



Reactores Nucleares Térmicos y de Potencia

¿Qué es la energía nuclear?

Es la energía que se obtiene del núcleo atómico por medio de la fisión o la fusión nuclear.

¿Qué es una central nuclear?

Se define un reactor nuclear como una instalación capaz de iniciar y controlar las reacciones nucleares en cadena que tienen lugar en el núcleo del reactor, a fin de que el calor producido por tales reacciones nucleares pueda ser utilizada en la generación de energía eléctrica, o bien, con fines de investigación.

¿Qué ventajas tiene la energía nuclear?

Las centrales nucleares no producen gases de efecto invernadero que provocan el calentamiento global de nuestro planeta. Una gestión adecuada de residuos radiactivos reduce el riesgo de contaminación al medio ambiente.

La energía nuclear es una fuente de energía limpia, segura, fiable y competitiva. Es la única fuente de energía que puede sustituir una parte significativa de los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas) que contaminan masivamente la atmósfera y contribuyen en el efecto invernadero.

¿Qué desventajas tiene la energía nuclear?

Si bien el nivel de seguridad es de alto nivel en las centrales nucleares, el componente humano tiene una fuerte repercusión a la hora de la toma de decisiones, tal como sucedió en Chernobyl y recientemente en Fukushima.

La difícil gestión de los residuos nucleares en su proceso de almacenamiento en depósitos aislados y su control permanente por largo tiempo, son uno de los principales inconvenientes que tienen las centrales nucleares. Además a eso se suma el coste económico que es excesivo para muchos países. Los reactores nucleares son un proyecto multimillonario, los costos esperados por la construcción de nuevos reactores superan los US\$15 mil millones. Esto se debe principalmente a los

aumentos enormes de los costos de mano de obra y materiales, agravados por la creciente demanda de energía.

¿Qué es una reacción nuclear de fisión?

La reacción nuclear en cadena se refiere a un proceso en el que los neutrones liberados de la fisión nuclear producen fisiones adicionales en otros núcleos. Generándose así un proceso nuclear que puede ser controlado (reactor nuclear) o no controlado (armas nucleares), por ejemplo, un terremoto de magnitud 5.5 en la escala Richter equivale a la explosión de una bomba atómica de 10 kilotones o su equivalente a 10000 toneladas de TNT.

Elementos básicos de una central nuclear

Las centrales nucleares por lo general funcionan con moderadores y refrigerantes que puede ser el agua natural o ligera, salvo casos con el grafito o vapores de gases. En el caso de que funcionen a agua natural o ligera, esta está a una presión superior a la saturación a fin de que no se produzca la ebullición, en ese entendido, en las centrales nucleares hay tres circuitos bien diferenciados:

- Circuito primario
Consta de la vasija donde se aloja el núcleo del reactor.
Generador de vapor de agua.
Bomba del refrigerante del reactor.
Presionador.

El circuito primario está contenido dentro de un edificio de paredes cilíndricas y una cúpula semiesférica o elíptica. En el diseño del edificio está contemplado el soporte de cargas normales, cargas debidas a accidentes, tanto internos como externos, así como las cargas de servicio, como ser construcción, sismos que puedan producirse y otros. Además, de cargas factoriales que son normalmente de presión y temperatura que debe soportar el edificio ante eventos extremos como terremotos o fallas en el diseño. En todo caso, la finalidad del edificio es evitar la fuga de productos de fisión, tanto en condiciones normales como de accidente y como barrera biológica.

- Circuito secundario
Generador de vapor.
Turbina-generador del reactor.
Condensador.

El circuito secundario es fundamental para el buen funcionamiento de una central nuclear, ya que en este está todo el sistema de refrigeración del núcleo del reactor y el consiguiente funcionamiento de las turbinas que están sujetas a la potencia eléctrica

de la central nucleoelectrica. En esta seccion se halla toda la termohidraulica de funcionamiento del circuito secundario.

- Circuito terciario
Es el agua de refrigeración del condensador y puede ser en circuito cerrado o abierto.

En el circuito terciario, se tienen dos posibilidades para enfriar el vapor en el condensador; en un circuito cerrado se tienen las conocidas torres de refrigeración, donde es visible las fumarolas de vapor de agua. Mientras que en un circuito abierto, la refrigeración viene de lagos, embalses u oceanos, donde el agua es devuelta "mas" caliente.

Componentes del Núcleo de un Reactor Nuclear

El núcleo de un reactor nuclear es donde se produce y se mantiene la reacción nuclear en cadena. Su principal objetivo es calentar el agua del circuito primario y diseñada para operar de forma segura y controlada, de manera que se maximice la cantidad de energía extraída del combustible. Cada componente del núcleo del reactor juega un papel importante en la generación de calor y estos son:

- Combustible

El combustible en un reactor nuclear es fundamental para el normal funcionamiento de la central nuclear, tal combustible es el dióxido de uranio cerámico que va encapsulado en lápices o varillas de zircaloy ligeramente enriquecido. El combustible de un reactor nuclear es un material fisionable en cantidades tales que se alcance la masa crítica y colocado de tal forma que sea posible extraer rápidamente el calor que se produce en su interior debido a la reacción nuclear en cadena.

En general, un elemento de combustible está constituido por una disposición cuadrangular de las varillas del combustible, salvo excepciones un arreglo hexagonal.

- Barras de control

Las barras de control en los reactores nucleares tienen por finalidad la de absorber o capturar los neutrones producidos en la fisión nuclear (Carburo de boro o aleaciones de plata, indio y cadmio, entre otros) y las dimensiones de estos son los mismos del combustible. A su vez, las barras de control permiten controlar la potencia del reactor y eventualmente bajar la potencia a niveles de parada en pocos segundos en caso de emergencia.

- Moderador

Los neutrones producidos en la fisión nuclear son muy rápidos, de manera que conviene disminuir su velocidad a fin de que aumente la probabilidad de que fisionen

otros núcleos y no se detenga la reacción en cadena. Esto se consigue mediante choques elásticos de los neutrones con los núcleos atómicos del moderador. Entre los moderadores más utilizados están el agua ligera, el agua pesada y el grafito.

- Refrigerante

La mayor parte de la energía liberada por la fisión nuclear se da en forma de calor y a fin de poder emplear éste, en el interior del reactor debe pasar un refrigerante que absorba y transporte dicho calor. El refrigerante debe ser anticorrosivo, tener una gran capacidad calorífica y no absorber neutrones, en ese entendido, los refrigerantes utilizados son los gases, como el anhídrido carbónico y el helio, los hay también líquidos como el agua ligera y el agua pesada. Además de algunos compuestos orgánicos y metales líquidos como el sodio, que se empleen para este fin.

- Reflector

El número de fisiones nucleares que se produce en el núcleo del reactor nuclear, produce un cierto número de neutrones que tienden a escapar de la región donde estos se originan. A fin de minimizar la fuga neutrónica, se introduce un medio reflector, el cual aumenta la eficiencia del reactor nuclear. El medio reflector ideal, debe tener una baja sección eficaz de captura, con la finalidad de que se reflejen el mayor número posible de neutrones y no reducir el número de éstos. Asimismo, la elección del material depende del tipo de reactor. Si tenemos un reactor térmico, el reflector puede ser el moderador, pero si tenemos un reactor rápido el material del reflector debe tener una masa atómica grande para que los neutrones se reflejen en el núcleo con su velocidad original (dispersión inelástica).

- Blindaje

Cuando el reactor ingresa en el modo de operación, éste genera gran cantidad de radiación, de manera que es necesaria una protección para aislar a los trabajadores de la instalación de las radiaciones ocasionadas por los productos de fisión. Por ello, se coloca un blindaje biológico alrededor del reactor para interceptar estas radiaciones, siendo que los materiales más usados para construir este blindaje son el hormigón, el agua y el plomo.

¿Qué tipos de centrales nucleares que operan actualmente?

a) Reactores Térmicos

Los reactores térmicos son aquellos que funcionan ralentizando (moderando) los neutrones más rápidos o incrementando la proporción de átomos fisionables. Para retardar estos neutrones, llamados neutrones lentos, se necesita un moderador que puede ser agua ligera, agua pesada o grafito.

b) LWR o Reactor de Agua Ligera (de sus siglas en inglés Low Water Reactor)

Este tipo de reactores hace uso del agua ligera como refrigerante y moderador, a su vez uranio enriquecido como combustible.

- BWR o Reactor de agua en ebullición (de sus siglas en inglés Boiling Water Reactor)

En el reactor de agua en ebullición (BWR), el agua que esta almacenada en el núcleo del reactor sirve como moderador y refrigerante y es a su vez la fuente de vapor para la turbina que acciona un generador para producir energía eléctrica. El vapor de agua pasa por un condensador que enfría el vapor, el cual se condensa a su forma líquida y mediante una bomba hidráulica retorna nuevamente al núcleo del reactor para así mantener un ciclo continuo de movimiento. La desventaja de esto es que cualquier fuga de combustible, podría hacer el agua radiactiva y esa radiactividad, alcanzaría la turbina y el resto de las partes de las que consta el reactor.

Funcionamiento de BWR

Los seis reactores de la central nuclear de Fukushima-1 son reactores de agua en ebullición, o BWR por las siglas en inglés de Boiling Water Reactor

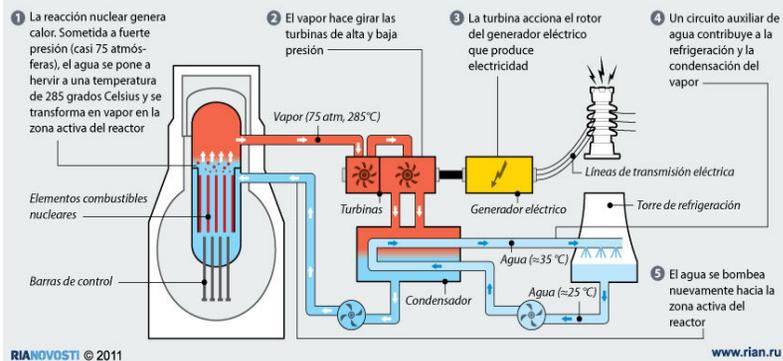


Figura 1: Se muestra en la figura las partes de las que consta el reactor de agua en ebullición.

- PWR o Reactor de agua a presión (de sus siglas en inglés Pressure Water Reactor)

En el reactor de agua a presión (PWR), el agua contenida en el núcleo del reactor como moderador y refrigerante, a diferencia del BWR el vapor de agua no fluye de manera directa a la turbina, sino que pasa hacia una conexión secundaria del circuito primario, donde el agua esta contenida a presión en el núcleo del reactor. El circuito de agua primario conectado al secundario, se encuentra a altas temperaturas y es

refrigerado en un tanque de agua que genera vapor de agua en este que acciona la turbina y luego el generador que produce energía eléctrica. El vapor de agua debe ser condensado y mediante una bomba hidráulica se mantiene el movimiento continuo del agua-vapor en el circuito secundario. La ventaja de este reactor es que de existir una fuga de combustible en el núcleo, no pasa ningún contaminante radioactivo a la turbina y al condensador.

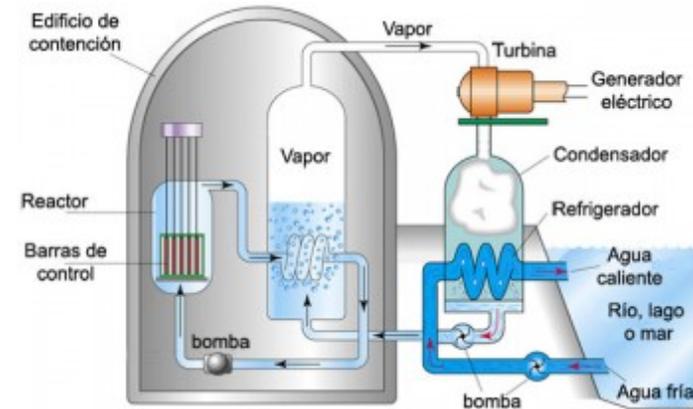


Figura 1: Se detalla en la figura las partes de un reactor a agua presurizada. Créditos de figura a imagexia.com

c) PHWR o Reactor de agua pesada a presión (de sus siglas en inglés Pressure Heavy Water Reactor)

Esta clase de reactores es del tipo PWR, pero utiliza agua pesada como refrigerante y moderador y uranio natural o ligeramente enriquecido como combustible. Uno de estos reactores es el CANDU (Canada Deuterium Uranium).

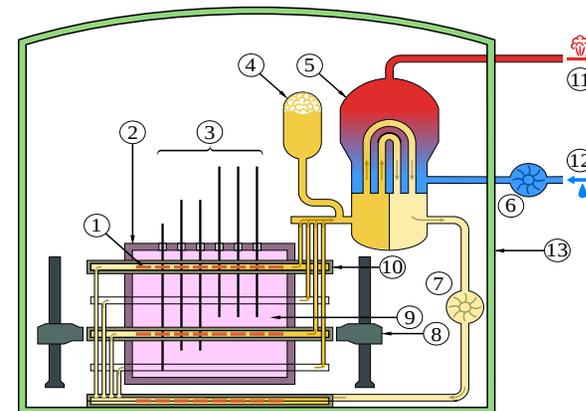


Figura 2: Se observa el esquema del reactor CANDU, 1 es la pila del combustible, 2 el núcleo del reactor, 3 barras de control, 4 agua pesada sujeta a gran presión, 5 vasija donde se genera el vapor, 6 bomba hidráulica de agua ligera, 7 bomba hidráulica de agua pesada, 8 cadena de montaje, 9 moderador de agua pesada, 10 tubos de presión, 11 vapor de agua que va hacia la turbina y acciona el mecanismo para generar energía eléctrica, 12 agua fría que retorna hacia la turbina, 13 edificio de contención de hormigón armado. Crédito de la figura: https://en.wikipedia.org/wiki/CANDU_reactor.

d) AGR o Reactor refrigerado por gas (de sus siglas en inglés Advanced Gas-cooled)

Estos reactores se caracterizan por utilizar como combustible al uranio, CO₂ o dióxido de carbono como refrigerante y grafito como moderador. Estos operan a temperaturas elevadísimas a fin de obtener la más alta eficiencia térmica, esto hace que se use uranio débilmente enriquecido.

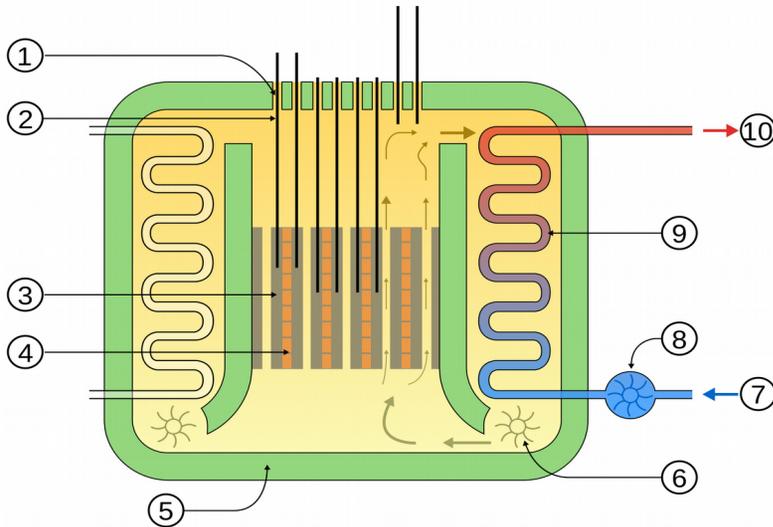


Figura 3: Se muestra el diagrama del reactor refrigerado por gas, las partes de este constan de: 1 canales donde van las barras de control, 2 barras de control, 3 moderador de grafito, 4 varillas de combustible, 5 vasija donde descansa el núcleo del reactor y su respectivo blindaje, 6 bombas hidráulicas que hacen circular el gas, 7 bomba de agua hidráulica, 8 intercambiador de agua fría a caliente, 9 intercambiador de calor, 10 vapor de agua hacia la turbina. Crédito de la figura: https://en.wikipedia.org/wiki/Advanced_gas_cooled_reactor

e) LWGR-RBMK

Este tipo de reactores son refrigerados por agua a presión y con canales de combustible individuales que utilizan grafito como moderador. También es conocido como el reactor de agua ligera de grafito (LWGR). La función principal de esta clase de reactores es la de producir plutonio y como un subproducto la generación de energía eléctrica. Al igual que los otros reactores, utiliza uranio enriquecido como combustible.

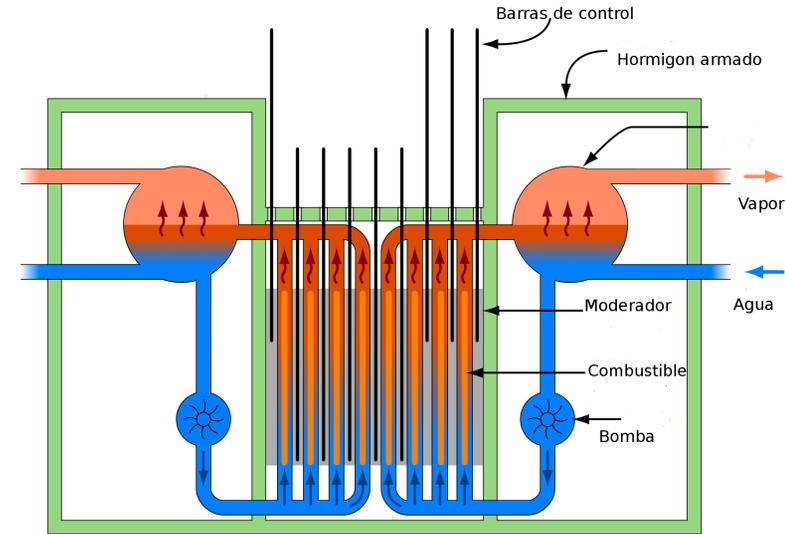


Figura 4: Se muestra en la figura los componentes principales del reactor y la doble refrigeración a la que está sometido. Crédito de la figura: <https://en.wikipedia.org/wiki/RBMK>.

Reactores Rápidos

Un reactor de neutrones rápidos es un reactor nuclear en el que la reacción de fisión en cadena es sostenida por neutrones rápidos. Esto implica que el moderador en este tipo de reactores sea "innecesario" y que su refrigeración sea por medio de metales líquidos (sodio líquido, plomo líquido), ya que la transferencia de calor es más eficiente que el agua natural, a su vez, el combustible para este tipo de reactores es uranio empobrecido o débilmente enriquecido, es decir, existe más uranio-238 que uranio-235, de esta manera se consigue la generación de energía térmica y la producción de plutonio-239 que puede emplearse en cualquier tipo de reactores, sean rápidos o térmicos. A este tipo de reactores suele llamarse también reactores reproductores (breeder).

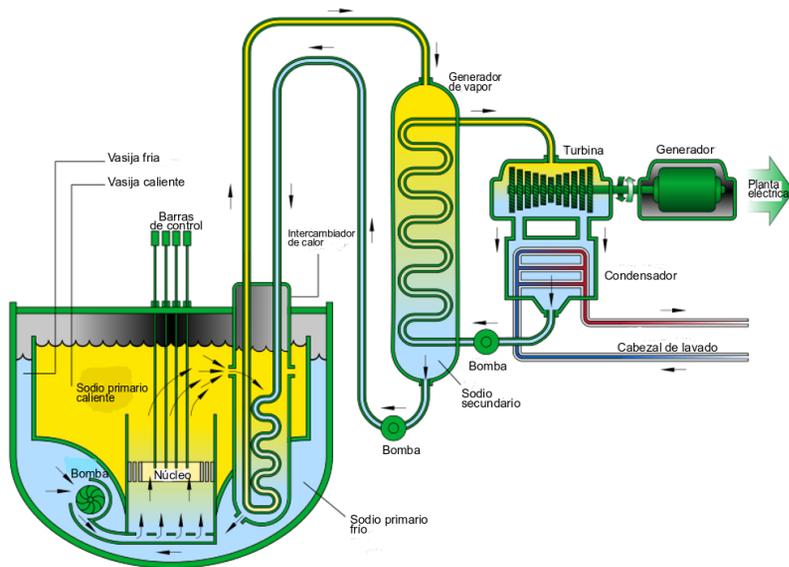


Figura 5: Se observa en la figura las componentes principales del reactor nuclear rápido refrigerado por Sodio líquido. Crédito de la figura: https://en.wikipedia.org/wiki/Sodium-cooled_fast_reactor

Clausura de una central nuclear

El término clausura, cuando se aplica a centrales nucleares, no se refiere al mero hecho de dejar de producir energía eléctrica sino a un proceso mucho más complejo que se desarrolla durante un largo periodo de tiempo y cuyos objetivos son restaurar, en la medida de lo posible, las condiciones medioambientales del emplazamiento y garantizar una gestión segura de los residuos radiactivos generados. Una central nuclear al finalizar su vida útil contiene grandes cantidades de materiales radiactivos y muchos equipos y componentes están contaminados. Los materiales radiactivos provienen principalmente de la propia reacción de fisión (productos de fisión) o son consecuencia de la activación de los materiales por el flujo neutrónico. Dado que en un primer momento tras la parada definitiva de una central los niveles de actividad son demasiado elevados para comenzar inmediatamente el desmantelamiento, se prevén tres etapas sucesivas, es decir, una primera fase en la que se procede al sellado de las barreras, a la retirada de los elementos combustibles irradiados y de las barras de control, líquidos contaminados y todas las fuentes de radiación transportables. Se establecen las vigilancias y el control radiológico de la atmósfera interior de la central

y la definición del adecuado programa de inspección y mantenimiento. Al finalizar esta etapa se alcanza el nivel 1 de desmantelamiento. A continuación se procede al desmantelamiento de aquellas partes que pueden estar contaminadas, pero que son más fácilmente eliminables. Se refuerzan las barreras de protección contra las radiaciones y se reduce al mínimo posible la necesidad de sistemas de ventilación y de control radiológico del aire. El mantenimiento se reduce a ocasionales controles de las superficies externas. Con estas actividades, la central alcanza el nivel 2. Finalmente se eliminan todos los materiales, equipos y componentes de la planta que puedan tener restos de radiactividad, se desmantela el reactor y el edificio de contención, se evacúan los escombros radiactivos y queda libre el emplazamiento para su uso sin restricciones. Entonces se alcanza el denominado nivel 3 de desmantelamiento.

Seguridad nuclear

Bajo la guía del Departamento de Seguridad Nuclear del Organismo Internacional de Energía Atómica, se aplica el programa de seguridad nuclear que abarca las actividades de dicho organismo para proteger a las personas y al medio ambiente de la exposición a la radiación y responde a las necesidades de sus Estados miembros en relación con la seguridad nuclear, para alcanzar niveles de alta seguridad en las instalaciones nucleares, para ello ha desarrollado normas de seguridad que los estados miembros pueden acceder para un asesoramiento adecuado y pertinente.

Fuentes:

<https://www.iaea.org/about/organizational-structure/department-of-nuclear-safety-and-security/division-of-nuclear-installation-safety>

<https://www.csn.es>

<https://www.energia-nuclear.net>

Introducción a los reactores nucleares, Foro Nuclear, Foro de la Industria Nuclear Española, julio 2008.