

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 1	AÑO 1978

Ciencia Nueva, Vol. 7, n.º 38, 1978, p. 10-14.

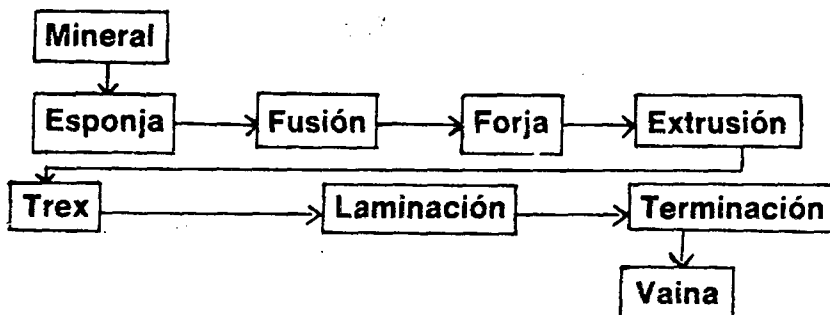
Acceder plenamente a la Tecnología del

# Hacia la Producción de ZIRCALOY 4

## I. — INTRODUCCION

En la fabricación de elementos combustibles que se emplean en las centrales nucleares argentinas se utilizan como insumos más importantes: el óxido de uranio y las vainas y componentes estructurales de Zircaloy 4 (una aleación de base circonio [Zr]). Las partes en Zircaloy constituyen un 25 % del costo de la Central Atucha y un 16 % en el caso de la Central Embalse Río III.

De estas partes en Zircaloy, el ítem más importante lo constituyen las vainas, por su relevancia económica. La fabricación de vainas involucra una cadena de procesos metalúrgicos como se aprecia en el siguiente esquema simplificado:



Mineral<sup>1</sup>, esponja<sup>2</sup> o trex<sup>3</sup> son las materias primas elegibles a partir de las cuales se podría comenzar la secuencia de operaciones para obtener el producto final.

<sup>1</sup> Mineral: Zircow (ortosilicato de circonio - Zr Si O<sub>4</sub>)

<sup>2</sup> Esponja: Material que se obtiene de la reducción del Zircou.

<sup>3</sup> Trex: Nombre con que comúnmente se designa a los tubos extrudados.

La relación de precios entre la vaina y las diferentes materias primas son:

$$\frac{\text{precio vaina}}{\text{mineral}} = \frac{150 \text{ U\$S/Kg}}{0,5 \text{ U\$S/Kg}} = 300$$

$$\frac{\text{precio vaina}}{\text{esponja}} = \frac{150 \text{ U\$S/Kg}}{25 \text{ U\$S/Kg}} = 6$$

$$\frac{\text{precio vaina}}{\text{trex}} = \frac{150 \text{ U\$S/Kg}}{40 \text{ U\$S/Kg}} = 3,7$$

Como se puede apreciar dado el alto valor agregado de la vaina, según el punto de partida que se elija, así será el correspondiente ahorro de divisas. Pero esto es relativo, puesto que:

- 1) la elaboración de esponja de circonio a partir del mineral requiere una tecnología muy compleja;
- 2) el suministro de esponja de circonio en el mundo para aleaciones de uso nuclear lo realizan en el presente: Teledyne Wah Chang (Albany, USA) en un 75 % y Pechiney-Ugine-Kuhlmann (Francia), El Dorado (Canadá) y Toho (Japón) aportan el resto. La India y Rusia producen cantidades no determinadas para uso interno;
- 3) la fabricación de vainas para elementos combustibles es llevada a cabo por fabricantes de USA, Suecia, Alemania, Inglaterra, Francia, Noruega, India, Rusia y Japón; y
- 4) la disponibilidad de material de circonio en determinadas formas para uso nuclear ha entrado actualmente en la esfera de influencia de la polí-

# Circonio

## Nacional

tica internacional y su precio es fijado en consecuencia.

La Comisión Nacional de Energía Atómica, ante las características económico-políticas que gobiernan la provisión de suministros que le son fundamentales, decidió encarar el desarrollo de todos los conocimientos necesarios para acceder plenamente a la tecnología del circonio. Esto involucra como primera meta a cumplir, la puesta en operación de una planta piloto para la obtención de esponja de circonio y un complejo de plantas piloto (de fusión y de transformación) para la obtención de vainas y elementos estructurales a partir de la esponja. Todo este programa permitirá obtener datos para una más completa evaluación del problema y permitir encarar futuros desarrollos.

Teniendo en cuenta que para 1985 nuestra demanda estimada de productos en Zircaloy 4 se elevaría aproximadamente a unas 80 ton/año, considerando la operación de tres centrales, el trabajo que se presenta a continuación, resume los resultados experimentales obtenidos hasta el presente, para dotar al país de la tecnología especial de fusión imprescindible que permite, a partir de esponja de circonio, proveer la materia prima en forma

*El autor de este trabajo, Ingeniero Arnoldo Levi, egresó de UNBA con el título de Ingeniero Civil (orientación electromecánica). Ingresó en la CNEA en 1954 y se desempeña en el actual Departamento de Materiales desde sus comienzos, 1955. Completó su formación profesional en el Comisariat de L'Energie Atomique (Francia) donde fue contratado como Investigador Asociado en 1966. Su especialidad es la de Procesos Metalúrgicos en Vacío, principalmente los de fusión. Casado. Dos hijos.*



Figura 1

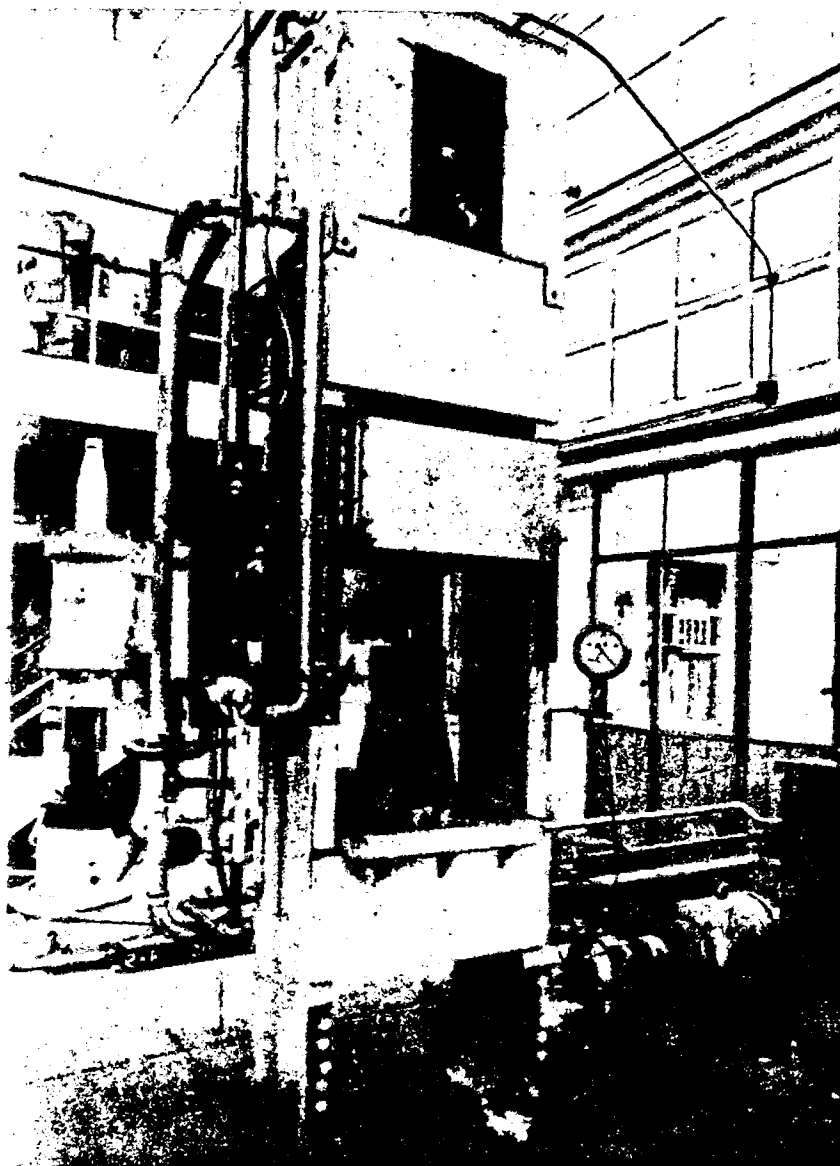


Figura 2

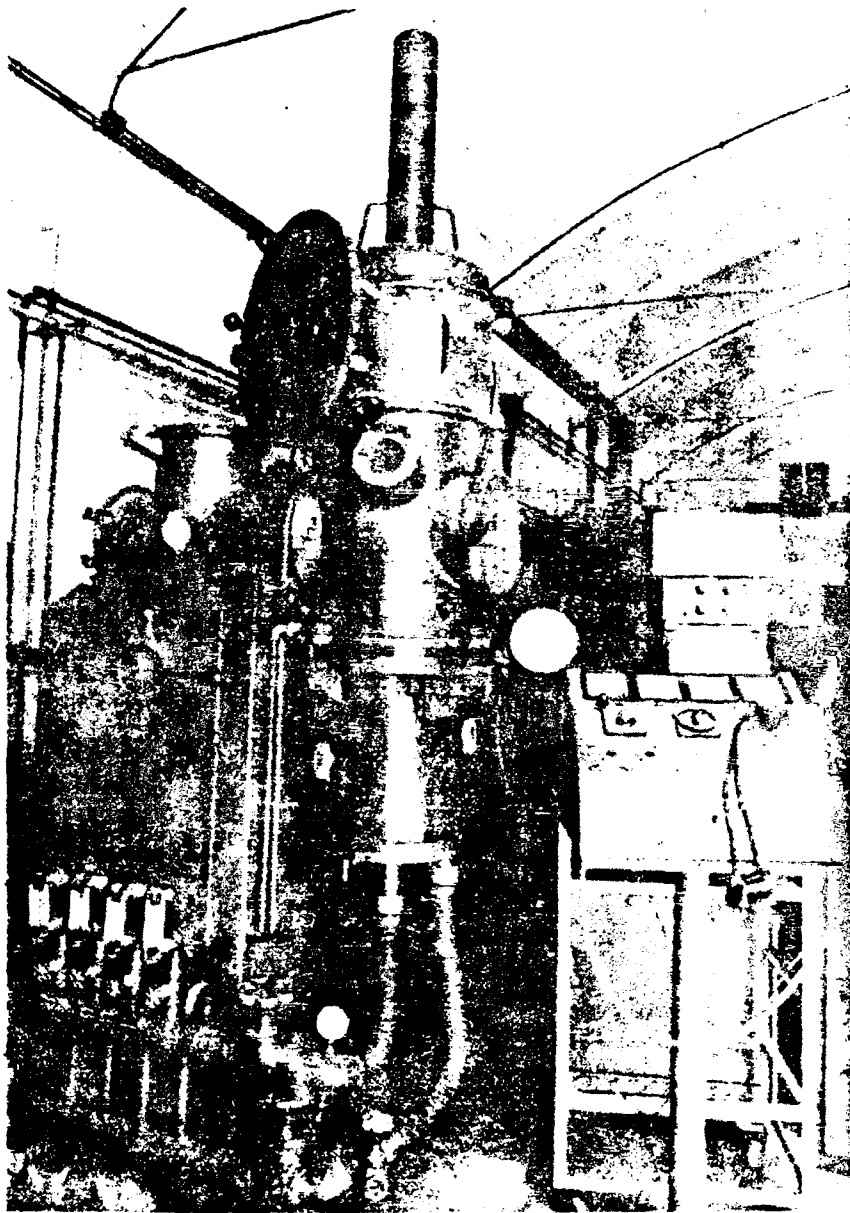


Figura 4

de lingotes de Zircaloy 4 para componentes de elementos combustibles.

## II. - Fusión de Circonio.

### Características

Para el fundidor, el Zr presenta tres dificultades distintas, a saber: 1) en el estado fundido es extremadamente activo; 2) actúa como getter para todos los gases excepto los gases nobles; y 3) la esponja, durante el calentamiento, salpica y hierve al liberar materia volátil encerrada en los poros.

El Zr fundido es casi un solvente universal y encontrar un crisol satisfactorio es un problema. Reacciona con la mayoría de los materiales cerámicos que normalmente son usados para estos fines. Oxidos tales como sílice, alumina, magnesia o berilia son reducidos por el Zr fundido.

El grafito de alta densidad quizás podría usarse, pero el límite de contaminación es muy bajo (0,2 % C) y en el punto de fusión el Zr reacciona formando carburos. En el presente, el uso de crisoles de cobre refrigerados por agua aparecen como los más convenientes para fundir este metal altamente activo.

Por lo que hemos señalado, cuando se funde Zr deben ser satisfechas dos condiciones importantes si se quiere que el lingote sea dúctil: a) la atmósfera del horno debe estar libre de los gases más comunes, y b) el crisol debería ser capaz de resistir la acción del Zr fundido.

El método más exitoso para fundir e. r sin contaminación, es la técnica del arco eléctrico operando en una atmósfera de gases nobles (argón, helio) o vacío con

un crisol de cobre refrigerado con agua, empleando tanto un electrodo consumible de Zr. La combinación: crisol de cobre - electrodo consumible, elimina los puntos de contaminación.

Este proceso ha ganado también una amplia aceptación en la purificación y control de estructura de los metales más comunes e importantes comercialmente tales como aleaciones en base hierro y níquel, a pesar del hecho de que sus puntos de fusión y reactividades químicas los hacen más accesibles a otras técnicas de fusión y fundición menos complicadas.

Brevemente, el proceso involucra la aplicación directa del calor de un arco eléctrico de alto amperaje y bajo voltaje a la superficie de la masa metálica fundida por un lapso finito de tiempo en una atmósfera cuya presión parcial de impureza es menor que la del metal fundido. De estas condiciones resultan la vaporización y remoción de impurezas selectas del metal bajo tratamiento. Además, los gradientes térmicos más grandes que existen entre el crisol metálico refrigerado y la superficie fundida intensamente caliente, provocan una solidificación unidireccional produciendo lingotes de estructura columnar.

En la forma más ampliamente usada de esta técnica, el arco eléctrico es soportado entre el metal fundido en el crisol y una barra preformada de materia prima metálica (electrodo). Cuando el proceso se desarrolla, el crisol es llenado con metal por la transferencia de gotas líquidas a través del arco desde el electrodo de materia prima (fig. 1). En este método sólo una pequeña porción de la carga útil está usualmente en estado líquido. La fusión y la solidificación proceden simultáneamente y la formación del lingote es un proceso casi continuo.

La mayor ventaja de este método es que la fusión puede realizarse en vacío. La contaminación gaseosa del fundido es por lo tanto mantenida a su nivel más bajo posible y como resultado de esto, se pueden obtener valores de dureza más bajos. En la fusión en vacío, la dureza final depende enteramente de la calidad de la esponja utilizada. Una particularidad más: cuando se trabaja en vacío se pueden obtener velocidades de fusión elevadas, debido a que la transferencia térmica se reduce en gran medida y la efi-

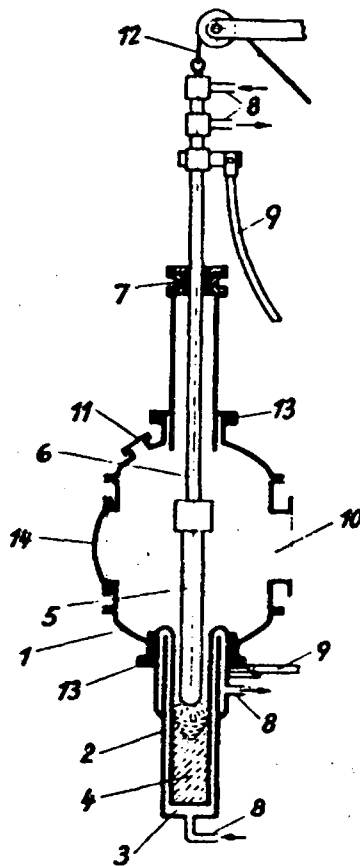


Figura 3

ciencia del horno es máxima. La mayor desventaja de la fusión con electrodo consumible es la dificultad de preparación de los electrodos.

### III. - Etapa laboratorio.

#### Trabajo experimental.

El trabajo experimental se ha desarrollado cumpliendo con los siguientes pasos esenciales: 1) preparación de electrodos por compactado y soldadura; 2) fusión por arco en vacío de estos electrodos en un crisol de cobre refrigerado por agua; 3) unión de estos lingotes primeramente fundidos, por soldadura, y 4) refusión del electrodo así obtenido en el horno de fusión por arco en vacío para obtener un lingote sano y homogéneo.

Veamos ahora las características de cada uno de los elementos necesarios para poder realizar los pasos más arriba enunciados:

El electrodo debe satisfacer ciertos requerimientos cualitativos generales, aunque cuantitativamente puede haber una gran variación para cada aplicación. Los requerimientos generales conciernen a: 1) resistencia, 2) conductividad, 3) pureza y 4) rectitud. El punto principal es respecto a la resistencia, pues el elec-

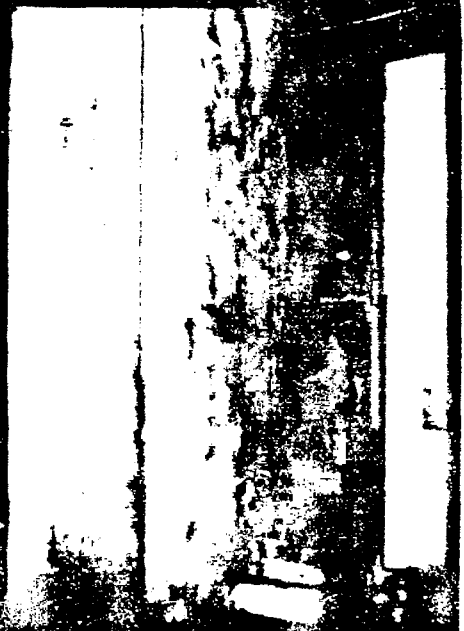
# IMPESA

## INDUSTRIAS METALÚRGICAS PESCARMONA S.A.I.C.yF.

Ceretti 244 - 5501 Godoy Cruz, Mendoza, Rep. Argentina - Tel. 220000 - Télex 043700  
 Viamonte 1526, 5º Piso - 1055 Capital Federal, Rep. Argentina - Tel. 49-8385 - Télex 0122432

### Provee componentes para la Central Nuclear de Río III

- Plataforma de los mecanismos de reactividad
- Portones de blindaje
- Puentes para la máquina de recambio
- Capuchones de interconexión calandria-plataforma
- Esclusas de aire para personal
- Esclusas de aire para equipos
- Puentes grúas de 300 toneladas
- Pórticos de grúas



trodo debe poder ser capaz de soportar su propio peso.

La sección transversal es frecuentemente cuadrada o circular.

El alineamiento del electrodo a través de todo el proceso es esencial y en la práctica esto significa que el electrodo debe ser recto y permanecer así cuando se lo calienta.

Una consideración adicional en la producción del electrodo es la facilidad de adición de aleantes. Los aleantes son agregados en formas variadas (polvos, granallas, alambres, etc.) ya sea separadamente en una cadencia función de la fusión del electrodo o integrado al electrodo cuando se compacta, de tal forma que el electrodo y los aleantes fundan al mismo tiempo.

Los electrodos empleados están pues constituidos por la unión de compactos de esponja de circonio que cumple con estrictas especificaciones nucleares. Los compactos, de una densidad del 80 % de la teórica, son obtenidos empleando una prensa hidráulica de 100 ton de fuerza máxima y una matriz cilíndrica (fig. 2). La carga de aleantes (todos de gran pureza) corresponde a una composición media del Zircaloy 4.

La unión se realiza utilizando una cámara de soldadura y el método TIG (electrodo de tungsteno toriado en atmósfera de argón). Este método no es el recomendado debido a la posibilidad de contaminación del electrodo con tungsteno; lo mejor sería la soldadura por haz de electrones o plasma. En nuestro caso, la puesta a punto del método de soldadura, permitió que el electrodo presente un contenido de tungsteno inferior a 100 ppm, valor que está dentro de la tolerancia.

La fusión se lleva a cabo empleando un horno por arco bajo vacío. Este equipo consiste esencialmente (fig. 3) de una cámara de vacío a la que está conectada un sistema de bombeo, un crisol-molde de cobre refrigerado por agua que cierra la cámara de vacío, el electrodo con su soporte y el dispositivo de alimentación del electrodo. El horno que poseemos actualmente permite obtener un lingote máximo de 250 mm de longitud, 110 mm de diámetro y un peso aproximado de 22 Kg. (fig. 4).

Los lingotes obtenidos deben cumplir con las especificaciones de la norma ASTM B 350-64 T, para lo que son sometidos a estrictos controles de composición química y gaseosa (fig. 5).

A continuación se consignan los resultados obtenidos en operaciones tipo que corresponden al ciclo completo más arriba mencionado:

Norma ASTM B 350 — 64 T:  
 estaño: 1,20 a 1,70 %  
 hierro: 0,18 „ 0,24 „  
 cromo: 0,07 „ 0,13 „  
 hierro + cromo: 0,28 „ 0,37 „

	Sn (g%g)	Fe (g%g)	Cr (g%g)
OP41C	1,43 ± 0,04	0,23 ± 0,01	0,116 ± 0,005
OP41M	1,35	0,30	0,114
OP41P	1,21	0,21	0,115
OP42C	1,35	0,21	0,114
OP42M	1,36	0,23	0,112
OP42P	1,67	0,22	0,115
OP43C	1,56	0,23	0,113
OP43M	1,42	0,22	0,120
OP43P	1,48	0,25	0,134
OP45C	1,49 ± 0,04	0,25 ± 0,01	0,118 ± 0,005
OP45M	1,41	0,23	0,113
OP45P	1,32	0,26	0,111

(Observaciones: C, M, P corresponden a las zonas de la cabeza, medio y pie del lingote. OP41, OP42 y OP43 corresponden a lingotes de la fusión y OP45 al lingote de 2ª fusión. La técnica de análisis empleada fue la de Fluorescencia de Rayos X).

#### IV. — Planta piloto de fusión

Paralelamente al desarrollo que se ha llevado a cabo en escala de laboratorio, se ha ido realizando la Ingeniería Básica de una planta piloto, que con la tecnología apuntada, permita obtener lingotes de aleación de circonio terminados de aproximadamente 1500 Kg de peso.

Se ha contratado con una firma de la República Federal Alemana la provisión del equipamiento básico para el funcionamiento de la planta y constituido por: 1) prensa de compactado, 2) soldador por haz electrónico y 3) horno de fusión en vacío con electrodo consumible. Durante los meses de octubre-noviembre

ppdos. se han realizado las pruebas de pre-recepción del soldador y del horno. Estas pruebas permitieron obtener, con la técnica desarrollada en la Etapa Laboratorio, dos lingotes de Zircaloy 4 de un peso aproximado de 850 Kg cada uno. Estos equipos ya están en el país y se calcula que la prensa será entregada durante el segundo semestre de 1978.

La construcción de la Planta Piloto ya ha comenzado en el Centro Atómico Ezeiza y se está completando la parte correspondiente a la Ingeniería de Detalle, calculándose que toda la planta será operable a principios de 1979. ♦

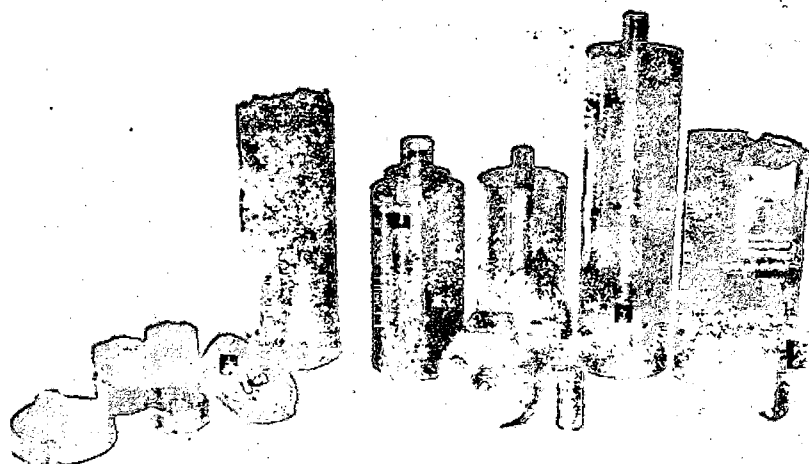


Figura 5