

MÓDULO C:

DESCRIPCIÓN DE LAS CENTRALES NUCLEARES, INSTALACIONES DEL CICLO DE COMBUSTIBLE E INSTALACIONES RADIATIVAS EXISTENTES EN ESPAÑA

- C.1 DESCRIPCIÓN DE UNA CENTRAL NUCLEAR**
- C.2 FUNCIONAMIENTO DE LAS CENTRALES NUCLEARES**
- C.3 PRINCIPIOS DE SEGURIDAD EN LAS CENTRALES NUCLEARES**
- C.4 INSTALACIONES DEL CICLO DE COMBUSTIBLE**
- C.5 INSTALACIONES RADIATIVAS**

Profesor: D. Sebastián Servera Delgado

PROINSA

MÓDULO C: DESCRIPCIÓN DE LAS CENTRALES NUCLEARES, INSTALACIONES DEL CICLO DE COMBUSTIBLE E INSTALACIONES RADIATIVAS EXISTENTES EN ESPAÑA

Objetivos

Ayudar a los participantes a conocer las generalidades sobre el funcionamiento de las centrales nucleares, y la utilización de las radiaciones ionizantes en la industria y la medicina.

Contenidos

- Descripción de una central nuclear
- Control de reactores nucleares
- Tipos de reactores nucleares
- Funcionamiento de una central nuclear PWR
- Funcionamiento de una central nuclear BWR
- Principios de seguridad de las centrales nucleares
- Instalaciones del ciclo de combustible
- Instalaciones radiactivas en la industria
- Instalaciones radiactivas médicas.

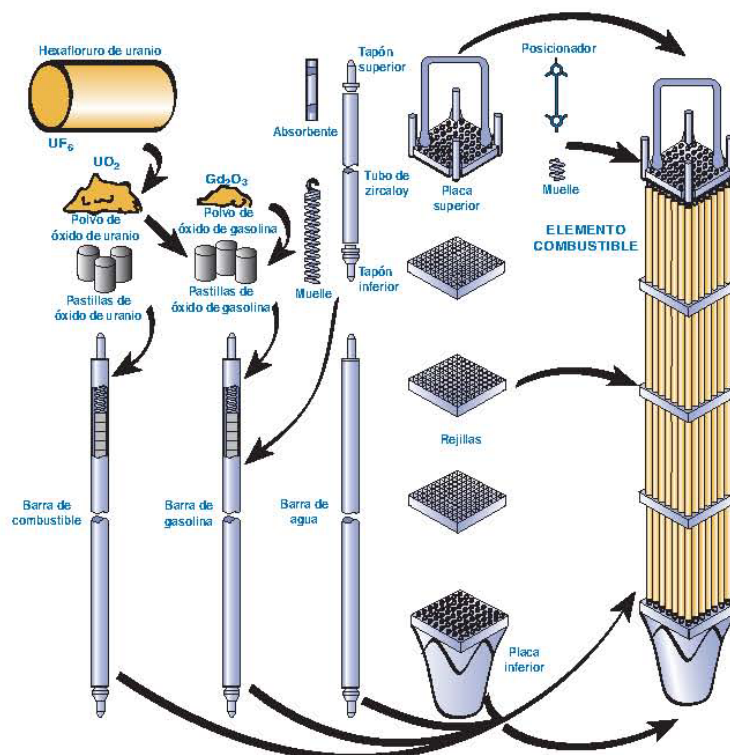
C.1 DESCRIPCIÓN DE UNA CENTRAL NUCLEAR

Una central nuclear es una planta térmica en la que se transforma la energía liberada por un combustible (en este caso uranio) en energía mecánica, en forma de calor, para producir electricidad. El calor permite evaporar agua que acciona una turbina acoplada a un alternador. Este principio tan sencillo se lleva a cabo a través de una compleja tecnología que requiere una serie de requisitos técnicos y que permite alcanzar altas potencias energéticas que deben ser controladas bajo los máximos niveles de seguridad para proteger a los trabajadores de las centrales, la población y el medio ambiente en general

C.1.1. EL REACTOR NUCLEAR Y SUS COMPONENTES

Un reactor nuclear es una instalación capaz de iniciar, mantener y controlar las reacciones de fisión en cadena, con los medios adecuados para extraer el calor generado. Los componentes fundamentales de un reactor nuclear son:

Combustible: Se utiliza un material fisionable, generalmente óxido de uranio enriquecido entre un 3 y un 5 por ciento en uranio-235. Este combustible se fabrica en forma de pastillas cerámicas que son introducidas dentro de vainas o barras metálicas, llamadas barras de combustible.



Proceso de fabricación de las barras de combustible nuclear.

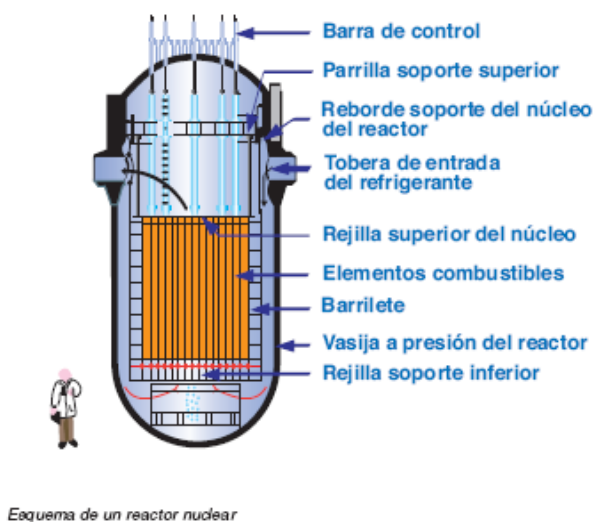
Moderador: Los neutrones que en ella se generan tienen una energía alta. Para que sigan produciendo la reacción, conviene disminuir su energía ya que son los neutrones de baja energía los que más probabilidad tienen de producir fisión y para ello se utilizan sustancias (grafito, agua pesada o agua) que denominamos moderador. A los neutrones moderados se les denomina “neutrones lentos o térmicos” y a los primitivos sin moderar “neutrones rápidos”

Refrigerante: El exceso de calor se extrae del núcleo del reactor a través del refrigerante que circula externamente alrededor de las barras de combustible. Este fluido refrigerante suele ser anhídrido carbónico, helio, agua o agua pesada. Para que un fluido sea un buen refrigerante debe tener ciertas características como:

- No ser corrosivo a las vainas de los elementos de combustible ni a otras partes del reactor con lo que esté en contacto.
- Tener gran capacidad calorífica
- Tener una sección de captura neutrónica relativamente baja, así como las impurezas que le acompañen

Elementos de control: Actúan como absorbentes de neutrones y permiten controlar su cantidad, y por tanto, la reactividad del reactor. Los elementos de control tienen forma de barras, aunque también puede utilizarse diluido en el refrigerante.

El núcleo del reactor: Lugar en el que se produce la reacción nuclear y en el que se encuentran las barras de combustible y las barras de control rodeadas por el moderador. Si las barras de control son insertadas en el núcleo del reactor, la reacción se para y se vuelve a reiniciar al extraerlas.



Blindaje: Cuando un reactor nuclear está en operación, gran cantidad de radiación sale en todas las direcciones. En un reactor nuclear se producen todas las formas de radiación atómica. Los rayos alfa y beta emitidos tienen poco poder de penetración y no son causa de grandes problemas. Sin embargo, los rayos gamma y los neutrones tienen un poder grande de penetración y por esto no es posible trabajar en las

proximidades del reactor sin tener una protección adecuada para evitar el riesgo a las radiaciones. Por ello es necesario colocar un “blindaje biológico” alrededor del reactor para atenuar la radiación gamma y neutrónica. Los materiales más usados para construir un blindaje, en un reactor nuclear son: hormigón, agua y plomo.

C.1.2. CONTROL DE LOS REACTORES NUCLEARES

Para que un reactor funcione durante un período de tiempo tiene que tener un exceso de reactividad sobre el valor crítico, para compensar las pérdidas de neutrones que por diversos fenómenos tiende a reducirlos.

Este exceso de reactividad es máximo con el combustible fresco y va disminuyendo en la vida del mismo hasta que se anula, en cuyo momento hay que cambiar o recargar el combustible.

El reactor tiene que funcionar en condiciones de criticidad, lo que significa que el exceso de reactividad tiene que mantenerse en un valor cero.

Para controlar la reactividad en los reactores nucleares de agua natural, se puede proceder de varias formas, que pueden actuar de forma simultánea o no. La introducción de absorbentes de neutrones en el núcleo por medio de barras llamadas de control, es un medio rápido y eficaz de control. Estas barras están fabricados con metales o aleaciones de cadmio, plata o indio, con gran sección eficaz de captura. En determinadas circunstancias puede disolverse en el moderador, cuando éste es líquido, un absorbente de neutrones como el ácido bórico. Este procedimiento de control es lento, pero tiene la ventaja que no distorsiona el flujo neutrónico como ocurre con las barras de control, lo que puede originar puntos calientes en los elementos combustibles, cosa no deseable.

En funcionamiento normal, un reactor nuclear tiene las barras de control en posición extraída del núcleo, pero el diseño de las centrales nucleares es tal que un fallo en un sistema de seguridad, siempre actúa en el sentido de seguridad del reactor. Así un fallo en el sistema de control del reactor, las barras de control caerían dentro del núcleo automáticamente (nota: por gravedad sólo se produce en los PWR), compensado instantáneamente la reactividad del núcleo y parándose el reactor.

C.1.3. TIPO DE REACTORES NUCLEARES

Las diversas combinaciones de combustible, moderador y refrigerante configuran los diversos tipos de reactores nucleares posibles.

Los tipos de reactores nucleares pueden clasificarse ateniéndose a varios criterios, los más comunes son los siguientes:

- **Según la velocidad de los neutrones** que producen las reacciones de fisión: reactores rápidos y reactores térmicos
- **Según el combustible utilizado:** reactores de uranio natural, en los que la proporción de uranio 235 en el combustible es la misma que se encuentra en la Naturaleza, esto es, aproximadamente 0,7 por 100, reactores de uranio

enriquecido, en los que la proporción de uranio 235 se ha aumentado hasta alcanzar un 3, 4 ó un 5 por 100.

- **Según el moderador utilizado;** los que utilizan agua ligera, agua pesada o grafito
- **Según el material usado como refrigerante:** los materiales más utilizados son el agua (ligera ó pesada) o un gas (anhídrido carbónico y helio), que a veces actúan simultáneamente como refrigerante y moderador. Otros refrigerantes posibles son aire, vapor de agua, metales líquidos ó sales fundidas.

Hay varios tipos de centrales nucleares en operación comercial:

Reactor de agua a presión (PWR)

Es el tipo de reactor más utilizado en el mundo. En este reactor el agua se utiliza como moderador y refrigerante. En operación en España están las CC. NN de Almaraz, Ascó (dos unidades en cada una), Vandellós II y Trillo. En desmantelamiento está José Cabrera que pertenecía a este tipo. Se describen posteriormente.

Reactor de agua en ebullición (BWR)

El reactor de agua en ebullición, al igual que el anterior, es ampliamente utilizado. En este reactor el agua se utiliza como moderador y refrigerante. El combustible es uranio enriquecido en forma de óxido. En España pertenece a este tipo, las de Santa María de Garoña y Cofrentes . Se describen posteriormente.

Reactor de uranio natural, gas y grafito (GCR)

Estos reactores, cuyo combustible es uranio natural en forma de metal, introducido en tubos de una aleación de magnesio llamado magnox, emplean grafito como moderador y se refrigeran por anhídrido carbónico. Este tipo de reactores genera el vapor mediante un circuito cambiador de calor, exterior o interior a la vasija que contiene el núcleo. A este tipo perteneció Vandellós I que está desmantelado.

Reactor avanzado de gas (AGR)

Sucesor de los GCR, las principales diferencias son que el combustible, en forma de óxido de uranio enriquecido, está introducido en tubos de acero inoxidable y que la vasija de hormigón pretensado, contiene en su interior los cambiadores de calor.

Reactor refrigerado por gas a temperatura elevada (HTGCR)

Difiere del anterior en tres aspectos principales utilización del helio como refrigerante, en lugar del anhídrido carbónico, combustible cerámico, en vez de metálico, y temperaturas del gas mucho más elevadas.

Reactor de agua pesada (HWR)

Emplea como combustible uranio natural, en forma de óxido, introducido en tubos de circonio aleado. Su principal característica es el uso de agua pesada como moderador y refrigerante.

En su diseño más común, los tubos del combustible están introducidos en una vasija que contiene el moderador, agua pesada. El refrigerante, también agua pesada, se

mantiene a presión para que no entre en ebullición, produciéndose el vapor en unos cambiadores de calor por los que circula el agua ligera.

C.1.4. BIBLIOGRAFÍA

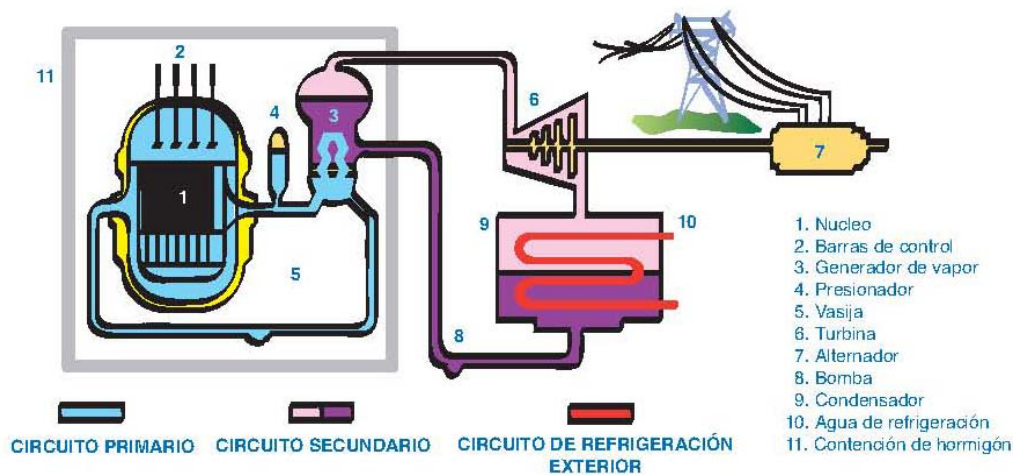
1. El libro de la energía Forum Atómico Español 1987
2. El CSN ante las Emergencias Nucleares. Guía del Profesor. Consejo de seguridad Nuclear

C.2 FUNCIONAMIENTO DE LAS CENTRALES NUCLEARES

C.2.1. CENTRALES NUCLEARES DE AGUA A PRESIÓN (PWR: PRESSURIZED WATER REACTOR)

El núcleo del reactor está contenido en una cuba de acero (vasija del reactor) por la que circula agua bajo presión, funcionando a la vez como moderador y transporte de calor. Las barras de control están situadas en la parte superior de la tapa de la vasija del reactor y se insertan (penetran) en el núcleo por la acción de la gravedad. El agua circula gracias a unas bombas que la impulsan hacia el núcleo del reactor donde se calienta y, mediante el uso de un presionador, se mantiene a la presión adecuada.

En las centrales nucleares de agua a presión existen tres circuitos de agua aislados entre sí: el *circuito primario*, que es el que está en contacto con el combustible. En este circuito el agua llena la vasija donde se encuentra el combustible nuclear y se calienta como consecuencia de la energía liberada en la fisión nuclear. Este agua se mueve impulsada por una bomba fuera de la vasija hacia los tubos de un cambiador de calor, donde cede parte de su calor a otro agua (circuito secundario) y retorna de nuevo a la vasija para volver a calentarse; el *circuito secundario* (agua-vapor), en el que, el agua allí contenida recoge el calor cedido por el agua del circuito primario en el cambiador de calor, y se vaporiza.

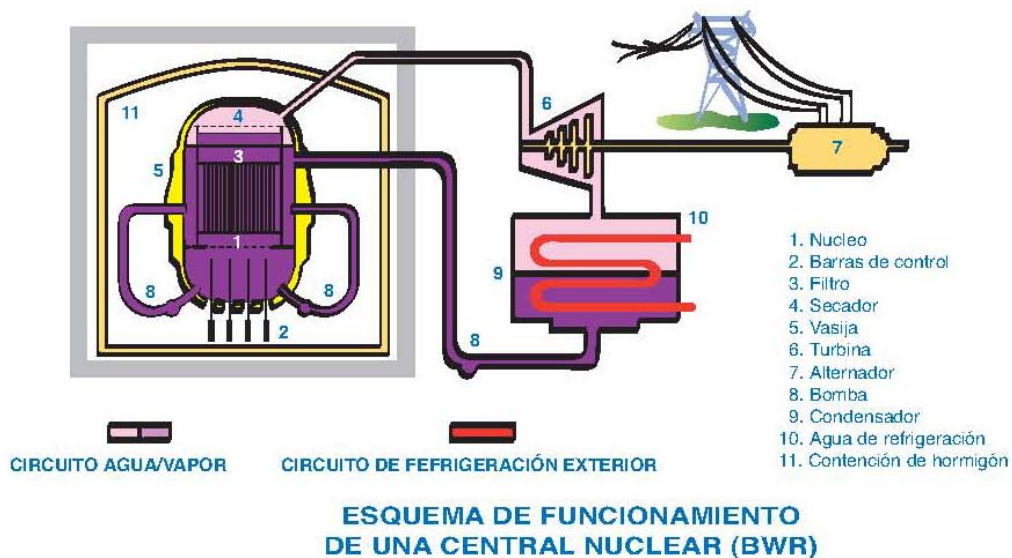


ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO
DE UNA CENTRAL NUCLEAR (PWR)

Ese vapor pone en funcionamiento una turbina, que a su vez hace girar un alternador produciendo energía eléctrica, enfriándose y perdiendo presión para entrar en el condensador, donde se convierte en agua que es recogida por bombas e impulsada de nuevo al cambiador de calor; y el *circuito de refrigeración exterior* cuya misión es condensar el vapor procedente de la turbina y para ello se suele utilizar agua de mares, ríos, embalses, lagos o torres de refrigeración.

C.2.2. CENTRALES NUCLEARES DE AGUA EN EBULLICIÓN (BWR: BOILING WATER REACTOR)

En un reactor de agua en ebullición se aprovecha la energía térmica desprendida por la fisión para hacer hervir el agua contenida en la propia vasija del reactor y que está en contacto con las barras de combustible. Ese agua funciona, además, como moderador de la reacción nuclear.



El calor producido en el núcleo del reactor produce vapor que hace girar la turbina que mueve un alternador que produce la electricidad. El vapor, al salir de la turbina, pasa a un condensador que lo vuelve a convertir en agua (agua de condensado) y que, una vez calentada a temperatura adecuada, se vuelve a bombear a la vasija del reactor. En resumen, en las centrales con reactor de agua en ebullición (BWR), el vapor necesario para mover las turbinas se produce directamente en la vasija del reactor.

En las centrales con reactor de agua a presión (PWR) el vapor se produce en un intercambiador de calor denominado "generador de vapor" con el aporte del calor producido dentro de la vasija. Este vapor no sale al exterior sino que es enfriado en los denominados "condensadores" y vuelve a la vasija o a los generadores de vapor, en forma de agua. Las centrales nucleares de agua en ebullición tienen dos circuitos de agua independientes entre sí: el *circuito de agua/vapor*, que está en contacto con

las barras de combustible; y el *circuito de refrigeración exterior*, que entra en contacto con el medio ambiente circundante.

C.2.3. BIBLIOGRAFÍA

1. El libro de la energía Forum Atómico Español 1987
2. El CSN ante las Emergencias Nucleares. Guía del Profesor. Consejo de seguridad Nuclear

C.3 PRINCIPIOS DE SEGURIDAD EN LAS CENTRALES NUCLEARES

Las instalaciones nucleares están diseñadas y construidas para que la probabilidad de que se produzca un accidente en las mismas durante su operación que pueda afectar al público o al medio ambiente, sean mínimas. Pero ante la mínima probabilidad de que eso pudiera ocurrir es imprescindible establecer una planificación preventiva de actuación para reducir las consecuencias de ese posible incidente.

Por eso en las instalaciones nucleares se aplica el criterio de defensa en profundidad basado en el establecimiento de niveles de seguridad referidos tanto al diseño y construcción como a la explotación comercial de las mismas, disponiéndose en cada nivel de los mecanismos adecuados para compensar o corregir los posibles fallos que puedan producirse en el nivel anterior. Además, existen otros requisitos técnicos relativos a la garantía de calidad, cualificación del personal, experiencia operativa y procedimiento de operación que complementan el principio de defensa en profundidad asegurando que los sistemas de seguridad se comporten de acuerdo con el diseño, que las intervenciones humanas sean las correctas y que las condiciones de seguridad de las centrales se actualicen gracias a la experiencia de explotación y los programas de investigación.

C.3.1. DEFENSA EN PROFUNDIDAD

El objetivo más importante en el diseño de una central nuclear es asegurar que todas las radiaciones contenidas en el interior del reactor se mantienen confinadas, para ello se establecen las siguientes barreras de seguridad:

1ª Barrera: Es la propia vaina o barra en la que se encierran las pastillas de combustible.

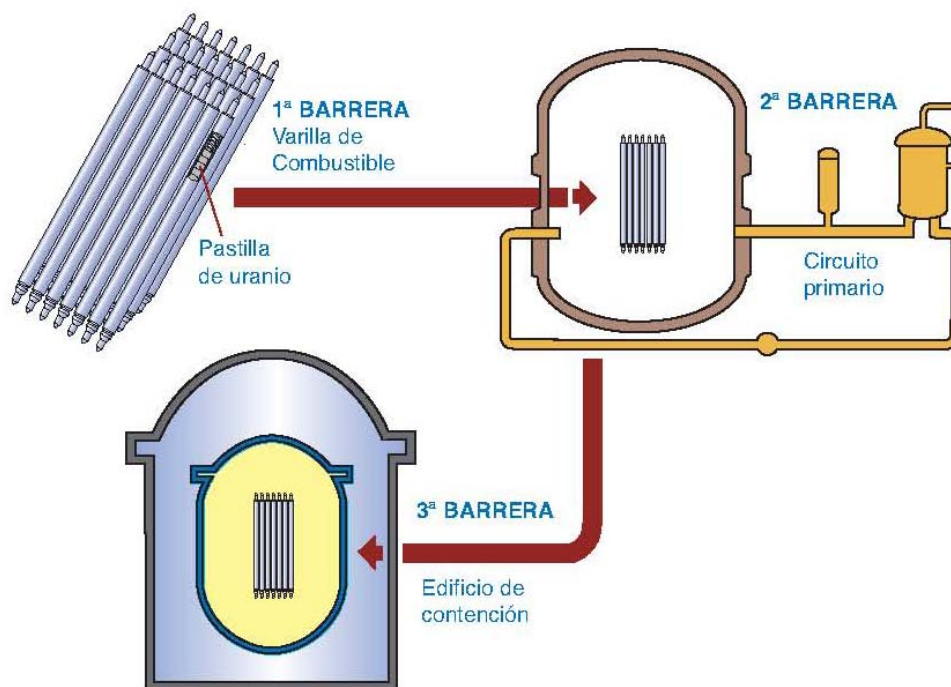
2ª Barrera: La vasija y conjunto de tuberías que forman la barrera de presión (o circuito primario) de refrigerante del reactor.

3ª Barrera: La estructura que forma el edificio de contención del reactor nuclear.

Los criterios de diseño establecen tres niveles o escalones de seguridad sucesivos:

- El reactor debe ser intrínsecamente estable y seguro.
- A pesar de lo anterior, se definen posibles fallos que desvíen al reactor de sus condiciones normales de operación y, en función de ello se incorporan mecanismos capaces de detener el reactor y llevarlo a condiciones seguras.

- A pesar de los dos niveles anteriores, se definen posibles pero poco probables accidentes capaces de liberar radiación al exterior, y se incorporan sistemas para reducir las consecuencias de los mismos y evitar que se produzcan daños al núcleo y la liberación al medio ambiente de material radiactivo.



Barreras de seguridad.

C.3.2. SALVAGUARDIAS TECNOLÓGICAS

Las **salvaguardias tecnológicas** están constituidas por un conjunto de sistemas diseñados para proteger las barreras físicas y evitar accidentes (preventivas). Además, en el caso de que tuviera lugar un accidente, reducen las consecuencias a límites controlables (de contención). Los sistemas que las integran son:

- **El sistema de refrigeración de emergencia del núcleo:** se ocupa de refrigerar el núcleo, limitando fugas de productos radiactivos, siendo capaz de extraer por completo el calor residual tras un accidente con pérdida de refrigerante (ACPR) causado por la rotura o fuga de la barrera de presión (circuito primario), evitando así la fusión del núcleo.
- **El sistema de protección del reactor:** es un sistema independiente del sistema de control, de forma que se inicie automáticamente hasta detener el reactor (disparo del reactor) y llevarlo a **parada segura**, mediante la inserción de las barras de control y mantenga los límites de diseño ante incidentes de operación previstos y mitigue las consecuencias de accidentes imprevistos.

- **El sistema de evacuación del calor residual:** cuando el reactor está en parada, hay que disipar el calor residual liberado por la desintegración de los productos radiactivos acumulados en el combustible.
- **El sistema de inyección de seguridad:** que suministra agua borada al sistema de refrigeración del reactor controlando así el flujo neutrónico.
- **El sistema eléctrico de emergencia:** que debe suministrar la energía necesaria para el funcionamiento de los sistemas importantes para la seguridad, incluso después de un fallo completo del suministro eléctrico exterior normal. Pueden emplearse turbinas hidráulicas, moto generadores de diesel, baterías, etc..

Si a pesar de todas estas medidas de seguridad, pudieran producirse fallos, sus consecuencias serían mínimas debido a la existencia de sistemas de seguridad redundantes que mantienen la funcionalidad en caso de fallo de un sistema.

C.3.3. BIBLIOGRAFÍA

1. El libro de la energía Forum Atómico Español 1987
2. El CSN ante las Emergencias Nucleares. Guía del Profesor. Consejo de Seguridad Nuclear

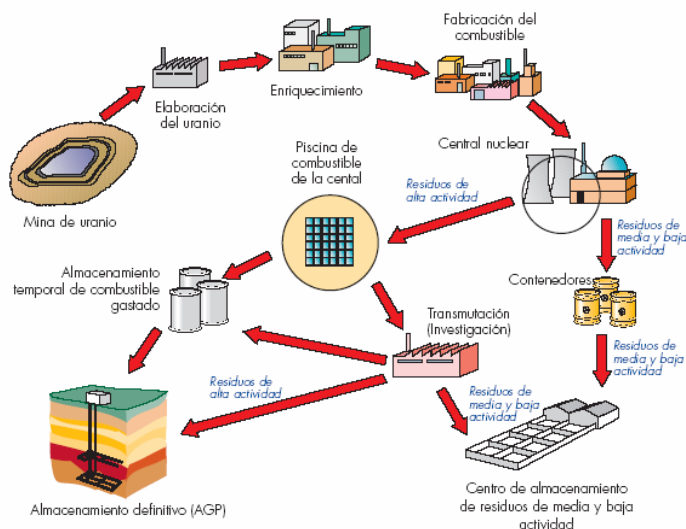
C.4 INSTALACIONES DEL CICLO DE COMBUSTIBLE

C.4.1. GENERALIDADES

El ciclo de combustible nuclear comprende todas las etapas por las que debe pasar cualquier combustible nuclear para ser usado en reactores nucleares y aquellas que permiten manejar el combustible irradiado y los residuos generados eliminando o reduciendo al máximo cualquier posible interacción con el medio ambiente.

El ciclo de combustible de uranio tiene dos fases claramente diferentes. La primera comienza con las actividades de minería del uranio y finaliza con la introducción de los elementos de combustible en el reactor nuclear. La característica más notable de esta fase es la ausencia de radiactividad salvo la existente en el fondo natural. Al combustible de esta fase se le denomina no irradiado.

La segunda fase comienza con la extracción de los elementos combustibles del reactor después de una estancia más ó menos larga que depende del tipo de reactor, y finaliza con las actividades de reelaboración del combustible y de la gestión de residuos.



Las actividades de la primera fase son minería, fabricación de concentrados de uranio, conversión a hexafluoruro de uranio, (solamente cuando se use uranio enriquecido), enriquecimiento del uranio y fabricación de los elementos combustibles y su transporte desde la fábrica hasta los reactores.

Las actividades de la segunda fase comprenden el almacenamiento temporal del combustible irradiado, su transporte hasta la fábrica de reelaboración, el posterior transporte del uranio y plutonio recuperados hasta la fábrica de elementos combustibles y la gestión de residuos radiactivos generados.

Puesto que casi todos los reactores nucleares emplean uranio como combustible, seguidamente se describirán las fases del ciclo de este combustible, apuntando que para el resto, plutonio y torio, las fases son las mismas, pero que los procedimientos varían, al ser distintos los constituyentes y sus propiedades.

El ciclo del uranio, desde la mina hasta la central nuclear que produce electricidad y el almacén de residuos, es gestionado por la Empresa Nacional del Uranio (ENUSA) y la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos (ENRESA).

En España, ENUSA cuenta con la Fábrica de Juzbado (Salamanca) para tratar mineral de uranio y convertirlo en combustible para las centrales nucleares

Los distintos residuos radiactivos que se generan en las centrales nucleares en los hospitales, en los centros de investigación y en la industria en general se clasifican en dos grandes grupos:

- *De baja y media actividad.* Escasamente peligrosos y con un periodo de vida de aproximadamente 30 años, agrupan materiales desechables como guantes, uniformes, radiografías y demás material de uso hospitalario, chatarra contaminada, material contaminado en incidentes, desmantelamiento de instalaciones y materiales de centrales que no sean de alta actividad.

- *De alta actividad.* Más peligrosos y con una vida media muy larga. Son los elementos combustibles de las centrales nucleares y sus productos de fisión asociados, una vez utilizados para producir electricidad.

Los residuos radiactivos generados durante el funcionamiento de las instalaciones nucleares y radiactivas y en las operaciones de desmantelamiento son clasificados y almacenados.

Los residuos de baja y media actividad se guardan en el Centro de almacenamiento de El Cabril (Córdoba), en condiciones seguras. En menos de tres siglos se convertirán en residuos convencionales con valores inocuos de radiactividad

Los de alta actividad se almacenan, provisionalmente, en las centrales nucleares (piscina, ATI) que los generan; más adelante, el Parlamento y el Gobierno tomarán una decisión definitiva sobre ellos, cumpliendo los criterios de seguridad que establece el Consejo de Seguridad Nuclear.

Actualmente existen dos ATI uno en C.N. Trillo y otro en José Cabrera.

C.4.2. BIBLIOGRAFÍA

1. El libro de la energía Forum Atómico Español 1987.
2. El CSN ante las Emergencias Nucleares. Guía del Profesor. Consejo de seguridad Nuclear.

C.5 INSTALACIONES RADIATIVAS

C.5.1. GENERALIDADES

Las radiaciones se utilizan también en múltiples aplicaciones de la industria, la medicina y la investigación científica. También en estos campos el CSN vela por la seguridad. Evalúa la documentación previa a cualquier permiso de puesta en marcha, inspecciona, audita, establece límites y verifica las incidencias. Asimismo, se encarga de otorgar y renovar las licencias que necesitan los trabajadores para operar o supervisar una instalación radiactiva.

Las instalaciones radiactivas son locales, laboratorios o fábricas en los que se manipulan, almacenan o producen materiales radiactivos; los aparatos productores de radiaciones ionizantes y, en general, cualquier clase de instalación que contenga una fuente emisora de radiación ionizante.

Las instalaciones radiactivas se clasifican en tres categorías en función del riesgo radiológico asociado a los equipos o materiales radiactivos que utilizan o almacenan. Las de mayor riesgo potencial son las de primera categoría, las de segunda tienen un riesgo intermedio y las de tercera un riesgo bajo.

De acuerdo con la legislación vigente en España, las instalaciones radiactivas deben tener una autorización de funcionamiento otorgada por la Dirección General de Política Energética y Minas del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio o del organismo competente de la comunidad autónoma correspondiente, cuando esta competencia haya sido transferida. Dicha autorización requiere el informe preceptivo y vinculante del Consejo de Seguridad Nuclear.

A 31 de diciembre de 2006 tenían transferidas las competencias ejecutivas de 1ª, 2ª y 3ª categoría las comunidades siguientes: Asturias, Baleares, Canarias, Cantabria, Cataluña, Castilla y León, Ceuta, Extremadura, Galicia, La Rioja, Madrid, Melilla, Murcia, Navarra, País Vasco y Valencia.

Tienen autorización de funcionamiento un total de 1.307 instalaciones radiactivas (una de 1ª categoría, 995 de 2ª categoría y 311 de 3ª categoría). Asimismo, el CSN tiene constancia de la inscripción de 25.902 instalaciones de radiodiagnóstico en los correspondientes registros de la comunidades autónomas.

C.5.2. INSTALACIONES RADIATIVAS EN LA INDUSTRIA

Campo de Aplicación Analítico

Testificación neutrónica de sondeos: El conjunto formado por una fuente neutrónica y un detector gamma, puede hacerse descender por la perforación de un sondeo, para transmitir a “superficie” la información correspondiente a la composición de los estratos atravesados. Aplicaciones: construcción carreteras y otras infraestructuras. Habitualmente se utilizan fuentes de $\text{Am}^{241}/\text{Be}$ y de Cf^{252}

Medida del grado de humedad: Mediante fuentes neutrónicas, es posible determinar el grado de humedad en suelos, materiales, estratos, gracias a la importante retrodispersión neutrónica producida por el hidrógeno. Aplicaciones: construcción carreteras y otras infraestructuras. Habitualmente se utilizan fuentes de $\text{Am}^{241}/\text{Be}$.

Detección de impurezas: En materiales (ej: azufre en hidrocarburos o hierro en lignitos), mediante la radiación gamma. Los radioisótopos más utilizados son el Fe^{55} , Cd^{109} y $\text{Pm}^{147}/\text{Al}$.

Campo de Aplicación Físico

Gammagrafía: Se basa en la interacción de la radiación gamma con el material a inspeccionar en proporción a la densidad superficial que cada parte del haz encuentre en su paso y que se registre en el detector (en este caso una película fotográfica). Aplicaciones: detección de defectos en soldaduras, cuerpos metálicos, etc. Habitualmente se usan fuentes de Co^{60} , Cs^{137} e Ir^{192} , etc.

Control de espesores: Se basa en la atenuación de un haz al atravesar un determinado espesor de material, empleándose partículas beta (Sr^{90} , Tl^{204}) para espesores pequeños y fotones gamma (Cs^{137} , Co^{60}) para espesores mayores. Es muy utilizado en el control de espesores de productos laminares y en control de procesos de llenado de recipientes.

Detectores de humos: Se basan en la alteración que los aerosoles producen en la corriente de ionización originada en el aire por una pequeña fuente alfa (Am^{241}) ó beta (Ni^{63}).

Campo de Aplicación Químico

Polimerización: La irradiación de monómeros (pequeñas moléculas orgánicas insaturadas, cuyas moléculas les permite unirse consigo mismas para formar largas cadenas), es una vía alternativa a los catalizadores químicos para formación de polímeros. Habitualmente se usan fuentes de Co^{60} y aceleradores lineales.

Esterilización: La irradiación en un material biológicamente contaminado permite reducir su carga de gérmenes patógenos de forma aproximadamente exponencial, en función de la dosis absorbida. La dosis de esterilización depende de la radiosensibilidad de la especie patógena. Aplicación: control de plagas, esterilización de herramientas quirúrgicas, etc.. Habitualmente se usan aceleradores lineales y fuentes de Co^{60} .

Conservación de alimentos: La irradiación de alimentos además de producir una cierta esterilización parcial de los mismos, altera el sistema enzimático que gobierna la evolución biológica del alimento, impidiendo, por ejemplo, el brote de bulbos y tubérculos, retardando la maduración de frutas o eliminando insectos y otras plagas en semillas, cereales. Habitualmente se usan aceleradores lineales y fuentes de Co^{60} .

C.5.3. INSTALACIONES RADIATIVAS MÉDICAS

Las aplicaciones médicas presentan dos vertientes bien definidas. Por una parte se utilizan como medio diagnóstico, generalmente como radiotrazadores, configurando la especialidad denominada Medicina Nuclear. Por otra parte con fines terapéuticos, basados en la acción de las radiaciones sobre la materia viva, en la especialidad llamada radioterapia. Incluiremos en este apartado una tercera vertiente, la más antigua y conocida, las instalaciones de rayos X utilizadas en diagnóstico médico que tienen un tratamiento legislativo independiente del de las instalaciones radiactivas propiamente dichas.

Medicina Nuclear

Los estudios sobre el paciente, permiten el examen funcional de numerosos órganos y la cuantificación de los procesos biológicos que tienen lugar en los mismos, así como la obtención de imágenes de la región estudiada, llamadas gammagrafías, que informan sobre aspectos morfológicos y características de la distribución del radionucleído en el órgano.

La sustancia radiactiva administrada tiene el mismo comportamiento fisiológico y bioquímico que el elemento no estable radiactivo presente en el organismo, pero la emisión de radiación permite su seguimiento por medio de equipos de detección. Las exploraciones en Medicina Nuclear tienen además las siguientes particularidades.

Las dosis utilizadas son tan pequeñas que no se alteren los procesos biológicos que van a ser estudiados

Las técnicas de exploración no son peligrosas ni molestas para el paciente, ya que sólo requieren en la mayor parte de los casos, la inyección del material radiactivo.

Los efectos secundarios son mínimos y las dosis de radiación recibidas en los estudios diagnósticos son similares a las de exploraciones radiológicas de rutina.

Radioterapia

Es la especialidad médica que utiliza la administración de radiaciones ionizantes con fines curativos para destrucción de tejidos malignos o tumores.

Teleterapia: La radioterapia puede utilizar la radiación procedente de equipos generadores llamados de teleterapia (tele: lejos), por la distancia interpuesta entre la fuente emisora y el tumor.

Los equipos de teleterapia varían en relación con la intensidad de la energía con que trabajan, lo que les permite alcanzar una amplia gama de profundidades. La tetcobaltoterapia, consiste en una fuente de Co-60 protegida por una gran blindaje de plomo. A través de una ventana o canal de irradiación, los rayos gamma de Co-60, bien colimado inciden en la zona a irradiar en el paciente.

Los aceleradores lineales y betatrones son equipos de teleterapia trabajan con rangos de energía todavía mayores.

Braquiterapia: Consiste en incorporar fuentes radiactivas en la zona a tratar del organismo del paciente. Se llama intersticial cuando se coloca en el área a tratar las fuentes encapsuladas con isótopos radiactivos en forma de tubos (Cs^{137}), alambres (Ir^{192}) o semillas (I^{131} , Au^{198} y Pd^{103}). Se denomina endocavitaria cuando se introducen las fuentes en cavidades del organismo, son de aplicación principalmente ginecológica. Se denomina metabólica cuando se administran dosis de la sustancia radiactiva que se depositan en el órgano a tratar debido al metabolismo del compuesto suministrado. Ej: tratamiento de tiroides con I^{131} .

Instalaciones de rayos X con fines de diagnóstico médico.

La radiografía convencional es una técnica de obtención de imágenes por transmisión. La radiación emitida por un tubo de rayos X atraviesa la zona a explorar y alcanza después el detector. El haz emitido por el tubo tiene una distribución de intensidad esencialmente uniforme antes de incidir sobre el paciente. La absorción y la dispersión de fotones al interaccionar con los tejidos de éste dan lugar a una alteración de dicho haz, que contiene información sobre las estructuras atravesadas. Su registro en el sistema de imagen es lo que se conoce como radiografía.

A partir de las clásicas radiografías utilizadas en traumatología o en la inspección del tórax, se han ido desarrollando nuevas aplicaciones como las mamografías, el examen dental, la tomografía axial computarizada (TAC), etcétera.

C.4.2. BIBLIOGRAFÍA

1. El libro de la energía Forum Atómico Español 1987.
2. El CSN ante las Emergencias Nucleares. Guía del Profesor. Consejo de seguridad Nuclear.