

MONOGRAFÍA

La energía nuclear

La energía nuclear es la energía contenida en el núcleo de un átomo. Los átomos son las partículas más pequeñas en que se puede dividir un elemento químico manteniendo sus propiedades. En el núcleo de cada átomo hay dos tipos de partículas (neutrones y protones) que se mantienen unidas. La energía nuclear es la energía que mantiene unidos neutrones y protones.

La energía nuclear se puede utilizar para producir electricidad. Pero primero la energía debe ser liberada. Ésta energía se puede obtener de dos formas: fusión nuclear y fisión nuclear. En la fusión nuclear, la energía se libera cuando los núcleos de los átomos se combinan o se fusionan entre sí para formar un núcleo más grande. Así es como el sol produce energía. En la fisión nuclear, los núcleos se separan para formar núcleos más pequeños, liberando energía. Las centrales nucleares utilizan la fisión nuclear para producir electricidad.

Cuando se produce una de estas dos reacciones nucleares (la fisión nuclear o la fusión nuclear) los átomos experimentan una ligera pérdida de masa. Esta masa que se pierde se convierte en una gran cantidad de energía calorífica y de radiación, como descubrió Albert Einstein con su famosa ecuación $E=mc^2$. La energía calorífica producida se utiliza para producir vapor y generar electricidad. Aunque la producción de energía eléctrica es la utilidad más habitual que se le da a la energía nuclear, también se puede aplicar en muchos otros sectores, como en aplicaciones médicas o medioambientales.

Fisión nuclear

La fisión nuclear es la reacción en la que el núcleo de un átomo pesado, al capturar un neutrón incidente, se divide en dos o más núcleos de átomos más ligeros, llamados productos de fisión, emitiendo en el proceso neutrones, rayos gamma y grandes cantidades de energía.

El núcleo que captura el neutrón incidente se vuelve inestable y, como consecuencia, se produce su escisión en fragmentos más ligeros dando lugar a una situación de mayor estabilidad. Además de estos productos, en la reacción de fisión se producen varios neutrones que al incidir sobre otros núcleos fisionables desencadenan más

reacciones de fisión que a su vez generan más neutrones. Este efecto multiplicador se conoce como reacción en cadena.

Para que se produzca una reacción de fisión en cadena es necesario que se cumplan ciertas condiciones de geometría del material fisionable y se supere un umbral determinado de cantidad del mismo, conocido como masa crítica. La fisión puede llegar a producirse de forma espontánea, pero es necesaria la existencia de un neutrón que incida con la energía adecuada.

Fusión nuclear

La fusión nuclear es una reacción nuclear en la que dos núcleos de átomos ligeros, en general el hidrógeno y sus isótopos (deuterio y tritio), se unen para formar otro núcleo más pesado, generalmente liberando partículas en el proceso. Estas reacciones pueden absorber o liberar energía, según si la masa de los núcleos es mayor o menor que la del hierro, respectivamente. Un ejemplo de reacciones de fusión son las que tienen lugar en el sol, en las que se produce la fusión de núcleos de hidrógeno para formar helio, liberando en el proceso una gran cantidad de energía en forma de radiación electromagnética, que alcanza la superficie terrestre y que percibimos como luz y calor.

Para que tenga lugar una reacción de fusión, es necesario alcanzar altas cotas de energía que permitan que los núcleos se aproximen a distancias muy cortas en las que la fuerza de atracción nuclear supere las fuerzas de repulsión electrostática. Para ello, se deben cumplir los siguientes requisitos:

- Para lograr la energía necesaria se pueden utilizar aceleradores de partículas o recurrir al calentamiento a temperaturas muy elevadas. Esta última solución se denomina fusión térmica y consiste en calentar los átomos hasta lograr una masa gaseosa denominada plasma, compuesta por electrones libres y átomos altamente ionizados.
- Asimismo, es necesario garantizar el confinamiento y control del plasma a altas temperaturas en la cavidad de un reactor de fusión el tiempo necesario para que se produzca la reacción.
- También es necesario lograr una densidad del plasma suficiente para que los núcleos estén cerca unos de otros y puedan dar lugar a las reacciones de fusión.

Sin embargo, los confinamientos convencionales, como las paredes de una vasija, no son factibles debido a las altas temperaturas. Por este motivo, se encuentran en desarrollo dos métodos de confinamiento:

- Fusión por Confinamiento Inercial (FCI): Consiste en crear un medio tan denso que las partículas no tengan casi ninguna posibilidad de escapar sin chocar entre sí. Para ello se impacta una pequeña esfera compuesta por deuterio y tritio por un haz de láser provocando su implosión. Así, se hace cientos de veces más densa que en su estado sólido normal permitiendo que se produzca la reacción de fusión. Actualmente hay reactores de investigación con el objetivo de producir energía a través de este proceso.
- Fusión por Confinamiento Magnético (FCM): Las partículas eléctricamente cargadas del plasma son atrapadas en un espacio reducido por la acción de un campo magnético. El dispositivo más desarrollado tiene forma toroidal y se denomina Tokamak.

Energía nuclear en España

La historia de la energía nuclear en España comenzó en octubre de 1948, cuando un grupo de militares y científicos españoles se reunieron en el Laboratorio y Taller de Investigación del Estado Mayor de la Armada (LTIEMA) con el objetivo de constituir el organismo denominado Junta de Investigaciones Atómicas, que se enfocaría en tres actividades principales: la formación de personal de alta cualificación, el estudio de la explotación de yacimientos uraníferos y el desarrollo de técnicas relacionadas con la extracción, metalurgia y física del uranio. Para dotar a la Junta de Investigaciones Atómicas de mayor solidez técnica, se creó la Sociedad de Estudios y Proyectos de Aleaciones Especiales (EPALE), ampliando sus actividades en las áreas de geología, minería, física, química y metalurgia.

En 1951, el organismo se rebautizó como la Junta de Energía Nuclear (JEN) como centro de investigación y desarrollo de la tecnología nuclear en España. En 1967, la JEN puso en marcha una pequeña instalación piloto llamada Planta Caliente M-1 para el tratamiento de los primeros combustibles irradiados producidos en España y procedentes del reactor JEN-I.

Entre los años 1968 y 1970 se pusieron en marcha las centrales nucleares de José Cabrera, Vandellós I y Santa María de Garoña, que constituyeron la primera generación de centrales nucleares en España.

En 1972 fue constituida la Empresa Nacional de Uranio (Enusa), encargada de la gestión del aprovisionamiento de concentrados de uranio y de los servicios de conversión y enriquecimiento, así como del abastecimiento a todas las centrales nucleares españolas. Sus actividades de explotación estuvieron centradas en yacimientos existentes en la provincia de Salamanca.

En 1980, con la ley de creación del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), se separó la JEN en dos organismos: el CSN se encargaría de las funciones reguladoras en materia de seguridad nuclear y protección radiológica, y el Centro de Investigaciones

Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), se encargaría de los proyectos de investigación y desarrollo en cuatro áreas diferenciadas: investigación básica (fusión y altas Energías), tecnología nuclear, protección radiológica y medio ambiente y energías renovables.

En 1984 se constituyó por Real Decreto la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos (Enresa), con la responsabilidad de establecer planes para la gestión de los residuos radiactivos y poner en marcha un sistema de gestión de los residuos de baja y media actividad generados en España. En 1992 entró en funcionamiento el Centro de Almacenamiento de Residuos de Baja y Media Actividad de El Cabril, en la provincia de Córdoba.

Entre los años 1980 y 1989 se pusieron en marcha las centrales de Almaraz, Ascó, Cofrentes, Vandellós II y Trillo.

Tipos de instalaciones nucleares

Se consideran instalaciones nucleares:

- a) Las centrales nucleares, es decir, instalaciones fijas cuya función principal es la producción de energía mediante un reactor nuclear.
- b) Los reactores nucleares, son las estructuras que permiten la disposición del combustible nuclear de tal modo que dentro de ellos pueda tener lugar un proceso automantenido de fisión nuclear, sin necesidad de una fuente adicional de neutrones.
- c) Las fábricas que utilizan sustancias nucleares para producir combustibles nucleares u otras fábricas de tratamiento de sustancias nucleares, como las instalaciones de tratamiento o reprocesado de combustibles nucleares irradiados.
- d) Las instalaciones de almacenamiento de sustancias nucleares, excepto los lugares en que dichas sustancias se almacenen incidentalmente durante su transporte.
- e) Los dispositivos e instalaciones que utilicen reacciones nucleares de fusión o fisión para producir energía o con vistas a la producción o desarrollo de nuevas fuentes energéticas.

El Ministerio de Industria puede determinar si se considera como una sola instalación nuclear a varias instalaciones nucleares de un solo explotador que estén emplazadas en el mismo lugar.

Qué es una central nuclear

Una central nuclear es una instalación industrial en la que se genera electricidad a partir de la energía térmica producida mediante reacciones de fisión en la vasija de un reactor nuclear.

El componente central de una central es el reactor, que es la instalación donde se aloja el combustible nuclear y que cuenta con sistemas que permiten iniciar, mantener y detener, de modo controlado, reacciones nucleares de fisión que liberan grandes cantidades de energía térmica.

La energía térmica liberada se utiliza para calentar agua hasta convertirla en vapor a alta presión y temperatura. Este vapor hace girar una turbina que está conectada a un generador que transforma la energía mecánica del giro de la turbina en energía eléctrica, lista para su utilización industrial.

Cómo funciona

El principio de funcionamiento de una central nuclear es análogo al de una central térmica convencional (de carbón, fuel o gas) y consiste en transformar la energía térmica liberada por un combustible en energía mecánica, y ésta en energía eléctrica. El calor producido en el reactor de la central calienta agua hasta generar vapor a alta presión y temperatura. Posteriormente, este vapor acciona una turbina acoplada a un generador eléctrico, que transforma la energía mecánica del giro de la turbina en energía eléctrica.

Aunque este principio básico de funcionamiento es relativamente sencillo, la tecnología aplicada es de una gran complejidad debido a los fenómenos físicos que se ponen en juego, las grandes potencias alcanzadas, los requisitos técnicos y las estrictas medidas de seguridad necesarias para garantizar, en todo momento, tanto la seguridad de los trabajadores y de la población como la protección del medio ambiente.

El reactor

El reactor es la instalación de la central nuclear en la que se inician, mantienen y controlan las reacciones de fisión nuclear en cadena que producen la energía térmica necesaria para la generación de energía eléctrica.

El reactor consta de una vasija de acero en cuyo interior se dispone un conjunto de elementos de combustible nuclear siguiendo un cierto patrón geométrico. Los núcleos de los átomos del combustible nuclear son impactados por neutrones, lo que provoca su ruptura, dando lugar a la aparición de fragmentos conocidos como productos de fisión y de más neutrones que, a su vez, impactarán de nuevo sobre otros átomos de combustible. En este proceso, conocido como reacción en cadena, se desprende gran cantidad de energía térmica que se utiliza para la producción de vapor de agua.

En la mayoría de reactores, para facilitar el proceso de reacción en cadena es necesaria, asimismo, la presencia dentro del reactor de un elemento moderador de los neutrones que se producen en las reacciones de fisión. Esto se debe a que estos neutrones tienen una elevada energía cinética y es conveniente reducir su velocidad para facilitar nuevas reacciones en cadena, lo que se consigue mediante choques elásticos de los neutrones con los átomos del elemento que hace de moderador. El moderador utilizado en las centrales españolas es el agua ligera.

Por otro lado, para controlar de manera segura las reacciones de fisión que tienen lugar en el reactor nuclear existen mecanismos de accionamiento de una serie de barras de control que contienen un material que absorbe los neutrones. Estas barras de control se pueden insertar total o parcialmente dentro de la vasija del reactor para impedir en mayor o menor medida que los neutrones sigan desencadenando sucesivas reacciones de fisión. En caso de ser necesario detener todas las reacciones de fisión se insertan inmediatamente todas las barras de control dando lugar a lo que se denomina parada automática, "disparo" o "scram" del reactor. El reactor de una central nuclear está rodeado de un blindaje de hormigón que intercepta las radiaciones ocasionadas en las reacciones de fisión. Tanto el reactor como los sistemas auxiliares mencionados anteriormente se disponen de un edificio diseñado para limitar las emisiones de radiación en caso de accidente y que se conoce como edificio de "contención".

La energía producida por las reacciones de fisión se utiliza para generar el vapor que alimenta la turbina de la central nuclear. Para ello, el agua circula a través del núcleo del reactor aumentando su temperatura. Sin embargo, en España existen dos tipos de centrales nucleares en operación cuya diferencia fundamental estriba en si la generación de vapor tiene lugar dentro o fuera del reactor:

- En las centrales con Reactores de Agua a Presión (PWR según sus siglas en inglés), el agua circula en estado líquido a través del reactor a muy alta presión y su transformación en vapor se produce fuera del mismo, en un intercambiador de calor exterior que se denomina generador de vapor.
- En las centrales con Reactores de Agua en Ebullición (BWR según sus siglas en inglés), el vapor se produce directamente en el interior de la vasija del reactor.

Reactores de agua a presión (PWR)

En este tipo de centrales nucleares, el agua circula en estado líquido y a muy alta presión por el llamado “circuito primario” por medio de unas bombas que la impulsan a través del núcleo del reactor donde se calienta antes de dirigirse a los generadores de vapor. La presión del circuito primario se mantiene gracias a un elemento denominado “presionador” cuyo objetivo es evitar la formación de vapor dentro de este circuito.

En estas instalaciones, las barras de control están situadas en la parte superior de la vasija del reactor. En caso de ser necesaria la parada rápida del reactor, ésta se produce por la inserción de las barras de control por acción de la gravedad, al liberarse los mecanismos electromagnéticos de sujeción de las mismas.

El agua líquida a alta temperatura que sale de la vasija del reactor circula a través de los tubos del circuito primario atravesando los generadores de vapor. Dentro de los generadores de vapor, por el exterior de estos tubos circula el agua del circuito secundario, de manera que el agua a alta temperatura del circuito primario calienta el agua del circuito secundario hasta convertirla en vapor. Posteriormente, el vapor se dirige por los tubos del circuito secundario a la turbina, donde se expande haciéndola girar. El giro de la turbina se transmite al generador eléctrico, que es el componente en el que se produce la electricidad, la cual se envía al parque de transformación y, desde allí, a la red eléctrica exterior.

Como en cualquier central térmica, el vapor que sale de la turbina sigue estando muy caliente, por lo que es necesario condensarlo para su retorno al ciclo de agua/vapor. Esta condensación se hace gracias a un tercer circuito exterior de refrigeración que utiliza un gran caudal de agua fría que circula por el interior de los tubos del condensador. El agua fría que circula por los tubos del circuito de refrigeración se calienta a su paso por el condensador y posteriormente se enfría de nuevo mientras los tubos atraviesan lo que se conoce como “sumidero de calor” de la central (río, pantano, mar o torres de refrigeración).

El vapor que se ha condensado al contacto con los tubos del condensador es impulsado para ser precalentado antes de su envío de nuevo a los generadores de vapor. La presión en el condensador es menor que la de los tubos del circuito de refrigeración exterior que lo atraviesan, por lo que en caso de producirse una fisura en los tubos sería el agua de dicho circuito la que se fugaría hacia el condensador y no a la inversa, evitando así posibles escapes al medio ambiente.

Reactores de agua en ebullición (BWR)

En este diseño de centrales, no existe un circuito secundario agua-vapor, sino que es el mismo fluido refrigerante que circula por la vasija y el núcleo del reactor el que se evapora a su paso por el núcleo. De esta manera, de la vasija del reactor sale directamente el vapor que se dirige a la turbina. El funcionamiento de la misma, así como el del alternador, el condensador y el del sistema de agua de alimentación, es

análogo al de una central PWR, aunque en este caso el sistema impulsa el vapor condensado directamente hasta la vasija del reactor.

La vasija del reactor dispone de unos lazos de recirculación exteriores que permiten, mediante el uso combinado de bombas centrifugas y de chorro, la regulación rápida del caudal del refrigerante/moderador y, por tanto, el control de la potencia del reactor.

En este tipo de reactores, las barras de control están situadas en la parte inferior de la vasija y se insertan en su interior desde abajo mediante un sistema hidráulico que utiliza como fluido el propio refrigerante a alta presión.

Centrales nucleares en el mundo

El Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) es la organización para la cooperación en el campo nuclear. Desde su creación en 1957, la organización trabaja con sus Estados miembros y socios en todo el mundo para perseguir el uso seguro y pacífico de las tecnologías nucleares.

En la Conferencia Internacional Ministerial sobre Energía Nuclear en el siglo XXI, impulsada por el OIEA en junio de 2013, se reconoció el papel de liderazgo de este Organismo en el establecimiento de normas y directrices de seguridad, y en la promoción de la cooperación y los esfuerzos para fortalecer la seguridad nuclear mundial, la seguridad física y el control de las salvaguardias.

Desde 1981, el OIEA publica anualmente “Nuclear Power Reactors in the World”, que se encuentra disponible ([Nuclear Power Reactors Operating Worldwide](#)) con la situación actualizada en cuanto al número de países que ya operan centrales nucleares, cuantos están construyendo nuevas centrales o completando construcciones suspendidas previamente, y cuantos están considerando la opción de construir nuevas plantas o de completar los proyectos de construcción en suspensión, así como el tipo de las centrales nucleares. Igualmente se muestra la aportación de la energía nuclear a la producción eléctrica por país (Nuclear Share of Electricity Generation Worldwide) y se incluyen las proyecciones realizadas sobre la capacidad de producción de energía eléctrica por medio de energía nuclear.