad, irritando los ojos y el aparato respiratorio.

En zonas muy pobladas, el índice de mortalidad suele aumentar durante estos periodos, sobre todo cuando la inversión térmica crea sobre la ciudad una cubierta (la llamada *boina*) que impide su disipación. Éste se produce con más frecuencia en ciudades con costa o cercanas a ella, o en ciudades situadas en valles amplios, con zonas arbóreas abundantes.

Su mayor incidencia se produce en las horas centrales del día, cuando la radiación solar es mayor, acelerando la producción de los contaminantes secundarios.

Se ve favorecido por situaciones anticiclónicas, fuerte insolación y vientos débiles que dificultan la dispersión de los contaminantes.

8.5.3 LLUVIA ÁCIDA



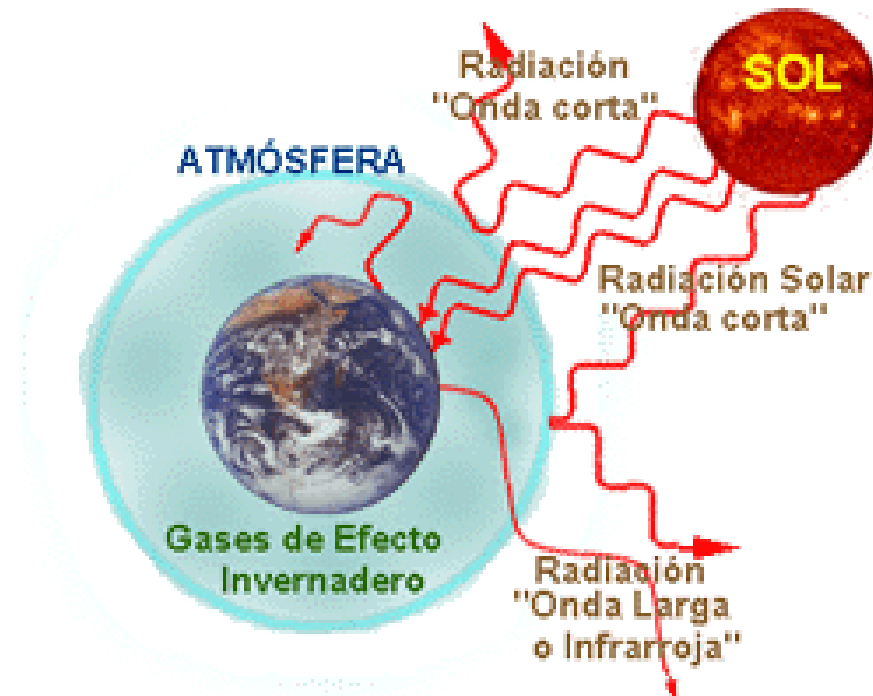
8.5.4 EFECTO INVERNADERO

El efecto invernadero es un fenómeno natural que ha desarrollado nuestro planeta para permitir que exista la vida y se llama así precisamente porque la Tierra funciona como un verdadero invernadero.

El planeta está cubierto por una capa de gases llamada atmósfera. Esta capa permite la entrada de algunos rayos solares que calientan la Tierra.

Ésta, al calentarse, también emite calor pero esta vez la atmósfera impide que se escape todo hacia el espacio y lo devuelve a la superficie terrestre.

Este mecanismo (que no es nada simple) permite que el planeta tenga una temperatura aceptable para el desarrollo de la vida tal como la conocemos.





Fuente: UNEP -GRID-Arendal.

8.5.5 CALENTAMIENTO GLOBAL

El CO₂ y otros contaminantes del aire se acumulan en la atmósfera formando una capa cada vez más gruesa, atrapando el calor del sol y causando el calentamiento del planeta.

La principal fuente de contaminación por la emisión de CO₂ son las plantas de generación de energía a base de carbón, pues emiten 2,500 millones de toneladas al año.

La segunda causa principal, son los automóviles, emiten casi 1,500 millones de toneladas de CO₂ al año. Tomar estas medidas y además reducir el consumo eléctrico mediante el uso eficiente de energía pueden ayudar a corregir el problema y prevenir el continuo deterioro.

El calentamiento global es un fenómeno complejo y sus impactos a gran escala son difíciles de predecir con certeza. Sin embargo, cada año los científicos tienen más información sobre la forma en que el calentamiento global está afectando al planeta y muchos de ellos concuerdan en que es probable que algunas consecuencias ocurran si continúan las tendencias actuales; entre otras:

El derretimiento de glaciares, el derretimiento temprano de la nieve y las sequías severas causarán mayor escasez de agua en el Oeste de los Estados Unidos.

El aumento en los niveles del mar producirá inundaciones costeras en el litoral del Este, en Florida y en otras áreas como el Golfo de México.

Los bosques, las granjas y las ciudades enfrentarán nuevas plagas problemáticas y más enfermedades transmitidas por mosquitos.

El trastorno de habitats como los arrecifes de coral y las praderas alpinas podrían llevar a la extinción muchas especies vegetales y animales.

Es muy importante reducir la contaminación producida por los vehículos y las plantas generadoras de energía.

Es urgente generalizar de inmediato el uso de las tecnologías existentes para fabricar automóviles más limpios y generadores de energía eléctrica más modernos.

Podemos empezar a usar fuentes renovables de energía como la eólica, la solar y la geotérmica.

Además, podemos fabricar equipos más eficientes y conservar energía.

8.6 INCIDENCIA DE LAS CENTRALES TÉRMICAS SOBRE EL MEDIO AMBIENTE

8.6.1 CENTRALES TÉRMICAS DE COMBUSTIBLE FÓSIL

La incidencia de este tipo de centrales sobre el medio ambiente se produce por:

- **Emisión a la atmósfera de residuos** procedentes de la combustión del combustible.
- **Calentamiento de las aguas de los ríos debido a la utilización de estas aguas para la refrigeración en circuito abierto.**

8.6.2 CENTRALES TÉRMICAS DE COMBUSTIBLE NUCLEAR

La incidencia de este tipo de centrales sobre el medio ambiente se produce por:

- **Calentamiento de las aguas de los ríos debido a la utilización de estas aguas para la refrigeración en circuito abierto.**
- **Accidentes nucleares (ver capítulo 9).**

Para evitar que el funcionamiento de las centrales termoeléctricas (de combustible fósil y de combustible nuclear) pueda dañar el entorno natural, estas plantas llevan incorporados varios sistemas adicionales.

REDUCCIÓN DE LA EMISIÓN DE RESIDUOS A LA ATMÓSFERA.

Es prácticamente despreciable en el caso de las centrales termoeléctricas de gas y escasa en el caso de las de fuel-oil, pero exige la adopción de importantes medidas en las de carbón.

La combustión del carbón provoca la emisión al medio ambiente de partículas y ácidos de azufre.

Para impedir que estas emisiones puedan perjudicar al medio ambiente, estas centrales tienen **chimeneas de gran altura** (algunas de más de 300 metros de altura) que dispersan las partículas en la atmósfera, minimizando su influencia.

Tienen también **filtros electrostáticos o precipitadores** que retienen buena parte de las partículas volátiles en el interior de la central.

En las centrales de fuel-oil, la emisión de partículas sólidas es muy inferior, y puede ser considerada insignificante y sólo cabe tener en cuenta la emisión de:

- **hollines ácidos**, neutralizados mediante la adición de **neutralizantes de la acidez**.
- **óxidos de azufre**, minimizada por medio de diversos **sistemas de purificación**.

REDUCCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN TÉRMICA.

El calor afecta gravemente a la vida acuática que lo recibe ya que disminuye la solubilidad del oxígeno en el agua, provocando que los organismos que viven en esas aguas respiren más rápidamente o en el peor de los casos mueran por la escasez de oxígeno en el agua. También torna mas vulnerable a enfermedades a los organismos acuáticos.

El agua que utiliza la central, tras ser convertida en vapor y empleada para hacer girar la turbina, es enfriada en los condensadores para volver posteriormente a los conductos de la caldera o del generador de vapor.

Para efectuar la refrigeración se emplean las aguas de algún río o de algún lago próximo o del mar, a las cuales se transmite el calor contenido en el agua de la central que pasa por los **“condensadores”**.

Si el caudal de agua de refrigeración para el condensador es pequeño, las centrales termoeléctricas, ya sean de combustible fósil o de combustible nuclear, utilizan sistemas de refrigeración en circuito cerrado mediante **“torres de enfriamiento”**.

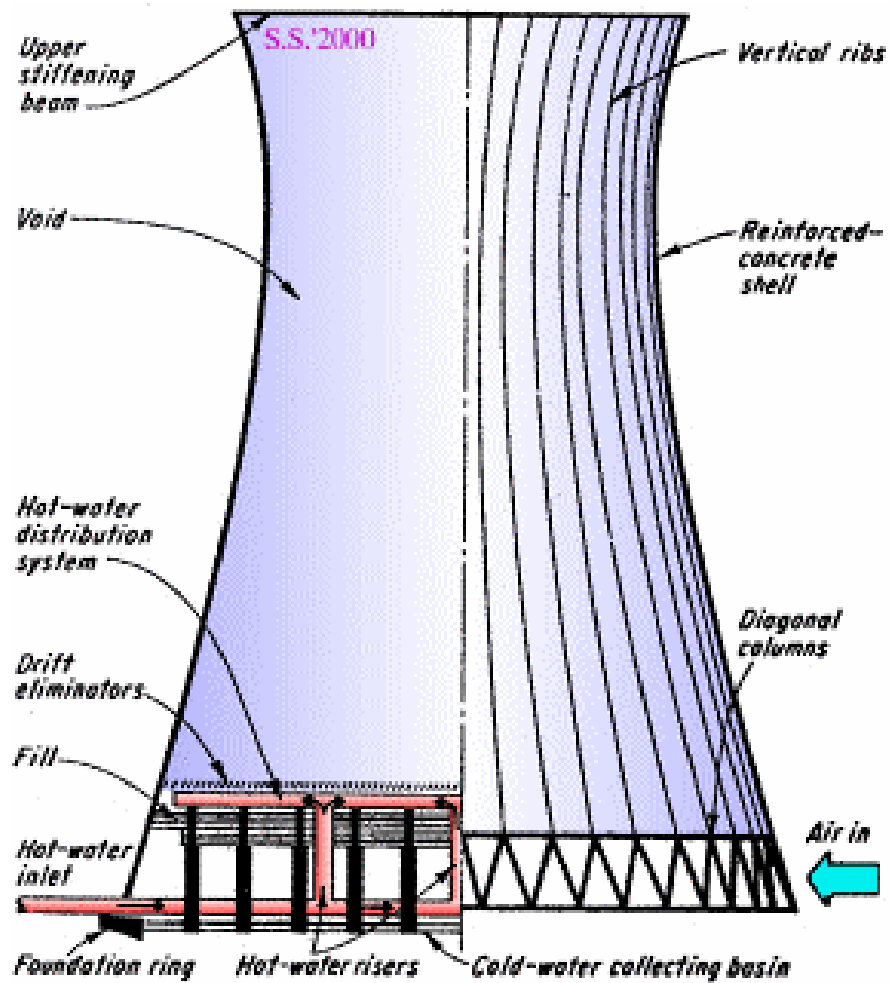
En este último caso, el agua caliente que proviene de los condensadores entra en la torre de enfriamiento a una altura determinada.

En la torre se produce un tiraje natural ascendente de aire frío.

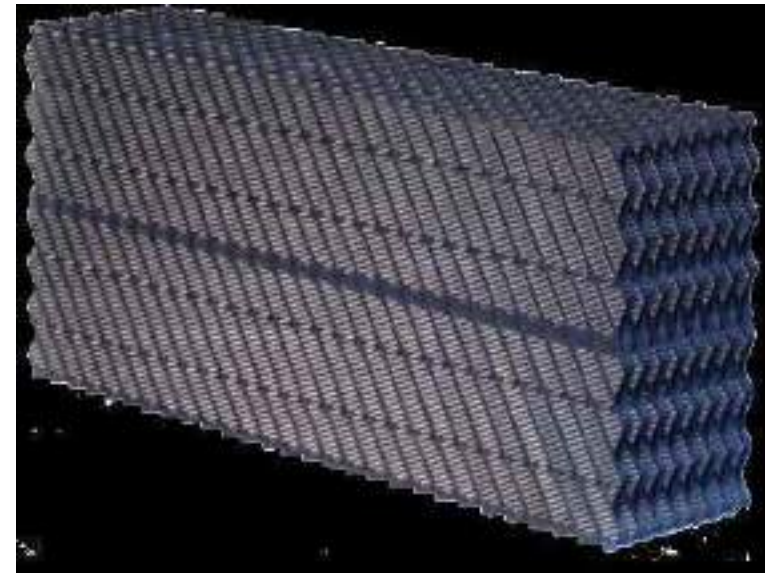
El agua, al entrar en la torre, cae por su propio peso y se encuentra en su caída con un relleno consistente en una serie de rejillas dispuestas de modo que la pulverizan y la convierten en una lluvia muy fina.

Al encontrar en su caída la corriente de aire frío que asciende por la torre, las gotas de agua le transfieren su calor.

El agua así enfriada vuelve a los condensadores por medio de un circuito cerrado.



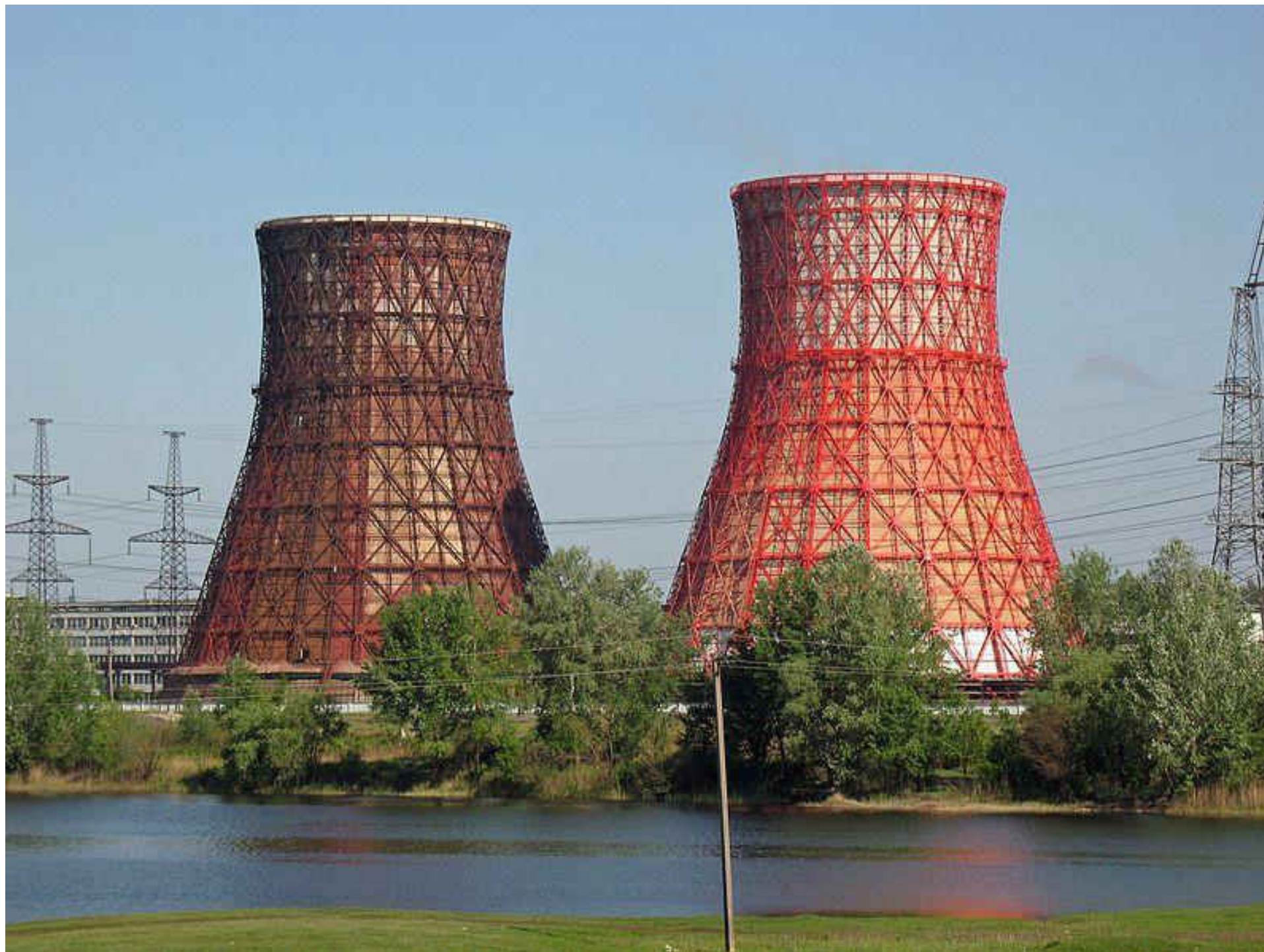
**TORRE HIPERBÓLICA DE ENFRIAMIENTO
DE TIRO NATURAL**



RELLENO



PILETA DE AGUA ENFRIADA



9

LOS ACCIDENTES NUCLEARES

9. 1 ESCALA INTERNACIONAL DE EVENTOS NUCLEARES



La Escala Internacional de Eventos Nucleares (más conocida por sus siglas en inglés, INES -*International Nuclear Event Scale*-) fue introducida por la OIEA para permitir la comunicación sin falta de información importante de seguridad en caso de accidentes nucleares y facilitar el conocimiento de los medios de comunicación y la población de su importancia en materia de seguridad.

La escala pretende ser una escala logarítmica, similar a la escala de magnitud de momento que se utiliza para describir la magnitud comparativa de los terremotos.

Cada nivel representa el aumento de un accidente aproximadamente diez veces más grave que el nivel anterior.

En comparación con los terremotos, donde la intensidad del evento puede ser evaluada cuantitativamente, el nivel de gravedad de un desastre producido por el hombre, como un accidente nuclear, está más sujeto a interpretación.

Debido a la dificultad de interpretación, el nivel INES de un incidente se asigna después de que ocurra el incidente.

Por lo tanto, la escala tiene una capacidad muy limitada para ayudar en el despliegue de la ayuda por desastres.

Se ha definido un número de criterios e indicadores para asegurar la información coherente de acontecimientos nucleares por autoridades oficiales diferentes.

Hay 7 niveles en la escala, de los cuales los 3 primeros son incidentes sin consecuencias en el exterior de la planta, y los otros 4 son accidentes.

9.2 NIVELES DE GRAVEDAD

Hay definidos una serie de criterios e indicadores para asegurar una información coherente de acontecimientos nucleares por parte de diferentes autoridades oficiales.

Hay siete niveles distintos de cero en la escala INES: Los sucesos de nivel inferior (1 a 3), sin consecuencia significativa sobre la población y el medio ambiente, se califican de incidentes; los superiores (4 a 7), de accidentes. El nivel máximo corresponde a un accidente cuya gravedad es comparable al ocurrido el 26 de abril de 1986 en la central de Chernóbil y al ocurrido el 11 de marzo de 2011 en Fukushima. También hay un nivel 0 para eventos que no tengan incidencia en la seguridad.

Nivel 7 INES: ACCIDENTE MAYOR

Impacto en las personas y el medio ambiente. Se produce una liberación superior de material radiactivo que pone en riesgo la salud general y el medio ambiente y requiere la aplicación de medidas de contraposición.

Accidentes nucleares calificados en el nivel 7- accidente mayor:

1986 - **Accidente de Chernóbil (Unión Soviética)**: Fue un accidente nuclear sucedido en la central nuclear de Chernóbil (Ucrania) el 26 de abril de 1986. Ha sido evaluado en el nivel 7 de la Escala Internacional de Accidentes Nucleares. Se considera uno de los mayores desastres medioambientales de la historia

2011 - **Accidente de Fukushima (Japón)**. Una serie de accidentes que comenzaron el 11 de marzo de 2011. El nivel 7 fue establecido el 11 de abril de 2011 por la Agencia de Seguridad Nuclear del Gobierno de Japón. El nivel fue distinto en cada uno de los 6 reactores: en 3 de ellos fue establecido el nivel 5, en uno el nivel 3 y en el conjunto fue establecido el nivel 7. Se estableció una zona temporal de exclusión de 20 km alrededor de la planta y una zona voluntaria de evacuación de 30 km.

NIVEL 6 INES: ACCIDENTE SERIO

Impacto sobre las personas y el medio ambiente. Se produce la liberación de material radiactivo que requiere una probable aplicación de medidas de contraposición.

Ejemplo: **Desastre de Kyshtym (Unión Soviética)**.

NIVEL 5 INES: ACCIDENTE CON CONSECUENCIAS AMPLIAS

Impacto sobre las personas o el medioambiente. Liberación limitada de material radiactivo que puede requerir la aplicación de medidas de contraposición. Varias muertes por radiación.

Ejemplos: Incendio de Windscale (Reino Unido), accidente radiológico de Goiânia (Brasil).

Daños en los obstáculos radiológicos y el control.

Se producen graves daños al núcleo del reactor y se produce la liberación de material radiactivo en una instalación que genera riesgos de exposición pública que podría derivarse de un accidente crítico o el fuego.

Ejemplo: Accidente de Three Mile Island (Estados Unidos).

NIVEL 4 INES: ACCIDENTE CON CONSECUENCIAS LOCALES

Impacto sobre las personas o el medio ambiente. Liberación menor de material radiactivo que puede requerir, aunque de forma poco probable, la aplicación de medidas de contraposición. Al menos una muerte por radiación.

Ejemplo: Accidente en el reactor experimental SL-1 (Estados Unidos).

Daños en los obstáculos radiológicos y el control. Combustible fundido o dañado y liberación de cantidades significativas de radiación con probabilidad de exposición pública.

Ejemplos: Accidente nuclear del reactor RA-2 (Argentina), Accidentes de Tokaimura (Japón).

NIVEL 3 INES: INCIDENTE GRAVE

Impacto en las personas y el medio ambiente. Exposición de 10 o más veces al límite legal anual para los trabajadores y efectos no letales producidos por la radiación.

Daños en los obstáculos radiológicos y el control. Exposición de más de 1 Sv/h en una zona de trabajo.

Impacto en la defensa en profundidad

Ejemplo: Incidente de la central nuclear de Vandellós (España).

NIVEL 2 INES: INCIDENTE

Impacto en las personas y el medio ambiente. Exposición de un miembro del público a más de 10 mSv y exposición de un trabajador en exceso a los límites legales anuales.

Daños en los obstáculos radiológicos y el control. Nivel de radiación en una zona operativa de más de 50 mSv/h y contaminación significativa dentro de la instalación no preparada en el diseño.

Impacto en la defensa en profundidad.

Ejemplo: **Incidente en la central nuclear de Ascó (España).**

NIVEL 1 INES: ANOMALÍA

Impacto en la defensa en profundidad. Exposición mayor a los límites legales anuales de un miembro del público, problemas menores con elementos y componentes de seguridad con la defensa en profundidad restante y robo o pérdida de una fuente de radiactividad de baja intensidad.

Ejemplo: **Incidente en la central nuclear de Gravelines (Francia).**

NIVEL 0 INES: DESVIACIÓN

Ninguna importancia para la seguridad.

Ejemplo: **Problema en la central nuclear de Atucha, (Argentina): Parada del reactor debido al aumento de tritio en el compartimiento del reactor.**

FUERA DE ESCALA

Cualquier evento que no cumpla con ninguna de las condiciones especificadas en alguno de los distintos niveles INES.

9.3 ACCIDENTE EN LA CENTRAL NUCLEAR DE CHERNÓBIL

Sucedió en la central nuclear Vladímir Ilich Lenin (a 18 km de la ciudad de Chernóbil, actual Ucrania).

Junto con el accidente nuclear de Fukushima I en Japón el 11 de marzo de 2011, son considerados los más graves (nivel 7) en la Escala Internacional de Accidentes Nucleares, y constituye uno de los mayores desastres medioambientales de la historia.

El accidente se produjo durante la noche del 26 al 26 de abril de 1986, durante una prueba, planeada con anterioridad, en la que se simulaba un corte de suministro eléctrico de la red.

Básicamente se estaba experimentando con el reactor para comprobar, en caso de fallo, si las turbinas podían aportar suficiente energía para accionar las bombas de refrigeración, hasta que arrancaran los generadores accionados por los motores diesel de emergencia.

Un aumento súbito de potencia en el reactor 4 produjo el sobrecalentamiento del núcleo, que terminó provocando la explosión del hidrógeno acumulado en su interior.

El 25 de abril, a la una de la madrugada, los ingenieros iniciaron la entrada de las barras de regulación en el núcleo del reactor, refrigerado por agua y moderado por grafito (que pertenece al tipo que los soviéticos llaman RMBK-1000), bajo la dirección de las oficinas centrales de Moscú. La potencia térmica en este caso desciende normalmente de 3.200 a 1.600 MW.

Hacia las 23 horas se habían ajustado los monitores a los niveles más bajos de potencia. Pero el operador se olvidó de reprogramar el ordenador para que se mantuviera la potencia entre 700 MW y 1.000 MW térmicos. Por este motivo, la potencia descendió al nivel, muy peligroso, de 30 MW.

La mayoría de las barras de control fueron extraídas con el fin de aumentar de nuevo la potencia. Sin embargo, en las barras ya se había formado un producto de desintegración, el xenón, que “envenenó” la reacción. En contra de lo que prescriben las normas de seguridad, se extrajeron todas las barras de control.

El día 26 de abril, a la una y tres minutos, esta combinación poco usual de baja potencia y flujo de neutrones intenso, provocó la intervención manual del operador, quien desconectó las señales de alarma.

A la una y 22 minutos, el ordenador indicó un exceso de radioactividad, pero los operadores decidieron finalizar el experimento, desconectando la última señal de alarma en el instante en el que el dispositivo de seguridad se disponía a desconectar el reactor.

Dado que los sistemas de seguridad de la planta quedaron inutilizados y se habían extraído todas las barras de control, el reactor quedó en condiciones de operación inestable y extremadamente insegura.

En ese momento, tuvo lugar un transitorio que ocasionó un brusco incremento de potencia. El combustible nuclear se desintegró y salió de las vainas, entrando en contacto con el agua empleada para refrigerar el núcleo del reactor.

A la una y 23 minutos, se produjo una gran explosión, y unos segundos más tarde, una segunda explosión hizo volar por los aires la losa del reactor y las paredes de hormigón de la sala del reactor, lanzando fragmentos de grafito y combustible nuclear fuera de la central, ascendiendo el polvo radiactivo por la atmósfera.

El comienzo de un incendio, que no se consiguió apagar hasta el 9 de mayo, aumentó los efectos de dispersión de los productos radiactivos, y la energía calorífica acumulada por el grafito dio mayor magnitud al incendio y a la dispersión atmosférica.

Se estima que la cantidad de material radiactivo liberado (dióxido de uranio, carburo de boro, óxido de europio, erbio, aleaciones de circonio y grafito expulsados, materiales radiactivos y/o tóxicos) fue 200 veces superior al de las explosiones atómicas de Hiroshima y Nagasaki en 1945.

Esto causó la muerte de 31 personas y forzó al gobierno de la Unión Soviética a la evacuación de 116.000 personas, provocando una alarma internacional al detectarse radiactividad en al menos 13 países de Europa central y oriental.

De los productos radiactivos liberados eran especialmente peligrosos el yodo-131 (período de semidesintegración es de 8,04 días) y el cesio-137 (período de semidesintegración de unos 30 años), de los cuales, aproximadamente la mitad, salieron de la cantidad contenida en el reactor.

Además, se estimó que todo el gas xenón fue expulsado al exterior del reactor.

Estos productos se depositaron de forma desigual, dependiendo de su volatilidad y de las lluvias durante esos días.

Los más pesados se encontraron en un radio de 110 km, y los más volátiles alcanzaron grandes distancias.

Además del impacto inmediato en Ucrania y Bielorrusia, la contaminación radiactiva alcanzó zonas de la parte europea de la antigua Unión Soviética, y de Estados Unidos y Japón.

En España, el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) detectó pequeñas cantidades de yodo-131 y cesio-137, por debajo de los límites aceptables de dosis de radiación, en las regiones mediterráneas y en las islas Baleares.

Después del accidente se inició un proceso masivo de descontaminación, contención y mitigación en las zonas circundantes al lugar del accidente, en el que actuaron aproximadamente 600.000 personas (denominadas “liquidadores”).

Las consecuencias inmediatas del accidente sobre la salud de las personas fueron las siguientes:

237 personas mostraron síntomas del Síndrome de Irradiación Aguda (SIA), confirmándose el diagnóstico en 134 casos.

31 personas fallecieron durante el accidente, de las cuales, 28 (bomberos y operarios) fueron víctimas de la elevada dosis de radioactividad, y 3 por otras causas.

Después de esta fase aguda, 14 personas más han fallecido en los diez años posteriores al accidente.

Según la Agencia de Energía Atómica (NEA) de la OECD, los rangos de dosis de radiación, recibidos por los distintos grupos, fueron los siguientes:

LIQUIDADORES: Del total de los liquidadores, unos 200.000 recibieron dosis variables desde 15 a 170 milisievert (mSv).

EVACUADOS: Las 116.000 personas evacuadas, la mayor parte de un radio de acción de la central de 30 km, recibieron dosis altas (el 10% más de 50 mSv y el 5% más de 100 mSv), especialmente en el tiroides por incorporación de yodo-131. La zona más evacuada fue Prypiat, a 2 km escasos de la central, convirtiéndose en una “ciudad fantasma” al abandonar la ciudad las 60.000 personas que vivían allí.

HABITANTES DE LAS ÁREAS CONTAMINADAS: Alrededor de 270.000 personas continuaron viviendo en áreas contaminadas, de modo que los niños recibieron altas dosis en tiroides, debido a la ingestión de leche contaminada con yodo-131 durante las primeras semanas después del accidente. Tras el control de los alimentos, durante el período 1986-1989, el rango de dosis de cesio-137 en el suelo fue de 5 a 250 mSv/año, con una media de 40 mSv/año (mSv: milisievert ; ver aclaración en la diapositiva siguiente).

RESTO DE LA POBLACIÓN: Los materiales radiactivos volátiles se extendieron por todo el Hemisferio Norte, aunque las dosis recibidas por la población fueron muy bajas y carecen de importancia desde el punto de vista de la protección radiológica.

Las dosis de radiación, durante el primer año, oscilaron en Europa entre 0,005 y 0,5 mSv, en Asia entre 0,005 y 0,1 mSv, y en el Norte de América fueron del orden de 0,001 mSv.

Ref.: World Nuclear Association – Chernobyl Accident 1986 (*Updated April 2014*):

- Chernobyl Accident – Appendix 1: Sequence of Events.
- Chernobyl Accident – Appendix 2: Health Impacts.
- Chernobyl Accident – Decommissioning Nuclear Facilities.

Sievert (símbolo Sv): Unidad derivada del Sistema Internacional de Unidades (SI) que **mide la dosis de radiación absorbida por la materia viva, corregida por los posibles efectos biológicos producidos.**

1 Sv es equivalente a un Joule/kg (J kg^{-1}).

Esta unidad da un valor numérico con el que se pueden cuantificar los efectos estocásticos producidos por las radiaciones ionizantes.

Se utilizó este nombre en honor al físico sueco Rolf Sievert.

El organismo encargado de las definiciones de todas las unidades de medida utilizadas para las radiaciones ionizantes y la radiactividad es la ICRU (International Commission on Radiation Units and measurements).

Sus recomendaciones son adoptadas por el BIPM (Bureau International des Poids et Mesures) con lo que se incorporan al Sistema Internacional de Unidades.

Su diferencia con el **gray** (unidad de la dosis absorbida) es que el *sievert* está corregido por el daño biológico que producen las radiaciones, mientras que el *gray* mide la energía absorbida por un material.

Se cumple la equivalencia **$1 \text{ Sv} = 1 \text{ Gy}$** para las radiaciones electromagnéticas (rayos X y gamma) y los electrones, pero para otras radiaciones debe utilizarse un factor corrector: 20 para la radiación alfa, de 1 a 20 para neutrones libres.

Esta unidad es utilizada para medir diferentes magnitudes usadas en protección radiológica, como la dosis equivalente, la dosis colectiva, la dosis ambiental o la dosis efectiva entre otras, cada una de ellas corregida o "ponderada" por distintos factores que reflejan distintos aspectos, como la Eficiencia Biológica Relativa (RBE en inglés).

Síntomas en los humanos a causa de la radiación acumulada durante un mismo día (los efectos se reducen si el mismo número de Sieverts se acumula en un periodo más largo):

0 - 0,25 Sv : Ninguno

0,25 - 1 Sv : Algunas personas sienten náuseas y pérdida de apetito, y pueden sufrir daños en la

médula ósea, ganglios linfáticos o en el bazo.

1 - 3 Sv : náuseas entre leves y agudas, pérdida de apetito, infección, pérdida de médula ósea

más severa, así como daños en ganglios linfáticos, bazo, con recuperación solo probable.

3 - 6 Sv : náusea severa, pérdida de apetito, hemorragias, infección, diarrea, descamación, esterilidad, y muerte si no se trata.

6 - 10 Sv : Mismos síntomas, más deterioro del sistema nervioso central. Muerte probable.

Más de 10 Sv : parálisis y muerte.

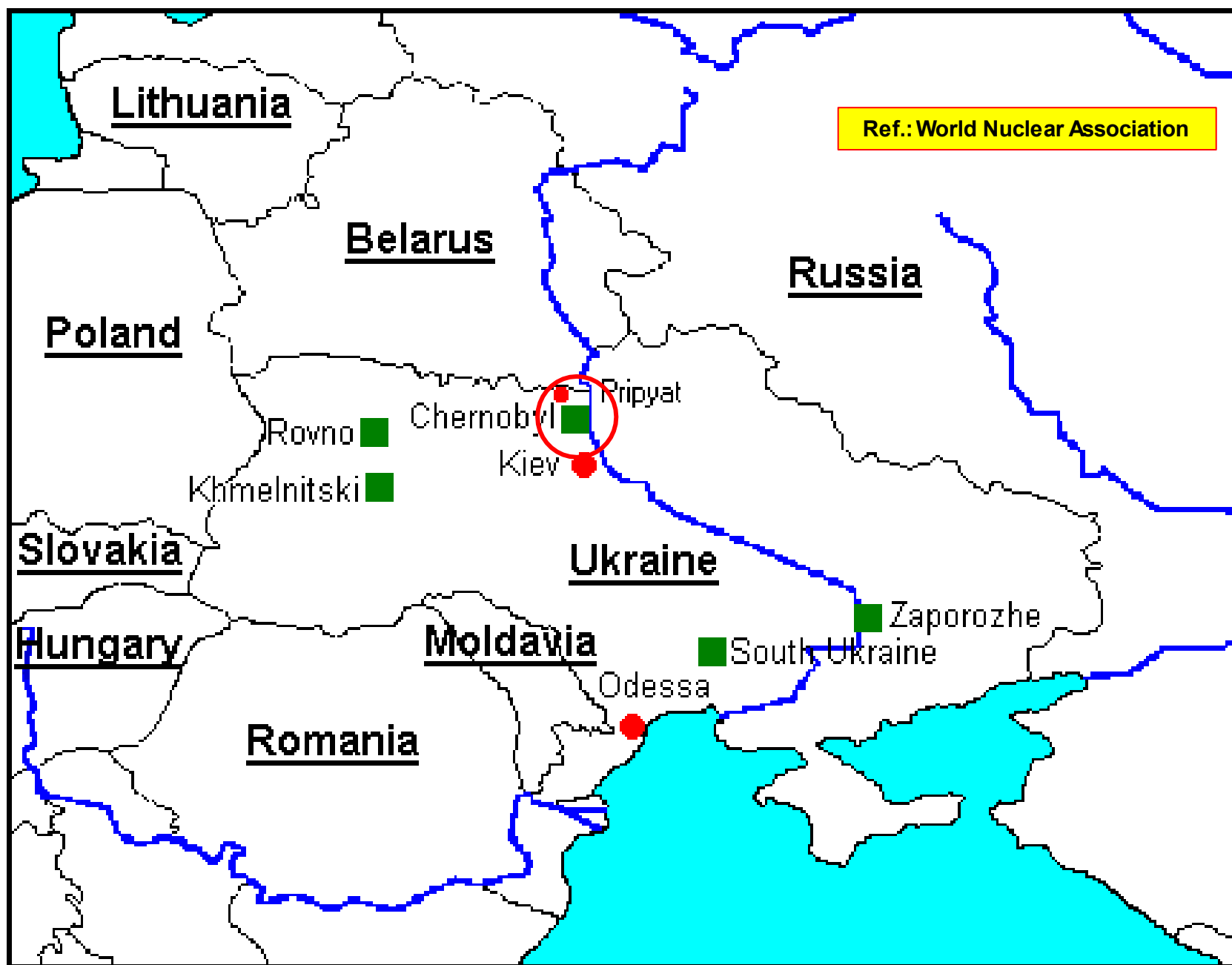
Síntomas en humanos por radiación acumulada durante un año, en milisieverts (1 Sv=1000 mSv):

2.5 mSv : Radiación media anual global.

5.5 - 10.2 mSv : Valores naturales medios en Guarapari (Brasil) y en Ramsar (Iran). Sin efectos nocivos.

6.9 mSv : Escáner CT o TAC.

50 - 250 mSv : Límite para trabajadores de prevención y emergencia, respectivamente.

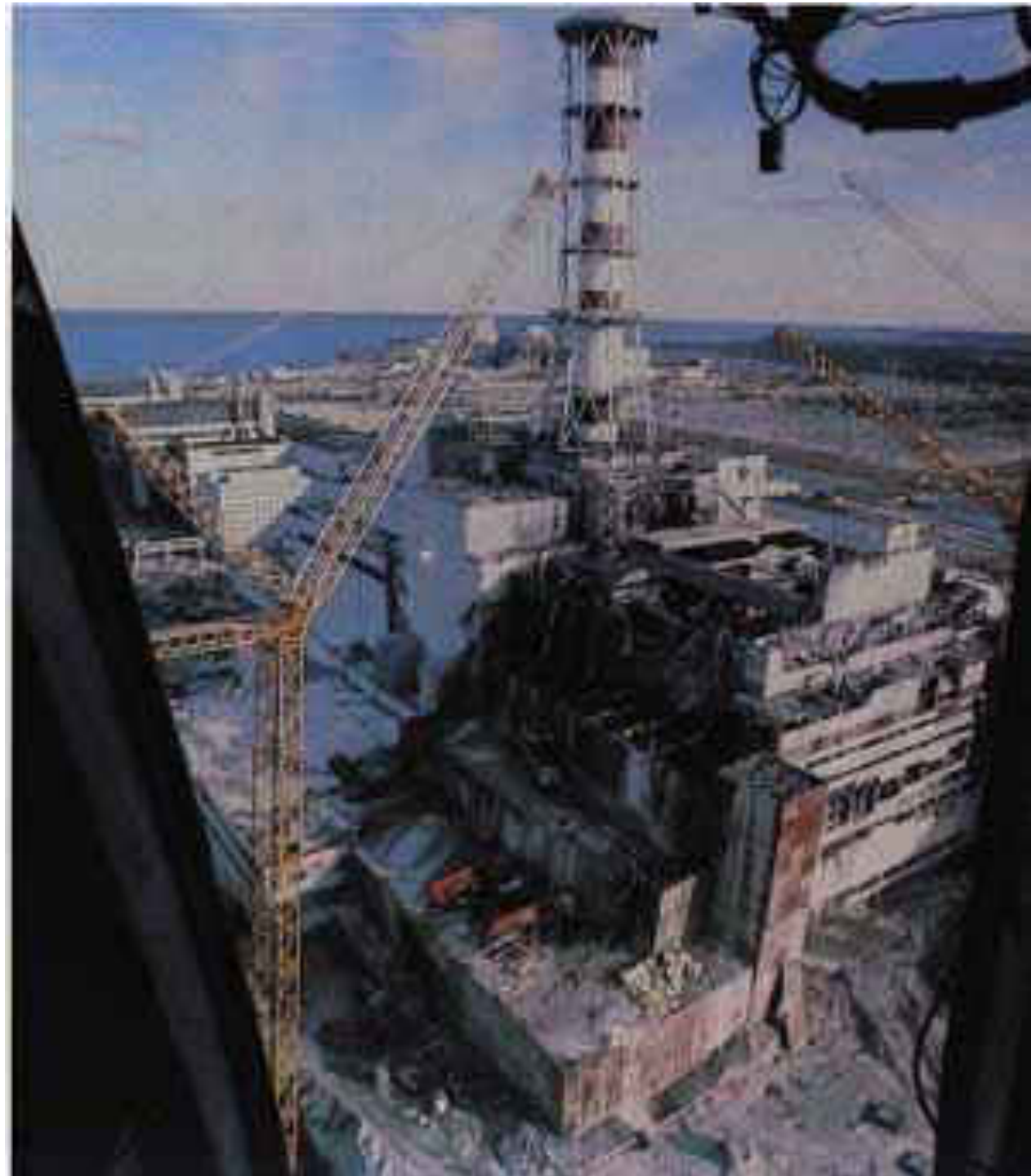


MAPA DE UCRANIA

PAÍSES LÍMITROFES: BIELORRUSIA(ex Rusia Blanca), RUSIA, MOLDAVIA Y RUMANIA

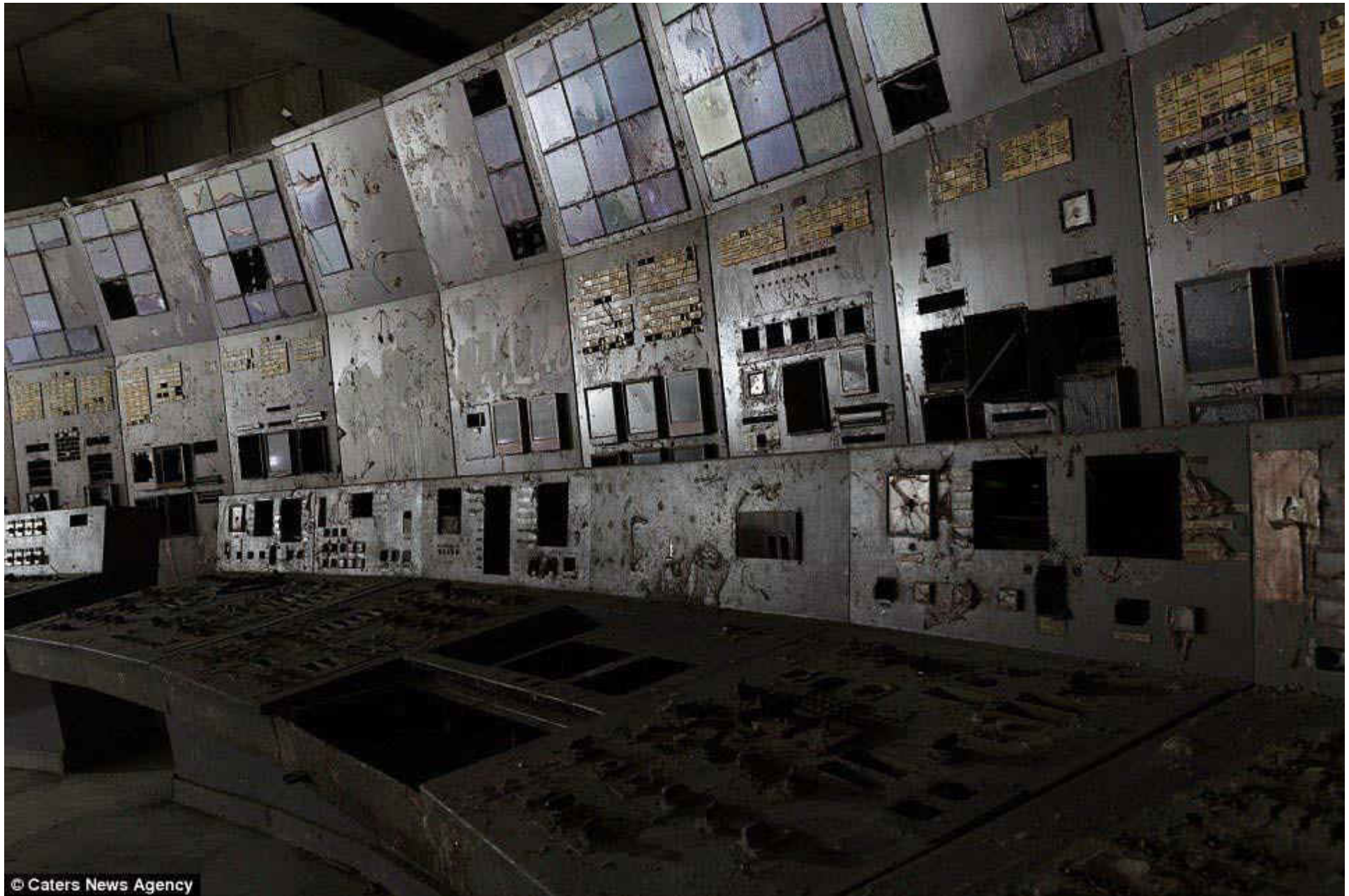
**EFFECTOS DE LA EXPLOSIÓN
EN EL REACTOR N° 4
26 de abril de 1986**

El reactor soviético tipo RBMK-1000, es refrigerado por agua y moderado por grafito.





EFFECTOS DE LA EXPLOSIÓN EN EL REACTOR N° 4
26 de abril de 1986



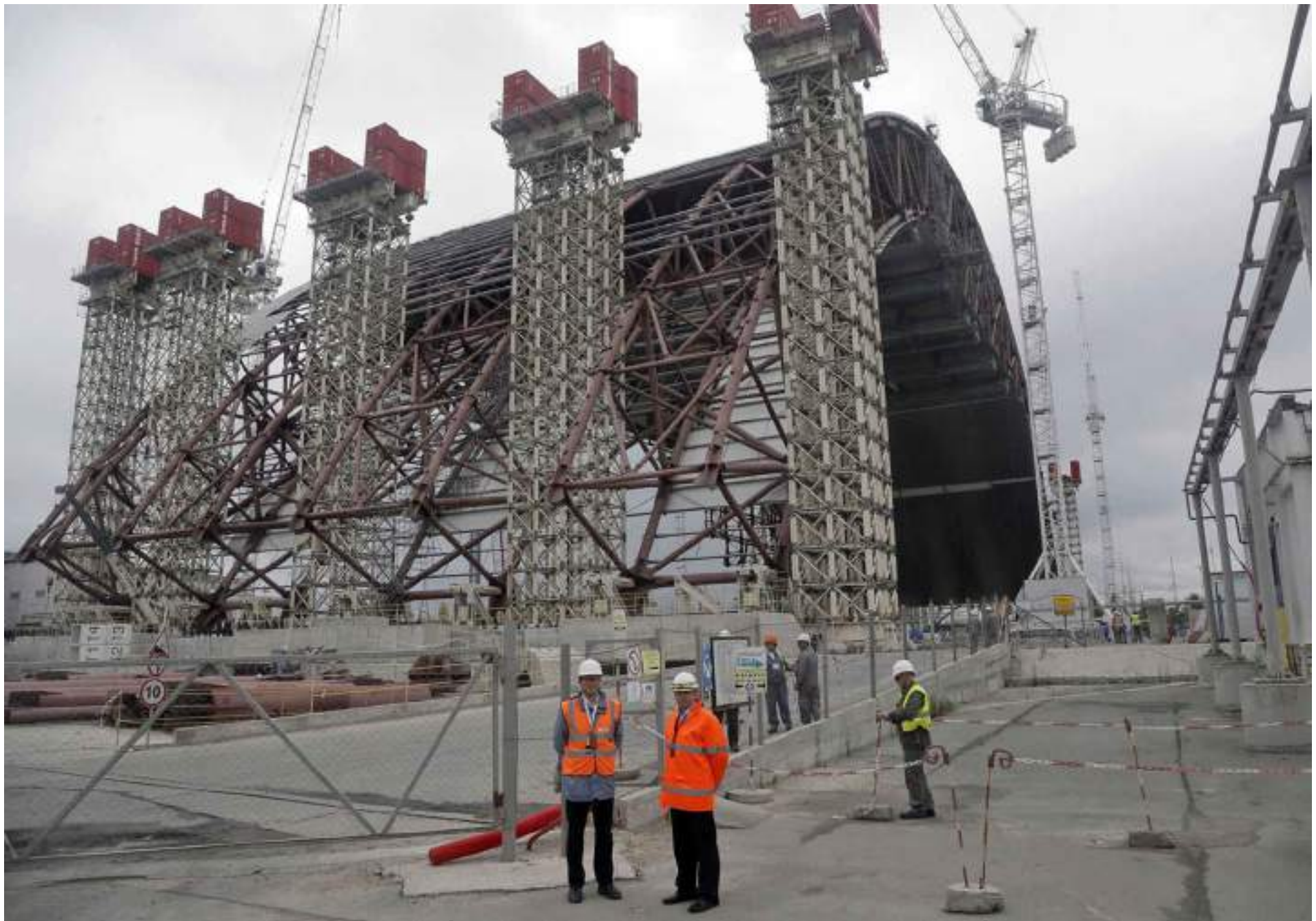
© Caters News Agency

RUINAS DE LA SALA DE CONTROL



"SARCÓFAGO"

Estructura de hormigón diseñada para contener el material radiactivo del núcleo del reactor



PROTECCIÓN CONTRA POSIBLES FUGAS DE RADIACIÓN
Gigantesco arco de acero construido en 2013 para cubrir los restos del reactor.



PROTECCIÓN CONTRA POSIBLES FUGAS DE RADIACIÓN



PRIPYAT (CIUDAD FANTASMA), CHERNÓBIL, UCRANIA

9.4 ACCIDENTE EN LA CENTRAL NUCLEAR FUKUSHIMA I

La central se compone de seis reactores nucleares del tipo BWR (Boiling Water Reactor).

Juntos constituyen uno de los 25 mayores complejos de centrales nucleares del mundo con una potencia total de 4,7 GW.

UNIDAD	TIPO DE REACTOR	INICIO DE OPERACIONES	POTENCIA ELÉCTRICA
Fukushima I – 1	BWR-3	26 de marzo de 1971	460 Mw
Fukushima I – 2	BWR-4	18 de julio de 1974	784 Mw
Fukushima I – 3	BWR-4	27 de marzo de 1976	784 Mw
Fukushima I – 4	BWR-4	18 de abril de 1978	784 Mw
Fukushima I – 5	BWR-4	12 de octubre de 1978	784 Mw
Fukushima I – 6	BWR-5	24 de octubre de 1979	1,1 Gw

1 kw = 10^3 w ; 1Mw = 10^6 w ; 1Gw = 10^9 w



El 11 de marzo de 2011, a las 14:46 JST (Japon Standard Time: tiempo estándar de Japón) se produjo un terremoto magnitud 9,0 en la escala sismológica de magnitud, en la costa noreste de Japón, seguido de un tsunami.

Ese día los reactores 1, 2 y 3 estaban operando, mientras que las unidades 4, 5 y 6 estaban en corte por una inspección periódica.

Cuando el terremoto fue detectado, las unidades 1, 2 y 3 se apagaron automáticamente (SCRAM).

Al apagarse los reactores, se cortó la producción de electricidad.

Los reactores pueden utilizar la energía de la red eléctrica externa para el sistema de enfriamiento y para la sala de control, pero la red fue dañada por el terremoto.

Los motores diesel de emergencia para la generación de electricidad comenzaron a funcionar normalmente, pero se detuvieron abruptamente a las 15:41 con la llegada del tsunami que siguió al terremoto.

A pesar de saberse que en la región podían ocurrir **tsunamis de más de 38 metros**, la central sólo contaba con **un muro de contención de 6 metros** y numerosos sistemas esenciales de la central se encontraban en zonas inundables. Estas deficiencias de diseño se demostraron ser críticas en el devenir del siniestro.

La ausencia de un muro de contención adecuado para los tsunamis de más de 38 metros que han sucedido en la región permitió que el maremoto (de 15 m en la central y hasta 40,5 m en otras zonas) penetrara sin oposición alguna.

La presencia de numerosos sistemas críticos en áreas inundables facilitó que se produjese una **cascada de fallos tecnológicos**, “culminando con la pérdida completa de control sobre la central y sus reactores”.

Los primeros fallos técnicos se registraron el mismo día en que se produjo el sismo (viernes 11 de marzo) con la parada de los sistemas de refrigeración de dos reactores y de cuatro generadores de emergencia.

A consecuencia de estos incidentes surgieron evidencias de una fusión del núcleo parcial en los reactores 1, 2 y 3, explosiones de hidrógeno que destruyeron el revestimiento superior de los edificios que albergaban los reactores 1,3 y 4 y una explosión que dañó el tanque de contención en el interior del reactor 2.

También se sucedieron múltiples incendios en el reactor 4.

Además, las barras de combustible nuclear gastado almacenadas en las piscinas de combustible gastado de las unidades 1- 4 comenzaron a sobrecalentarse cuando los niveles de dichas piscinas bajaron.

El reactor 3 empleaba un combustible especialmente peligroso denominado "MOX", formado por una mezcla de uranio más plutonio.

El temor a filtraciones de radiación llevó a las autoridades a evacuar un radio de 20 km alrededor de la planta, extendiendo luego este radio a 30 km y posteriormente a 40 km.

Los trabajadores de la planta sufrieron exposición a radiación en varias oportunidades y fueron evacuados temporalmente en distintas ocasiones.

El lunes 11 de abril la Agencia de Seguridad Nuclear e Industrial (NISA) elevó el nivel de gravedad del incidente a 7 para los reactores 1, 2 y 3, el máximo en la escala INES y el mismo nivel que alcanzó el accidente de Chernobyl de 1986.

Dada la magnitud del incidente, las autoridades declararon inmediatamente el **“estado de emergencia nuclear”**, procediendo a la adopción de medidas urgentes encaminadas a paliar los efectos del accidente.

se evacuó a la población residente en las zonas adyacentes (con un aumento progresivo del perímetro de seguridad) y se movilizaron las fuerzas armadas para controlar la situación.

En el transcurso de los días se fueron tomando nuevas decisiones, como inyectar agua marina y ácido bórico en alguno de los reactores, suministrar yoduro de potasio a la población o desplazar los vuelos de la aviación civil del entorno de la central afectada.

En junio de 2011, se confirmó que los tres reactores activos en el momento de la catástrofe habían sufrido la fusión del núcleo.

Tras el fallo del sistema de refrigeración de los reactores de la central nuclear se realizaron emisiones controladas de gases radiactivos al exterior, para reducir la presión en el recinto de contención. Se emitió al exterior una cantidad no determinada de partículas radiactivas.

El día domingo 27 de marzo se detectó en el agua del interior de las instalaciones un nivel de radiación cien mil veces por encima de lo normal, posiblemente procedente de una fuga del reactor número 2. Estos niveles de radiación dificultaban las labores de los operarios.

Asimismo los niveles de yodo radiactivo en el agua de mar en las inmediaciones de la central eran 1.850 veces mayores que los que marcan los límites legales.

También se detectó plutonio fuera de los reactores, procedente posiblemente del reactor número 3, el único que trabajaba con ese elemento

Pocos días después del accidente se detectó yodo radiactivo en el agua corriente de Tokio, así como altos niveles de radiactividad en leche producida en las proximidades de la central y en espinacas producidas en la vecina Prefectura de Ibaraki.

Una semana después del accidente se pudieron detectar en California partículas radiactivas procedentes de Japón, que habían atravesado el Océano Pacífico.

Algunos días después se detectó yodo radiactivo en Finlandia, si bien en ambos casos se descartaba que los niveles de radiación detectados fuesen peligrosos.

El día miércoles 27 de abril se detectó en España, y en otros países de Europa según el Consejo de Seguridad Nuclear, un aumento de yodo y cesio en el aire, proveniente del accidente de Fukushima. El Consejo de Seguridad Nuclear afirmó que no existía peligro para la salud.

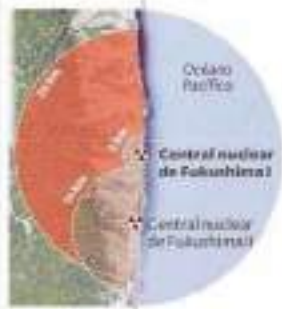
El gobierno japonés reconoció que la central nuclear no podrá volver a ser operativa y que se desmantelaría una vez controlado el accidente.

REACTORES NUCLEARES EN LA CENTRAL DE FUKUSHIMA I

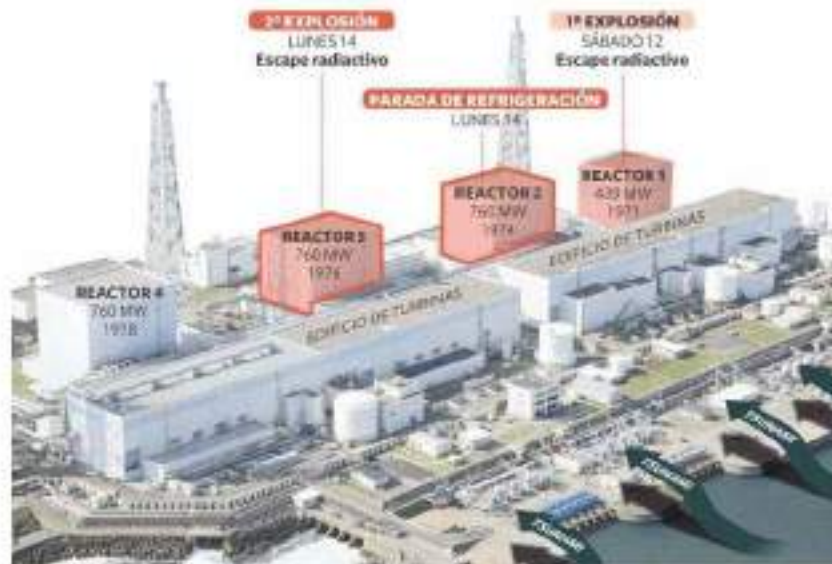
Potencia y año de entrada en funcionamiento de cada reactor

PERÍMETRO DE SEGURIDAD

Entorno a la central de Fukushima I se estableció un perímetro de **tres kilómetros**, que se ha ampliado hasta los **20 kms.**



En Fukushima I el perímetro de seguridad establecido es de **tres kilómetros**.



ESTADO DE LAS CENTRALES NUCLEARES

Horario peninsular

☢ Reactores en funcionamiento (20)

☢ Reactores apagados antes del terremoto por mantenimiento o revisiones (17)

☢ Desconectados por el terremoto (11)

☢ ALERTA NUCLEAR



CENTRAL NUCLEAR DE FUKUSHIMA I



Fuente: Agencia de Información Nuclear

R. P. 23

CENTRAL NUCLEAR FUKUSHIMA I

Accidente nuclear ocurrido el 11 de marzo de 2011



ACCIDENTE EN LA CENTRAL NUCLEAR FUKUSHIMA I



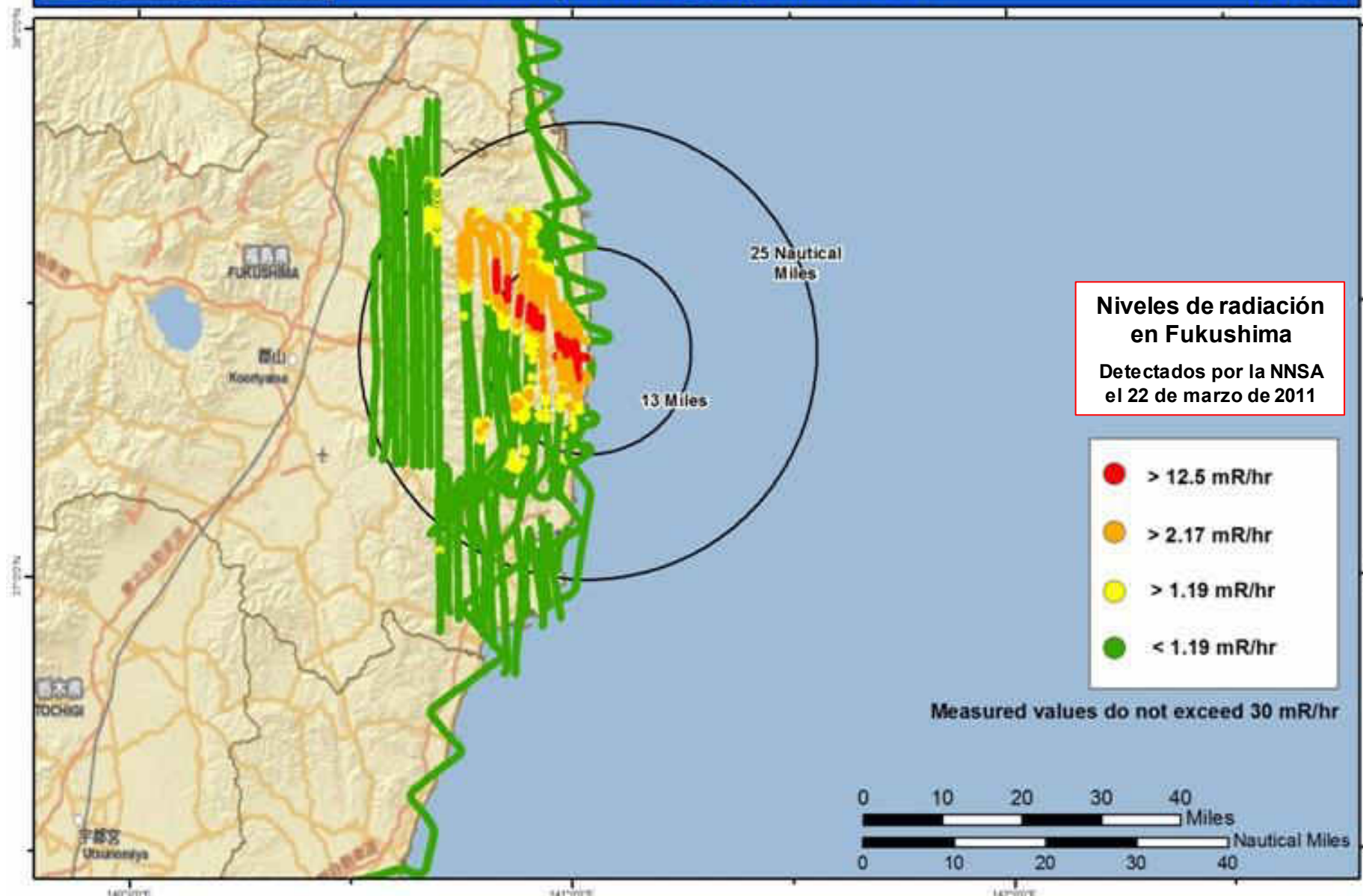
ACCIDENTE EN LA CENTRAL NUCLEAR FUKUSHIMA I

Se vertieron 11.500 toneladas de agua radiactiva.

Días después del vertido pudo detectarse una fuerte contaminación en el fondo marino

Todavía se desconoce el impacto que tendrá en la biodiversidad marina





Map created on 03232011 0210 JST

Nome: NIT_C-12 23Mar2011 v4

Nuclear Incident Team DOE NIT
Contact (202) 586 - 8100



ACCIDENTE EN LA CENTRAL NUCLEAR FUKUSHIMA I



RUINAS DE LA CENTRAL NUCLEAR FUKUSHIMA I
Imagen de Satélite de los cuatro edificios del reactor dañado
Izquierda (Unidad 4) ; Derecha (Unidad 1)
16 de marzo de 2011

10

EPÍLOGO

10.1 PÉRDIDAS DE ENERGÍA.

El funcionamiento de los motores térmicos se rige por las leyes de la termodinámica.

“La energía perdida por el muy bajo rendimiento térmico μ_t de los ciclos termodinámicos de los procesos de conversión del calor en energía cinética de rotación en los motores térmicos es muy grande”.

Este problema está atenuado en las centrales térmicas a vapor, de combustible fósil, por medio del **sobrecalentamiento** y el **recalentamiento del vapor** y del empleo de los **ciclos combinados**.

Actualmente el rendimiento térmico μ_t de las centrales de ciclo combinado supera el 60%.

Esto no es posible en las centrales térmicas de combustible nuclear, que funcionan con vapor saturado.

10.2 PROTOCOLO DE KYOTO (1997) Y ACUERDO DE PARÍS (2015).

10.2.1 PROTOCOLO DE KYOTO

Para responder a la amenaza del cambio climático, la ONU aprobó en 1997 el Protocolo de Kyoto, que fue ratificado por 156 países y, finalmente, rechazado por los mayores países contaminantes del mundo: Estados Unidos y Australia.

El Protocolo establece el objetivo de “reducir las emisiones de gases de efecto invernadero” en una media del 5,2 por ciento con respecto a los niveles de 1990 para el año 2012.

“El comercio de emisiones”, principal mecanismo para alcanzar esta meta, fue impulsado por los Estados Unidos a raíz de la fuerte presión de las grandes empresas (Ver NOTA sobre este protocolo en el capítulo 8, apartado 8.7).

LEGISLACIÓN NACIONAL: La Ley 26190 establece el “Régimen de fomento nacional para el uso de fuentes renovables de energía destinada a la producción de energía eléctrica “.

La ley declara de interés nacional la generación de energía eléctrica a partir del uso de fuentes de energía renovables con destino a la prestación de servicio público como así también la investigación para el desarrollo tecnológico y fabricación de equipos con esa finalidad.

Establece como objetivo del presente régimen, lograr la contribución de las fuentes de energía renovables hasta alcanzar el OCHO POR CIENTO (8%) del consumo de energía eléctrica nacional en el plazo de DIEZ (10) años a partir de la puesta en vigencia del presente régimen.

NOTA SOBRE EL PROTOCOLO DE KYOTO

El acuerdo divide y privatiza la atmósfera como si fueran parcelas e instituye un mecanismo de compra y venta de “permisos de contaminación”, como si se tratara de una mercancía cualquiera.

De acuerdo con el Protocolo de Kyoto, los “contaminantes” son países que han aceptado unos objetivos para reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero durante un período de tiempo predeterminado.

Los países que más contaminan se los conoce como “países desarrollados”. Éstos reciben “permisos de derechos de emisión”, que serían equivalentes a sus niveles de emisión en 1990 (más/menos), con su compromiso de reducción de emisiones.

Estos permisos se calculan en unidades de dióxido de carbono, uno de los principales gases de efecto invernadero. Una tonelada de dióxido de carbono equivaldría a un permiso.

Los permisos, en realidad, no son otra cosa que licencias para poder contaminar hasta los límites fijados por los acuerdos de Kyoto.

Posteriormente los países asignan los permisos a las industrias más contaminantes de su territorio nacional, normalmente de forma gratuita. Con este sistema, el que contamina es recompensado.

Los proyectos de generación de créditos que se despliegan en un país que no cuenta con objetivos reducir emisiones (estos suelen ser países del llamado “mundo en vías de desarrollo”) están cubiertos por el Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL).

Los proyectos que se ejecutan en países que sí cuentan con objetivos de reducción, se realizan según lo dispuesto por lo que se conoce como Aplicación Conjunta (AC).

Los proyectos MDL y AC pueden ser de muy diversos tipos:

- **Plantaciones con monocultivo de árboles para absorber dióxido de carbono;**
- **Proyectos con energías renovables, con fuentes solares o eólicas, por ejemplo: mejoras tecnológicas en la generación de energía;**
- **Captura de metano de vertederos; mejoras básicas en fábricas contaminantes, etc.**

La cantidad de créditos generados por cada proyecto se obtiene calculando la diferencia entre el nivel de emisiones con el proyecto y el nivel de emisiones que se produciría en un hipotético futuro alternativo sin el proyecto.

Una vez disponen de los permisos, las industrias pueden utilizarlos de varias formas:

- 1.Si la industria contaminante no utiliza toda su asignación, puede guardarse los permisos para el próximo período o vendérselos a otra industria contaminante en el mercado.**
- 2.Si la industria contaminante utiliza toda su asignación durante el período de tiempo fijado, pero contamina más, debe comprar permisos a otra industria que no haya utilizado toda su asignación.**
- 3.La industria contaminante puede invertir en programas para reducir la contaminación en otros países o regiones y, de este modo, “generar” créditos que después puede vender, depositar o utilizar para compensar el déficit de la asignación original.**

Partiendo de este futuro imaginario, la industria contaminante puede elaborar un cuadro catastrófico de las emisiones que supuestamente se habrían producido sin el proyecto MDL o AC de la empresa.

Este sistema fomenta que se hagan suposiciones sobre lo que habría sucedido en el futuro sin el proyecto y en el peor de los escenarios posibles. Cuanto mayores sean las emisiones hipotéticas, mayores serán las supuestas reducciones y mayor será también el número de créditos que se podrá vender.

Sin embargo, es imposible saber cuántas emisiones se habrían generado sin el proyecto.

Los árboles absorben dióxido de carbono, pero también lo liberan. Calcular con exactitud cuánto se absorbe y cuánto se libera durante la vida de un solo árbol ya es bastante complicado, pero intentar realizar estos cálculos con todo un bosque o una plantación de árboles es imposible.

Se ha demostrado que los bosques vírgenes tienen una capacidad mucho mayor que las plantaciones de monocultivos para absorber mayor dióxido de carbono del emitido.

Las plantaciones, además, tienen otros graves impactos sobre la biodiversidad, el clima y las comunidades cercanas que no quedan reflejados en los cálculos sobre reducción de emisiones.



KYOTO

Ciudad situada en la parte central de la isla de Honshu, Japón.

Fue la capital imperial de Japón durante más de mil años.

Actualmente es la ciudad capital de la Prefectura de Kyoto, ubicada en la región de Kansai, así como de la mayor parte del área metropolitana de Kyoto-Osaka-Kobe.

Se conoce a Kyoto como la *Ciudad de los Diez Mil Templos*.

10.2.2 ACUERDO DE PARÍS (2015)

Es un acuerdo dentro de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el **Cambio Climático** que establece medidas para la **reducción de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI)** a través de la mitigación, adaptación y resiliencia de los ecosistemas a efectos del Calentamiento Global.

Su aplicabilidad será desde el año 2020, cuando finalice la vigencia del Protocolo de Kyoto.

El acuerdo fue negociado durante la XXI Conferencia sobre Cambio Climático (COP 21) por los 195 países miembros y adoptado el 12 de diciembre de 2015.

El acuerdo no será vinculante hasta que sea ratificado por al menos 55 países.

10.3 ASIGNACIÓN DE RECURSOS.

Se considera de fundamental importancia incrementar los esfuerzos y destinar recursos al **perfeccionamiento de los sistemas que convierten en forma directa la energía solar en energía eléctrica** (centrales fotovoltaicas).

10.4 RESPONSABILIDAD SOCIAL.

Se refiere al **compromiso u obligación que tienen los miembros de una sociedad**, ya sea como individuos o como miembros de algún grupo, tanto entre sí como para la sociedad en su conjunto.

La responsabilidad social corporativa (RSC) también llamada responsabilidad social empresarial (RSE), se define como la contribución activa y voluntaria al mejoramiento social, económico y ambiental por parte de las empresas, generalmente con el objetivo de mejorar su situación competitiva, valorativa y su valor añadido.

La responsabilidad social corporativa va más allá del cumplimiento de las leyes y las normas, dando por supuesto su respeto y su estricto cumplimiento. En este sentido, la legislación laboral y las normativas relacionadas con el medio ambiente son el punto de partida con la **“responsabilidad ambiental”**.

El cumplimiento de estas normativas básicas no se corresponde con la Responsabilidad Social, sino con las obligaciones que cualquier empresa debe cumplir simplemente por el hecho de realizar su actividad.

Los 40 países mayores emisores de CO₂ en el mundo entre 1990 y 2012, incluyendo cifras de renta per cápita.

Datos de la base de datos de EdgarUE.

