

Una mirada a la modelización matemática de fenómenos en tubos de presión

Si miráramos el reactor de nuestra Central Nuclear Embalse¹, veríamos que está constituido por 380 tubos que son llamados **canales combustibles**. Cada uno de estos canales combustibles está formado por dos tubos concéntricos: el **tubo de calandria** (el externo) y el **tubo de presión** (el interno), ambos de 6 m de largo (Figura 1) y aislados térmicamente por un gas (CO_2). Dentro de cada tubo de presión, se ubican 12 elementos combustibles (E.C.)², cada uno de una longitud de 0.5 m.

Los neutrones emitidos por los átomos de uranio de las pastillas cerámicas de óxido de uranio, que constituyen el material combustible², irradian los tubos de presión. Medidas experimentales muestran que, como consecuencia de esta irradiación, los tubos de presión cambian su forma durante el funcionamiento de la central nuclear: se alargan en la dirección axial; aumentan su diámetro (inicialmente de 0.11 m); disminuyen su espesor (inicialmente: 0.004 m), manteniendo su volumen constante. Este cambio de dimensiones a volumen constante se conoce con el nombre de **crecimiento por irradiación**.

Los cambios de dimensiones asociados al crecimiento por irradiación son importantes y deben ser tenidos en cuenta en el diseño del reactor: los tubos no deben encontrar obstáculos que, al trabar sus desplazamientos, puedan ocasionar inconvenientes.

La medición de estos cambios de dimensiones de los tubos de presión que están ubicados dentro del reactor es difícil y, por otra parte, por lo mencionado, es necesario estimarlos antes de que se produzcan. Por ambas razones, es necesario el desarrollo de modelos físicos y matemáticos³ que, teniendo en cuenta condiciones de funcionamiento y características del material con que están fabricados, permitan predecirlos a lo largo del tiempo de operación de la central.

Los tubos de presión bajo irradiación

Los tubos de presión están fabricados con una aleación de circonio que



Autor:

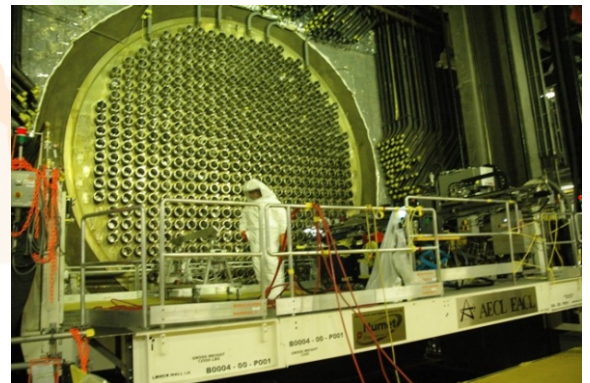
Alicia Sarce

Doctora en Ciencias Físicas (UBA).

Docente de la Maestría en Ciencia y Tecnología de Materiales y del Doctorado en Ciencia y Tecnología, mención Materiales del Instituto Sabato (UNSAM-CNEA).

Ex directora de la Maestría mencionada.

contiene un 2.5 % en peso de niobio. Si bien esta aleación es cristalina (los átomos están distribuidos en forma periódica en las tres direcciones del espacio), no por eso deja de tener (al igual que toda estructura cristalina) defectos. Faltan átomos en lugares normalmente ocupados (dando origen al defecto vacancia); hay átomos ubicados entre los átomos regulares del cristal (defecto intersticial); semiplanos de átomos que terminan dentro del cristal (y dan origen



a las dislocaciones); pequeños volúmenes cristalinos (granos) están rodeados por superficies (que constituyen el defecto llamado borde de grano), en las cuales los átomos están desordenados, etc. Además, la irradiación crea nuevos defectos en el material, ya que al desplazar átomos de su posición original, se forman nuevas vacancias e intersticiales. A la temperatura de trabajo del reactor nuclear, esas vacancias y esos intersticiales creados por la irradiación pueden moverse en el cristal pasando de una posición a otra.

La estructura cristalina de la

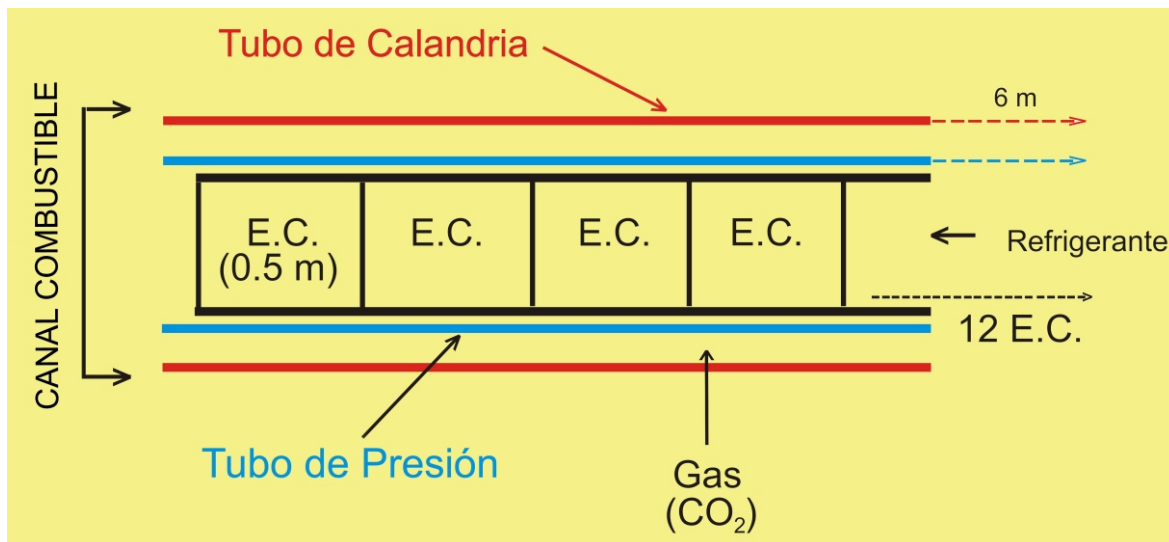


Figura 1- Esquema de un Canal Combustible de la Central Nuclear Embalse
(Los diámetros no están en escala)

aleación, junto con el proceso de fabricación de los tubos de presión, hace que éstos tengan un comportamiento anisótropo (sus propiedades físicas dependen de la dirección que se considere). En particular, eso hace que las velocidades a las cuales se mueven tanto intersticiales como vacancias, sean distintas según las direcciones en que lo hagan.

Un modelo para predecir el crecimiento por irradiación

Uno de los códigos de cálculo usados para predecir el cambio de dimensiones de los tubos de presión en servicio, está basado en el modelo desarrollado en el CAC⁴ por Savino et al.⁵, que propone que el crecimiento se debe a que dislocaciones y bordes de grano presentes en el material atrapan a vacancias e intersticiales generados durante la irradiación, que se desplazan en el cristal. Es un modelo semiempírico que tiene en cuenta, por un lado, las características del material del tubo (entre ellas, la orientación cristalina, el tamaño y forma de los granos), el flujo (Φ) de neutrones que recibe y la temperatura a la que se encuentra y, por otro, resultados experimentales. Así, el valor del único parámetro libre del código, es ajustado para reproducir el alargamiento medido en un tubo de presión en 1989.

Se predice con este código, para un tubo de Embalse que recibe un alto flujo de

neutrones a una temperatura de trabajo de 280 °C y después de 30 años (se cumplirían en 2014) de funcionamiento, un alargamiento debido al crecimiento por irradiación de aproximadamente 0.10 m.

El código semiempírico considerado no sólo permite el cálculo de los cambios de dimensiones de los tubos de presión de Embalse sino, también, de los tubos dentro de los cuales se encuentran ubicados los elementos combustibles en la Central Atucha I (canales de enfriamiento) y su uso puede extenderse para predecir el crecimiento por irradiación en las futuras centrales nucleares que funcionen en el país. En cada caso, considerando las características del material usado y las condiciones particulares de funcionamiento.

REFERENCIAS

¹ Ver en Hojitas de Conocimiento: "Una mirada a una Central Nuclear", Páginas 31-32

² Ver en Hojitas de Conocimiento: "Una mirada a un Combustible Nuclear", Páginas 33-34

³ Ver en Hojitas de Conocimiento: "Una mirada a la aplicación de modelos matemáticos en irradiación Nuclear", Páginas 35-36

⁴ CAC: Centro Atómico Constituyentes, CNEA

⁵ E.J. Savino and C.E. Laciana (1980), "Radiation induced creep and growth of zirconium alloys", J.Nucl.Mater. Vol. 90, pp. 89-107.

ABREVIATURAS

UBA: Universidad de Buenos Aires

UNSAM: Universidad Nacional de San Martín

CNEA: Comisión Nacional de Energía Atómica



Instituto de Energía y Desarrollo Sustentable
Comisión Nacional de Energía Atómica

Tel: 011-4704-1485 www.cnea.gov.ar/ieds

Av. del Libertador 8250 – (1429) C. A. de Buenos Aires - República Argentina

Año de edición: 2011 ISBN: 978-987-1323-12-8