

INTRODUCCIÓN

La energía de unión del núcleo atómico es enorme. Las investigaciones de los físicos nucleares de los últimos treinta años han permitido al hombre disponer de, por lo menos una parte de ella. Pero, dado que esta energía es tan grande, su uso no solamente es peligroso, sino que, en realidad, representa un *riesgo para el medio ambiente*. Actualmente, las modernas armas nucleares son tan potentes que constituyen una amenaza para la existencia de toda la humanidad. Las posibilidades de destrucción que ofrece la energía nuclear plantean la exigencia de la máxima responsabilidad a todos aquellos que tienen el poder de tomar las decisiones fundamentales para la humanidad.

¿Cuál es la técnica para aprovechar la energía nuclear? Los nucleones se mantienen unidos en el núcleo por un fuerte enlace: cuando se origina el núcleo, una parte de su masa se convierte en energía, que se desprende hacia el exterior, por ejemplo, en forma de cuantos de radiación γ . Se produce así en el núcleo un "déficit" de energía, que puede alcanzar unos 6 a 8 megaelectrón-voltios (MeV) por nucleón, que se manifiesta como un defecto de masa del núcleo. Este déficit es lo que se denomina energía de unión nuclear.

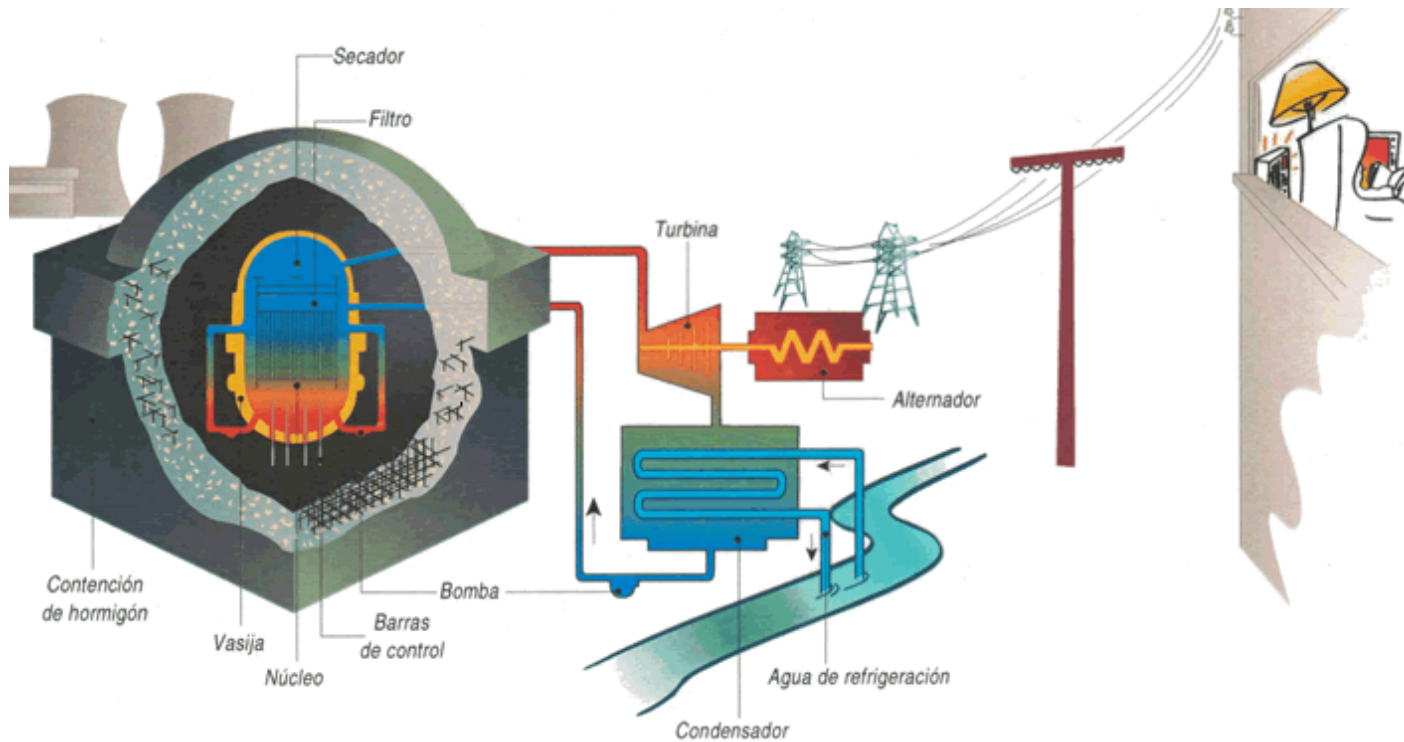
Pero resulta que los núcleos de peso medio (en el rango del peso del hierro, aproximadamente) son los que están más fuertemente unidos, mientras que la energía de unión se reduce gradualmente a medida que los núcleos son más livianos o más pesados. Es decir, si dos núcleos livianos se fusionan para formar otro de peso medio (fusión nuclear), los núcleos resultantes presentan una unión relativamente más fuerte que los núcleos de partida. Esta diferencia relativa se libera como energía de reacción. Cuando se produce la fisión de un solo núcleo de U 235 esta energía alcanza los 200 MeV, y 18 MeV cuando se forma un núcleo de He por fusión.

ESTUDIO DE UNA CENTRAL NUCLEAR

• Introducción:

Una central nuclear es una instalación termoeléctrica que aprovecha la fuente de calor originada por la fisión del núcleo de uranio para producir energía eléctrica.

En la fisión del núcleo atómico se origina calor y se emiten neutrones que darán lugar a otras fisiones y con ello, a otras reacciones dando lugar a una reacción en cadena. Si este tipo de reacciones no están bajo control dan lugar a unas grandes explosiones porque se libera gran cantidad de energía en un espacio pequeño de tiempo. Para evitar esto, se han inventado los reactores nucleares que controlan las reacciones en cadenas que se dan lugar en su interior.



2. Componentes:

• Reactor nuclear:

En un reactor nuclear están combinados ambos recursos, el enriquecimiento del material de combustión y el empleo de un moderador. Como combustible se utiliza, generalmente, uranio con un contenido de hasta un 3% de U235, casi siempre como dióxido de uranio (UO₂), un polvo negrozco que se añade según el tipo de reactor. Por norma general, el dióxido de uranio es prensado en forma de grandes pastillas, que se introducen en unos tubos de varios metros de largo (vainas), fabricados de una aleación especial de zirconio, y constituyen las barras de combustión. Las vainas tienen la función de evitar que los productos de fisión, generados durante la combustión del uranio, en parte gaseosos y altamente radiactivos, contaminen el interior del reactor. De allí sería difícil eliminarlos, y su presencia "envenenaría" el reactor, es decir, interferirían sensiblemente en la reacción en cadena. Además, estos peligrosos residuos no deben llegar al líquido refrigerante del reactor, ya que ello daría lugar a un riesgo de escape y, por consiguiente, de una eventual contaminación ambiental. Cada 216 de estas barras de combustión son agrupadas en un paquete, el elemento de combustión con un total de aproximadamente 100 toneladas de uranio.

Durante la fisión del U235 se liberan gigantescas cantidades de neutrones. Una moneda de una peseta sería atravesada en cada segundo por más de 1014 de estas partículas. Este enorme flujo llega al moderador que rodea los elementos de combustión, y que en parte están mezclados con estos, donde aminora su velocidad. Varias sustancias se utilizan como moderadores: agua ligera (H₂O), agua pesada (D₂O), carbono de extrema pureza en forma de grafito, y berilio.

Los moderadores líquidos tienen además otro cometido importante: también deben actuar de medio refrigerante. Este no solamente absorbe la energía emitida en forma de calor por los neutrones rápidos al ser frenados, sino que también enfría los elementos de combustión, calentados por la energía de fisión. Si fallara la refrigeración, se podría fundir la totalidad del interior del reactor, destruyendo las diversas protecciones, y llegar al exterior su contenido. Ello tendría consecuencias catastróficas para el medio ambiente, aunque, por razones físicas, no podría producirse una explosión atómica del reactor. De todos modos, Aún si pudiesen aguantar los contenedores del reactor, se fundirían los elementos de combustión, y el reactor quedaría

inservible durante largo tiempo. Para evitarlo, el medio refrigerante debe evacuar continuamente del núcleo del reactor el calor generado. Este calor del proceso es aprovechado, en parte, para su posterior uso técnico, mientras que la parte no aprovechable supone una carga para el ambiente. Como medios refrigerantes también han dado buenos resultados, en función del tipo de reactor, y además de los moderadores líquidos, el helio, el dióxido de carbono (CO₂) e incluso los metales líquidos como el sodio y el mercurio.

El 0,76% de los neutrones de fisión es liberado de los productos de la reacción de forma retardada, es decir, de 0,05 a 56 segundos más tarde. Estos neutrones son los que permiten controlar la reacción en cadena de un reactor. La técnica de este proceso parece muy sencilla: se introduce en el núcleo del reactor un número suficiente de las llamadas barras de control, compuestas de un material que absorbe neutrones (por ejemplo, acero al boro o al cadmio), entre los elementos de combustión, de modo tal que la reacción en cadena se desarrolle exactamente como se desea (el llamado estado crítico del reactor). Sacando e introduciendo las barras puede regularse de forma precisa la medida en que el reactor se aleja de este estado crítico. Ante todo, se pueden regular modo las fluctuaciones en el desarrollo de la reacción en cadena. Dado que no todos los neutrones de fisión son expulsados de forma instantánea, pues una pequeña proporción lo hace con retraso, no es necesario que este proceso de control se haga en fracciones de segundos, sino que se dispone de un tiempo de reacción de hasta un minuto.

En el esquema de un reactor nuclear. La reacción nuclear tiene lugar en el recinto resistente a la presión del reactor. Los demás elementos sirven para fines de seguridad o para la evacuación del calor.

Sin embargo, la función más importante de las barras de control es la "desconexión rápida" en caso de peligro. Esto puede llegar a ser necesario cuando se presenta una avería; por ejemplo, en la refrigeración del reactor. Para ello se introducen en el reactor todas las barras de control lo más rápidamente posible. De este modo se interrumpe de forma instantánea la reacción de fisión en cadena del uranio. Sin embargo, los productos de fisión radiactivos, acumulados durante la combustión, siguen desintegrados sin impedimento. La energía que liberan, sobre todo los residuos de vida más corta, es considerable y provoca el llamado post-calentamiento del reactor. Un reactor con una potencia calorífica de 3000 megavatios (MV) sigue produciendo, aproximadamente, 200 megavatios de calor residual, de modo que se debe continuar refrigerándolo durante unas horas después de haberlo desconectado.

- **Edificio de turbinas y condensación**

A él llega el vapor de agua a alta temperatura que mueve los álabes del turbogenerador procedente de refrigerar directamente el núcleo del reactor o de un intercambiador de calor.

- **Edificio de manipulación**

En este lugar también se almacenan el combustible ya utilizado hasta que sea trasladado a un centro de reprocesamiento o a un depósito de almacenamiento definitivo.

PRINCIPALES TIPOS DE REACTORES NUCLEARES

Los diferentes tipos de reactores nucleares se diferencian y se clasifican por la tecnología aplicada y por los siguientes criterios:

- **Combustible utilizado.** (diferentes tipos de uranio)
- **Refrigerante**
- **Moderador.** Se diferencian: reactores rápidos (sin moderador) y reactores térmicos (agua ligera, pesada o grafito).

Dependiendo de cómo se combinen estos factores se obtiene:

Reactor de agua a presión (PWR, Presurized Water Reactor)

Son las más utilizadas del mundo. Disponen de un reactor térmico, moderado y refrigerado por agua, y utilizan como combustible UO₂.

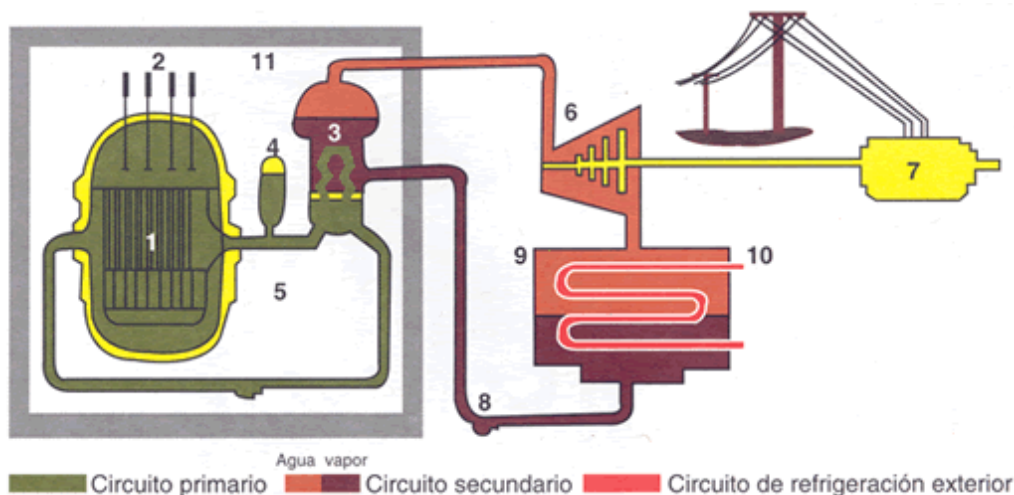
Este tipo de centrales tienen dos circuitos de refrigeración completamente aislados entre sí denominados primario y secundario.

El agua del circuito primario pasa por el interior de los tubos en forma de U del generador de vapor. Dentro de este generador de vapor circula agua de refrigeración del circuito secundario, de forma que nunca se mezcla con el agua del primario.

El agua del circuito secundario absorbe el calor del agua del circuito primario y se convierte en vapor. Éste se hace incidir sobre los álabes de una turbina, la cual al girar mueve un alternador que produce energía eléctrica.

Además existe un tercer circuito de refrigeración exterior que es el único cuyo agua tiene contacto con el medio ambiente circundante.

En el siguiente gráfico se muestra un esquema de un reactor de este tipo:



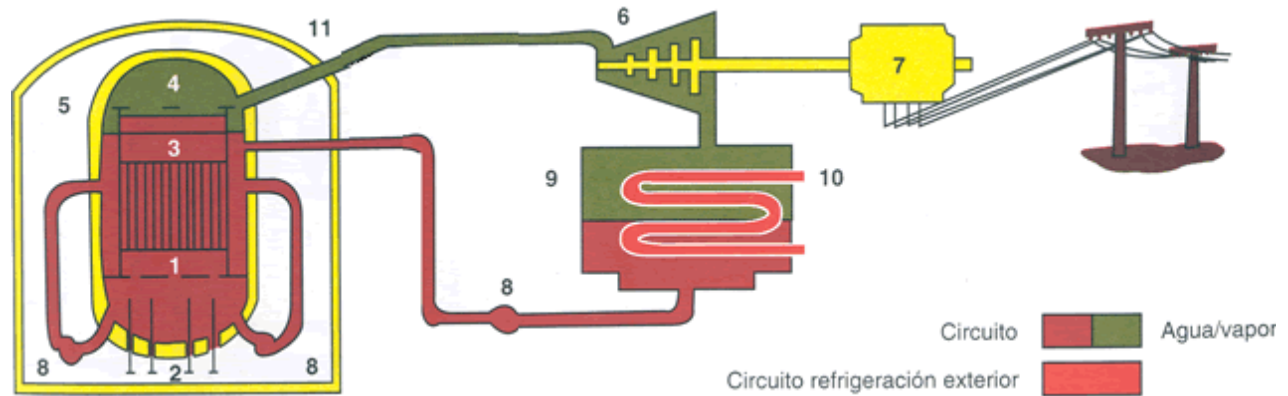
- Núcleo
- 2. Barras de control
- 3. Generador de vapor
- 4. Presionador
- 5. Vasija
- 6. Turbina
- 7. Alternador
- 8. Bomba
- 9. Condensador
- 10. Agua de refrigeración
- 11. Contención de hormigón

Reactores de agua en ebullición (BWR, Boiling Water Reactor)

Como en el caso de los reactores PWR, también utilizan el agua como refrigerante y moderador y el dióxido de uranio como combustible.

Se diferencian de los anteriores en que el generador de vapor se encuentra incorporado al reactor de forma que el agua refrigerante se convierte en el vapor que mueve la turbina. Por tanto sólo dispone de un circuito de refrigeración.

En el siguiente gráfico se muestra un esquema de un reactor de este tipo:



1. Núcleo
2. Barras de control
3. Filtro
4. Secador
5. Vasija
6. Turbina
7. Alternador
8. Bomba
9. Condensador
10. Agua de refrigeración
11. Contención de hormigón

Reactores refrigerados por gas

Los reactores de alta temperatura refrigerados por gas (HTGR) se vienen desarrollando desde hace mucho tiempo, y aunque ya se han construido varias centrales prototipo o de demostración, no se ha logrado tener pleno éxito en su explotación. El HTGR es básicamente un reactor moderado por grafito con un gas (helio) como refrigerante. El gas He inerte y el diseño especial del combustible hacen posible su funcionamiento a temperaturas considerablemente superiores a las de los reactores refrigerados por agua, lo que permite, a su vez, producir a una temperatura (y presión) mucho más alta el vapor destinado a los generadores convencionales accionados por turbina de vapor, lográndose así una mejora considerable de la térmica de la central, o producir calor industrial en régimen de alta temperatura para aplicaciones especiales.

En los últimos años, los trabajos de desarrollo se han centrado en unidades modulares pequeñas, visto que los experimentos y análisis han demostrado que dichas unidades pueden lograr un grado excepcional de autoprotección.

A diferencia del combustible LWR y LMFBR, el combustible HTGR no está contenido en agujas de combustible revestidas de metal, sino en partículas de combustible. Estas partículas miden entre 0,2 y 0,6 mm y consisten en una mezcla de óxido o carburo de uranio o torio o uranio/torio. A fin de retener los productos de fisión, cada partícula está revestida con varias capas de material cerámico resistente a altas temperaturas.

Las partículas se dispersan de manera homogénea en una matriz de grafito que se comprime ulteriormente en elementos esféricos, bolas, o en forma de barras, que se introducen en los canales de combustible de un bloque de grafito de agujeros múltiples. Las partículas permanecen intactas y retienen prácticamente todos los productos de fisión hasta una temperatura de unos 1600 C. Estas partículas no se funden a una temperatura umbral dada y sólo fallan gradualmente en condiciones de accidente; por lo tanto, no se puede producir una liberación súbita de los productos de fisión.

Los futuros trabajos de desarrollo de los HTGR se centrarán en los estudios para mejorar el comportamiento y prolongar la vida útil de las centrales. Con respecto a lo primero, actualmente se realizan considerables esfuerzos en relación con el denominado ciclo de turbina de gas, en el que el gas en régimen de alta temperatura pasa directamente a una turbina de gas, lo que permite obtener una eficiencia térmica muy elevada y prever costos energéticos reducidos, así como en lo que atañe a la producción de calor industrial en régimen de muy alta temperatura.

Reactores rápidos

Los reactores rápidos utilizan neutrones rápidos en apoyo del proceso de fisión, contrariamente a los reactores refrigerados por agua y por gas, los cuales utilizan neutrones térmicos. Los reactores rápidos se conocen también generalmente como reproductores, ya que producen combustible, además de consumirlo. La reproducción de plutonio permite a los reactores rápidos extraer 60 veces más energía del uranio que los reactores térmicos por lo que podrían resultar económicos y ventajosos para los países que no disponen de abundantes recursos de uranio. El mayor despliegue de la energía nucleoelectrica en los decenios venideros conducirá probablemente a un agotamiento de los recursos de uranio, y puede que en la primera mitad del próximo siglo sea necesario recurrir a los reactores reproductores para producir material fisionable.

En el espectro de neutrones rápidos presentes en tales reacciones, todos los elementos transuránicos se vuelven fisionables, por lo que los reactores rápidos podrían contribuir igualmente al quemado del plutonio procedente de la explotación de otros tipos de reactores y del desmantelamiento de las armas nucleares, así como a la disminución del inventario total de transuránicos dentro del macrosistema, transmutándolos en energía y productos de fisión; la reelaboración y el reciclado del combustible en los reactores rápidos permitiría el quemado de los radisótopos transuránicos de período muy largo, reduciendo considerablemente el tiempo de aislamiento requerido en el caso de los desechos de actividad alta.

Los reactores rápidos están refrigerados normalmente por metal líquido (sodio), por lo que se denominan reactores rápidos refrigerados por metal líquido (LMFR). Se han diseñado, construido y explotado con éxito centrales LMFR, tales como el BN-600 en Rusia, el Superphénix de 1200 MWe en Francia, y el Monju de 280 MWe en el Japón.

Los nuevos trabajos de desarrollo de los reactores rápidos se centran en los requisitos económicos y de seguridad revisados para la próxima generación de centrales nucleares. Prosiguen igualmente los trabajos encaminados a mejorar el grado de quemado y la tecnología de reciclado del combustible, a fin de reducir las cantidades de desechos radiactivos producidos en las centrales.

Actualmente se encuentran en estudio varios tipos distintos de LMFR, así como el empleo más amplio de sistemas pasivos para lograr una mayor seguridad; entre éstos se encuentran el BN-800M de Rusia, el DFBR del Japón, y el PFBR de la India. También existe un diseño de LMFR avanzado de pequeña y mediana potencia, desarrollado por la General Electric de los Estados Unidos de América. Este concepto de ALMR incorpora dispositivos de seguridad pasiva, e incluye instalaciones de gestión y reelaboración de desechos, así como la fabricación de combustible en el emplazamiento de la central, formando un sólo parque nuclear a fin de minimizar los riesgos de proliferación de materiales fisionables. Entre otros reactores rápidos avanzados figura el reactor rápido europeo (EFR), que podría llegar a ser ampliamente utilizado para el reciclado de plutonio y la producción de electricidad.

Central con reactor de agua pesada.

Este modelo prácticamente no se utiliza, fue desarrollado en Canadá y utiliza el uranio natural como combustible y como moderador, agua pesada. Como refrigerante se emplea agua pesada a presión, en el circuito primario y agua ligera en el circuito secundario.

Central con receptores de seguridad pasiva.

Se encuentran en fase de desarrollo. Consisten en accionar los sistemas de seguridad por medios pasivos, basados en medios o principios físicos naturales como la gravedad, convección, etc. Con ello se evita cualquier error.