Serie: hojitas de conocimiento
Tema: MATERIALES
Enfoque: Universitario

Una mirada al circonio en la industria nuclear

Autor
Hugo Luis Corso
Ingeniero Químico
Ex Investigador del Grupo Materiales Metálicos y Nanoestructurados (CAB / CNEA)
Ex Docente de Química (UNComa)
Ex Ingeniero de Proyecto en FAE (CAE / CNEA)
Escritor Científico y Editor

Aproximadamente el 90% del circonio producido a nivel mundial es utilizado en la industria nuclear, porque tiene la fundamental propiedad de casi no absorber los neutrones liberados por las reacciones de fisión.

El circonio

En la Tabla Periódica de los Elementos[1] encontramos unos 100 tipos de átomos, que constituyen toda la materia conocida. El elemento número 40, el *circonio* (Zr), se encuentra como silicato u óxido, en arenas de playa, y recién en 1914 pudo ser obtenido como metal. Es de apariencia similar al acero y tiene buena resistencia a la corrosión; por eso se lo utiliza en la industria química para fabricar equipos que deben manejar líquidos corrosivos. También se lo utiliza para fabricar prótesis en articulaciones e implantes porque es biocompatible, como lo es el titanio. El óxido de circonio es un cerámico de color blanco que se usa en odontología para elaborar coronas y prótesis dentarias.

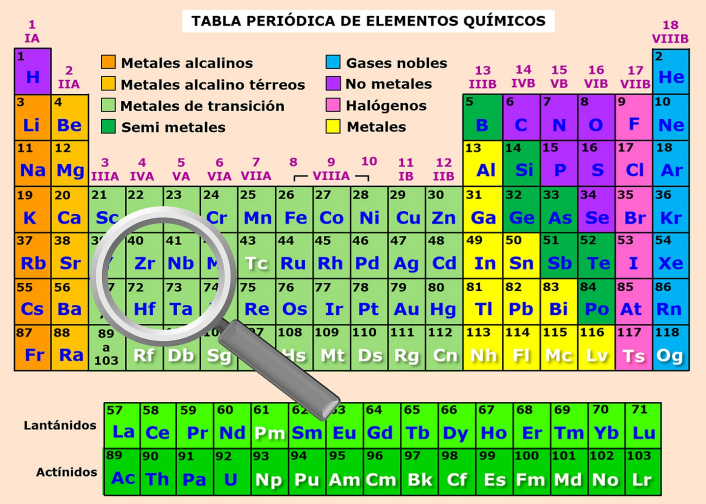


Tabla Periódica donde se destaca la proximidad de Zr, Hf y Nb.[4]

Su importancia en la industria nuclear

Los reactores nucleares de potencia[2] argentinos (Atucha I, Atucha II y Embalse) utilizan como combustible nuclear[3] uranio levemente enriquecido (ULE) o natural. Ambos contienen un porcentaje muy bajo (0,85 % y 0,71 % respectivamente) del isótopo uranio 235, el único fisionable mediante *neutrones* de baja energía. Cada fisión de un núcleo de uranio libera dos o tres neutrones, los que a su vez producen nuevas fisiones en núcleos de uranio próximos, generándose de esta manera la esperada reacción en cadena controlada. Como generalmente los materiales absorben neutrones, lo cual disminuye la probabilidad de fisión, en la fabricación de las distintas partes del interior del núcleo de un reactor es donde juega un papel importante el circonio. El dióxido de uranio, combustible de una central nuclear, se dispone en forma de pastillas cilíndricas dentro de tubos de materiales base circonio. Con un conjunto paralelo de estas barras se conforma cada *elemento combustible*, junto a otros componentes tales como placas separadoras, patines y flejes, que permiten dar al conjunto la geometría más adecuada para maximizar su rendimiento, y facilitar también su inserción y su extracción en el reactor. Para fabricar todos estos componentes se emplea en nuestras centrales el circonio, porque al ser *transparente* a los neutrones, asegura su disponibilidad para producir otras fisiones.

Aleaciones base circonio

Pero no todo es fácil en la vida. El circonio en estado natural contiene porcentajes elevados de *hafnio* (Hf) que, si bien químicamente es muy parecido, tiene una sección de captura de neutrones mucho mayor. El llamado *Circonio Grado Nuclear* admite la presencia de hafnio en cantidades ínfimas, solo como impureza, para garantizar una baja absorbancia de neutrones. El comportamiento químico similar de ambos elementos hace muy complejo su proceso de separación. Por otra parte, si bien el circonio metálico es ideal por su baja capacidad de captura

Barra de circonio puro obtenido por el método Van Arkel.[5]

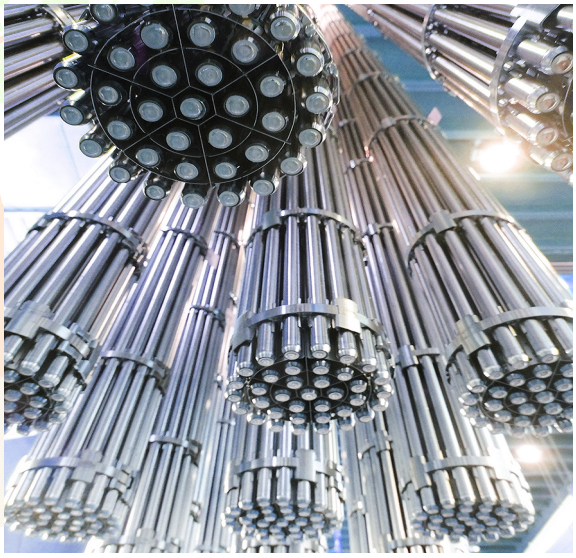
de neutrones, las condiciones adversas en el núcleo del reactor exigen que sus propiedades mecánicas y de resistencia a la corrosión deban ser todavía mejoradas. Para ello, se producen aleaciones con otros elementos. Dentro de las más usuales, se encuentran las conocidas comercialmente como *Zircaloy*, que contienen aproximadamente 98 % de circonio y entre 1,2 y 1,7 % de estaño (Sn). El zircaloy-2 contiene, además, 0,03 a 0,08 % de níquel (Ni), mientras que el zircaloy-4 contiene un máximo de 0,007 % de níquel, y ya veremos por qué. Los reactores tipo CANDU, como el de Embalse, utilizan tubos de presión fabricados en otra aleación base circonio, conocida como Circonio-Niobio, que contiene en promedio un 2,5 % de niobio (Nb).

Efectos perjudiciales del hidrógeno

Como decíamos, la aleación zircaloy-2 incluye níquel. En nuestros reactores de uranio natural o levemente enriquecido se utiliza *agua pesada* (D_2O) como refrigerante y moderador, y parte del agua pesada puede descomponerse en el núcleo del reactor, generándose *deuterio* (isótopo del hidrógeno). Se ha encontrado que el níquel ofrece sitios catalíticos que favorecen la descomposición de la molécula de deuterio (D_2) y su difusión hacia el interior del metal como deuterio atómico (D), formándose *hidruro (deuteruro) de circonio*, en forma de precipitados o islas. El hidruro es mucho más frágil que el metal, de modo que esas islas pueden dar origen a microfisuras en el material. Si las microfusuras crecen y coalescen, generan fisuras macroscópicas, que sin control pueden deteriorar severamente el material. A causa de esto, actualmente se utiliza el zircaloy-4, que no contiene níquel como aleante. Además es fundamental que el componente de zircaloy que ingresa por primera vez al reactor contenga la menor cantidad posible de hidrógeno en solución. Las normas ASTM[7] que establecen la composición del circonio grado nuclear y del zircaloy fijan un contenido máximo de hidrógeno de 25 ppm (partes por millón).

¿Qué se hace en Argentina?

La Comisión Nacional de Energía Atómica investigó y desarrolló varios procesos relacionados con la producción de materiales de circonio grado nuclear, desde la *Planta Piloto de Esponja de Circonio*, para obtener circonio metálico sin hafnio, hasta la construcción de las plantas para fabricar los tubos de zircaloy *(Fábrica de Aleaciones Especiales)* y los elementos combustibles *(Fábrica de Elementos Combustibles Nucleares)*. Estas dos últimas plantas, ubicadas en el Centro Atómico Ezeiza, operadas por CONUAR S.A., producen todos los elementos combustibles utilizados por las centrales nucleares argentinas.



Combustibles de la Central Nuclear Atucha I.[6]

REFERENCIAS
1 Ver Hojita "Una mirada a la Tabla Periódica de los Elementos Químicos".
2 Ver Hojita "Una mirada a una Central Nuclear".
3 Ver Hojitas "Una mirada a un combustible nuclear" y "Una mirada al uranio como combustible para la energía nuclear".
4 Gentileza: Dr. Julio Andrade Gamboa.
5 Gentilieza: Danny Peng [CC BY-SA 3.0 https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0]
6 Gentileza: CONUAR S.A.
7 American Society for Testing and Materials (Asociación Americana de Ensayo de Materiales).

ABREVIATURAS
CAB: Centro Atómico Bariloche
CAE: Centro Atómico Ezeiza
FAE: Fábrica de Aleaciones Especiales
CNEA: Comisión Nacional de Energía Atómica
UNComa: Universidad Nacional del Comahue

Instituto de Energía y Desarrollo Sustentable
Comisión Nacional de Energía Atómica
Tel: 011-4704-1485 www .cnea.gov.ar/ieds
Av. del Libertador 8250 (C1429BNP) C. A. de Buenos Aires - República Argentina
Año de edición: 2021/1° ISBN: 978-987-1323-12-8

Publicación a cargo del Dr. Daniel Pasquevich y la Lic. Stella Maris Spurio.
Comité Asesor: Ing. Hugo Luis Corso - Ing. José Luis Aprea.
Responsable Científico: Dr. Gustavo Duffó.
Versión digital en www.cab.cnea.gov.ar/ieds
Los contenidos de este fascículo son de responsabilidad exclusiva del autor.