

# 1. ¿COMO FUNCIONA UNA CENTRAL NUCLEOELECTRICA?

Una nucleoelectrica es una central térmica de producción de electricidad. Su principio de funcionamiento es esencialmente el mismo que el de las plantas que funcionan con carbón, combustóleo o gas: la conversión de calor en energía eléctrica.

Esta conversión se realiza en tres etapas: En la primera, la energía del combustible se utiliza para producir vapor a elevada presión y temperatura. En la segunda etapa la energía del vapor se transforma en movimiento de una turbina. En la tercera, el giro del eje de la turbina se transmite a un generador, que produce energía eléctrica.

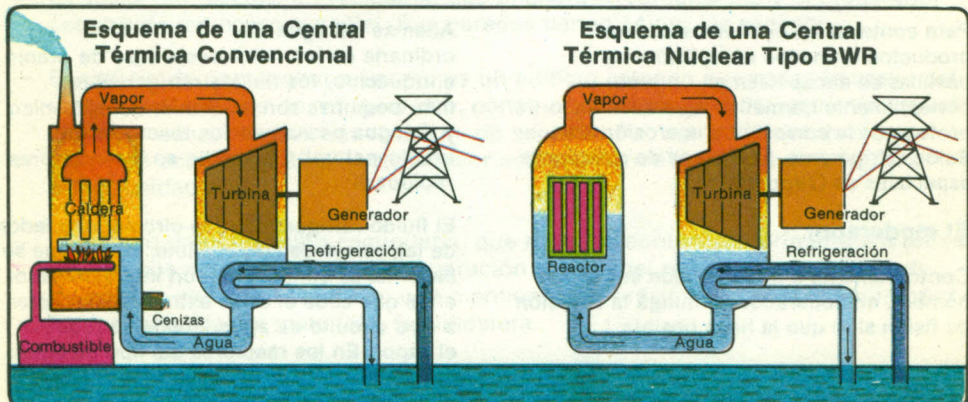
La transformación de energía térmica en otro tipo de energía tiene un rendimiento limitado por el Segundo Principio de la Termodinámica. Esto quiere decir que por cada unidad de energía producida por el combustible, sólo una tercera parte se convierte en trabajo mecánico y se ceden al medio ambiente las dos terceras partes restantes en forma de calor.

Las centrales nucleoelectricas se diferencian de las demás centrales térmicas sólomente en la primera etapa de conversión, es decir, en la forma de producir vapor.

En las centrales convencionales el vapor se produce en una caldera donde se quema de una forma continua carbón, combustóleo o gas natural. La caldera consta de los siguientes elementos:

- Un dispositivo de inyección de combustible (carbón pulverizado, combustóleo o gas)
- Un sistema de inyección de aire para que el combustible pueda quemarse.
- Un sistema de eliminación de los gases producidos en la combustión (chimenea)
- Un mecanismo de eliminación de cenizas cuando la central funciona con carbón.
- Unos tubos por los que circula agua que al calentarse con el fuego de la caldera se convierte en vapor.

Las centrales nucleoelectricas tienen un reactor nuclear, que equivale a la caldera de las centrales convencionales. El reactor no tiene sistemas de inyección continua de combustible y aire, ni en él se necesita un dispositivo de eliminación continua de residuos sólidos. Tampoco se producen gases de combustión. Su estructura se explica a continuación.



## 2.- ¿Como es un reactor nuclear?

Un reactor nuclear consta de tres elementos esenciales: el combustible, el moderador y el fluido refrigerante.

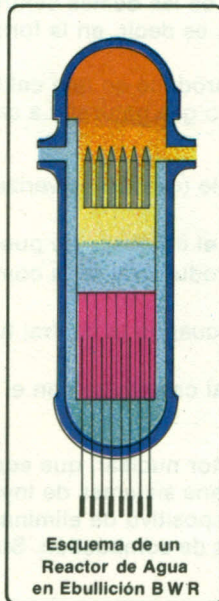
### El combustible nuclear

En las centrales nucleoelectricas el calor se obtiene a partir de la fisión del uranio, sin que se produzca combustión. Sin embargo, por analogía con las centrales térmicas convencionales, se le denomina combustible nuclear.

El uranio se utiliza en su forma natural que contiene 0.7% de uranio 235 o bien en forma de uranio enriquecido, al que artificialmente se eleva la concentración de uranio 235, hasta un 3 o 4%.

El uranio natural se coloca en los reactores en forma de uranio metálico o de óxido de uranio ( $UO_2$ ), dispuesto en barras compactas o tubos de pocos centímetros de diámetro y varios de longitud.

El uranio enriquecido se utiliza en forma de óxido de uranio ( $UO_2$ ), con el que se fabrican pequeñas pastillas cilíndricas, normalmente de poco más de un centímetro de diámetro y longitud.



Esquema de un Reactor de Agua en Ebullición BWR

Para contener en el combustible los productos formados en la fisión, las pastillas se encapsulan en un tubo perfectamente hermético, que además lo protege de la corrosión y la erosión del fluido refrigerante. El tubo es de aleaciones especiales de Circonio.

### El moderador

Contrariamente a lo que puede sugerir su nombre, el moderador no mitiga la reacción de fisión sino que la hace posible.

Para que el choque de un neutrón con un núcleo de uranio 235 pueda producir una

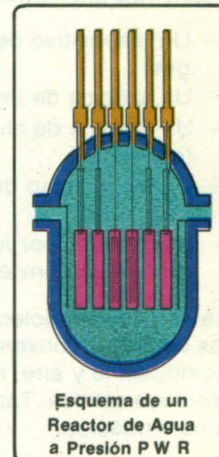
fisión, es preciso que la velocidad del neutrón sea del orden de 2 km. por segundo. Cuando el neutrón sale de un núcleo fisionado, lleva una velocidad de 20,000 km por segundo y es necesario frenarlo. Esta es la función del moderador: frenar neutrones sin absorberlos. Para que pueda hacerlo con eficacia, el moderador debe reunir ciertas condiciones: que tenga un peso atómico ligero, que no absorba neutrones y que tenga una elevada densidad atómica.

Los moderadores más utilizados son el grafito, el agua ordinaria, el agua pesada y algunos líquidos orgánicos.

### El fluido refrigerante

El fluido refrigerante tiene en los reactores nucleares la misma función que el agua que circula por una caldera convencional: evacuar el calor producido por el combustible, para producir vapor.

El fluido refrigerante circula entre las barras de combustible impulsado por una bomba. Debe reunir una serie de condiciones para que pueda cumplir su función en forma satisfactoria: no capturar neutrones, tener un elevado calor específico y no ser corrosivo para los tubos y demás elementos del reactor.

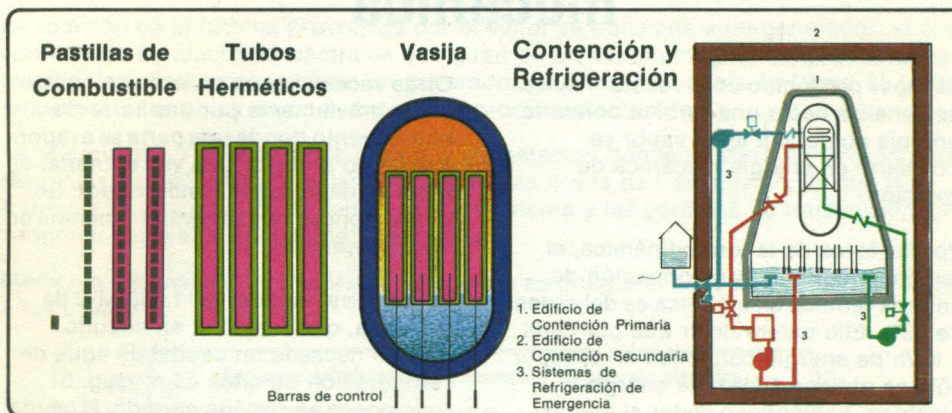


Esquema de un Reactor de Agua a Presión PWR

Además del agua ordinaria en los reactores a base de uranio enriquecido, los fluidos refrigerantes más comunes son: el anhídrido carbónico y el agua pesada en los reactores de uranio natural, y el sodio en los reactores rápidos.

El fluido refrigerante, tras circular alrededor de las barras de combustible, con lo que se calienta, es conducido a un intercambiador en el que cede el calor extraído del reactor a otro circuito de agua, donde se produce el vapor. En los reactores del tipo de agua en ebullición (BWR), el vapor se produce directamente en el reactor.

### 3.- Dispositivos de seguridad



Las centrales nucleoelectricas tienen una serie de dispositivos de seguridad destinados a mantener bajo control la reacción de fisión en cadena y evitar la salida de radiaciones al exterior en caso de accidente.

El primer dispositivo lo constituyen las barras de control. Se trata de unas varillas construidas con un material muy absorbedor de neutrones. Al introducirse entre las barras de combustible capturan neutrones y disminuyen con ello el número de fisiones en el combustible, frenando la reacción. Cuando es necesario detener la fisión rápidamente, las barras de control se insertan en el reactor a gran velocidad, con lo cual la reacción cesa de inmediato.

Para prevenir la posible falta de refrigeración del combustible, función que realiza normalmente el fluido refrigerante, se dispone en los reactores nucleares de sistemas de refrigeración de emergencia; entran en funcionamiento cuando se detectan indicios de falta de refrigeración del combustible.

Finalmente el material radiactivo en el combustible está aislado del ambiente exterior por una serie de barreras que son:

- La propia pastilla de combustible
- Los tubos que encapsulan las pastillas de combustible
- La vasija del reactor: un recipiente que encierra el combustible y el moderador, construido en acero especial. Sus paredes tienen 14 cm. de espesor
- El edificio de contención primaria: es un edificio estanco que rodea la vasija del reactor y el circuito de refrigeración, construido en concreto fuertemente armado con acero. Sus paredes tienen 1.5 m. de espesor. Por dentro se recubre con chapa de acero de 0.95 cm. de espesor soldada herméticamente para conseguir la estanqueidad.
- El edificio de contención secundaria, que rodea la contención primaria y a todos los equipos relacionados con la operación segura del reactor. Cuenta con un sistema de aire acondicionado que mantiene una presión negativa en su interior e impide la salida del material a la atmósfera.

Los edificios de contención se diseñan para soportar sismos y huracanes de muy alta intensidad, sin que pierdan su estanqueidad.

## 4.- Producción de energía mecánica

El vapor producido en el reactor nuclear se canaliza hacia una turbina donde la energía contenida en el vapor se convierte en energía mecánica de rotación.

Por las leyes de la termodinámica, el rendimiento de la transformación de energía térmica en eléctrica es del orden de 33%. Ello quiere decir que por cada 3 kWh de energía contenida en el vapor sólo se obtiene 1 kWh de energía eléctrica, debiéndose ceder al medio ambiente en forma de calor a baja temperatura los otros 2 kWh.

### Refrigeración

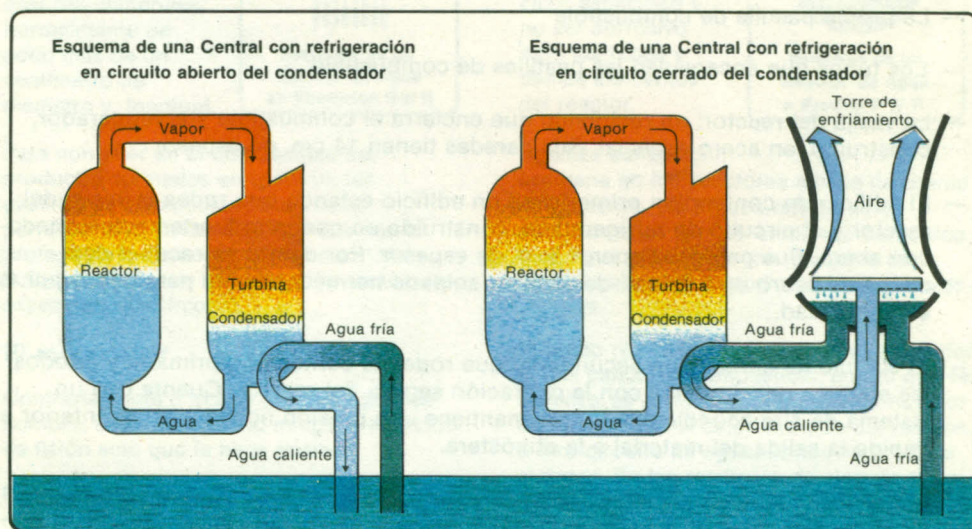
Para hacer posible el ciclo termodinámico se necesita una fuente caliente y una fría. Esta última es el condensador, que consiste en una serie de tubos en cuyo interior circula el agua de enfriamiento. El vapor proveniente de la zona de baja presión de la turbina pasa por fuera de los tubos y se condensa.

El agua de refrigeración así calentada puede devolverse directamente al medio de donde se extrajo. Se dice entonces que la central funciona en circuito abierto.

Otras veces el agua caliente se hace pasar previamente por una torre de enfriamiento donde una parte se evapora enfriando al resto. Una vez enfriada, el agua se recircula al condensador. Se dice entonces que la central funciona en circuito cerrado.

Una central nuclear de 1,000 MW de potencia, que funciona en circuito abierto necesita un caudal de agua de refrigeración de unos 45 m<sup>3</sup>/seg. Si funcionase en circuito cerrado, el caudal necesario sería de unos 3 m<sup>3</sup>/seg., que se emplean en reponer el agua evaporada (0.5 m<sup>3</sup>/seg.) y las purgas necesarias del circuito para evitar la concentración de sales en él (2.5 m<sup>3</sup>/seg.)

Hemos visto que por el rendimiento del proceso de transformación de energía térmica en mecánica es necesario eliminar una gran cantidad de calor. Esto no es una característica específica de las centrales nucleares, sino de todas las centrales térmicas, si bien es verdad que las segundas tienen rendimientos algo mayores en la transformación (de hasta un 40%).

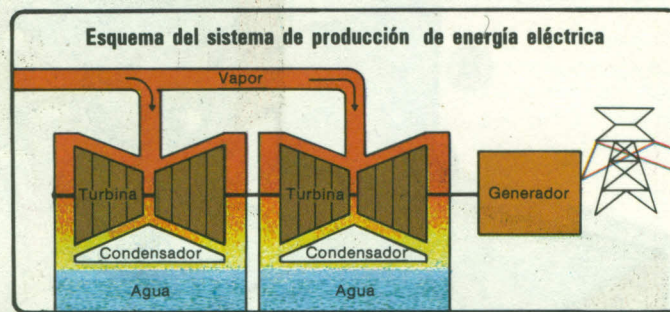


## 5.- Producción de energía eléctrica

La rotación de la turbina provocada por el vapor se transmite a un generador, el cual consiste de conductores eléctricos que giran en un campo magnético, produciendo electricidad. Esquemáticamente un generador podría ser un cable en forma de U que girase entre los polos de un imán; el giro produce electricidad.

La energía eléctrica producida pasa a la subestación donde se eleva su tensión para disminuir las pérdidas por calentamiento en las líneas de transmisión, ya que la potencia es el producto del voltaje por la corriente y las pérdidas de transmisión son proporcionales al cuadrado de la corriente.

Mediante las líneas de transmisión, la energía se integra al sistema que la hace llegar a los usuarios.



## 6.- Configuración de una central nucleoelectrónica

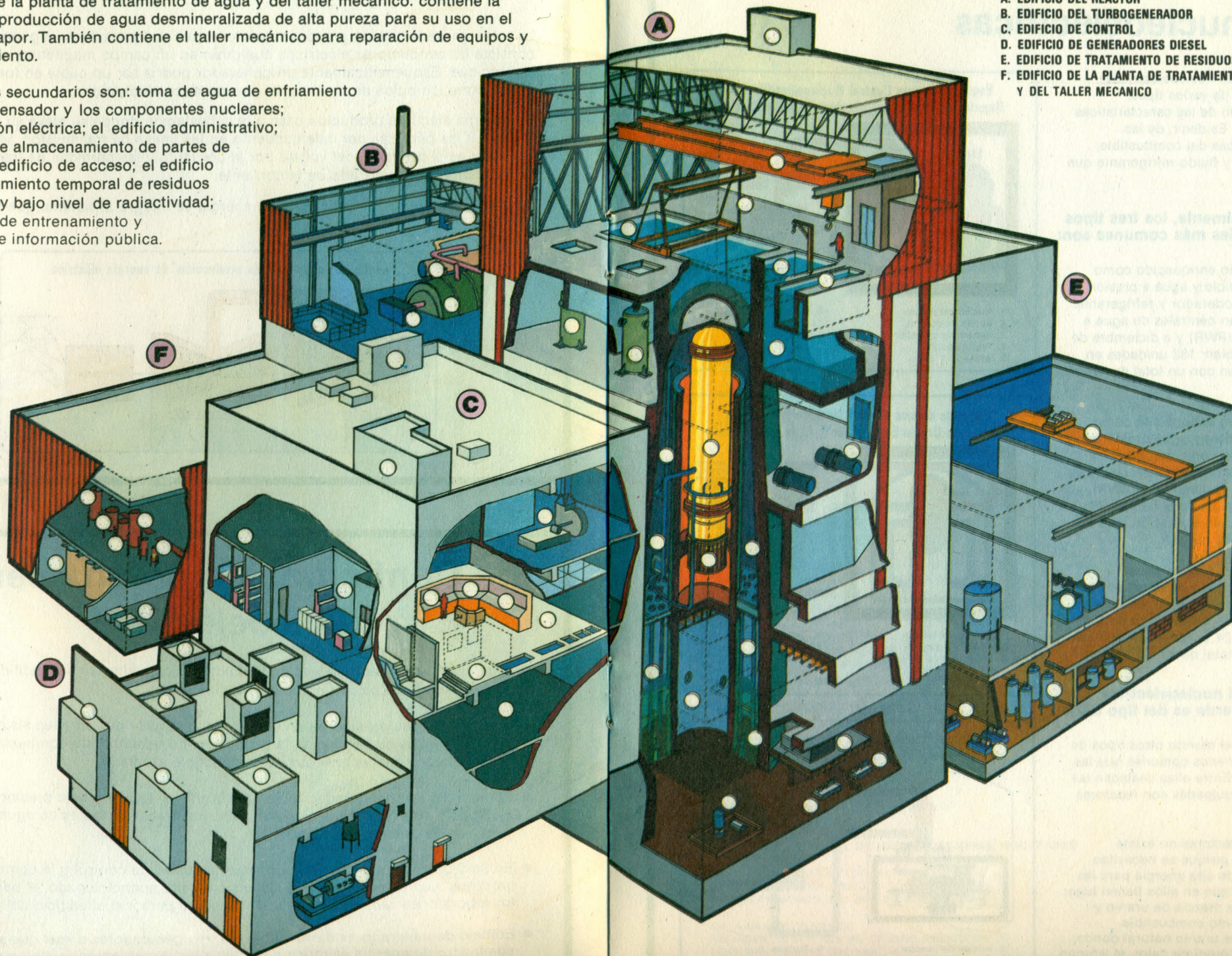
Una central nucleoelectrónica está constituida básicamente por seis edificios principales y otros secundarios. Los seis edificios principales son:

- Edificio del reactor: alberga en su interior al reactor nuclear, sus sistemas auxiliares y los dispositivos de seguridad, la plataforma de recambio de combustible y la alberca de almacenamiento de combustible irradiado.
- Edificio del turbogenerador: aloja a las turbinas de alta y baja presión, el generador eléctrico y su excitador, el condensador, los precalentadores de agua de alimentación y los recalentadores de vapor
- Edificio de control: en su interior están el cuarto de control y la computadora de procesos, cuarto de cables, los sistemas de aire acondicionado, el banco de baterías, los laboratorios radioquímicos y el acceso de personal al edificio del reactor
- Edificio de generadores diesel: aloja los tres generadores diesel que se utilizan para el suministro de energía eléctrica a los sistemas de refrigeración de emergencia
- Edificio de tratamiento de residuos radiactivos: aloja los sistemas de tratamiento de residuos sólidos, líquidos y gaseosos de mediano y bajo nivel de radiactividad

- Edificio de la planta de tratamiento de agua y del taller mecánico: contiene la planta de producción de agua desmineralizada de alta pureza para su uso en el ciclo de vapor. También contiene el taller mecánico para reparación de equipos y mantenimiento.

Los edificios secundarios son: toma de agua de enfriamiento para el condensador y los componentes nucleares; la subestación eléctrica; el edificio administrativo; el edificio de almacenamiento de partes de repuesto; el edificio de acceso; el edificio de almacenamiento temporal de residuos de mediano y bajo nivel de radiactividad; y el edificio de entrenamiento y del centro de información pública.

- A. EDIFICIO DEL REACTOR
- B. EDIFICIO DEL TURBOGENERADOR
- C. EDIFICIO DE CONTROL
- D. EDIFICIO DE GENERADORES DIESEL
- E. EDIFICIO DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS RADIATIVOS
- F. EDIFICIO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA Y DEL TALLER MECÁNICO



## 7.- Tipos de centrales nucleoelectricas

Las centrales nucleoelectricas pueden ser de varios tipos, dependiendo de las caracteristicas del reactor. Es decir, de las caracteristicas del combustible, moderador y fluido refrigerante que utilizan.

### Comercialmente, los tres tipos de centrales más comunes son:

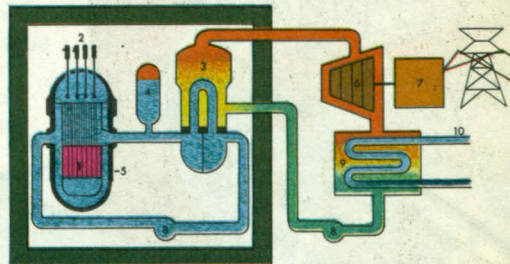
- De uranio enriquecido como combustible y agua a presión como moderador y refrigerante. Se llaman centrales de agua a presión (PWR), y a diciembre de 1985 habían 182 unidades en operación con un total de 148 mil MW.
- De uranio enriquecido como combustible y agua ordinaria en ebullición como moderador y refrigerante. Se llaman centrales de agua en ebullición (BWR), y a diciembre de 1985 habían 77 unidades en operación, con un total de 61 mil MW.
- De uranio natural como combustible y agua pesada como moderador y fluido refrigerante (CANDU); a diciembre de 1985 habían 24 unidades en operación con un total de 13 mil MW.

### La central nucleoelectrica Laguna Verde es del tipo BWR

Existen en el mundo otros tipos de centrales, menos comunes que las anteriores. Entre ellas destacan las centrales equipadas con reactores rápidos.

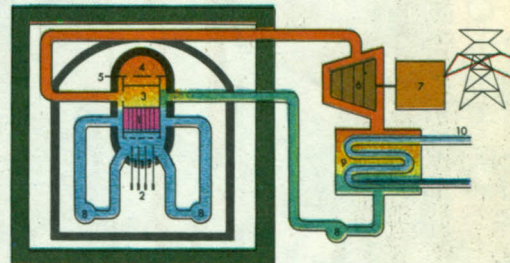
En estos reactores no existe moderador porque se necesitan neutrones de alta energía para las reacciones que en ellos tienen lugar. Utilizan una mezcla de uranio y plutonio como combustible, rodeados de uranio natural donde, además de producir calor, el isótopo 238 del uranio se convierte en plutonio 239, que es fisiónable. El fluido refrigerante es sodio fundido.

Esquema de una Central Nucleoelectrica con Reactor de Uranio Enriquecido y Agua a Presión



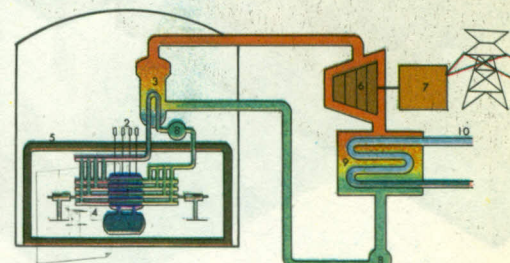
- |                       |                          |
|-----------------------|--------------------------|
| 1. Núcleo del reactor | 6. Turbina               |
| 2. Barras de control  | 7. Generador             |
| 3. Generador de vapor | 8. Bombas                |
| 4. Presurizador       | 9. Condensador           |
| 5. Vasija             | 10. Agua de río o de mar |

Esquema de una Central Nucleoelectrica con Reactor de Uranio Enriquecido y Agua en Ebullición



- |                         |                          |
|-------------------------|--------------------------|
| 1. Núcleo del reactor   | 6. Turbina               |
| 2. Barras de control    | 7. Generador             |
| 3. Separador de humedad | 8. Bombas                |
| 4. Secador de vapor     | 9. Condensador           |
| 5. Vasija               | 10. Agua de río o de mar |

Esquema de una Central Nucleoelectrica con Reactor de Uranio Natural (CANDU)



- |                             |                          |
|-----------------------------|--------------------------|
| 1. Núcleo del reactor       | 6. Turbina               |
| 2. Barras de control        | 7. Generador             |
| 3. Generador de Vapor       | 8. Bombas                |
| 4. Calandria                | 9. Condensador           |
| 5. Recipiente de contención | 10. Agua de río o de mar |