

TEMAS DEL PRESENTE

Patricia Smichowski *

Qué son los reactores nucleares

1.- Problemas Energéticos.

Es indudable en la actualidad que, la obtención de energía es un tema de importancia vital. La producción de energía por reacciones nucleares ha tomado un ímpetu notable en las tres últimas décadas, y en especial a partir de la crisis del petróleo (1973).

A menudo recibimos información acerca de diferentes aspectos de esa producción realizada por reactores nucleares. Pero ¿sabemos qué son? ¿conocemos los argumentos para utilizar una determinada clase de tecnología nuclear? ¿por qué algunos utilizan uranio natural y otros enriquecido?.

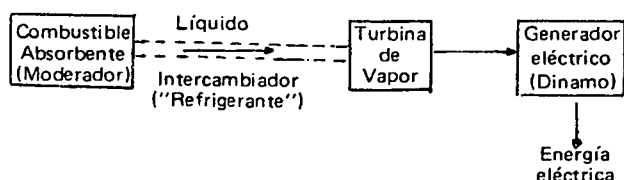
Intentamos aclarar en este artículo algunos conceptos básicos y hacer una breve descripción de los principales tipos de reactores.

Para obtener energía eléctrica, ya sea para fines industriales o domésticos, los reactores nucleares constituyen una fuente alternativa que cubre hoy una pequeña proporción de la energía producida en el mundo, pero que tiene extraordinarias perspectivas frente a un encarecimiento cada vez mayor del petróleo.

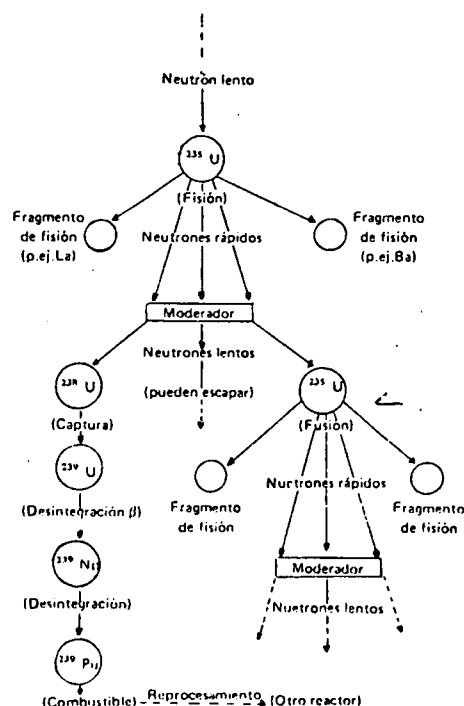
2.- Reacciones Nucleares Controladas.

Un reactor funciona sobre la base de una reacción nuclear de fisión, que ha sido llevada a una configuración en cadena controlada por sistemas adecuados. Esto significa que los neutrones producidos en la fisión son aprovechados, bajo control, para que la reacción continúe mientras exista material fisionable, produciendo energía que se transforma en calor.

La primera reacción de este tipo fue programada en Chicago (1942) por un grupo de científicos bajo la dirección de Enrique Fermi, y realizada en un reactor nuclear llamado "pila nuclear" seguramente en homenaje a Volta - calculado sobre un diseño experimental previo (Columbia, 1941) Su estructura perfeccionada sigue siendo la base de los reactores modernos, cuyo diagrama de flujo podemos representar:



Un esquema de fisión en cadena es el siguiente:



El punto clave fue "frenar" los neutrones producidos por fisión, que son rápidos (aproximadamente 2 MeV) hasta llevarlos a niveles llamados "térmicos" (menos de 1 eV). Este proceso se llama "moderación" y demanda un sistema moderador innecesario en los reactores rápidos. Los neutrones "lentos" pueden ser capturados con mayor facilidad por los núcleos fisionables (por ej. ^{235}U) y continuar la reacción en cadena con la eficiencia deseada. El sistema moderador está formado por absorbente, generalmente barras de un material que captura neutrones moderador propiamente dicho que disminuye su velocidad aunque también puede capturarlos.

El absorbente es utilizado en barras de control que introducidas en el núcleo del reactor pueden disminuir radicalmente el flujo neutrónico producido por fisión. Se puede aplicar así un control "grueso", además de un control "fino" por ajuste de la distribución espacial de potencia ("barras grises").

El intercambiador (refrigerante) es un fluido, generalmente líquido cuya función es transferir el calor del

* Comisión Nacional de Energía Atómica

"núcleo del reactor" a un turbogrupo, para producir energía eléctrica. Además de las características específicas de un buen refrigerante (capacidad calorífica, coeficiente de transmisión, estabilidad térmica, inercia química) su sección de captura para neutrones debe ser pequeña.

Veamos un cuadro de valores de esto:

TABLA I			
	H ₂ O	D ₂ O	Grafito
Sección eficaz de captura macroscópica Σ_c (cm ⁻¹)	$2,2 \cdot 10^{-2}$	$3,3 \cdot 10^{-5}$	$3,2 \cdot 10^{-4}$
Poder de moderación (cm ⁻¹)	1,28	0,18	0,065
Relación de moderación adimensional	58	21.000	200

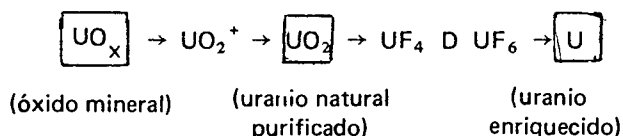
qué debe evaluarse en función de estos valores, en particular los costos.

Los componentes de un reactor convencional pueden resumirse de la siguiente manera, en cuanto a las opciones entre materiales a usar:

"Núcleo" Combustible	Absorbente (barras)	Moderador ("recipiente")	Líquido intercambiador
²³⁵ U (4 x 10 ⁶)	Cd	Grafito	H ₂ O
²³⁹ Pu (de ²³⁵ U)	B	D ₂ O	H ₂ O (a presión)
²³² Th (12 x 10 ⁶)	Be	H ₂ O ("pileta de natación")	CO ₂ (gas)

Otros dos factores básicos a considerar en un reactor son el factor de multiplicación k y la masa crítica, ambos relacionados con la eficiencia del flujo de neutrones para producir la fisión controlada. El factor de multiplicación k se refiere al número relativo de neutrones producidos por cada neutrón absorbido, de manera que la fisión - como la combustión en el caso químico - sea automantenida: que la cadena no se corte. Para ello, k es igual o mayor que 1 pero con límite superior muy cercano, pues la reacción se tornaría explosiva, por lo que un ámbito común de seguridad se encuentra entre 1,0075 k 1,0000.

El proceso industrial para obtener el material fisionable con pureza nuclear, con patrones que superan la mejor calidad de reactivos químicos, sigue el diagrama:



3. — ¿Qué clase de reactores existen?

Los reactores nucleares pueden ser clasificados de acuerdo a diversos criterios: fines, materiales utilizados, etc. Veamos la clasificación general según algunos de esos criterios

Fines	Material Fisionable (combustible nuclear)
Generación de energía	Uranio natural (0,7%)
Traducción de energía	Uranio enriquecido
Investigación	Uranio muy enriquecido
Traducción de radiosótopos	Torio (²³² Th)
Prototipo de ensayo	Plutonio (²³⁹ Pu)
Propulsión	

La composición isotópica del uranio natural es la siguiente:

$$^{238}\text{U}: 99,276\% \quad ^{235}\text{U}: 0,7196\% \quad ^{234}\text{U}: 0,0057\%$$

"Vida Mital" (ti/2)

$$4,510^3 \text{ años} \quad 7,1 \cdot 10^8 \text{ años} \quad 2,6 \cdot 10^5 \text{ años}$$

El material fisionable elegido caracteriza otras dos clases de reactores nucleares: **convertidores y reproductores**.

Los comunes son **convertidores**, pues simplemente transformarán la energía, obtenible directamente, y consumen "combustible" en relación de conversión 0,6 (producen 6 átomos de material fisionable por cada 10 átomos de material original fisionado). De esta manera el material fértil — transformable en fisionable — se va agotando en un plazo innecesariamente breve, como si fuera un recurso no renovable. Para evitar esto han sido diseñados los reactores reproductores con relación de conversión mayor que 1 (se producen más átomos fisionables de otra especie, que los átomos originales), y tiempos de duplicación entre 15 y 20 años.

Entre los reactores reproductores diseñados hasta ahora, los combustibles siguen dos ciclos diferentes, según el tipo elegido:

Material fisionable original	Material fértil	Material fisionable obtenido
²³⁸ Pu	U	²³⁹ Pu
²³³ U	th	²³³ U

Continuemos con otro criterio para la clasificación de reactores:

Energía de neutrones producido en la fisión	Disposición relativa combustible moderador
Rápido	Heterogéneo
Epitérmicos	Homogéneo
Térmico	Homogéneo

Los reactores rápidos, llamados así por la velocidad de los neutrones que lo atraviesan, utilizan como material fisionable ^{235}U y no necesitan moderador. La fisión se produce en condiciones de gran energía neutrónica (> 1 eV) que lleva a la utilización total de combustible. El refrigerante tiene características especiales pues no debe frenar a los neutrones, para lo cual conviene que el número de masa, sea mediano a grande. Se utiliza sodio líquido ($550\text{--}600\text{ }^{\circ}\text{C}$) que tiene además capacidad calorífica aceptable y conductividad térmica elevada. Pertenecen a este tipo por ejemplo, el Phenix (Francia) y el Enrico Fermi (EE. UU. de NA).

Los reactores térmicos deben su nombre a que se utiliza un moderador que frena los neutrones, y los lleva al nivel térmico "termalización" en el cual está en equilibrio con los núcleos del material (< 1 eV). Se dividen a su vez en dos grupos: uranio natural y uranio enriquecido. Este tipo de reactor usa como combustible uranio con proporción artificialmente elevada sobre su abundancia isotópica "normal" (0,72 %). Esa mayor potencia permite utilizar agua como moderador, mucho más económico que D_2O , y reducir las dimensiones del reactor. Existen dos variantes de reactor por uranio enriquecido, según las condiciones de trabajo del refrigerante (H_2O), intercambiador de calor: PWR (pressure water reactor) y BWR (boiling water reactor). Ambas líneas han sido desarrolladas en EE.UU. de Norteamérica y existen en uso gran cantidad de ellos en el mundo.

Los reactores heterogéneos son aquellos en que el material fisionable y moderados están geoméricamente separados, lo cual permite controlar con mayor precisión. En los homogéneos, "combustible" y moderador están en la misma fase (por ejemplo sal de uranio en agua), lo cual les otorga la ventaja de una gran superficie de contacto entre ambos; dado que la cantidad de calor a producir es proporcional al área de contacto.

Veamos la elección argentina frente a las opciones disponibles.

4. Los Reactores Argentinos

Nuestro país se decidió por la línea reactor heterogéneo-térmico- D_2O .

El primer reactor de tipo experimental (R1) fue instalado en Buenos Aires (av. Gral. Paz y Constituyentes) a principios de 1958; luego se instaló el Radioisótopos en Ezeiza (RA3).

La primera instalación de potencia es la Central Nuclear de Atucha (CNA) que comenzó a funcionar en marzo de 1974 y genera 319 MW eléctricos a partir de un reac-

tor tipo PHWR (pressurized heavy water reactor). La central fue construida por la empresa alemana Siemens, con activa participación nacional.

El reactor comprende núcleo, moderador y refrigerante, que se encuentran dentro de un recipiente metálico de acero al carbono, revestido con acero inoxidable (20 cm de espesor total) para soportar 115 atmósferas de presión. Este recipiente es uno de los componentes más críticos.

Las "barras de combustible" tienen 5,25 m de longitud activa, agrupadas en "elementos combustibles" que incluyen 37 barras, de las cuales una es central de soporte sin material fisionable y las restantes están distribuidas en capas concéntricas. El material fisionable es UO_2 en pastillas, que se encuentran dentro de las barras.

La próxima central nuclear que entrará en operación es la de Embalse, provincia de Córdoba (CNE), con reactor de tipo Candú construido por AECL (canadiense) e Itaipianti (italiana), con participación argentina. Es del tipo "tubos de presión", en que cada "elemento combustible" está confinado dentro de un tubo, por el que circula el refrigerante (110 atmósferas). El D_2O moderador funciona a presión atmosférica, fuera de los tubos de presión y con distintas temperaturas, dentro de un recipiente llamado "calandria".

5.- Resumen final

Un reactor nuclear es un generador de energía calorífica, transformable en eléctrica mediante turbinas. La reacción, cuyo cambio entálpico es aprovechado, es una reacción de fisión, en cadena por neutrones, generalmente "lentos". El rendimiento energético de las reacciones nucleares de fisión utilizadas es normalmente mayor que el de las reacciones químicas de combustión: el factor favorable es de 5×10^6 veces el calor producido por combustión de igual masa de carbón.

El petróleo cubre en la actualidad más de 70 % de las necesidades energéticas del mundo, con el carbón como complemento hasta superar 90 %. Mientras no se asegure la sustitución de la combustión del petróleo por otra forma de obtener energía barata, las centrales hidroeléctricas y nucleares irán en aumento. La discusión polémica se centrará casi exclusivamente en los problemas de eficiencia y seguridad (descarte de desechos).

Los reactores reproductores mejoraran ambos aspectos por lo que constituyen el futuro cercano para el desarrollo tecnológico.

Los reactores por fusión, iniciada por láser o por otros activadores, son hoy, futuro más lejano.

Los esquemas del enfoque de este artículo han sido tomados del Curso de pos-grado en Ingeniería Nuclear (1982) y del curso de Química Distancia del Programa Para El Mejoramiento De La Enseñanza De La Química (CONICET - SENOC, Prof. Secundarios) cuyo Director Científico es el Dr. Ariel Guerrero.