

MONOGRAFÍA

El combustible nuclear y su ciclo

El ciclo del combustible comprende todas las fases del proceso, desde la extracción del mineral de uranio para la fabricación del combustible nuclear hasta la gestión definitiva de los residuos radiactivos generados por las centrales nucleares. En España, además de las propias centrales nucleares, existen en operación instalaciones de fabricación de elementos combustibles (Juzbado) y de almacenamiento de residuos de baja y media actividad (El Cabril).

Las instalaciones dedicadas a la extracción de mineral de uranio que existían en España ya han cesado su explotación, aunque posteriormente se han ido presentando solicitudes de autorización de nuevas explotaciones mineras. Algunos de los antiguos emplazamientos mineros ya han sido restaurados y otros están en fase de restauración o está previsto que su restauración comience en un futuro próximo.

La primera parte del ciclo supone, además de la extracción y el tratamiento del mineral, la fabricación de concentrados de uranio. Actualmente, la Planta Quercus de fabricación de concentrados de uranio se encuentra en situación de parada, próxima a iniciar su desmantelamiento siendo, por ello, nula su producción. Otras antiguas instalaciones de fabricación de concentrados ya están clausuradas, como es el caso de la Planta Lobo G, o están en las últimas fases de su desmantelamiento y cierre, como la Planta Elefante y la fábrica de uranio de Andújar.

Tras su paso por los reactores, el combustible irradiado presenta una gran actividad proveniente de los productos de fisión y de pequeñas cantidades de plutonio. Este combustible puede ser reprocesado para recuperar el uranio irradiado y el plutonio y reutilizarlos como combustible nuclear. Sin embargo, esta opción no se contempla en España actualmente pues el Gobierno optó en su momento por no reciclar el combustible irradiado y pasar directamente a procesarlo como un residuo.

La última parte del ciclo engloba la gestión de los residuos generados durante todo el proceso. Los residuos que se generan a lo largo de todo el proceso pueden ser de baja, media y alta actividad, siendo el volumen de los residuos generados de baja y media actividad mucho mayor que el de los de alta actividad. En España los residuos de baja y media actividad se trasladan al almacenamiento de El Cabril, propiedad de la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos, S.A. (Enresa).

Extracción

El mineral de uranio puede obtenerse en excavaciones a cielo abierto o subterráneas, mediante métodos similares a los de la minería de otros materiales. En España, se extraía el uranio hasta hace unos años en el yacimiento de Saelices el Chico (Salamanca) que era una mina a cielo abierto restaurada. El resultado final de este proceso es el mineral de uranio.

El uranio se traslada posteriormente a plantas de tratamiento en las que se purifica y enriquece para obtener el combustible adecuado para su fisión en los reactores nucleares.

Enriquecimiento

La concentración del isótopo del uranio fisionable U-235 en el uranio natural es de alrededor del 0,70%, siendo prácticamente el resto del uranio natural del isótopo U-238. Esta baja proporción natural de U-235 es inferior a la requerida para iniciar una reacción nuclear de fisión en las centrales nucleares españolas. Por ello, debe ser enriquecido para aumentar su proporción de uranio fisionable U-235 para hacer viable su uso como combustible nuclear.

El concentrado de uranio se purifica mediante sucesivas disoluciones y precipitaciones y se convierte en hexafluoruro de uranio. Éste se somete a un proceso de enriquecimiento (por difusión gaseosa o ultracentrifugación), para aumentar la proporción de uranio-235 con respecto al uranio-238. El resultado es la obtención de óxido de uranio enriquecido.

Esta etapa no se realiza en nuestro país, sino que tiene lugar en plantas de Francia, Estados Unidos y otros países. El grado de enriquecimiento utilizado está en función del diseño del reactor, aunque suele ser del orden del 3 al 5% de uranio-235. También existen centrales que pueden funcionar con uranio natural.

Fabricación

En España, la fabricación de elementos combustibles se hace en la fábrica de elementos combustibles de Enusa, Industrias Avanzadas S.A. en Juzbado, Ciudad Rodrigo (Salamanca). Para ello, el óxido de uranio enriquecido se prensa y somete a un proceso de sinterización en un horno con atmósfera de hidrógeno para su conversión en pastillas cerámicas.

Posteriormente, estas pastillas se sitúan en el interior de una vaina o envoltura metálica, formándose así la llamada varilla de combustible. Las varillas, una vez cargadas con las pastillas, se rellenan de un gas inerte y se sellan. La agrupación de un conjunto de ellas en un armazón, junto con otros elementos estructurales, constituye lo que se denomina un elemento combustible. Posteriormente, los elementos combustibles se transportan a las distintas centrales nucleares.

A partir de este punto, el ciclo del combustible comprende las actividades de utilización del combustible para la generación de energía y las de su posterior reprocesamiento y reciclado, en su caso, o su almacenamiento.

Utilización

Los elementos combustibles se introducen en el núcleo del reactor nuclear donde tiene lugar lo que se conoce con el nombre de "quemado", proceso mediante el cual el uranio sufre la reacción de fisión en cadena, dando lugar, como resultado, a los productos de fisión y emitiendo una gran cantidad de energía en forma de calor, que se utiliza para producir energía eléctrica.

Una vez concluido el ciclo de utilización de un elemento combustible en el reactor, éste se almacena temporalmente en la propia instalación, en la piscina de combustible irradiado. En este lugar permanece el tiempo necesario para que se produzca la desintegración de gran parte de los productos de fisión de corta vida. Este proceso de disminución de su actividad y, por tanto, del calor producido por la desintegración radiactiva se conoce como "enfriamiento".

Recarga de combustible

En una central nuclear, las actividades de recarga tienen como objetivo principal sustituir parte del combustible del reactor. Aproximadamente un tercio de los elementos combustibles irradiados se extrae del reactor en cada recarga y el resto de elementos se recolocan para maximizar su quemado – y, por tanto, su aprovechamiento - en los ciclos de operación posteriores. El combustible extraído se almacena en la piscina de combustible gastado de la central para su "enfriamiento" antes de su transporte a las instalaciones de almacenamiento correspondientes.

Una parada de recarga tiene una duración "nominal" de alrededor de 30 días. Una vez la recarga se ha llevado a cabo, la duración del siguiente ciclo de operación depende de las características de cada central, aunque habitualmente es de 12, 18 o 24 meses. Si la central operase a potencia reducida, o tuviese alguna incidencia que obligase a realizar una parada, esa circunstancia afectaría a la duración del ciclo de operación, que podría prolongarse.

La parada de recarga, se inicia con la parada y enfriamiento de la central, para posteriormente destapar la vasija del reactor y proceder a la recarga del combustible. A partir de ahí, se realizan los trabajos necesarios en los equipos o en los sistemas, que finalizan con las pruebas correspondientes, hasta llegar de nuevo al arranque de la central y sincronización a la red eléctrica, momento en que se considera finalizada la recarga correspondiente

La planificación de la recarga se realiza teniendo en cuenta que las actividades previstas se deben realizar garantizando la seguridad nuclear de la instalación y minimizando la dosis radiológica que recibirá el personal que interviene en la recarga, y asegurando la calidad de la ejecución de los trabajos a la vez que se optimiza su duración para cumplir los programas previstos.

Almacenamiento en piscina

Una vez descargado del reactor, los elementos de combustible nuclear gastado deben permanecer almacenados un mínimo de cinco años en piscinas de agua situadas en el

mismo edificio que alberga el reactor. Cada uno de estos elementos combustibles se aloja en una de las celdas o bastidores dispuestos a modo de malla en el fondo de las piscinas. Las piscinas están construidas de hormigón armado y sus paredes están recubiertas de acero soldado y están diseñadas para evitar fugas y soportar eventos externos.

El agua de las piscinas cumple la función primordial de refrigerar el combustible nuclear gastado en las primeras etapas de su decaimiento radiactivo, mediante la extracción continua del calor residual generado por el combustible. Por otro lado, el agua de las piscinas es transparente y, además, constituye un buen blindaje biológico contra la radiación emitida por el combustible irradiado, características ambas que permiten la inspección y manejo de estos elementos por parte de los trabajadores.

Tras la etapa inicial de enfriamiento en las piscinas del combustible irradiado, éste pierde parte de su radiactividad y su capacidad de generar calor residual, lo que permite su consideración como residuo y su posterior transporte y almacenamiento.

Almacenamiento temporal individualizado

El objetivo de un Almacenamiento Temporal Individualizado (ATI) es albergar el combustible irradiado o cualquier otro residuo de alta actividad o larga vida proveniente de una central nuclear dentro de su propio emplazamiento y hasta su traslado, bien a una instalación de reproceso, una instalación de Almacenamiento Temporal Centralizado (ATC) o bien a un Almacén Geológico Profundo (AGP).

Las instalaciones de almacenamiento temporales se sitúan en superficie o a relativamente pocos metros de profundidad. La diferencia fundamental entre un Almacenamiento Temporal Individualizado (ATI) y un Almacenamiento Temporal Centralizado (ATC) reside en que los primeros están destinados a almacenar los residuos de una misma central nuclear y suelen estar situados dentro de su emplazamiento y los segundos albergan los residuos de todas o varias de las centrales nucleares de un país.

A día de hoy, existen tecnologías industriales y experiencia suficientes para el diseño, construcción y operación de almacenes temporales de residuos ya sean individualizados o centralizados. Los sistemas de almacenamiento más habituales dentro de los almacenes son en húmedo (piscinas) o en seco (contenedores o bóvedas). En la actualidad España cuenta con dos sistemas de almacenamiento temporal individualizado, el de la central nuclear de Trillo y el de la central José Cabrera. Ambos sistemas se basan en contenedores.

Almacenamiento temporal centralizado

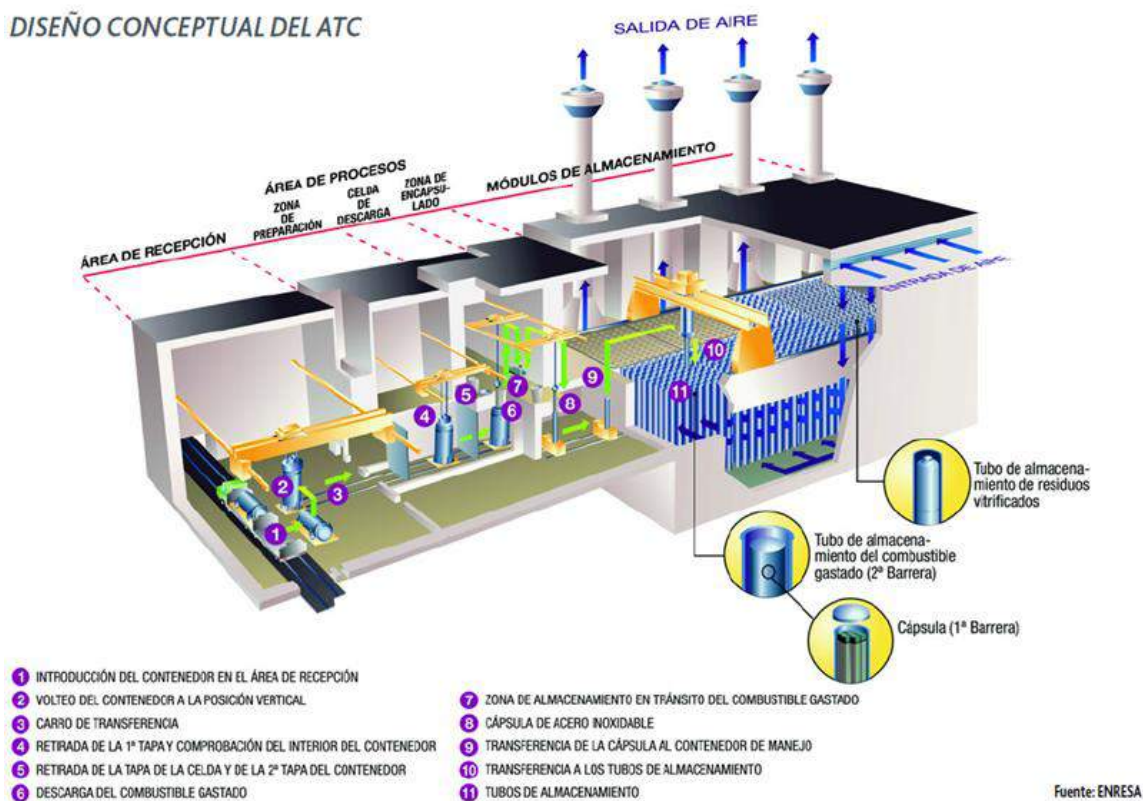
El almacenamiento temporal centralizado a medio o largo plazo del combustible irradiado es un sistema de almacenamiento diseñado para albergar el combustible gastado y los residuos de alta actividad de todas o varias de las centrales nucleares de un mismo país por un período determinado. Es una etapa intermedia en la gestión de los residuos radiactivos, para la que existen hoy día tecnologías suficientemente desarrolladas y probadas, tanto si se realiza bajo el agua, es decir en piscinas, como en seco, en contenedores metálicos o de hormigón o en bóvedas con circulación de aire para la eliminación del calor. Normalmente, esta última tecnología de almacenamiento en seco solo es posible tras un período de enfriamiento previo en las propias piscinas de las centrales nucleares.

En términos generales, las instalaciones de almacenamiento temporales se sitúan en superficie o a relativamente pocos metros de profundidad y pueden estar situadas dentro del recinto de las centrales nucleares o fuera de ellas, y almacenar los combustibles de una o varias centrales nucleares. En el primer caso se denominarían instalaciones de Almacenamiento Temporal Individualizado (ATI) y en el segundo caso se denominan instalaciones de Almacenamiento Temporal Centralizado (ATC). Ambos tipos de instalaciones de almacenamiento temporal requieren medidas de vigilancia y control continuadas. En este sentido, las instalaciones de Almacenamiento Temporal Centralizado (ATC) son la solución temporal más idónea desde el punto de vista de la seguridad, ya que permite concentrar las medidas de vigilancia en una sola instalación, siendo también la más conveniente cuando se trata de dejar vía libre al eventual desmantelamiento de las propias centrales nucleares.

Estas instalaciones, tanto si son edificios convencionales como otros tipos de estructuras masivas, constan de una estructura de hormigón que proporciona blindaje contra la radiación y seguridad contra intrusiones no autorizadas, y están normalmente situadas en un emplazamiento físicamente seguro dentro de una valla perimetral de seguridad. Dentro de la instalación, la utilización de bóvedas o cámaras permite el almacenamiento de un mayor número de elementos combustibles a más bajo precio, siendo esta la solución generalmente utilizada para instalaciones de Almacenamiento Temporal Centralizado (ATC), tanto de combustible irradiado como de residuos de alta actividad vitrificados. Por otro lado, el almacenamiento en contenedores suele ser la solución más utilizada en situaciones de Almacenamiento Temporal Individualizado (ATI) hasta completar la capacidad de almacenamiento en el emplazamiento de la central nuclear.

Los resultados y la experiencia acumulados por la comunidad técnica internacional permiten garantizar el almacenamiento temporal del combustible irradiado por períodos de tiempo de 50 años y superiores, siempre que se extremen los requisitos de vigilancia y se garantice el confinamiento de la actividad y la posibilidad de recuperar los elementos combustibles para su posterior gestión una vez finalizado el período de almacenamiento temporal. En ningún caso puede considerarse la solución definitiva, ni puede prolongarse indefinidamente.

DISEÑO CONCEPTUAL DEL ATC



Almacenamiento geológico profundo

La solución considerada más favorable y segura por la comunidad técnica hoy en día para la última etapa de la gestión de los residuos de alta actividad, ya se trate de elementos combustibles irradiados o de residuos de alta actividad vitrificados, es la del almacenamiento profundo en instalaciones de ingeniería subterráneas, en el interior de formaciones geológicas estables.

En esencia, esta solución consiste en el aislamiento de los residuos mediante la interposición de una serie de barreras en instalaciones de almacenamiento a profundidades generalmente alrededor de los 500 metros, donde los residuos se introducen primero en contenedores de metal extremadamente duraderos y resistentes a la corrosión u otras formas de degradación durante muchos años y, posteriormente, éstas se disponen en galerías en formaciones geológicas estables, taponadas con materiales absorbentes y rodeadas de terreno de baja permeabilidad y con gran capacidad de retención. El confinamiento y aislamiento del medio ambiente del residuo los proporcionan tanto el contenedor en el que se introduce el residuo antes de colocarlo en la instalación de almacenamiento definitivo como las diversas barreras tecnológicas adicionales y la barrera natural que supone la roca receptora. El almacenamiento geológico profundo (AGP) constituye así la solución más segura en términos de seguridad física, presentando una mínima vulnerabilidad al robo o sabotaje, en comparación con el resto de soluciones de almacenamiento.

El almacenamiento geológico puede llevarse a cabo en distintas formaciones geológicas, siendo los tipos de roca mejor estudiados las arcillas, la sal y las rocas duras magmáticas, metamórficas o volcánicas, tales como granito, gneis, basalto o toba. La profundidad a la que debe emplazarse el material a eliminar depende en gran medida del tipo de formación escogida y la capacidad de aislamiento de las formaciones por encima de aquella. Para la disposición en roca dura, la profundidad habitual de diseño está entre 500 y 1.000 metros y se intentan utilizar zonas de la formación rocosa que estén poco fracturadas y no presenten fallas.

La característica que define al almacenamiento definitivo, en contraposición al almacenamiento temporal, es que no existe la intención de recuperar el material residual y no existe o es mínima la dependencia de controles activos de la instalación a largo plazo. Es decir, la instalación de almacenamiento definitivo se cierra y sella sin ser necesaria la existencia de una instalación adicional en funcionamiento en la superficie, permitiendo así que el almacenaje de los residuos en estas instalaciones sea permanente. En cualquier caso, siempre existe la opción de mantener vigilada la instalación de almacenamiento y su medio ambiente circundante durante el período que se estime necesario, y la instalación puede ser diseñada de manera que en el futuro se pueda recuperar el material guardado si fuera necesario.

La primera instalación de almacenamiento geológico profundo (AGP) en operación es la de WIPP en Nuevo Méjico, Estados Unidos, para residuos de larga vida provenientes del programa militar americano.