

# La Fisión Nuclear. Reactores Nucleares

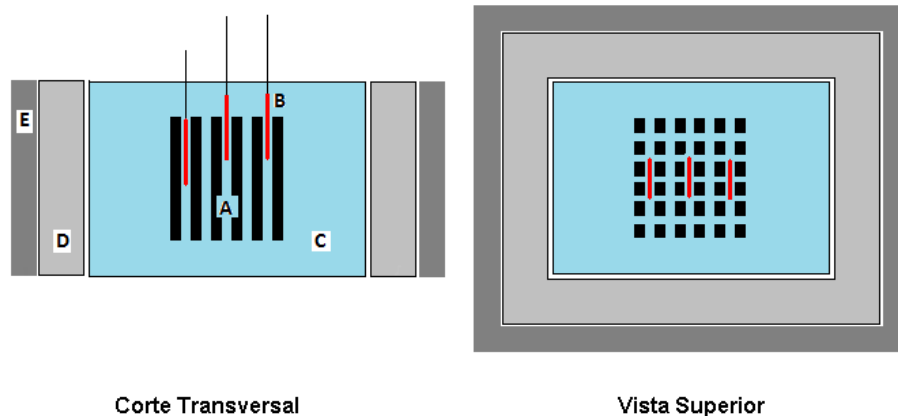
José A. Orso  
Operador y Oficial de Radioprotección del RA-4

## Clasificación

Existen diversos tipos y diseños de reactores nucleares de acuerdo al uso específico que se le va a dar. Una posible clasificación podría ser: Reactores de investigación, docencia y productores de radioisótopos, reactores generadores de electricidad (centrales nucleares) y los reactores reproductores, que por su diseño producen más combustible del que consumen, con lo cual son productores de material fisible. Otra clasificación de acuerdo al diseño es: reactores rápidos, en los cuales la fisión la producen neutrones de alta energía, reactores medios cuyos neutrones que producen fisión tienen energía intermedia y reactores térmicos, cuyo neutrones de fisión tienen baja energía. Es importante tener en cuenta la diferencia entre un reactor de investigación y una central nuclear. Un reactor de investigación no es generador de electricidad.

## Elementos constitutivos de un reactor

El reactor consta de un núcleo que contiene el combustible, un moderador que es el responsable de disminuir la energía de los neutrones para que produzcan fisión, barras de control que son absorbentes de neutrones y las encargadas de mantener el control de la reacción en cadena. Además se puede encontrar dentro del reactor materiales estructurales y dispositivos que permiten el monitoreo de la producción de neutrones. Rodeando el núcleo se encuentra un material reflector que es el encargado de devolver al núcleo algunos de los neutrones que intentan escaparse. El conjunto núcleo, moderador y reflector se encuentra contenido dentro de un material blindaje que cumple la función de proteger de la radiación a las personas que se encuentran cercanas al reactor. Figura 1.



**Figura 1:** Esquema de un reactor de investigación tipo piletas

A: Matriz de los elementos combustibles.

B: Barras de control. (Cadmio)

C: Moderador (agua liviana).

D: Reflector (grafito).

E: Blindaje (plomo u hormigón).

La figura 1 es un esquema muy general y simplificado.

## El proceso de fisión y la reacción en cadena

El proceso de fisión consiste en la ruptura de un núcleo de un material fisible que da como resultado la emisión de neutrones, además de los fragmentos resultantes de la fisión. La fisión puede ser espontánea o inducida a través de la absorción de un neutrón por parte del núcleo fisible. Esta última es la producida en un reactor nuclear. En la figura 2 se esquematiza el proceso de fisión de un núcleo de uranio 235 ( $U^{235}$ ). En este caso los fragmentos producidos son un núcleo de kriptón de número másico 91 y un núcleo de bario de número másico 142. Es importante tener en cuenta que un núcleo de  $U^{235}$  puede fisionarse de 40 formas distintas teniendo cada una de ellas una probabilidad de ocurrencia.

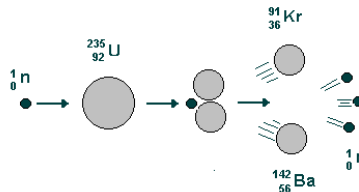
Cuando un neutrón es absorbido por un núcleo de un elemento combustible dentro de un reactor, este se fisiona (se parte) en dos partes desiguales produciendo además en promedio 2.5 neutrones. A su vez estos neutrones son absorbidos por otros núcleos de  $U^{235}$  fisionándolos. Si los neutrones producidos por fisión producen más fisiones manteniéndose constante el número de neutrones en el núcleo, entonces se dice que la

reacción en cadena es autosostenida. De esto último se desprende tres condiciones en las que puede estar un reactor:

Reactor subcrítico: es cuando en el núcleo del reactor se producen menos neutrones de los que se pierden, ya sea por absorción de estos por materiales constitutivos del reactor que no son fisibles o por escape de los mismos fuera del núcleo del reactor.

Reactor crítico: el reactor se dice que está crítico cuando la cantidad de neutrones que se producen es la misma que la que se pierde. En esta condición la potencia del reactor se mantiene constante en el tiempo.

Reactor hipercrítico: es cuando en el núcleo del reactor se producen más neutrones de los que se escapan o absorben por materiales no fisibles. En esta condición la potencia del reactor aumenta con el tiempo.



**Figura 2:** Esquema del proceso de fisión

### Ecuación de Balance Neutrónico

Si se suma en una ecuación los neutrones producidos y se restan los que se escapan del sistema y los que son absorbidos por el sistema pero que no producen fisión, obtenemos finalmente la ecuación de balance de neutrones. Por lo tanto:

<b>variación del número de neutrones</b>	<b>=</b>	<b>producción de neutrones</b>	<b>-</b>	<b>absorción de neutrones dentro del núcleo</b>	<b>-</b>	<b>escape de neutrones</b>
--	----------	--------------------------------	----------	---	----------	----------------------------

De esta ecuación se desprende las tres condiciones en las que se puede encontrar un reactor: subcrítico, crítico e hipercrítico.

Variables que pueden afectar la ecuación de balance neutrónico:

El estado crítico del reactor es un estado de equilibrio inestable, esto quiere decir que un pequeño cambio en alguna variable física del reactor, como quemado del combustible, inserción o retiro de una barra de control, aumento o disminución de la temperatura del núcleo, etc; ocasiona un cambio en la ecuación de balance y por lo tanto un cambio en el estado mismo del reactor, pasando a subcrítico o hipercrítico. Por ejemplo, la inserción de una barra de control estando previamente el reactor crítico, produciría un aumento en la absorción de neutrones pasando el reactor a un estado subcrítico.

### Liberación de Energía

En el proceso de fisión de un núcleo de  $U^{235}$  se liberan aproximadamente 200 MeV de energía. Con lo cual un gramo de  $U^{235}$  (que son  $2,563 \times 10^{21}$  átomos de  $U^{235}$ ) libera  $5.12 \times 10^{23}$  MeV, que equivaldría a  $8.21 \times 10^{10}$  Joule. Esto último es equivalente a 22805 Kwh de energía calórica. Es importante aclarar que una central nuclear no aprovecha el 100% de la energía liberada en la fisión del núcleo combustible, con lo cual solo un porcentaje de la energía liberada es convertida en energía eléctrica. Para el caso de un reactor de investigación la energía libera no solo que no es aprovechable, sino que constituye un problema para el reactor.

### Extracción de Energía

Una vez producida la parada del reactor, ya sea voluntariamente o por alguna actuación de los sistemas de seguridad, el núcleo del reactor (apagado) sigue liberando energía en forma de calor debido al decaimiento radiactivo de los fragmentos de fisión. Estos fragmentos son altamente radioactivos y las radiaciones que emiten, ya sea partículas alfa, beta o rayos gamma, depositan su energía en el núcleo del reactor, aumentando la temperatura del mismo. La potencia que puede liberar un reactor un instante posterior a la parada puede alcanzar aproximadamente un 8 % de la potencia máxima de operación. Esto quiere decir que un reactor que opera con una potencia de 745 Mw luego del apagado seguirá liberando 60 Mw en forma de calor. Esta liberación de calor va decayendo con el tiempo hasta hacerse casi nula.