

SUMINISTRO NACIONAL DE BARRAS DE CONTROL DE REACTIVIDAD (BCR) PARA LA CENTRAL NUCLEAR EMBALSE (CNE).

*BIONDO C; #RUGGERI I; #ARAKELIAN C; #RUBIO N; *CARLONI J; *ABA J.
*COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA #CONUAR

INTRODUCCION

Trabajos previos de evaluación llevados a cabo en la CNEA, indicaron la posibilidad y conveniencia de encarar la fabricación nacional a nivel industrial, de BCR para la CNE, que hasta 1986 eran de origen canadiense y suministradas por AECL.

Además de constituir este evento otro logro a alcanzar en el plan de sustitución de repuestos y consumibles importados para las Centrales Nucleares por similares de origen nacional, se inserta la fabricación en cuestión, como una de las etapas integrantes en la producción de fuentes de radiación gamma de interesante proyección en el mercado mundial y al cual la Argentina pretende ingresar.

FUNCION Y USO DEL SUMINISTRO

El suministro forma parte del Sistema de Regulación del Reactor de la CNE. Consiste en veintiuna (21) unidades denominadas BCR o Ajustadoras de Reactividad. La función primaria de estas barras es conformar el flujo del núcleo, por absorción de neutrones mediante el cobalto metálico contenido en ellas, a fin de optimizar la potencia del reactor y el quemado del combustible y provocar exceso de reactividad para contrarrestar el envenenamiento por xenon 135. A tal fin son dispuestas verticalmente, en cantidad de siete (7) por cada uno de tres (3) planos perpendiculares al eje longitudinal de la calandria y con facilidad para deslizarse dentro de tubos guías, suspendidas por un cable de acero inoxidable accionado por un aparejo eléctrico.

El bombardeo neutrónico del cobalto natural contenido en las barras hace que este pase al estado isotópico Co 60 (vida media 5,3 años), el cual tiene diversas aplicaciones industriales y médicas, que lo hacen comercialmente atractivo.

Al cabo de cierto tiempo, que depende del grado de actividad específica que se desee alcanzar (generalmente 100 a 200 Curie/gr.) y de la capacidad de blindaje radiológico del dispositivo de extracción de barras de la Central, las barras ya irradiadas, son sacadas del núcleo para ser desarmadas. Pequeños tubos de zircaloy heméticamente soldados y que en su interior contienen pastillas de cobalto Co 60 son recuperados de la barra pudiendo comercializarse en ese estado (a granel) o bien en una fase posterior, doblemente encapsulados y calibrados con el consiguiente aporte de valor agregado y comercializarse finalmente bajo la denominación de "fuentes".

EVALUACION PREVIA Y FACTIBILIDAD DE FABRICACION

CNEA y CONUAR efectuaron una evaluación global que incluyó el análisis de documentación de diseño existente en CNEA, normas a aplicar, metodologías de fabricación, criterios de evaluación, programa de Garantía de Calidad y factibilidad de fabricación a nivel industrial. Se concluyó que con excepción de los núcleos de Cobalto, de los que se carecía por completo de antecedentes, se contaba con información y experiencia suficiente para emprender la fabricación, dada la analogía entre este componente y un elemento combustible.

Respecto a los núcleos de Cobalto, no obstante la falta de antecedentes, CNEA consideró que se contaba con capacidad local suficiente para el análisis de los aspectos de especificación y fabricación, razón por lo cual decidió su desarrollo.

La responsabilidad por la elaboración de la especificación para estos núcleos recayó en el Proyecto PFAE perteneciente a la Dirección de Investigación y Desarrollo de CNEA siendo éste conjuntamente con la fabricación de núcleos uno de los aspectos más destacables de este emprendi-

miento.

ASPECTOS DE LA CONTRATACION

CNEA efectuó en esta primera etapa una contratación con CONUAR por la provisión de veintiuna (21) BCR de cuatro tipos diferentes. Esta cantidad corresponde a una carga completa en el reactor de la CNE.

La estructura contractual aplicada, tuvo en cuenta, en virtud del tipo de trabajo a llevarse a cabo, un programa de certificaciones y verificaciones de hitos de avance de obra y permitió compatibilizar las dificultades de orden tecnológico, típicas en esta clase de desarrollos, con el cumplimiento de las cláusulas contenidas en el contrato establecido. Además y para un mejor y más ordenado desarrollo de la obra se designó un representante por cada una de las partes, como así también los responsables por la inspección de calidad.

DOCUMENTACION DE DISEÑO Y TRATAMIENTO DE LA MISMA

La documentación de diseño fue emitida por CNEA y consta básicamente de:

- Planos dimensionales de las partes componentes donde se especifican materiales, tratamientos térmicos, soldaduras, pruebas de inspección, etc.
- Procedimientos de algunos procesos especiales.
- Una especificación técnica general donde se establecen los requerimientos técnicos para el diseño de detalle, los planos de taller que deben elaborarse, criterios de fabricación, inspección, pruebas, limpieza, embalaje, etc.
- Una especificación técnica para núcleos de cobalto donde se establecen los requerimientos de calidad de éstos, métodos de fabricación, dimensiones, documentación a preparar por el fabricante, procesos a calificar, etc.

El nivel de calidad asignado a este suministro corresponde al Nivel II de la serie CSA Z 299.

CNEA en esta fase remitió a CONUAR la totalidad de la documentación con carácter informativo para el correspondiente análisis.

Como resultado, CONUAR elaboró un detallado cuadro de observaciones que incluyeron cambios de materiales, modificaciones al diseño y observaciones diversas las que una vez estudiadas y aceptadas por CNEA permitieron la revisión y emisión de la documentación válida para fabricación.

ASPECTOS DEL PROGRAMA DE GARANTIA DE CALIDAD EMPLEADO

CONUAR elaboró un Plan de Fabricación y Control (PFyC) por cada componente. Este documento suministró la información fundamental para la producción y control de productos. En él, se reseñaron las distintas etapas de fabricación y control, y las respectivas Instrucciones a aplicar. Tanto el PFyC como las Instrucciones fueron sometidos a la aceptación de CNEA.

Asimismo CONUAR diseñó documentos que aseguraron la rastreabilidad de cada uno de los componentes partiendo de la materia prima y concluyendo en el montaje final.

En lo referente a procesos especiales cada uno de estos fue calificado previamente habiendo elaborado CONUAR la correspondiente instrucción y sometido a la aceptación de CNEA. Posteriormente y una vez aprobada la calificación se elaboraron las correspondientes instrucciones de fabricación y control con análogo tratamiento de aprobación.

Con respecto a los cambios de diseño y no-conformidades surgidas durante la fabricación, CONUAR remitió la totalidad de estas para la disposición por parte de CNEA. Asimismo CNEA elaboró un procedimiento al efecto donde se señaló el tratamiento a dar a cada una de estas desviaciones y se identificó al sector responsable de la elaboración y aprobación de la disposición.

Las medidas descriptas son algunas de las más destacables las que, junto al sistema de Garantía de Calidad que actualmente mantiene vigente CONUAR para la fabricación de Elementos Combustibles permitieron prevenir, detectar y corregir desviaciones a la vez que cumplir con los requerimientos de la norma de calidad CSA Z 299-2.

Asimismo, este sistema cubrió a aquellos subproveedores que carecieron de Programa de Calidad.

CONSTITUCION DE LAS BARRAS

Una BCR está compuesta, básicamente, de una estructura portante que consiste de una barra central donde se insertan unos sobre otros una determinada cantidad de "manojos" los que, a su vez, contienen vainas o tubos llenos de pastillas de cobalto de alta pureza y sellados por los extremos, denominados "lápices".

Los manojos son sostenidos por dos placas, una en cada extremo de la barra central, que los mantienen comprimidos por la acción elástica de un resorte regulado por una tuerca superior, que sirve también de fijación a un extremo del cable de suspensión de la BCR, y una tuerca autobloqueante en el extremo inferior de la barra central. Las cantidades de manojos por cada BCR y la de lápices en cada manajo varían de acuerdo al tipo de BCR.

PROCESOS DE FABRICACION Y CONTROL PASTILLAS

Las pastillas terminadas consisten de un núcleo cilíndrico de cobalto metálico de alta pureza, de densidad $8,6\text{gr/cm}^3$ (98% de la teórica) y aproximadamente 12,6 mm de altura por 6,2 mm de diámetro, recubierto por una capa de níquel de un espesor entre 10 y 25 micrones. La especificación elaborada por CNEA permitió la fabricación de estas pastillas por los métodos de prensado-sinterizado y fundición-tratamiento termomecánico. Se optó por el primero para la producción de los lotes aunque también se prepararon unas 14 pastillas por el segundo de los métodos.

En el desarrollo del proceso de pulvimetalurgia (acondicionamiento del polvo, prensado y sinterizado) fue realizado por el Grupo de Materiales Combustibles de la Dirección de Investigación y Desarrollo a solicitud de CONUAR y con la activa participación de éste.

En una primera fase, se caracterizaron dos polvos de cobalto, siendo uno de ellos de origen nacional. Los resultados obtenidos indicaron descartar este polvo por no cumplir los requerimientos de pureza química, siendo aceptado el polvo de origen extranjero.

En una segunda fase se efectuaron pruebas preliminares a efectos de determinar dimensiones del herramental y tamaño de partículas del polvo para la etapa de compactado.

A continuación se efectuaron pruebas de fabricabilidad donde se determinaron los parámetros de fabricación que condujeron a la calificación de los procesos de prensado y sinterizado. Se elaboró la correspondiente instrucción donde se fijaron entre otras cosas el tamaño del lote a calificar, el plan de muestreo y las mediciones a efectuar. Tanto la instrucción como la calificación propiamente dicha requirieron la aceptación del Organismo Inspector.

Posteriormente y para alcanzar las dimensiones previas al niquelado, se efectuaron las operaciones de rectificado cilíndrico (sin centro) y de caras (plano) concluyéndose con la fabricación de la totalidad de los lotes (aprox. 13.000 pastillas) necesarios para las veintiuna (21) barras.

En estas etapas se produjeron cuatro desviaciones relacionadas con la reducción de altura, reducción de densidad, alto contenido de níquel en el polvo de cobalto y reducción en la dureza final.

A efectos de proteger las pastillas y evitar la contaminación de Co 60 durante su manipuleo y uso, se procedió al niquelado de las mismas.

La deposición de la capa de níquel se realizó en tambor giratorio en tres etapas: decapado en medio ácido; una deposición de corto tiempo en baño de C12 Ni ; una deposición final en baño de $\text{So4 Ni} + \text{B03 H3} + \text{C12 Ni}$.

Al igual que los procesos anteriores este también fue calificado. Los controles efectuados, incluyeron desde PH del baño, temperatura, concentración de sales, corriente, tensión, adherencia de capa y finalmente mediciones de espesor de la misma por metalografía.

En cuanto al lote de 14 pastillas obtenidas por fundición-tratamiento termomecánico, la secuencia seguida fue la siguiente: Fundición de granallas de cobalto en horno eléctrico con crisol de grafito y obtención del lingote; Forjado rotativo y laminado a 800°C; Corte, mecanizado y niquelado.

Sobre este lote se efectuaron todos los controles previstos en la especificación no registrándose desviaciones.

LAPICES

Los denominados lápices consisten de vainas de zircaloy 4, de aproximadamente 280 mm de longitud y 8 mm de diámetro, sellados en sus extremos mediante tapones del mismo material, soldados por proceso TIG, y en cuyo interior contienen veintidos (22) pastillas de cobalto cada uno.

La provisión de tubos estuvo a cargo del Proyecto PPF AE y las barras para tapones fueron de procedencia extranjera.

El proceso de fabricación de lápices básicamente consiste en el mecanizado de tubos y tapones, soldadura de primer tapón, llenado de pastillas y soldadura de segundo tapón. Intercaladas en esta secuencia se hallan: una operación de grabado de identificación, etapas de limpieza por ultrasonido, y mecanizados de terminación y ajuste.

Para la puesta a punto de las dos operaciones de soldadura, se realizaron ensayos de corrosión, estanqueidad, metalografías y rayos X que permitieron definir los parámetros del proceso. Todas las soldaduras fueron realizadas con personal calificado para soldadura de vainas y tapones de elementos combustibles CNA-1.

En el proceso se efectuaron muestreos, con distintos niveles de calidad o AQL, para control de: Corrosión, estructura metalográfica, dimensiones, rectitud y rugosidad.

El control del gap entre tapón y pastillas, estanqueidad, tintas penetrantes y aspecto visual fue realizado al 100% de los lotes.

La cantidad de lápices fabricados para esta partida de barras fue de 492, emitiéndose sólo un pedido de desviación.

MANOJOS

Estos consisten en lápices de cobalto dispuestos en formas circunferencial alrededor de un tubo central de zircaloy y sostendidos entre dos placas extremas o bridas del mismo material.

La longitud típica de estos es de 286 mm y un diámetro de 63 mm.

La sujeción de los lápices se debe a la inserción de los extremos de éstos en los alojamientos que poseen las bridas, estando estas últimas soldadas al tubo central.

Existen 3 tipos de manojos constituidos en cada caso por 4, 3 y 1 lápiz de cobalto. En este último tipo, para completar el mínimo de tres lápices necesarios para la estabilidad del manajo, se colocan dos lápices falsos obtenidos a partir de barra de zircaloy.

También en este caso, la provisión del tubo central estuvo a cargo del Proyecto PPF AE.

La fabricación de manojos consiste en el mecanizado de bridas y tubo central, soldaduras TIG de ambas bridas al tubo y una operación de carga de lápices antes de soldar la segunda brida.

Para las operaciones de soldadura, CONUAR construyó un dispositivo para el posicionado del tubo y brida, adoptándose idéntico temperamento al utilizado en la soldadura de lápices para la puesta a punto de este proceso.

Un muestreo estadístico durante la fabricación de los manojos permitió controles de longitudes, perpendicularidad, estructura metalográfica, penetración de soldadura y corrosión.

Se fabricaron un total de 204 manojos y se produjeron cinco (5) desviaciones al diseño.

BARRA CENTRAL, RESORTE y CABLE

El material de partida para la barra central (zircaloy 4) fue de

origen importado, el cual fue sometido a un proceso de laminación para reducción de diámetro. Las operaciones de fabricación fueron corte y mecanizado de roscas de extremos.

El resorte fue construido a partir de alambre de INCONEL X 750 de origen importado, habiéndose conformado y tratado térmicamente en un proveedor local. Se efectuaron mediciones de altura bajo carga y constante de rigidez al 100% del lote producido.

El cable de A° I° posee en sus extremos, terminales rígidos colocados por deformación. Este componente, de uso corriente en la industria aeronáutica, fue adquirido con las certificaciones de calidad correspondientes a un proveedor calificado en el extranjero.

ARMADO DE LAS BCR

Se partió con cada componente debidamente identificado y provisto de su correspondiente carta acompañante la que asegura la rastreabilidad del componente.

Colocados los manojos, bridas extremas, tuerca con cable y tuerca autoblocante en la barra estructural, se procedió al control de cada uno de los torques de ajuste.

Se efectuó el control axial mediante una lista de chequeo y luego se confeccionó una carta acompañante por cada BCR. En ésta se indicaron los códigos identificatorios de cada manajo y los controles finales efectuados

SISTEMA DE IDENTIFICACION EMPLEADO

Se empleó un sistema alfanumérico de identificación el cual codifica el nombre del fabricante, el año de fabricación, los tipos de pastillas y manojos y un número de serie que, registrado en las planillas de producción, permiten acceder a la totalidad de la documentación de cada componente.

PLAN DE MEDICIONES PRE Y POST IRRADIACION

Con el fin de verificar la ingeniería utilizada en la fabricación de lápices y pastillas, se preparó un plan de trabajo que consta de tres etapas: mediciones pre-irradiación, mediciones post-irradiación y análisis de resultados.

Para tal fin, se identificaron 4 lápices que fueron colocados en 3 tipos de barras, las que serán ubicadas en distintas zonas del reactor (distinto flujo neutrónico). Al 100 % de las pastillas de tales lápices, se les efectuaron mediciones de diámetro, altura, peso y densidad.

Asimismo a todos los lápices se les midió diámetro exterior, longitud, peso y juego axial entre tapón interior y columna de pastillas.

Todas las pastillas fueron identificadas numericamente habiéndose registrado la ubicación de estas en los cuatro lápices.

Se distribuyeron en los lápices tres calidades de pastillas a saber: Fabricadas con polvo precompactado y sin precompactar y elaboradas con barra fundida. Después de irradiadas las barras, los lápices y pastillas testigos, serán sometidos a las mismas mediciones pre-irradiación en celdas calientes de la Dirección de Radioisótopos y Radiaciones.

CONCLUSIONES

Si bien el lote de BCR cumplió con el programa de garantía de calidad establecido durante su fabricación, un acabado resultado de la performance tecnológica-funcional del producto, será comprobada en los ensayos de post-irradiación a que será sometido el lote, luego de su servicio nuclear en la CNE, y tal como se encuentra planificado.

A través de dicho resultado se procederá a la revisión del diseño utilizado, con la finalidad de emprender, sin solución de continuidad, la fabricación con propósito de suministro, a la operación comercial de la CNE.

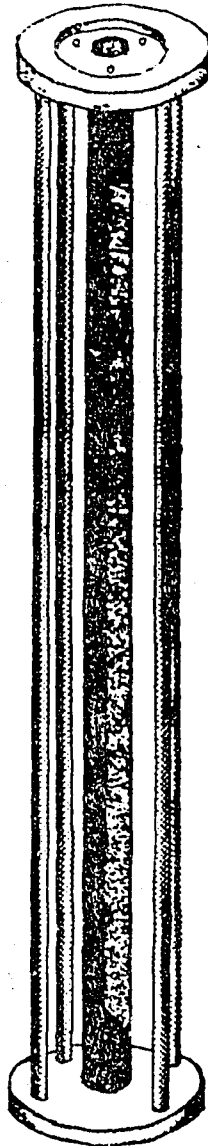
Finalmente, es de destacar la experiencia recogida en la realización de un trabajo conjunto CNEA-CONUAR para el desarrollo de un producto de las características señaladas, como así también el haber obtenido el suministro dentro del presupuesto preestablecido y competitivo con igual provisión de importación.



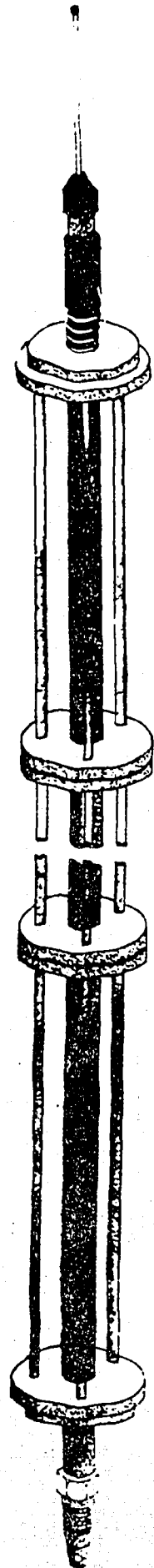
PASTILLA DE COBALTO



LAPIZ



MANOJO



LAPIZ DE COBALTO