

## **PREPARACIÓN DE LA PFAE PARA LA PRODUCCIÓN DE TUBOS DE PRESION PARA LA CNE**

D. Azzinari, G. Carus, M. Sabio Calvete, M. Ilarri, M. Segato, M. Perazzo, J. Duarte, A. Duarte, J. Rojas, G. Fleitas, W. C. Szieber, A. D. Banchik, A. V. Flores, D. R. Bianchi, P. Vizcaíno

*Dpto. de Tecnología de Aleaciones de Circonio, GCCN, CNEA*

### **Resumen**

The Life Extension Program for the PHWR Embalse power reactor of Argentina includes the replacement of the original set of 2,5% Nb pressure tubes by a new one. It was also decided to make the new set of pressure tubes locally from imported Zr-2,5% Nb extruded tubes.

Based on the degraded processes that develop in service a new set of metallurgical requirements was set by the Designer to be followed for new suppliers. As the mechanical properties of pressure tubes in operation depend on the micro-structural deformation, it is necessary to add to the normal macroscopic quality control some additional mechanical and microstructural studies, especially during the development stage.

In the present paper the current status of delay hydrogen cracking, full width at half maximum (FWHM) of x-ray diffraction peaks, alpha phase thickness log-normal distributions and Kearns texture factors are summarized to estimate the magnitude of the micro-structural characteristics of pressure tubes obtained from imported Zr-2,5% Nb extruded tubes that were processed following designer specifications. The pressure tubes were obtained by two steps of plastic deformation in a HPTR 60-120 tube rolling machine without intermediate annealing and a final thermal treatment.

### **1. INTRODUCCIÓN**

La tecnología del circonio en CNEA estuvo fuertemente orientada hacia la integración del Ciclo de Combustible. Sin embargo, en la década del 80 ya se había reconocido la conveniencia de extender el desarrollo tecnológico a los componentes estructurales, razón por la cual CNEA adquirió una laminadora de tubos de alta calidad para fabricar tubos de presión para los reactores HWPR CANDU.

Con los Objetivos de Extensión de Vida de los reactores en operación y la capacidad técnica actualmente disponible en el área de las aplicaciones del circonio a la energía nuclear, se consideró necesario reimplantar un Proyecto de Tecnología del Circonio que desarrolle los conocimientos necesarios para fabricar componentes estructurales.

La limitada capacidad internacional actual para suministrar los componentes necesarios para todas las centrales de potencia instaladas internacionalmente y que requieren componentes para mantenerse en operación motivó el desarrollo local.

### **2. OBJETIVO**

El desarrollo y la transferencia de las tecnologías de fabricación de semiterminados planos y tubulares para componentes estructurales requeridos para extender la vida de reactores de potencia en operación y nuevos reactores a ser puestos en servicio.

### 3. METAS

Lograr capacidad propia para:

- Fabricar y calificar componentes estructurales y afines de acuerdo a normas internacionales y especificaciones de los diseñadores de las Centrales de Potencia.
- Respaldar la documentación técnica que las empresas nacionales deben cumplimentar para satisfacer las exigencias tecnológicas que imponen los diseñadores internacionales para incorporar a una nueva empresa a la lista de proveedores calificados de componentes estructurales.
- Desarrollar técnicas de evaluación post-irradiación que permitan determinar el estado mecánico-metalúrgico de componentes estructurales irradiados removidos de las Centrales de Potencia
- Implementar los ensayos estructurales y generar la información técnica necesarios para asegurar el comportamiento satisfactorio del componente estructural durante su instalación en las Centrales de Potencia.

### 4. ANTECEDENTES

- Especialización en AECL en Tubos de Calandria y de Presión, con el Dr. Cheadle, ex jefe del Dto. De Metalurgia de Chalk River y responsable del desarrollo de los tubos de presión de Zr-2,5%Nb.
- Fundición de lingotes de Zircaloy-4 de 1500 Kg,
- Extrusión de tubos de Zircaloy-4 de tamaño industrial (50 Kg) y Forja de barras de Zircaloy-4 para los separadores de los elementos combustibles de la CNA- I
- En el incidente de Atucha 1, en 1988, la CNEA realizó las tareas metalúrgicas del Plan de Inspección de los Canales de Refrigeración que elaboró KWU.
- Los resultados correspondientes se emplearon para rediseñar la Columna Térmica de los C. R. de Atucha I y Atucha II.
- Además, con los datos de corrosión obtenidos se formuló un nuevo modelo de corrosión bajo irradiación neutrónica que forma parte de la documentación de Diseño de los Canales de Atucha II.
- Laminación con la laminadora HPTR de un nuevo tipo de Tubo de Calandria Sin Costura para AECL. Presentado por AECL en la 10th International Symposium of Zirconium.
- El proyecto PPFAE realizó para CONUAR la laminación de los tubos Guía de las Barras de Control de Atucha I actualmente en uso.

- En el 2006 el LMFAE realizó un análisis del Diseño de los Canales de Atucha II a fin de determinar si se podía emplear los Canales del 1er Set de CNA-II para reconvertirlos en Canales de nuevo diseño.
- A pedido de la NASA CONUAR realizó la reconversión de más de 100 Canales de Refrigeración del 1er Set de CNA-II en Canales de Refrigeración de nuevo diseño para Atucha 1, los cuales ya están en operación

## **5. ALEACIONES BASE CIRCONIO**

En la tabla 2 se indican las aleaciones más conocidas y el tipo de producto en que se emplean actualmente a nivel local e internacional

## **6.- ACTIVIDADES EN DESARROLLO**

Desde el 2005 el Departamento Tecnología de Aleaciones de Circonio (ex-PPFAE + LMFAE) en colaboración con CONUAR se ha concentrado en el desarrollo de

- Tubos de Presión de Zr-2,5% Nb
  - proceso de deformación plástica con laminadora HPRT 60-120
  - desarrollo de los controles micro-estructurales
- Vainas Combustibles para elementos combustibles CAREM-25
  - proceso de deformación plástica con laminadora HPRT 8-15
  - ensayos mecánicos y metalográficos

### *6.1.- TECNOLOGÍA DE FABRICACIÓN DE TUBOS DE PRESIÓN DE Zr-2,5wt% Nb*

Debido a la necesidad de suministrar los tubos de presión a CNE en tiempo y forma, en CNEA se ha privilegiado las tareas de desarrollo de los tubos de presión, habiéndose decidido

- ❖ Iniciar el proceso de fabricación partir de tubos extrudados de Zr-2,5%Nb importados
- ❖ Iniciar los procesos locales de deformación plástica en la laminadora de tubos de calidad instalada en la planta piloto del Dpto. de Tecnología de Aleaciones de Circonio, CAE.
- ❖ Complementar los controles macroscópicos normales requeridos para tubos de calidad con las técnicas de evaluación micro-estructural requeridas por el Diseñador para la calificación de un nuevo proveedor.

### *6.2.- DESCRIPCIÓN DE LOS PROVEEDORES DE CADA PROCESO EMPLEADO EN LA FABRICACIÓN DE LOS TUBOS DE PRESIÓN*

En la Tabla 2 se identifican los proveedores originales y los proveedores de las tres partidas actuales de desarrollo. Es importante notar que la aleación y la forja de ambas secuencias de fabricación fueron provistas por el mismo proveedor.

### *6.3.-ETAPAS DEL DESARROLLO*

- 1) PROCESAMIENTO EN CNEA DE TROZOS DE TUBOS DE PRESION FABRICADOS POR EL PROVEEDOR ORIGINAL (Nu Tech)

- 2) PROCESAMIENTO EN CNEA-CONUAR DE TROZOS DE TUBOS EXTRUDADOS POR WHA CHANG.
- 3) LAMINACIÓN, TRATAMIENTO TÉRMICO Y CARACTERIZACIÓN EN CNEA/CONUAR DE TUBOS DE PRESIÓN de Zr-2,5wt%Nb , ORIGEN WHA CHANG
  - a) 5 TUBOS EXTRUDADOS EXPERIMENTALES
  - b) 10 TUBOS EXTRUDADOS (tubos de certificación )
  - c) 10 TUBOS EXTRUDADOS (1ra partida de producción, en proceso)

#### *6.4.- CARACTERIZACIÓN DE TUBOS EXTRUDADOS Y DE PRESIÓN*

Esta tarea incluye todos los ensayos que realiza AECL para calificar los Tubos de Presión de un nuevo proveedor y que deberá realizar CNEA.

- ✓ Técnicas de Difracción de Rayos X y de Radiación Sincrónica
- ✓ Determinación de los Coeficientes de Textura.
- ✓ Medición del Ancho de Línea para determinar la concentración de dislocaciones
- ✓ Espesor de Fase  $\alpha$ ;
- ✓ Identificación de tipos de dislocaciones;
- ✓ Evolución Estructural de las fases  $\alpha$ ,  $\beta$  y fase w.
- ✓ Ultrasonido y Corrientes Parásitas
- ✓ Detección y Descripción de Defectos Típicos
- ✓ Fractomecánica
- ✓ Ensayos en probetas Tipo Compactas Curvadas y
- ✓ Ensayos en probetas Tipo Canteliver Beam (\*)
- ✓ Fisuración diferida por hidrógeno.
- ✓  $K_{HI}$  y Velocidad de Propagación de la fisura

## TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1. Aleaciones base circonio normalizadas y patentadas. Estas últimas se emplean en elementos combustibles de alta quemado

Aleaciones Base Zr Normalizada	Productos
Zircaloy- 2 ;	Elemento Combustible - Tubo de Calandria (Candu)
Zircaloy-4	Elemento Combustible, Tubos Guías, Canal de Refrigeración (Atucha 1 y 2) Fuel Channel (BWR )
Zr-2,5 %Nb	Tubo de Presión
Aleación Base Zr Patentadas	Productos
PCA-S (Zircaloy-4 optimizado)	Elementos Combustibles- Canal de Refrigeración (Atucha 1 y 2)
M5 (Zr-1% Nb), Origen Francia	Elementos Combustibles Alto Quemado
ZIRLO (Zr, Nb, Fe, Cr ) Origen USA	Elementos Combustibles Alto Quemado

Tabla 2. Proveedores de cada uno de los procesos de la secuencia de fabricación

SECUENCIA DE FABRICACIÓN	RESPONSABLE DEL PROCESO	
	IMPORTADO	NACIONAL
FUNDICIÓN LINGOTE	Wha Chang	Wha Chang
FORJA Y TEMPLADO □	Wha Chang	Wha Chang
EXTRUSIÓN	Nu Tech	Wha Chang
1ra y 2da DEFORMACIÓN	Nu Tech	CNEA-CONUAR
TRATAMIENTO TÉRMICO	Nu Tech	CNEA-CONUAR
CERTIFICACIÓN	Nu Tech	CONUAR

Tabla 3. Factores de Kerns de Cabeza y de Cola de tres tubos de presión de la segunda partida, calculados con Difracción de Rayos X.

Muestra	f transversal	f radial	f axial	f total
Transversal - Tubo 1L2TT Front	0,529	0,36	0,094	0,982
Transversal - Tubo 1L2TT Back	0,528	0,389	0,066	0,983
Transversal - Tubo 2L2TT Front	0,562	0,369	0,054	0,985
Transversal - Tubo 2L2TT Back	0,537	0,389	0,059	0,985
Transversal - Tubo 3L2TT Front	0,543	0,337	0,103	0,983
Transversal - Tubo 3L2TT Back	0,494	0,412	0,079	0,984

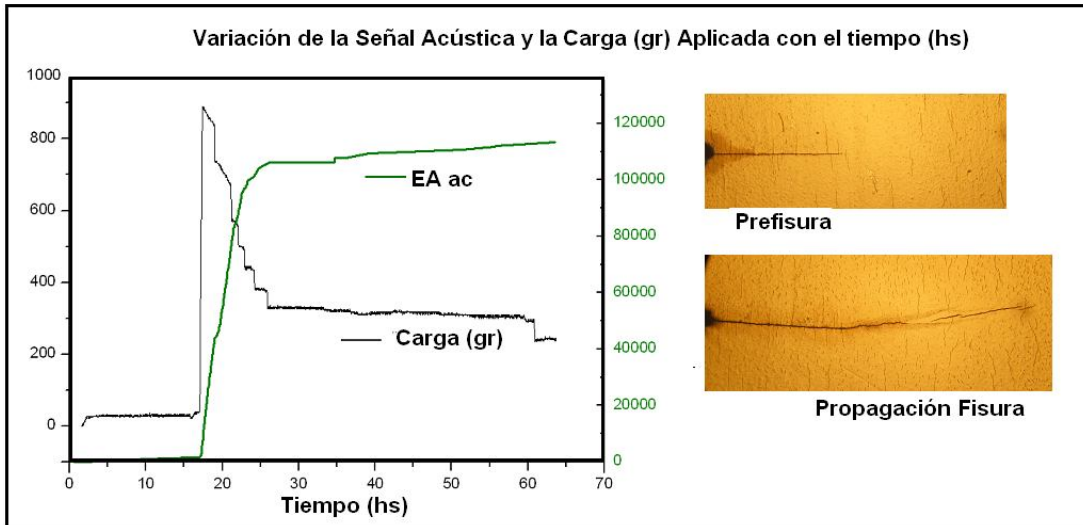


Figura 1 Determinación del coeficiente  $K_{HI}$  de la segunda partida .

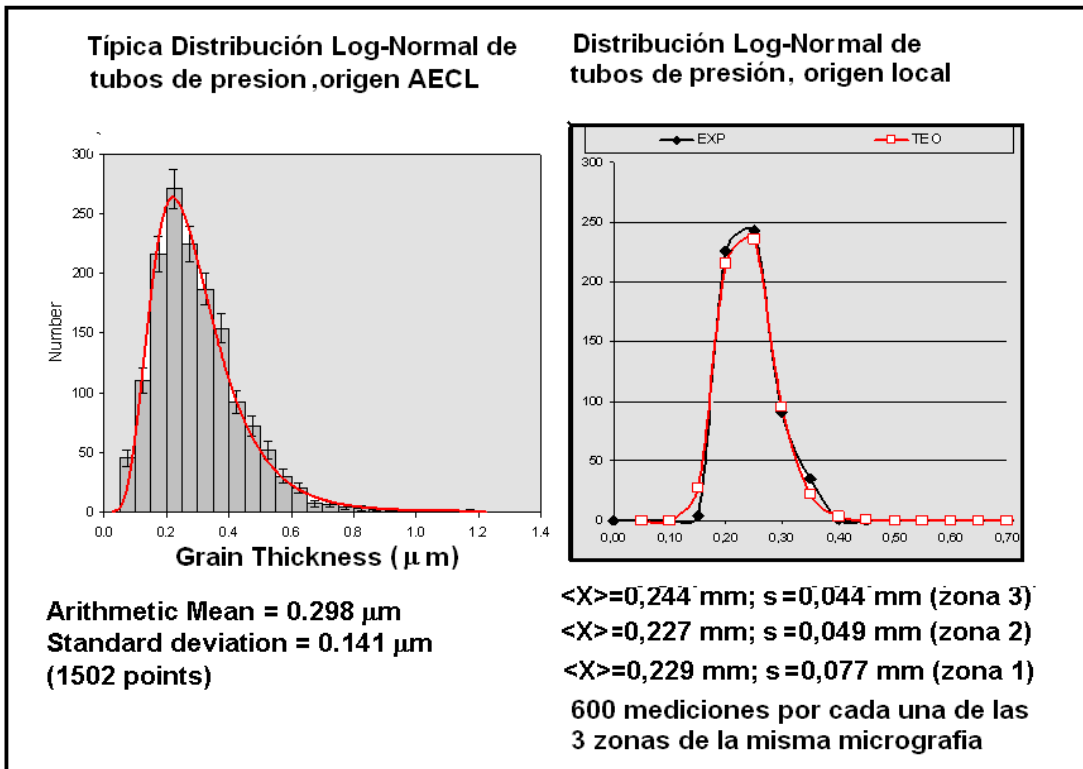


Figura 2. Distribución Log-Normal y valores típicos en tubos de presión de Zr-2,5%Nb origen AECL y de la segunda partida, extremo Cola.

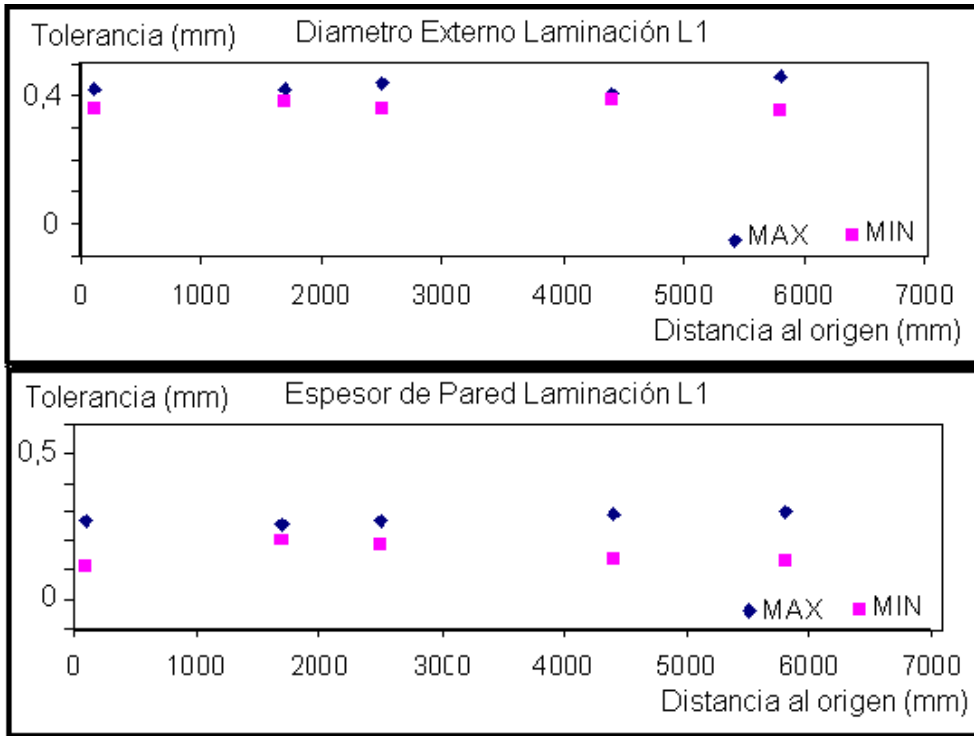


Figura 3 Dispersión del diámetro externo y del espesor luego de la primera laminación L1

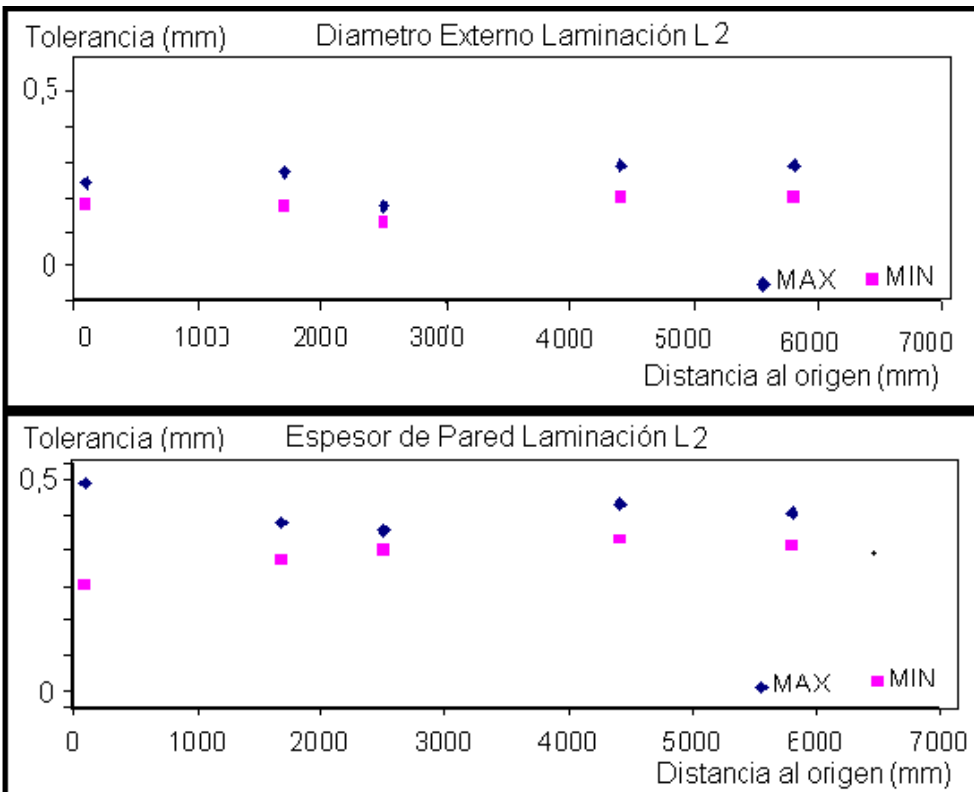


Figura 4 Dispersión del diámetro externo y del espesor luego de la segunda laminación L2