XIX Jornadas de Ciencias, Tecnologías e Innovación

Análisis del fenómeno de Ballooning en tubos de presión de reactores nucleares tipo CANDU

BÉLICO, Melina[1]; AGUZZI, Fabrizio[2]; PAIRETTI, César[1,2].

[1] Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario/ correo electrónico
[2] Instituto de Física Rosario, CONICET, Universidad Nacional de Rosario/ correo electrónico

Palabras claves: Ballooning; tubos de presión; CANDU; Zr-2,5 % Nb; simulaciones numéricas

INTRODUCCIÓN / HIPÓTESIS

Los reactores nucleares tipo CANDU utilizan agua pesada y disponen de canales horizontales que alojan el combustible nuclear. En cada canal, el refrigerante circula por el interior de un tubo de presión de aleación Zr–2,5 % Nb y extrae el calor generado por la fisión.

Estos tubos están sometidos a solicitaciones térmicas y mecánicas, por lo que su integridad es relevante para la seguridad del reactor.

En determinadas condiciones accidentales, el aumento de temperatura combinado con la presión interna puede producir grandes deformaciones radiales del tubo, fenómeno conocido como ballooning. Su estudio requiere considerar la interacción entre las condiciones de carga y el comportamiento del material a altas temperaturas.

En este trabajo se desarrollan modelos numéricos de complejidad creciente, partiendo de casos elásticos y termoelásticos, como base para estudiar los mecanismos que intervienen en el fenómeno.

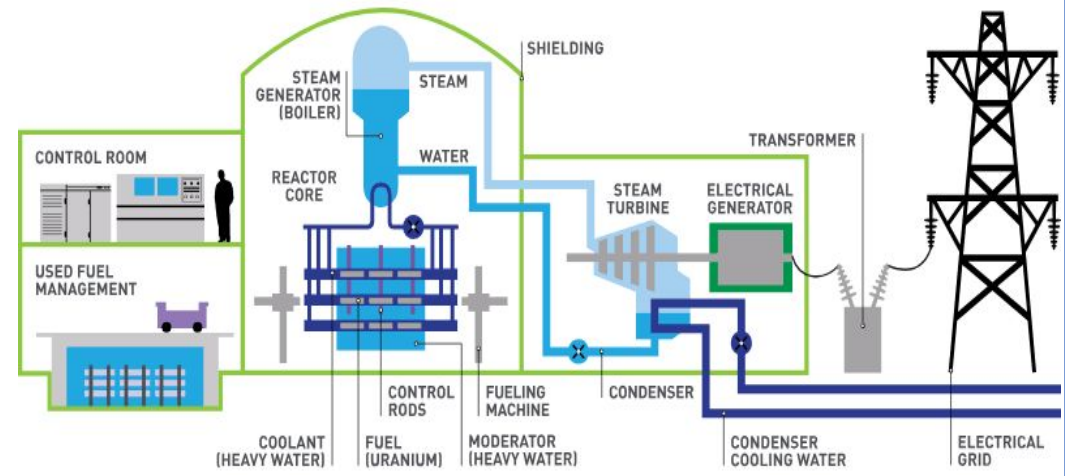


Figura 1. Esquema Central Nuclear CANDU

OBJETIVOS/HIPÓTESIS

Analizar mediante simulaciones numéricas por elementos finitos en Code_Aster la respuesta mecánica de un tubo de presión de un reactor CANDU a diferentes temperaturas, considerando un material isótropo, comparando un modelo constitutivo elástico y uno elastoplástico, como aproximación inicial al estudio del fenómeno de ballooning.

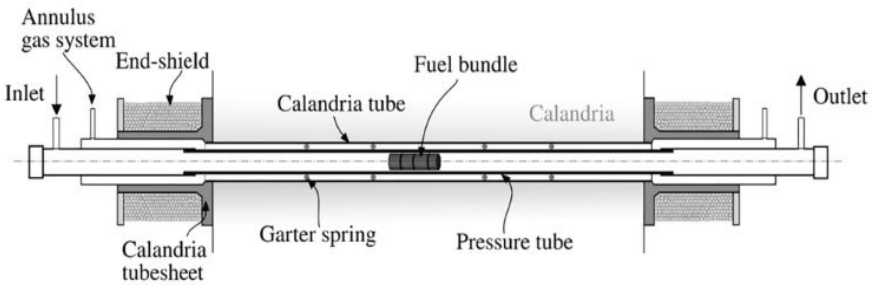


Figura 2. Canal combustible CANDU

METODOLOGÍA

Se asignan propiedades para cada temperatura y se comparan desplazamientos, tensiones y deformaciones bajo iguales condiciones de carga y de borde.

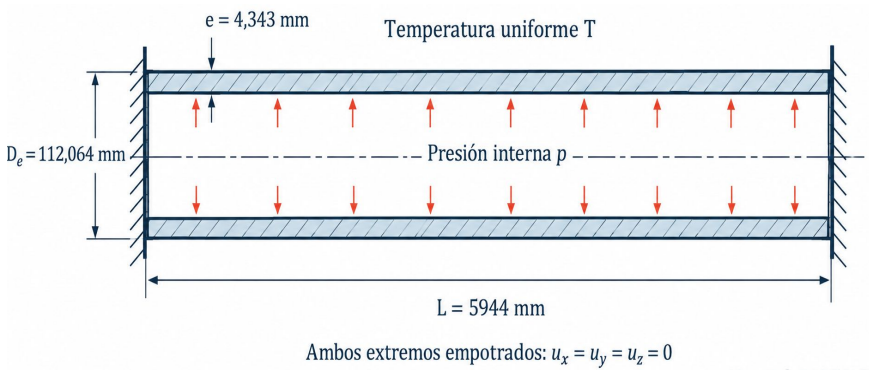


Figura 3. Geometría y condiciones de borde

RESULTADOS y DISCUSIÓN

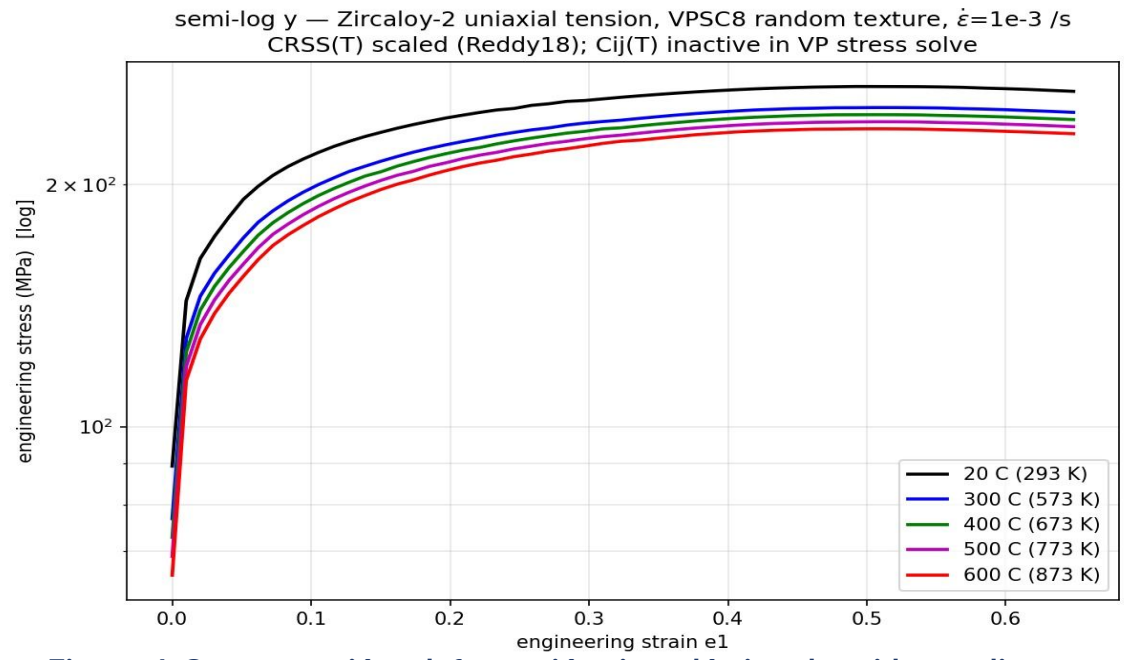


Figura 4. Curvas tensión - deformación viscoplástica obtenidas mediante simulaciones de tracción uniaxial con el modelo VPSC [1]

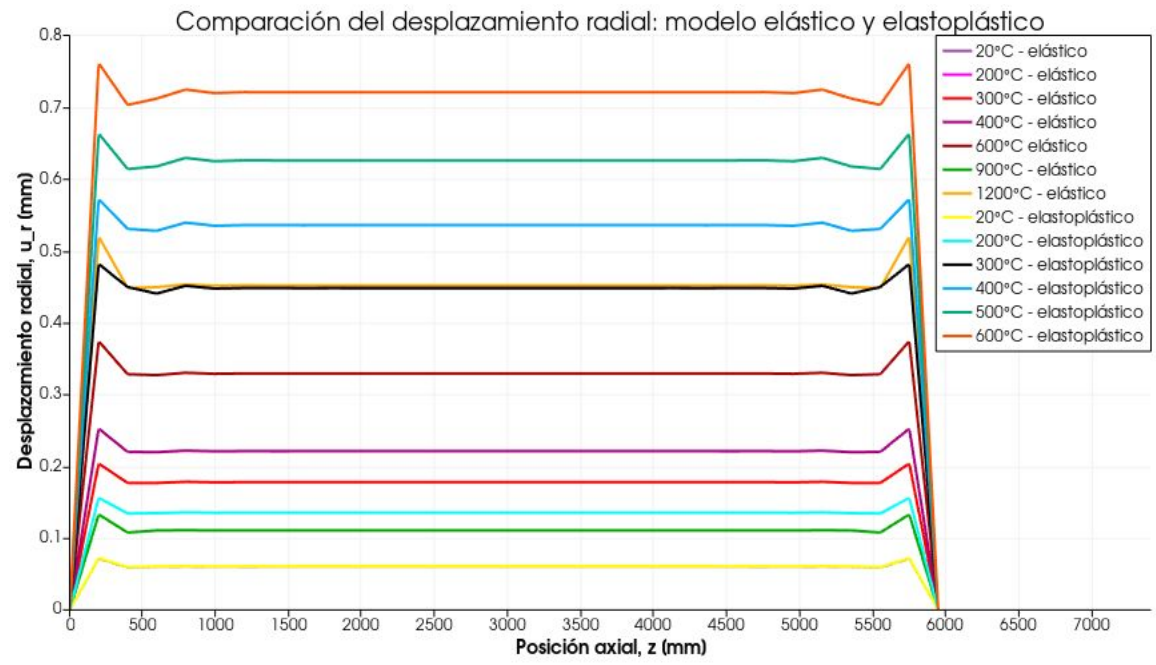


Figura 5. Desplazamiento radial en función de la posición longitudinal del tubo para los modelos elástico y elastoplástico a distintas temperaturas.

La respuesta mecánica depende de la temperatura y del modelo constitutivo adoptado. El modelo elastoplástico desarrolla deformación plástica en todos los casos analizados y presenta diferencias en los desplazamientos radiales respecto del modelo elástico. Entre 300 y 600 °C, la deformación plástica equivalente acumulada máxima (EPSPEQ), evaluada en los puntos de Gauss, aumenta aproximadamente de 0,69 % a 1,0 %.

Temperatura [°C]	$\mathrm{EPSPEQ}_{\mathrm{máx}}$	$\varepsilon_{p,eq}^{\mathrm{máx}}$ [%]
300	0,0069	0,69
400	0,0080	0,80
500	0,0092	0,92
600	0,0100	1,00

Tabla 1. Máxima deformación plástica equivalente acumulada (EPSPEQ) en los puntos de Gauss para las temperaturas analizadas.

CONCLUSIONES

Las simulaciones realizadas permitieron comparar la respuesta mecánica del tubo de presión a distintas temperaturas mediante modelos elástico y elastoplástico. El modelo **VMIS_ISOT_TRAC**, predijo plasticidad incluso a temperaturas próximas a la de operación. Este resultado debe interpretarse considerando la hipótesis de isotropía adoptada, por lo que no implica directamente que el tubo real plastifique bajo las mismas condiciones. La incorporación de modelos constitutivos más complejos o representativos permitirá avanzar hacia una descripción más realista del comportamiento del material.

REFERENCIAS

[1] Fabrizio Aguzzi, Martín Armoa, Santiago M Rabazzi, César Pairetti, and Alejandro E Albanesi. Multiphysics finite element modeling of irradiation and thermal behavior demonstrated on a fuel-assembly problem. Nuclear Engineering and Design, 447:114648, 2026.