

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 1	Nº 1982

Desarrollo y puesta a punto, a nivel de producción industrial, de las técnicas de fabricación y control del elemento combustible para la Central Nuclear Atucha I

CARLOS D. BIONDO**

Con la decisión tomada en 1968 por la República Argentina en relación a la instalación de su primera Central Nuclear (C.N.A.), se planificaron programas de realizaciones correspondientes al "Ciclo de Combustible" y tendientes a posibilitar la producción nacional de elementos combustibles de potencia, basándose en una política de autoabastecimiento en dicho ciclo.

Dentro de los programas planificados se encontraba el correspondiente a la fabricación y puesta en marcha, en 1976, de un Proyecto cuyo objetivo fue el desarrollo y puesta a punto de las técnicas de fabricación y control de los mismos y a un nivel de producción industrial.

La implementación llevada a cabo fue realizada con miras al establecimiento de una industria eficiente y moderna, dotada de una tecnología de avanzada y compatible con la correspondiente infraestructura disponible en el país.

En dicha implementación se tuvo en especial consideración la formación, en la industria privada nacional, de un plantel de subproveedores calificado para la fabricación de aquellas piezas estructurales del elemento combustible donde se utilizaban técnicas convencio-

nales (maquinado por arranque de viruta, estampado, etc.) habiéndose reservado, en el ámbito del Proyecto, los desarrollos con aplicación de tecnología especializada y sensible (técnicas y procesos utilizados en la fabricación de las pastillas de UO₂, barras combustibles y separadores), alcanzándose con la reciente finalización de los trabajos, niveles de producción industrial de elementos combustibles que aseguran su abastecimiento a la CNA en operación normal.

Todos los lotes de elementos combustibles fabricados dentro de los programas señalados y tendientes a demostrar la confiabilidad de las técnicas puestas a punto y/o desarrolladas, cumplieron su servicio nuclear en la CNA y con quemados de extracción similar a los provistos por el hasta hoy proveedor del exterior, considerándose su performance buena a luz de los resultados al presente logrados, alcanzándose porcentajes de barras combustibles falladas en servicio nuclear inferior a las de dicho proveedor y basado en que los lotes de elementos combustibles nacionales corresponden a un muestreo representativo de la población general analizada (elementos combustibles importados).

INTRODUCCION:

En la C.N.E.A. se dieron comienzo a los trabajos sobre tecnología de elementos combustibles nucleares en oportunidad de la instalación de sus primeros reactores de investigación, el tipo Argo-

Nota: El autor desea destacar el espíritu de trabajo en equipo que se constituyó en el seno del Proyecto Planta Piloto de Fabricación de Elementos Combustibles Nucleares (FECN-A), dentro del cual fueron desarrolladas las tareas informadas.

* El presente trabajo fue presentado en la VII Reunión Anual de la Sociedad Nuclear Española, Madrid, Diciembre de 1981.

** C.N.E.A. Centrales Nucleares.

naut (RA-1) y el tipo MTR (RA-3) (1), implementándose en esos momentos, una incipiente infraestructura de fabricación de los elementos combustibles destinados a los mismos (2) (3) y como una primera etapa dentro de la planificación establecida a largo plazo, a fin de lograr el autoabastecimiento del Ciclo de Combustible.

Esa primera etapa, comenzada en la entonces División Metalurgia de la C.N.E.A. (4), donde se cumplieron los programas de fabricación señalados, tuvo asimismo como objetivo fundamental la formación de personal en las distintas disciplinas básicas y de aplicación en la tecnología de elementos combustibles nucleares.

En una segunda etapa, — impulsada con la decisión tomada por la República Argentina en 1968 para la instalación de la primera Central Nuclear de potencia (CNA-I) (5) —, se implementó, en el recientemente creado Departamento Combustibles Nucleares, como así también en el Departamento Metalurgia de la C.N.E.A. y con el aporte de personal formado en las disciplinas básicas comentadas, un ciclo de capacitación en las distintas especialidades intervinientes en la tecnología en cuestión, tanto en Centros nacionales como del exterior.

Esta infraestructura posibilitó posteriormente la planificación y puesta en ejecución, a partir de 1976, de respectivos Proyectos atinentes al Ciclo de Combustible que encaraban, en forma inmediata, los desarrollos tecnológicos a nivel industrial de las primeras etapas del mismo y que comprendían desde la transformación del material fisionable hasta la obtención de los elementos combustibles y dentro de la línea de uranio natural adoptada por la República Argentina para sus Centrales Nucleares de potencia (Proyectos de desarrollo de fabricación del elemento combustible para la CNA-I, Embalse (CNE), como así también aquellos de abastecimiento de insumos críticos a los mismos: fabricación de aleaciones de Zircaloy, UO_2 , etc.).

Conjuntamente con el Proyecto de desarrollo de fabricación, a nivel industrial, del elemento combustible para la CNA-I (Proyecto Planta Piloto FECN-A-I), se decide la instalación de la Fábrica de Elementos Combustibles Nucleares (FECN), diseñada para una capacidad de 300 Tn de Uranio por año (para el abastecimiento normal de la CNA-I, CNE y CNA-II, esta última de reciente comienzo en su construcción).

Al presente fueron ya finalizadas las obras civiles de la FECN y se encuentra formada la Empresa que la operará (Conuar S.A.), con participación mayoritaria de la industria privada, como así también se dió comienzo a la instalación en la misma de la línea de fabricación del com-

bustible para la CNA-I. Esta línea industrial está constituida por todas las instalaciones, máquinas, equipos e instrumental que el "Proyecto Planta Piloto FECN-A-I" diseñó y construyó en el país o adquirió en el exterior y que fueron utilizados por el mismo para los desarrollos y puesta a punto de las técnicas de fabricación respectivos y a un nivel de producción compatible con el consumo de la CNA-I.

El presente trabajo tiene por finalidad presentar la planificación, implementación y ejecución de los trabajos, como así también los resultados logrados con la reciente finalización del "Proyecto Planta Piloto FECN-A-I" y que permitió disponer de la tecnología de fabricación del elemento combustible para la CNA-I, a un nivel de producción industrial y con la cual la FECN comenzó recientemente el suministro de los mismos a dicha Central.

II — ALCANCE DEL PROYECTO

Los desarrollos a nivel industrial abarcados por el Proyecto Planta Piloto FECN-A-I comprendieron:

- a la fabricación y control de calidad de las pastillas combustibles a partir de dióxido de uranio grado cerámico;
- a la fabricación y control de calidad de las barras combustibles y piezas estructurales a partir de semiterminado de Zircaloy y aceros especiales;
- al montaje final y suministro de dicho combustible;

fijándose como meta para la efectivización de los desarrollos indicados, cuando, a través de los mismos se cumplimente una producción y suministro continuo, en la Planta Piloto del Proyecto, de un elemento combustible por día como mínimo, evento éste alcanzado en forma continua a la finalización del Proyecto. Asimismo se parte de planos y especificaciones que a nivel del Proyecto no pueden ser modificados.

III — CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS PRINCIPALES DEL ELEMENTO COMBUSTIBLE PARA LA C.N.A.I.

- Geométricas: barras combustibles en configuración anular de $(18 - 1) + 12 + 6 + 1$ barra combustible central = 36 barras combustibles.
- Estructurales: las barras combustibles se sujetan por uno de sus extremos a una "placa portante" mediante fijación mecánica y son guia-

das en su longitud por 15 separadores equidistantes tomados de las barras combustibles exteriores por traba "bayoneta" y deslizantes las restantes. De esta forma se constituye un sistema de barras combustibles empujadas en uno de sus extremos y guiadas axialmente con un grado de libertad, permitiendo el ensamble en cuestión el desplazamiento axial relativo entre barras combustibles originado por la distribución axial de potencia.

La posición libre de la corona exterior (18 — 1) es ocupada por un "tubo soporte" que sujetan 15 "zapatillas elásticas" responsables del ajuste del elemento combustible en el canal de refrigeración.

- de la barra combustible:

- pastillas cerámicas de UO_2 doble "dishing", densidad = $10,55 \text{ g/cm}^3$.
- tubos de Zry-4 diámetros externos = 11,90 mm, espesor de pared = mínimo 0,51 mm. con patines soldados en 15 coronas ($3 \times 120^\circ$) para guía en los separadores.
- presurizadas con gas Helio.
- potencia lineal promedio = 235 W/cm.
- potencia lineal máxima = 590 W/cm.
- quemado promedio de descarga por diseño = 6000 MWd/Tn U.

de producción: - consumo anual en la CNA-1 = 440 elementos combustibles = 75 Tn UO_2 = 6×10^6 pastillas combustibles. relación $UO_2/\text{zry 4}$ equiv. = 4,74.

Detalles de la composición del elemento com-



FIGURA 1: Elemento combustible de la CNEA.

bustible como así también los semiterminados utilizados en su fabricación, se detallan en (6).

En fig. 1 se muestra el elemento combustible para la CNA-1.

IV -- PLANIFICACION E IMPLEMENTACION DEL PROYECTO.

Bases:

Previo a la creación del Proyecto en 1976, se llevó a cabo un programa de realizaciones en Planta y como culminación del ciclo de capacitación señalado en la "INTRODUCCION", consistente en trabajos sobre desarrollos de técnicas de fabricación, a nivel unitario, que posibilitaron la manufactura de tres elementos combustibles para el Reactor MZFR de Karlsruhe, República Federal de Alemania (dos de uranio natural y uno con uranio enriquecido al 1,10/o), los cuales cumplieron su servicio nuclear en operación normal en dicho reactor (7).

Uno de los objetivos del citado programa, independientemente de aquel con propósito de capacitación indicado, consistió en estudiar el comportamiento bajo irradiación de los núcleos cerámicos fabricados, a un nivel de Planta Piloto, con polvos de UO_2 de distintas procedencias y diferentes técnicas de compactación, como así también el de las soldaduras de tapones por proceso TIG. Todo ello con distintos grados de quemado (6).

Esta experiencia operativa adquirida con los programas de fabricación de elementos combustibles MZFR señalados, sumado a la información obtenida del relevamiento del parque industrial existente en la zona de influencia de la FECN, determinaron los parámetros fundamentales para realizar una planificación ajustada a las reales necesidades emanadas del Proyecto y permitir su extrapolación a aquellas que requerirá la FECN.

De esta forma se evita la duplicación de facilidades técnicas ya existentes y potencialmente disponible en dicho parque industrial, el cual, con una adecuada implementación referida a condiciones operativas especiales a cumplimentarse en suministros del área nuclear, pueda actuar como subproveedora de insumos, servicios y piezas estructurales, donde se emplean procesos convencionales de alta precisión y en atención al aprovechamiento de la capacidad ociosa de tecnología especializada que la misma pueda poseer, lo cual redundará en importantes beneficios para la estructura de costos del producto.

La planificación establecida, compatible con una industria moderna y eficiente, estuvo enmarcada en una política de apertura y captación de dicha industria especializada ya establecida y de

alto costo de instalación y operación.

En general la fabricación de elementos combustibles no constituye un "polo de nucleamiento de un parque industrial", pero es de interés especial para el aprovechamiento de la capacidad ociosa de industrias con tecnología especializada ya establecida o ampliación de la misma.

El relevamiento del parque industrial, como así también la evaluación y calificación del conjunto de potenciales subproveedores de insumos, servicios y piezas estructurales de elementos combustibles, fue realizado siguiendo una metodología determinada (8).

Con esta planificación fijada para el Proyecto Planta Piloto FECN-A I:

— "Centro de Producción donde se desarrollan, a nivel industrial, procesos de fabricación específicos y manteniendo la responsabilidad única de suministro de elementos combustibles ante la Central Nuclear, siendo asistida por la industria como subproveedora de insumos, servicios y piezas estructurales" —, se implementaron las tareas conducentes al logro de los objetivos indicados en el punto II "ALCANCE DEL PROYECTO".

Las características de diseño y suministro del elemento combustible Atucha, exigió el establecimiento de "políticas de cobertura tecnológica" para los abastecimientos de insumos y semiterminados críticos y/o estratégicos, a fin de eliminar o minimizar posibles incumplimientos en los suministros de elementos combustibles a la CNA-I, incumplimientos éstos que tienen una alta incidencia en su lucro cesante. El pasaje paulatino de una política de "cobertura tecnológica" hacia una de "riesgo tecnológico", sólo es posible a través de la experiencia operativa que el Centro de Producción vaya capitalizando (6).

Los trabajos correspondientes fueron llevados a cabo a través de dos Programas de realizaciones:

- Programa de "combustibles de demostración".
- Programa de "inicio de operación".

Dichos programas contemplaban dos volúmenes de suministro:

- volumen de suministro "físico" (hardware): formado por los lotes de elementos combustibles fabricados en el Proyecto, instalaciones, equipamiento diseñado, construido y/o adquirido, (económicamente cuantificable).

- volumen de suministro "tecnológico" (software): formado por todo el conocimiento de fabricación adquirido, documentación tecnológica confeccionada y formación del personal capacitado para la fabricación y control del producto, (económicamente difícil de cuantificar).

Programa de "Combustibles de Demostración" (1976 - 1979):

Este programa tuvo como objeto primordial el desarrollo y puesta a punto de las técnicas de fabricación y control intervinientes en la fabricación del combustible Atucha, diseñándose y fabricándose en el país o adquiriéndose en el exterior, el equipamiento correspondiente.

Estos desarrollos no tuvieron en cuenta regímenes de producción industrial y estuvieron circunscriptos a la resolución de problemas siguiendo sistemáticas preestablecidas.

Los desarrollos y puesta a punto de las técnicas respectivas, fueron materializándose en tres lotes de fabricación de elementos combustibles, denominados XA, XB y XC, cuya integración nacional en dichos lotes se fue produciendo en forma paulatina, de acuerdo al siguiente detalle:

Lote XA: fabricación nacional de pastillas combustibles, soldadura de tapones y montaje. Cantidad de elementos combustibles: 2.

Fabricación: 1976. Irradiación: 1978.

Lote XB: fabricación nacional de pastillas combustibles, soldadura de tapones, piezas estructurales menores, montaje. Cantidad de elementos combustibles: 11.

Fabricación: 1977. Irradiación: 1979.

Lote XC: 100% fabricación nacional. Cantidad de elementos combustibles: 12.

Fabricación: 1979. Irradiación: 1980.

Programa de "Inicio de Operación" (1980-1981)

Este programa fue llevado a cabo sin solución de continuidad con el de "combustibles de demostración" señalado precedentemente y tuvo como objetivo fundamental alcanzar, a partir de los desarrollos efectuados en dicho programa, escalas de producción industrial que abasteciera el consumo de la CNA-I en operación normal.

Esta escala fue fijada, en el ámbito del Proyecto, en una producción de un elemento combustible por día como mínimo y el objetivo se consideraría alcanzado cuando dicha producción fuera lograda dentro de un régimen de fabricación repetitiva y reproducible y con un grado de confiabilidad de los mismos en servicio nuclear.

Asimismo se fijó en 200 el número mínimo de elemento combustibles integrantes del lote XD de este Programa. Se fabricaron y suministraron a la CNA 218 elementos combustibles actualmente en servicio nuclear, según estado de irradiación mostrado más adelante.

En fig. 2 se indica un esquema de los programas de trabajo comentados.

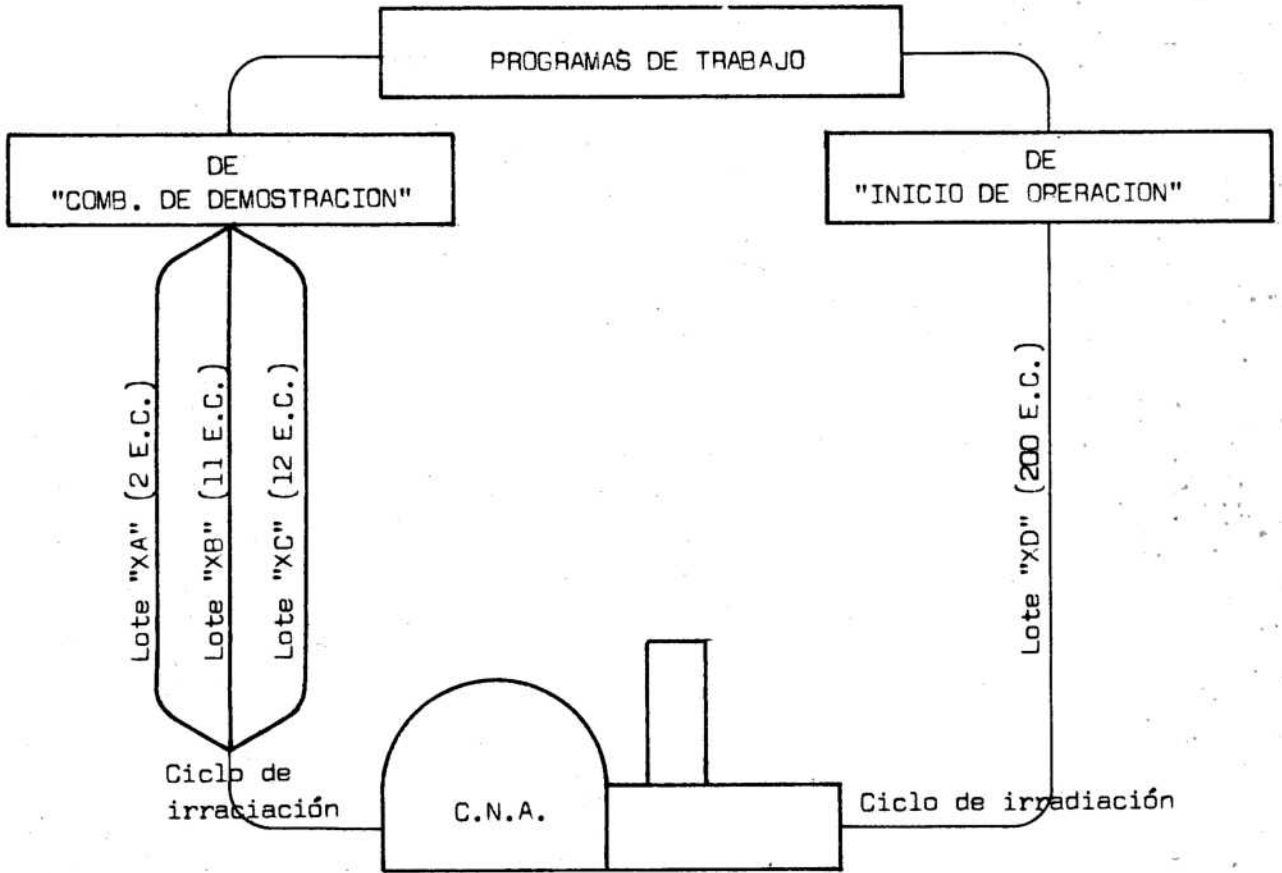


FIGURA 2: Programas de trabajo del proyecto planta piloto FECN-A.

V -- CAPACIDAD OPERATIVA DEL PROYECTO

Los trabajos correspondientes a los Programas señalados se llevaron a cabo en las instalaciones de la Planta Piloto del Centro Atómico Constituyentes (C.A.C.), ocupando tres Plantas con 1700² y con depósitos con 300 m² de superficie total, las cuales fueron acondicionadas adecuadamente a tal fin de acuerdo a normas establecidas para este tipo de industrias ("áreas controladas", trabajo bajo condiciones de limpieza nuclear, etc.).

Asimismo dentro de las industrias del área privada que actuaron como subproveedores de piezas estructurales, se fijaron condiciones de trabajo que, si bien no correspondían a exigencias como las establecidas en el ámbito de la Planta Piloto (niveles dados por el manipuleo de UO₂, barras combustibles, etc.) debía asegurarse un adecuado control del material utilizado y entregado por CNEA, una correcta identificación de los lotes de piezas, evitarse contaminaciones indeseables de las mismas, etc.

El equipamiento utilizado fue seleccionado, diseñado y fabricado o adquirido teniéndose en

consideración:

- las técnicas elegidas para los procesos empleados a nivel industriales.
- el previo relevamiento de una posible disponibilidad del mismo en la CNEA y en la industria privada, a fin de evitar duplicaciones.
- evitar el diseño propio y fabricación de equipos que se encontraban disponibles para su compra en el mercado nacional o internacional.
- que, para aquellos equipos que en función del uso requerido tuviesen un bajo factor de ocupación, tratar de prever su utilización para otros Proyectos en mérito a una mejor utilización del mismo y consecuente incidencia en el costo de operación.

La mano de obra utilizada fue incorporándose al Proyecto en forma gradual durante el desarrollo del mismo y según un Organigrama de funciones por disciplinas con dinámica de cambios normal en una estructura de desarrollos tecnológicos como la establecida en la primera etapa (1976-1979), si bien durante el último período del Proyecto (1980-1981) se trabajó con un organigrama de producción, a fin de establecer las condiciones operacionales a nivel industrial exigidas por el Programa de "Inicio de Operación".

La estructura de la mano de obra del Proyecto en el período considerado, como así también la capacidad operativa empleada y discriminada según el nivel de la misma, se indican en fig. 3 y 4.

Las funciones cubiertas por la capacidad operativa en mano de obra señalada, comprendieron:

- la mano de obra directa e indirecta afectada a los desarrollos de fabricación y control de ca-

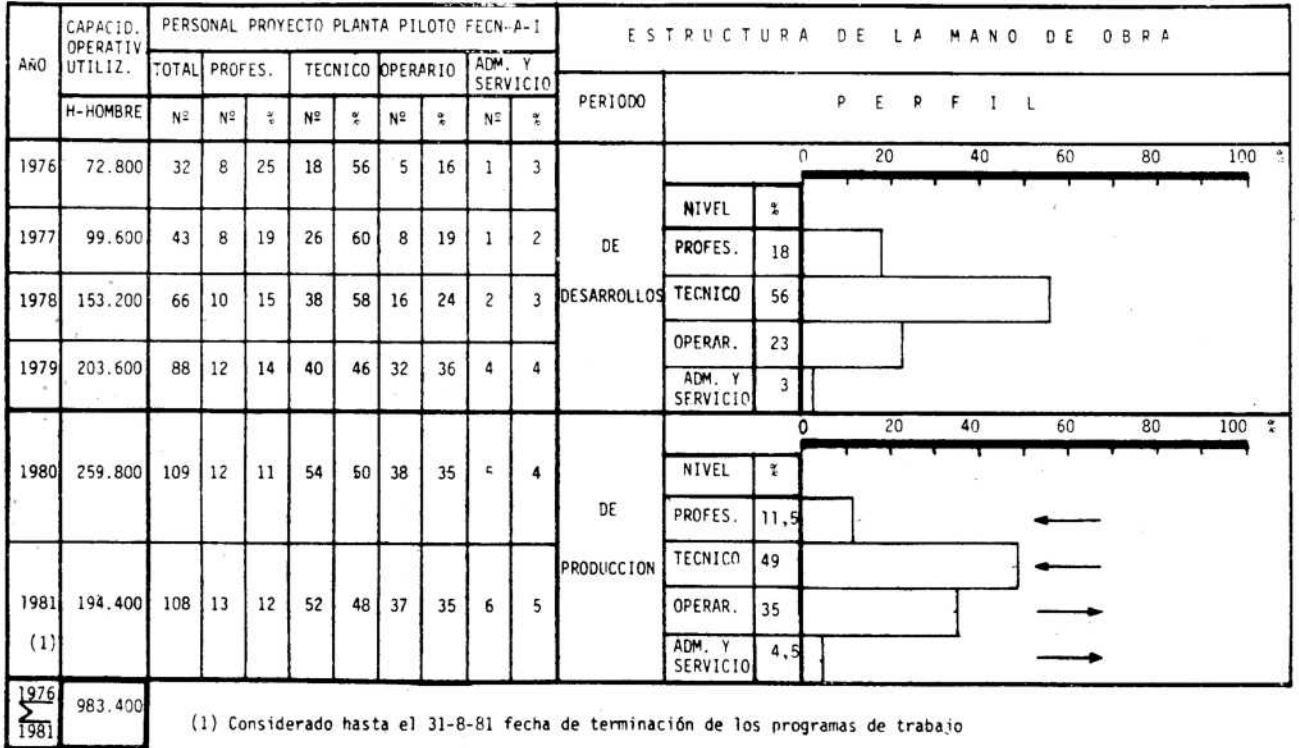


FIGURA 3: Estructura de la mano de obra empleada en el proyecto.

AÑO	DISTRIBUCION DE LA CAPACIDAD OPERATIVA EN MANO DE OBRA SEGUN NIVELES				
	PROFESIONAL	TECNICO	OPERARIO	ADM. Y SERV.	TOTAL
	H-HOMBRE	H-HOMBRE	H-HOMBRE	H-HOMBRE	H-HOMBRE
1976	17.600	39.400	13.300	2.500	72.800
1977	18.000	56.700	22.800	2.100	99.600
1978	21.800	84.300	42.300	4.800	153.200
1979	23.200	66.800	105.100	8.500	203.600
1980	26.400	119.900	102.000	11.500	259.800
1981 (1)	20.700	82.900	79.200	11.600	194.400
1976-1981	127.700	450.000	364.700	41.000	983.400
(%)	13	46	37	4	100

FIGURA 4: Distribución anual de la capacidad operativa en mano de obra del proyecto planta piloto FECN-A I.

lidad (período 1976 – 1979),

- la mano de obra directa e indirecta afectada a la producción, el control de calidad y mantenimiento especializado en la Planta, como así también en el control de producción y calidad en los subproveedores de la industria privada, (período 1980 – 1981).
- la mano de obra directa en la fiscalización de protección radiológica y seguridad.
- los servicios administrativos de enlace y activación con la infraestructura de la C.N.E.A. (personal, contaduría, compras, mantenimiento edilicio, etc.).

Asimismo durante el período de desarrollo del Proyecto (1976 – 1981), se comisionó personal a las distintas firmas proveedoras en el exterior de equipos y semiterminados de zircaloy, a fin de llevar a cabo las discusiones contractuales, como así también cumplimentar los programas de recepción de los mismos, auditorías y entrenamiento específico, solamente en la operación y mantenimiento correspondiente al equipamiento adquirido.

El programa de recepción y entrenamiento en el exterior señalado, insumió 6.800 horas-hombre, considerando una actividad del personal de 5 días por semana y 8 horas de labor por día.

VI -- TECNOLOGIA DE FABRICACION A NIVEL INDUSTRIAL EMPLEADA PARA EL ELEMENTO COMBUSTIBLE DE LA C.N.A.-I.

Los trabajos de desarrollo y puesta a punto de las técnicas de fabricación y control, contemplados principalmente en el Programa de "Combustibles de Demostración", fueron implementados de acuerdo a las líneas de producción a continuación señaladas y correspondiente capacidad operativa empleada:

- fabricación de pastillas combustibles (en Planta Piloto del C.A.C.).
- fabricación de barras combustibles y montaje del E.C. (en Planta Piloto del C.A.C.).
- fabricación de piezas estructurales (en Planta Piloto del C.A.C. y en la Industria Privada local).

Fabricación de Pastillas Combustibles

Los trabajos sobre fabricación de pastillas combustibles a nivel de producción industrial en el ámbito del Proyecto, comenzaron en 1976 basados en la experiencia previa capitalizada a través de los trabajos sistematizados realizados, primero, en ensayos de laboratorio y posteriormente, en los programas de combustibles MZFR

comentados precedentemente en el punto IV.

A pesar del amplio conocimiento existente sobre el comportamiento de núcleos combustibles cerámicos y señalados en la bibliografía disponible, la cual indica que no existe una marcada ventaja de un polvo de UO_2 sobre otro en relación a la calidad de pastillas combustibles, dado que con una apropiada adopción de técnica de fabricación de dichas pastillas pueden obtenerse núcleos manufacturados con diferentes polvos que cumplen con una buena estabilidad en servicio nuclear (9), resultaron de importancia para la C.N.E.A., los estudios y trabajos sistemáticos de planta efectuados en la misma a partir de 1970, en relación a la caracterización de distintos polvos de UO_2 grado cerámico (10).

Estos trabajos estuvieron fundamentalmente dirigidos al conocimiento y definición de un polvo con características tales que permitiera la aplicación de técnicas modernas de fabricación de pastillas, obtener experiencia y familiarización con las técnicas utilizadas en la caracterización referida, como así también la creación de una infraestructura de ensayos con experiencia y de apoyo además al sector de C.N.E.A. encargado del Proyecto de fabricación de polvo de UO_2 , interrelación ésta que por su importancia debe existir entre ambas fabricaciones (polvo de UO_2 y pastillas combustibles).

El desarrollo de fabricación de polvo de UO_2 implementado en la C.N.E.A. por aplicación del método AUTC (Uranil-tricarbonato de Amonio), de características pretendidas similares al obtenido por el método AUC (1), considera fundamentalmente la fluidez del mismo ("free-flowing"), siendo este parámetro compatible con la técnica de "compactación directa" de pastillas combustibles adoptada en el Proyecto (sin: precompactación, molienda, granulado, agregado de aditivos y desgasado) y que fuera desarrollado por la firma Nukem en la década del 60.

La línea de fabricación de pastillas combustibles implementada en el Proyecto, diseñada para satisfacer una producción no menor de 80 Tn de UO_2 por año y que cubre la demanda de los elementos combustibles para la CNA-I, está constituida por las siguientes etapas:

- mezclado de U_3O_8 y homogeneización,
- compactación,
- sinterización,
- rectificación y acondicionamiento,
- tratamiento de los residuos de fabricación.

La etapa de mezclado y homogeneización implementada, acondiciona el polvo de UO_2 permitiendo un agregado de U_3O_8 en proporciones de aproximadamente 50/o que, además de contemplar un reciclado de rechazos de fabricación,

favorece la estabilidad de la densidad de las pastillas combustibles en servicio nuclear al actuar como estabilizador de la microporosidad y minimizar así la resinterización y consecuente densificación de dichas pastillas (12).

El equipamiento desarrollado y construido, permite la normal operación de acondicionamiento del polvo el cual, luego de mezclado y homogeneizado, es cargado neumáticamente en la instalación de compactación. Los lotes de mezclado y homogeneizado preparados son de 200 Kg. de UO_2 .

La diferencia fundamental del proceso de fabricación adoptado, reside principalmente en su etapa de "compactación directa", dado que, en razón de las características de fluidez del polvo utilizado, se eliminan pasos de fabricación según lo comentado precedentemente, con la consiguiente economía del proceso, además de la versatilidad que ello otorga al sistema productivo (balanceo de línea, dinámica en la localización y solución de fallas que se manifiestan en la última etapa del proceso, etc.).

Si bien la utilización de prensas hidráulicas tiene ventajas particulares sobre la de accionamiento mecánico (principalmente la constancia de presión y consecuente obtención de núcleos más homogéneos), se ha adoptado el empleo de éstas últimas en razón de su mejor gobierno y más simple ajuste de parámetros, aprovechando las ventajas que otorga la fluidez del polvo de UO_2 adoptado, además de las posibilidades de variación del ciclo de prensado que poseen ciertos tipos modernos de estas prensas mecánicas, como así también permitir el aditamiento de un dispositivo hidráulico de compensación en sus punzones superiores, que permite obtener, dentro de ciertos límites, una constancia de presión exigida en la compactación y solucionar así la principal desventaja de las prensas mecánicas.

La prensa mecánica adoptada es una Komage de 50 Tn de doble efecto.

El sistema de alimentación de polvo de UO_2 a la prensa, de diseño y construcción especial y adquirido a la firma RBU, permite una adecuada dosificación del mismo a las matrices de compactación, condición de fundamental importancia para el logro de compactos homogéneos.

La carga del polvo de UO_2 a las tolvas correspondientes, se efectúa por transporte neumático y la dosificación por un sistema capacitivo de mando, evitando una excesiva acumulación de polvo en los conductos de bajada y posibilitar el comportamiento del mismo similar al de un fluido. Asimismo para mejorar el llenado de matrices, la zapata de carga de las prensas Komage poseen un agitador rotativo.

La matriz de compactado empleada, de 7 punzones, fue diseñada aprovechando la máxima capacidad de la prensa y lograr una alta producción de 400 Kg. de UO_2 por día (las necesidades para la CNA-I es de aproximadamente 240 Kg. de UO_2 por día), siendo la característica más sobresaliente de la misma la de utilizar un principio de "Matriz flotante", variante del prensado doble, donde la matriz no es gobernada en su movimiento por la prensa, sino por las fuerzas de rozamiento que originan los punzones superiores durante el proceso de compactación.

Con este sistema de "matriz flotante", se facilita la obtención de una mejor distribución de densidades en el compactado que con aquel de "matriz conducida" (corrimiento mayor de la "zona neutra" hacia la mitad de la pastilla), lográndose núcleos con más reducida conicidad. En la fig. 5 se observa esquemáticamente la diferencia señalada.

En el sistema de "compactación directa", es de mucha importancia el logro de una adecuada "lubricación periférica" de los compactados, a fin de disminuir las fuerzas de rozamiento en la extracción de los mismos de la matriz, dada la eliminación de mezclado de lubricantes al polvo de UO_2 .

Las matrices utilizadas poseen un sistema de lubricación, también diseño de la firma NUKEM, que mediante una bomba de dosificación variable y a través del punzón inferior, inyecta una pequeña cantidad controlable de lubricante (aceite mineral comercial), que lubrica uniforme y superficialmente al compactado sin introducirse en profundidad en el mismo.

Las cantidades de lubricantes usado mediante la "lubricación periférica" comentada, corresponde a aproximadamente 100 veces menor que aquellas utilizadas en los procesos de compactación con lubricante agregado al polvo, lo cual, sumado a que no penetra en el compacto sino se mantiene superficialmente, resulta de fácil eliminación con ventajas para el proceso de sinterización, tanto en su faz técnica, como económica.

Para la sinterización de los núcleos, se ha instalado en la línea un horno de la firma LINDBERG de U.S.A., de funcionamiento continuo, calentamiento eléctrico y atmósfera reductora de hidrógeno y con una capacidad de 100 Tn de UO_2 por año.

Dicho horno posee, una a continuación de otra, una zona de carga y empuje, cámara de reducción y precalentamiento, zona de alta temperatura, y cámaras de preenfriamiento y enfriamiento y a continuación la zona de descarga.

El horno está provisto de controles que permiten establecer, a lo largo de las zonas enumera-

METODOS DE COMPACTACION		DISTRIBUCION DE DENSIDAD EN EL COMPACTO	GEOMETRIA DEL NUCLEO CERAMICO LUEGO DE LA SINTERIZACION	OBSERVACIONES
DENOMINACION	ESQUEMA			
PRENSADO DE DOBLE EFECTO CON "MATRIZ CONDUCTIDA"				Punzón <i>a</i> v matriz <i>b</i> conducida por la Prensa. Punzón <i>c</i> fijo.
PRENSADO DE DOBLE EFECTO CON "MATRIZ FLOTANTE"				Punzón <i>a</i> conducido por la Prensa. Matriz <i>b</i> "fotante" conducida por fuerzas de rozamiento. Punzón <i>c</i> fijo. Sistema adoptado en la fabricación de pastillas del elemento combustible para la CNA-I

FIGURA 5: Diferencia entre procesos de compactación utilizados en la fabricación de pastillas de UO_2 .

das, un perfil de temperaturas determinado por los parámetros de sinterización.

El pasaje de los núcleos por las distintas zonas se efectúa en botes de Molibdeno de diseño especial y capacidad de aproximadamente 11 Kg. por bote.

Dichos botes han merecido un especial cuidado en su elección y compra, considerando su alto costo de inversión, habiéndose experimentado algunos diseños, cuyas variantes radican fundamentalmente en su parte estructural, a fin de conferirle la adecuada resistencia mecánica dada por la solicitación a la cual se encuentran sometidos a temperaturas de aprox. $1.800\text{ }^{\circ}\text{C}$ (fuerzas de rozamiento contra el piso del horno por empuje del "tren" de botes formado a través del mismo).

El movimiento de los botes se realiza por empuje y a través de un mecanismo de tornillo con velocidad regulable que gobierna la residencia de los núcleos en las zonas de trabajo.

En función de las "curvas características de sinterización" del polvo utilizado, los parámetros de trabajo obtenidos corresponden a: $T^{\circ} = 1.700 - 1.750\text{ }^{\circ}\text{C}$, tiempo de sinterizado = entre 2 y 4 horas y para una "densidad en verde" entre $5,5$ y $6,5\text{ g/m}^3$, fijándose, para la zona de reducción, una temperatura entre 600°C y

800°C (13).

La atmósfera de hidrógeno reductora del horno es humidificada, contribuyendo a la remoción de flúor contenido en el polvo de UO_2 , factor éste de capital importancia en el mecanismo de hidruración primaria que ocurre en la superficie interna de las vainas de Zircaloy, por contaminación de flúor aportado por las pastillas combustibles con alto contenido del mismo (14) (15).

Además esta remoción es facilitada en la etapa de reducción que tiene lugar en la fabricación de polvo de UO_2 por proceso de "lecho fluido" (9), más cuando se utilizan productos intermedios fluorados en dicha fabricación (F_6U).

En la etapa de rectificación de los núcleos cerámicos, donde deben obtenerse tolerancias de $0,01\text{ mm}$, se utiliza una rectificadora sin centro Herminghausen modelo SR-3, provista de una muela diamantada con perfil de diseño especial, que contempla cuatro ángulos de ataque permitiendo la operación de rectificado a la medida final en las condiciones especificadas y de una sola pasada, teniendo en consideración las características de fragilidad y abrasividad del UO_2 sinterizado.

Asimismo la rectificadora tiene acoplado un dispositivo automatizado para la carga y descarga de la misma con: estaciones intermedias de lavado con agua desmineralizada de los núcleos

cerámicos, secado, inspección y acondicionamiento de los mismos en bandejas listas para su transporte hacia la línea de fabricación de barras combustibles.

Como refrigerante de la muela rectificadora, se utiliza agua desmineralizada en circuito cerrado, la cual arrastra el "barro de rectificación".

La automatización del sistema y la operatoria empleada permite, con la instalación implementada, la rectificación de más de 6×10^6 pastillas combustibles por año, capacidad que abastece la demanda de la CNA-I.

La etapa de recuperación de "scrap" de fabricación contempla:

- recuperación por "vía seca"
- recuperación por "vía húmeda".

El proceso de fabricación de pastillas combustibles adoptado, permite el reciclado de uranio por "vía seca" de:

- "scrap" de pastillas combustibles y compactos sin contaminar,
- "barro de rectificación" producido durante la rectificación de las pastillas combustibles".

El "scrap" de pastillas combustibles es transformado en U_3O_8 por medio de un horno de oxidación. El "scrap" es tratado a una temperatura de aproximadamente $500^\circ C$ con una corriente de aire, formando una capa de U_3O_8 en la superficie de las pastillas, la cual y debido a un efecto vibratorio producido por un mecanismo del horno, se desprende, pasando por tamices y volviéndose a oxidar y tamizar, reduciéndose así a polvo con tamaño de partículas menor que 100 micrones.

El "scrap" de compactos (núcleos en "verde") sin contaminar, se sinterizan y reciclan como "scrap" de pastillas combustibles, según lo señalado precedentemente.

El "barro de rectificación" producido se encuentra completamente limpio en virtud de las condiciones en la cual se produce (utilización de agua destilada como refrigerante y rectificación por medio de muela diamantada).

La separación de la fase líquida del "barro" se efectúa por centrifugación y posteriormente secado en estufas, siendo el mismo tamizado empleando un tamiz oscilante, obteniéndose también un polvo con partículas menores de 110 micrones.

Ambos recuperados (polvos de U_3O_8 obtenidos por oxidación de "scrap" de pastillas y el obtenido del "barro de rectificación"), es reciclado en el sistema de producción mezclado con polvo fresco de UO_2 y en proporciones variables hasta un 5% como fue señalado.

A recuperación por "vía húmeda", que no se implementó en el Proyecto, se remiten todos

aquellos "scrap" de fabricación que estuvieran contaminados, los cuales, previa disolución y purificación, se reciclan en el circuito de fabricación de polvos de UO_2 .

Fabricación de Barras Combustibles

La fabricación de la barra combustible Atucha-I comprende fundamentalmente tres líneas:

- unión patín-vaina por soldadura de resistencia,
- llenado de las vainas con las pastillas combustibles,
- unión tapón-vaina por soldadura TIG y presurizado y sellado de la barra combustible.

En la fig. 6 se muestran los procesos empleados en la unión patín-vaina y tapón-vaina, como así también aquellos parámetros críticos, además de la producción anual implementada para ambos procesos y que permite abastecer los requerimientos de fabricación de los elementos combustibles para la CNA-I.

La línea del proceso unión patín-vaina está compuesta por (16):

- equipo de fabricación automatizada de patines,
- equipo de electropulido químico de vainas,
- máquina de soldar patines a vainas.

La fabricación de patines (segmentos de $2 \times 2 \times 34$ mm) se efectúa, partiendo de alambre de Zry-4 en bobinas, por medio de un dispositivo automatizado montado en una fresadora de precisión, donde dicho alambre es enderezado por deformación en flexión alternada, maquinada una de sus caras con rugosidad especificada (la correspondiente a la de contacto en la unión), corte a medida sin dejar rebabas y acondicionamiento en magazine listos para su utilización en la máquina de soldar, previo a una limpieza profunda por ultrasonido en medio solvente.

Es fundamental en esta operación la obtención de una adecuada rugosidad y rectitud de los patines, de decisiva influencia en la calidad de la soldadura.

Asimismo la vaina es sometida a un pulido electroquímico que también le otorga a la misma de las condiciones superficiales apropiadas para una correcta soldadura.

Esta operación se realiza en un equipo adquirido a la firma RBU, compuesto por una cámara con tres secciones, a través de las cuales es conducida la vaina.

En la primera sección se produce el mojado de la superficie exterior de la vaina; en la segunda el electrolito (ácido perclórico y acético en proporciones predeterminadas), efectúa la remoción controlada de una pequeña capa de Zircaloy por ataque electroquímico, actuando la vaina como electrodo (siendo la corriente transmitida a tra-

vés de rodillos que le confieren asimismo el movimiento de traslación), perteneciendo el otro electrodo a la cámara.

En la tercera sección la vaina es sometida a un lavado con agua destilada de conductividad especificada, pasando la misma a la salida de la cámara por una unidad calefactora para su secado, quedando de esta forma en condiciones para la soldadura del patín.

La máquina de soldar los patines en coronas de $3 \times 120^\circ$, también de diseño y construcción de la firma RBU, efectúa la unión por soldadura de resistencia.

Se destaca de este proceso cuatro aspectos fundamentales:

- debe unirse metalúrgicamente dos secciones de 0,5 mm y 2 mm de espesor (vainas y patín respectivamente).
- debe lograrse una buena unión metalúrgica entre vaina y patín, permitiéndose discontinuidades solamente en rangos muy estrechos y especificados, que confieran al conjunto de una adecuada resistencia mecánica, compatible con una mínima afectación de la estructura metalúrgica de la vaina,
- debe lograrse la unión dentro de una limitada deformación tolerada,
- debe limitarse, debido al calentamiento localmente producido, las fusiones puntuales, como así también la extensión en la modificación de la estructura metalúrgica de la vaina en zonas vecinas a la soldadura, en atención al debilitamiento que por tal motivo sufre la misma, lo cual es causal, con alta probabilidad de ocurrencia en servicio nuclear, de "fallas primarias" que conducen irremediablemente a la aparición de "fallas secundarias" y obligando de esta forma al elemento combustible a abandonar el reactor.

La característica primordial de esta máquina de soldar patines, lo constituye el diseño especial de su electrodo porta patín, principal responsable de la calidad de soldadura, sin dejar de considerar la importancia del aguantador que, refrigerado y deslizándose con ajustada tolerancia dentro de la vaina y lubricación grafitada en medio alcohólico, contrarresta la fuerza ejercida por el electrodo durante la soldadura y evita de esta forma la deformación de la vaina.

Asimismo la máquina posee un dispositivo automatizado de accionamiento neumático que efectúa los pasos $3 \times 120^\circ$ de cada corona y el espaciado entre corona y corona, todo dentro de las ajustadas tolerancias dimensionales especificadas.

La corriente de soldadura (del orden de miles de amperes), actúa sobre algunos ciclos de la mis-

ma, siendo dotada la máquina de un control electrónico especial.

Es de especial cuidado el control visual que se debe efectuar al 100% de las vainas con patines soldados, a fin de detectar posibles inclusiones de cobre producidas por deficiencias de asiento de las mordazas de la máquina, de resultados negativos en el comportamiento a la corrosión del par Zry-Cu formado. Este es uno de los problemas que con más frecuencia se ha presentado durante los trabajos llevados a cabo en el Proyecto, así como las consecuencias sobre el nivel de calidad de las soldaduras por un incorrecto ajuste del electrodo porta patín, que se manifestaba con expulsiones (salpicaduras) de material proveniente de la interfase patín-vaina y consecuente debilitamiento del espesor de pared de la vaina.

En relación a la obtención de rangos aceptables de reproducibilidad de estas soldaduras dentro de la calidad especificada, es de importancia destacar:

- soldaduras que presentan fallas no pueden repetirse y es motivo de rechazo.
 - cada vaina posee 45 patines soldados ($3 \times 120^\circ \times 15$ coronas) es decir, que la falla de una sola soldadura lleva inexorablemente al rechazo de toda la vaina de alto valor económico.
- El cerramiento de las vainas se efectúa de acuerdo a la siguiente secuencia:
- soldadura del primer tapón por TIG,
 - llenado de vainas con pastillas combustibles,
 - soldadura del segundo tapón por TIG,
 - presurizado y sellado de la barra combustible por TIG.

El llenado de la vaina con las pastillas combustibles se lleva a cabo formando previamente la columna activa en un banco, la cual lleva intercaladas arandelas deformables para absorber la dilatación térmica de la misma y luego introduciendo dicha columna en la vaina, con primer tapón soldado, mediante un dispositivo de carga desarrollado y fabricado en el Proyecto, teniendo la particularidad de controlar la fuerza de carga fijada en menor de 10 N.

Asimismo se cuida la incorporación de humedad sobre límites peligrosos, efectuándose la operación, como todas aquellas de fabricación de la barra combustible, en locales dotada de aire acondicionado con humedad controlada debajo de valores establecidos.

Para la soldadura del 1er. y 2o. tapón se utilizan dos máquinas similares TIG de fabricación RBU, diferenciándose entre ellas solamente el dispositivo de colocación del tapón.

Se trata de máquinas completamente automáticas con programación de ciclos de vacío, lava-

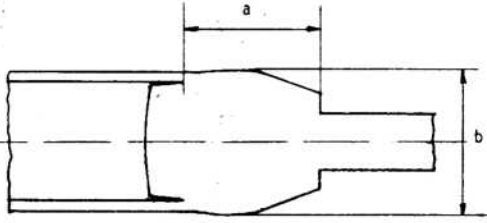
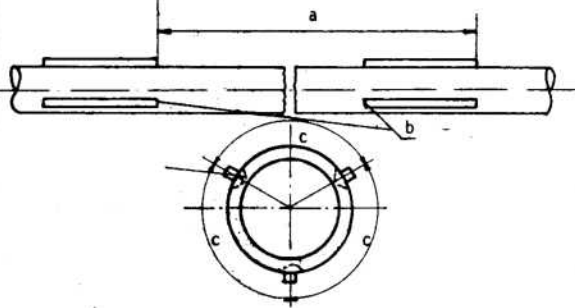
LÍNEA DE FABRICACION	PRODUCTO	PROCESO UTILIZADO	ESPECIFICACIONES CRITICAS DEL PROCESO	PRODUCCION ANUAL IMPLEMENTADA
UNION TAPON-VAINA		SOLDADURA TIG	<ul style="list-style-type: none"> a: profundidad de soldadura. b: sobre diámetro de la soldadura. - ausencia de poros. - resistencia a la corrosión. 	no menor de 32.000 soldaduras
UNION PATIN-VAINA		SOLDADURA POR RESISTENCIA	<ul style="list-style-type: none"> a: distancia entre coronas. b: alineación axial entre patines. c: distribución angular. - resistencia mecánica. - ausencia de fusiones localizadas en profundidad. 	no menor de 700.000 soldaduras.

FIGURA 6: Procesos de soldaduras utilizados en la fabricación de barras combustibles.

do, medición de pureza de gases, soldadura y enfriamiento, contemplando enclavamientos secuenciales como seguro del cumplimiento de etapas previas (16).

La atmósfera utilizada en ambas máquinas es Helio de pureza 99,995%, actuando los ciclos de vacío y lavado por ambos extremos de la vaina.

El presurizado de la barra combustible con He se efectúa a posterior de la soldadura del segundo tapón y a través de un orificio que posee el primer tapón soldado.

Se utiliza para dicha operación una máquina similar a las señaladas sin ciclos de vacío y lavado interior de las barras combustibles, que luego de la soldadura del segundo tapón queda con Helio.

La presión de llenado es de 17 Atm. y a continuación de un tiempo preestablecido (algunos segundos), a fin de asegurar la igualación de presiones de la cámara y la barra combustible, se sella el orificio indicado, también por proceso TIG.

Asimismo se ha implementado una facilidad de maquinado para el torneado de los patines y asientos de tapones en las vainas.

El maquinado de patines, realizado con tolerancias de $-0,02$ mm. y rugosidad establecida, es realizado en tornos paralelos de precisión y perfilado mediante copiador hidráulico, a fin de obtener el perfil correspondiente dentro de

velocidades de producción compatibles con la demanda y tolerancias exigidas.

Este maquinado, que se efectúa sobre superficies discontinuas (tres patines de 2 mm. de ancho distribuidos axialmente a 120°), somete a dichos patines a esfuerzos que requiere una buena resistencia mecánica de la unión, sirviendo este maquinado como ensayo de comprobación de la misma.

Asimismo el maquinado de asiento de tapones de la vaina, con especificaciones muy estrictas, de las cuales depende en gran parte la calidad de las soldaduras, se realiza en un torno con cabezal múltiple y con velocidad de producción que cumple los requerimientos de la fabricación de barras combustibles.

Fabricación de piezas estructurales

Este subprograma, cuya implementación estuvo incluida en el Programa de "Combustibles de Demostración", contempló y desarrolló al principio del mismo, una exhaustiva interacción con la industria privada nacional y con el objeto de:

-- lograr la participación de la misma en todas las realizaciones productivas referidas a la tecnología de fabricación de elementos combustibles y en el marco de una política general al respecto establecida en el país para la indus-

tria nuclear.

- aprovechar la experiencia en dicha industria en determinados procesos convencionales y de utilización también en la tecnología en cuestión,
- utilizar al máximo la capacidad operativa ociosa que la misma posee, evitando la compra de costosos equipos, con la consiguiente economía en los costos de manufactura de los elementos combustibles.

En función de los resultados del programa de interacción con la industria, evaluación y calificación correspondiente (8), se determinaron aquellas piezas estructurales que podían ser suministradas por la misma, de acuerdo a las pautas precedentemente establecidas, quedando reservado en el ámbito del Proyecto, la implementación de la fabricación de las restantes piezas, ya sea por razones tecnológicas o falta de rentabilidad por bajo volúmenes requeridos.

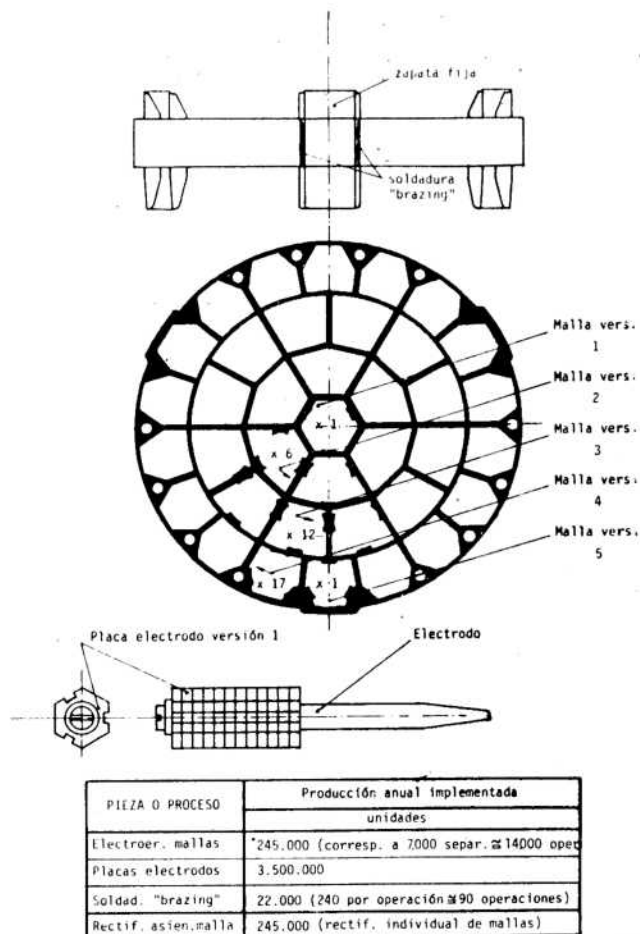
Al respecto, solamente se implementó en el Proyecto la adquisición y puesta a punto del equipamiento respectivo para la fabricación de los patines, como se mencionó en el punto sobre fabricación de las barras combustibles, además de la ejecución de algunos procesos utilizados en la manufactura del separador (electroerosión de sus mallas, incluyendo la fabricación de los electrodos para dicha operación, el rectificado de asiento de mallas y la unión por soldadura "brazing" de las zapatas al mismo).

Para dicha pieza se efectuó en la industria privada, la operación de desbaste previo mediante maquinado por arranque de viruta, con el objeto de posibilitar el posterior electroerosionado de mallas, estableciéndose en la manufactura de esta pieza un trabajo complementario en conjunto Proyecto Planta Piloto FECN-A-1-Industria Privada que, enmarcando en condiciones de operatividad impuesto por la industria nuclear, arrojaron resultados positivos.

En la fig. 7 se esquematiza el separador Atucha e indican aquellas operaciones de fabricación cuya implementación se realizó en el Proyecto y por los motivos expuestos.

Para todas las demás piezas, fue implementada su fabricación en la industria privada, en función de subproveedora del Centro de Producción, arrojando también los programas establecidos para su manufactura resultados satisfactorios (8), a pesar de las lógicas dificultades que debieron salvarse y que alimentan la posibilidad de optimizar dichos resultados.

La mayor dificultad encontrada en este Programa de fabricación implementado con la industria privada, correspondió a la manufactura de los tapones de cerramiento de barras com-



PIEZA O PROCESO	Producción anual implementada	
	unidades	
Electroer. mallas	245.000 (corresp. a 7000 separ. ≈ 14000 oped)	
Placas electrodos	3.500.000	
Soldad. "brazing"	22.000 (240 por operación ≈ 90 operaciones)	
Rectif. asien.malla	245.000 (rectif. individual de mallas)	

FIGURA 7: Procesos de fabricación del separador implementados en el proyecto de planta piloto FECN-A 1.

bustibles.

Los trabajos llevados a cabo posibilitaron el establecimiento de una capacidad operativa para abastecer los requerimientos anuales, correspondientes a aproximadamente 33.000 unidades en tres distintas versiones (1er. tapón, 2o. tapón y tapón del tubo soporte), debiéndose cumplir ajustadas tolerancias principalmente las correspondientes al asiento del mismo.

Asimismo debieron también implementarse, en el ámbito del Proyecto, algunas operaciones menores de fabricación, dada su concatenación con el "Lay-Out" de Planta (grabado de separadores y placa portante, sellado por fusión de la base de tapones, electropulido de separadores y limpieza de piezas estructurales en general).

La infraestructura operativa a nivel industrial implementada en el Proyecto y señalada precedentemente, correspondió a las siguientes operaciones de fabricación del separador:

- electroerosionado de mallas,
- manufactura de electrodos para la electroerosión de mallas,
- rectificación de mallas,

— soldadura por „brazing“ de zapatas fijas, adoptándose sobre las mismas las técnicas utilizadas por RBU, adquiriéndose a dicha firma el equipamiento de fabricación y control respectivo.

Para el electroerosionado de mallas, se utilizó una máquina AGIE modelo AGIETRON BL, con tecnología especialmente desarrollada (17), estableciéndose la secuencia de electroerosión mediante dos pasadas, una de desbaste y otra de acabado, a fin de obtener las dimensiones y rugosidad especificada, utilizándose a tal efecto dos diferentes cabezales, cuyos electrodos poseen el dimensionamiento correspondiente a dichas secuencias.

Con la capacidad operativa implementada, se logró un volumen de electroerosionado de 10 a 12 separadores diarios que, si bien satisfizo la demanda del Proyecto, no resulta suficiente para la demanda anual de la CNA-I, habiéndose duplicado el equipamiento para satisfacer a la misma.

Independientemente del estudio, diseño y desarrollo de las técnicas de lavado, dieléctrico utilizado, forma de distribución de la energía, etc., la característica principal de esta técnica de electroerosionado la constituye el diseño de los cabezales señalados, en razón de la configuración que poseen sus electrodos, según se muestra en fig. 7 y el considerable desgaste de los mismos (un juego de electrodos cada dos separadores) lo que hace sumamente difícil y antieconómico su fabricación por métodos convencionales de maquinado.

Por tal motivo la técnica desarrollada incluyó la manufactura de dichos electrodos mediante la yuxtaposición de "placas electrodos" centradas en pernos con ajuste de alta precisión y cuya fabricación se efectúa por técnica de "corte preciso" (18).

El conjunto yuxtapuesto de "placas electrodos" forma el "electrodo" (fig. 7), los cuales y en las versiones correspondientes a cada malla, son fijados en el cabezal en sus posiciones respectivas.

El diseño del cabezal preve también la fijación de los electrodos por un sistema rápido de "quita y pon", que permite su reemplazo con la versatilidad y precisión que requiere la operación diaria de recambio de los mismos.

Asimismo el cabezal está compuesto por secciones aisladas eléctricamente para la distribución de la corriente, según el correspondiente diseño adoptado, siendo diferente dicha distribución para los cabezales de desbaste y acabado.

De acuerdo a las técnicas descriptas se hace necesario la fabricación de aproximadamente 3.500.000 "placas electrodos" por año por el mencionado proceso, con tolerancias de 0,01 mm



FIGURA 8: Control de "placas electrodos".

en sus dimensiones.

En fig. 8 se observa el control que se efectúa a dichas "placas electrodos".

Para la manufactura de las "placas electrodos" en cuestión, se utiliza una prensa Feintool.FP - G 2540 dotada de matriz especial de "corte preciso", con una velocidad de producción de hasta 80 golpes por minuto. Según se observa en fig. 7, existen cinco versiones diferentes de mallas del separador y de cada una de dichas versiones deben fabricarse "placas electrodos" para desbaste y acabado (que difieren ligeramente en sus dimensiones).

Para dicha fabricación, se utiliza fleje de latón con plomo como aleante para mejorar las condiciones de corte.

Dada la cantidad de latón empleado anualmente y considerando que las placas electrodos después de su uso no sufren prácticamente mermas, es importante su reciclado, contabilizándose una pérdida de aproximadamente 15% en los procesos de transformación de la chatarra de "placa electrodos".

La capacidad de manufactura implementada, tanto en las unidades operativas de electroerosión y fabricación de "placas electrodos", es suficiente para satisfacer la correspondiente demanda anual requerida.

Las especificaciones sobre distancia entre ba-

rras combustibles en el ensamble, como así también el ajuste de deslizamiento patín-asiento de la malla del separador y respectiva rugosidad, hace necesario un rectificado de las mismas que cumplimentando con ajustadas tolerancias (+0,05 mm. para distancia entre mallas y + 0,03 mm para diámetro de las mismas), satisfaga la demanda anual requerida (rectificación de aproximadamente 245.000 mallas por año pertenecientes a aprox. 7.000 separadores).

Al respecto se empleó una rectificadora punteadora vertical marca "Moore" G-18 con husillo dotado de movimiento planetario y velocidad de aproximadamente 40.000 r.p.m. accionado neumáticamente. La herramienta utilizada es una fresa de copa de metal duro refrigerada por aire con una vida promedio de aprox. 2.000 mallas (50 separadores).

El desplazamiento del separador sobre la mesa de máquina en las 37 posiciones de sus mallas, se efectúa por medio de un dispositivo especial de coordenadas X-Y de diseño y construcción de la firma KWU, montado a tal fin sobre la misma.

Asimismo el dispositivo de fijación del separador está dotado de un sistema de succión del polvo de rectificación (Zircaloy) que por sus propiedades y tamaño de partículas es altamente pirofórico.

En general no se presentaron problemas graves en la puesta a punto de este proceso, salvo la necesidad de un mayor mantenimiento de su cabezal rectificador, en razón del período continuo de trabajo a altas revoluciones y en condiciones severas de rectificación.

La unión metalúrgica de las zapatas fijas al separador, se efectúa por soldadura "brazing" (16), previo posicionado de las mismas por soldadura eléctrica de punto.

Se utiliza como aporte una aleación Zry-5% Berilio.

En fig. 7 se muestra la zona de unión y el volumen de soldaduras que las instalaciones implementadas satisfacen.

La característica principal de este proceso, aparte de aquellas inherentes a su técnica (16), lo constituye las condiciones de operación que debieron establecerse, en razón del manipuleo de material Berilio de alta toxicidad.

A tal efecto debieron establecerse programas de seguridad operacional y en un área donde no existía experiencia previa en la CNEA y en el país.

Dichos programas tuvieron en especial consideración la experiencia capitalizada en otros países (19), así como aquella obtenida durante el entrenamiento específico efectuado en oportunidad de la recepción de la instalación de "bra-

zing" adquirida a la firma RBU.

De las dos áreas de trabajo donde se desarrollaron las tareas, una corresponde al laboratorio de manipuleo expuesto del material de Berilio, realizándose las tareas en cajas de guantes con el sistema de aspiración de las mismas provistos de filtros absolutos previo a su descarga en la atmósfera.

Asimismo las instalaciones de vacío de los hornos (de sinterización del aporte de Zry-5% Be y de "brazing"), están también dotados de filtros absolutos.

Un control cuantitativo por muestreo de aspiración de aire en las zonas de trabajo, así como de deposición de posibles aerosoles sobre testigos de sedimentación estratégicamente colocados en dichas zonas, son tomados y analizados por espectrografía de absorción atómica, utilizándose al respecto un espectrógrafo PERKIN ELMER 372.

Los valores máximos permisibles de Berilio adoptados corresponde a:

- 0,002 mg/m³ en aire para jornadas de 8 horas de trabajo,
- 1 mg/cm² por mes en testigos de sedimentación, además se establecieron valores máximos permisibles para concentraciones en zonas exteriores vecinas de la Planta, efluentes, tratamiento de los mismos, además de condiciones de restricción de horario de labor en el supuesto caso de sobrepasarse los límites máximos fijados, etc.

El trabajo en la zona se efectúa bajo el estricto cumplimiento de normas al respecto redactadas, existiendo una organización de responsabilidades optativas que actúan a tal fin.

Las tareas en la zona en cuestión es realizada por personal convenientemente entrenado y calificado, utilizando vestimenta especial descartable y bajo un estricto programa de control sanitario pre-ocupacional y ocupacional.

A la fecha, luego de realizarse la soldadura por este proceso de aprox. 4.000 unidades, no se ha detectado contaminación alguna con Berilio (16).

Cualquier modificación de los programas de control sanitario establecidos y resumidamente señalados, deberá efectuarse en función de una mayor experiencia operativa lograda y en razón del escaso conocimiento existente en la materia.

En relación a las técnicas de "brazing" empleadas, contemplan fundamentalmente dos centros operativos (16) a continuación señalados, cuyo equipamiento principal fue adquirido a la firma RBU:

- el correspondiente a la fabricación de las piezas de aporte de Zry-5% Be, donde se parte de una aleación madre, su molienda por hidruración, compactación y sinterización de las mis-

mas, empleándose al respecto un equipo de hidruración, molino tipo Culatti, matriz de compactado y horno móvil de sinterización de tubo de cuarzo.

En este centro operativo se efectúa asimismo la colocación del aporte sobre la zona de unión.

- el correspondiente a la soldadura "brazing" en horno de vacío de campana, con calefacción individual de cada separador por bobina inductora energizada mediante generador de media frecuencia (10 KHz). Con una producción de 80 separadores en cada operación del horno, el tiempo demandado por operación entre carga y descarta del mismo, se encuentra en aprox. 10 horas.

También fueron implementadas las líneas de tratamiento superficial, tratamiento térmicos de zapatas elásticas y limpieza final de piezas (20).

De ellas se destaca el pulido electroquímico de separadores, desarrollándose al respecto un equipo fabricado en la industria local y dotado de las seguridades operativas que requiere el manipuleo de grandes cantidades de electrolito (aprox. 400 litros) de las características explosivas como el utilizado y similar al empleado en el electrolito de vainas (mezcla de ácidos perclórico y acético).

Para las condiciones de trabajo fijadas, el electropulido de separadores se efectuaba en dos ciclos (uno más severo posterior a la electroerosión y otro más superficial (con el objeto de quitar rebabas, ajustar rugosidad y limpieza general), luego del rectificadado de mallas.

Con una capacidad de dos separadores por operación, el proceso se efectúa en 20 minutos para el primer ciclo y 2 a 4 minutos para el segundo, lográndose regímenes que abastecen los requerimientos de fabricación.

Las principales dificultades encontradas correspondieron al tratamiento del electrolítico debido a su inestabilidad. Con un mayor volumen de electrolito y adecuada refrigeración del mismo, puede aumentarse la capacidad de separadores por operación.

A fin de obtener las propiedades especificadas de las zapatas elásticas (material DIN 4980), éstas son sometidas a un tratamiento de endurecimiento por precipitación.

Al respecto y aprovechando instalaciones existentes, dicho tratamiento se realiza en hornos de vacío.

Se estudiaron los parámetros del tratamiento y el rango de trabajo de los mismos, no encontrándose dificultades en los resultados obtenidos (21).

Las exigentes condiciones de limpieza de los elementos combustibles fueron cumplidas nor-

malmente, utilizando una limpieza de sus piezas por disolventes orgánicos con ayuda de ultrasonido.

Se utilizó al respecto equipos de la firma MARIN con capacidad de 150 Kg. de solvente Freón TF y disolvente Freon TWD 602 (20).

La operación de montaje del elemento combustible se efectúa en un banco basculante, donde se posicionan los separadores a través de los cuales se enhebran las barras combustibles.

En fig. 9 se observa la operación de montaje del elemento combustible.



FIGURA 9: Montaje del Elemento Combustible Atucha.

VII — PROGRAMA DE CONTROL DE CALIDAD

Este programa fue planificado atendiendo a dos objetivos:

- a) — desarrollar y poner a punto todas las técnicas de control utilizadas en la tecnología de fabricación en cuestión.
- b) — disponer, durante la manufactura de los lotes de elementos combustibles, de la capacidad necesaria que permita cumplimentar con un adecuado Plan de Aseguramiento de la Calidad, a fin de obtener la calificación y consecuente autorización para el servicio nuclear de los mismos en la CNA-I.

El control de calidad implementado, fue estructurado considerándose dos premisas fundamentales:

- 1) — La fabricación de los elementos combustibles se realiza a partir de planos y especificaciones aprobados, idénticos a los que se utilizan en la firma hasta el presente proveedor de los suministros de combustible a la CNA-I.
- 2) — El Centro de Producción de dichos elementos combustibles, no tiene facultades para

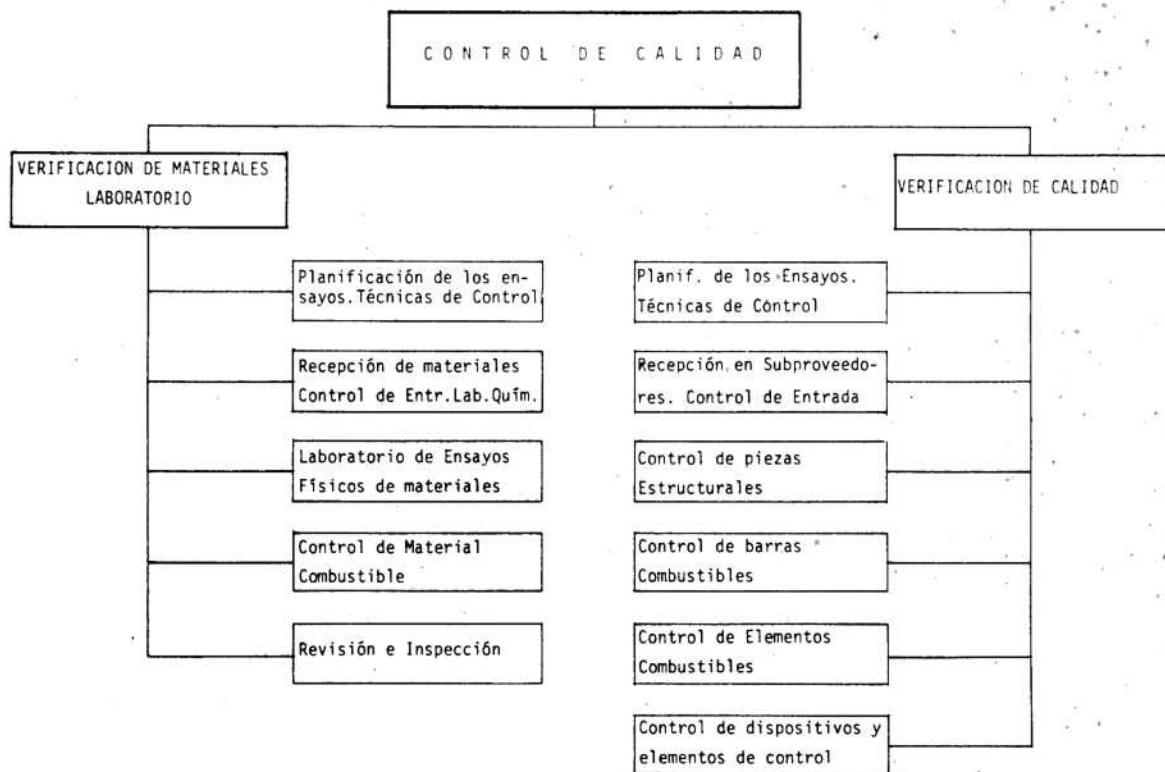


FIGURA 10: Organización del Control de Calidad del proyecto de planta piloto FECA-1.

modificar los planos y especificaciones señalados.

Atendiendo a estas premisas, la estructuración del Plan comprendió todos aquellos programas de evaluaciones y calificaciones de procesos y medios de producción, verificaciones y protocolizaciones de ensayos necesarios y suficientes, a fin de permitir asegurar el cumplimiento de relaciones parametrales indicados en planos y especificaciones según se manifiesta en el punto 1).

La infraestructura desarrollada, responde a la organización de control señalada en fig. 10, cuyas unidades funcionales cubren las áreas técnicas respectivas.

Los procedimientos normativos, utilizados en las técnicas de fabricación y control desarrolladas o puestas a punto en los programas de "Combustibles de Demostración" e "Inicio de Operación", fueron explicitados en "Instrucciones de Operación" redactadas, las cuales forman parte del "volumen de suministro tecnológico" según se explicita en el Capítulo IV "Planificación e Implementación del Proyecto".

Dichas "Instrucciones de Operación" redactadas en base a las relaciones parametrales y de procedimiento contenidas en los planos y especifica-

ciones, como así también a la experiencia operativa que se fue obteniendo a través de los trabajos de Planta, configuraron los documentos bases con los cuales se confeccionó el planillaje que otorgó a la infraestructura de Control del instrumento apropiado a fin de verificar el cumplimiento de los planos y especificaciones sobre los que se basa la calidad del producto elaborado (elemento combustible para la CNA-1), además de verificar el correcto funcionamiento de los medios de producción y control (instalaciones, equipos, dispositivos e instrumental), ya sea mediante actos de inspección, realización de ensayos o el ejercicio de gestiones de auditorías.

Es de destacar los programas de verificación del instrumental de control que, si bien al presente no abarcó a su totalidad, tiende y contempla en el futuro un control integral del mismo.

Asimismo dicho programa abarcará también al instrumental de control de producción, tanto el propio, como así también el de los subproveedores de piezas estructurales.

Mereció especial estudio la estructuración efectuada para la calificación de procesos de manufactura, como así también aquellos controles y verificaciones parametrales que se ejercen sobre

los medios de producción y tendientes a inferir el futuro comportamiento de los mismos en fabricación, además de considerarse los correspondientes ensayos verificados por cambios de parámetros, habilitación de lotes producidos, etc.

Esta estructura de ensayos y verificaciones, está fundamentalmente basada en los siguientes esquemas de control:

- Ensayos de calificación (habilita un determinado proceso de fabricación y personal idóneo).
- Ensayos de inicio de operación (libera el comienzo de una serie de fabricación).
- Ensayos de comprobación (verifica la modificación de parámetros y condiciones de operación).
- Ensayos de habilitación de lotes de fabricación (habilita un lote de fabricación).

Según se señaló en el punto 2) del presente capítulo, el Centro de Producción no tiene facultades para modificar planos y especificaciones, es decir el Control de Calidad no puede aceptar desviaciones de parámetros especificados.

Los apartamientos de valores especificados que durante el desarrollo de los Programas de trabajo se producían, fueron sometidos a un Comité compuesto por personal de Control de Calidad y fabricación del Proyecto, y el Departamento Combustible de la CNEA, quienes determinaban sobre los mismos, habiéndose contratado en calidad de asesoramiento a la firma KWU, que emitía su opinión y fundamentación a las consultas que al respecto se le formulaban, pero asumiendo el Proyecto la responsabilidad, ante la CNA-I, por la aceptación de los mismos.

Mereció especial atención en las líneas de fabricación el control de pastillas combustibles (22) así como los controles sobre las soldaduras por resistencia de patín a vaina y soldadura TIG de tapones a vaina (23).

El control de pastillas combustibles desarrollado, fue aplicado sobre una producción total de más de 40 Tn, destacándose por su importancia la caracterización del polvo, análisis químicos, control de densidad y diámetro de pastillas.

Se detectaron desviaciones con frecuencias mayores que las normales en el control del diámetro de pastillas, por problemas de ajuste del sistema de carga y descarga de la rectificadora, como así también en un lote se encontraron densidades fuera de especificaciones por motivo de la contaminación del polvo de dicho lote, no pudiéndose detectar el origen de la misma (22). Todos estos eventos produjeron los rechazos respectivos.

Los controles de la soldadura de patín a vaina requirió principalmente el entrenamiento de personal para la detección de fallas de unión por

comparación con patrones fabricados y calificados a tal fin (control por atributo), resultando de fundamental importancia en relación a la ocurrencia de "fallas primarias" según lo manifestado en el capítulo "Fabricación de Barras Combustibles". Estos controles son complementados por los de resistencia de la soldadura, metalográfica y dimensionales.

El control de soldadura TIG de tapones, se efectúa principalmente por radiografiado en el 100% de las mismas, utilizándose técnicas de toma y revelado especialmente desarrolladas, como así también un intensivo entrenamiento del personal analista, tanto en oportunidad de la recepción del equipo de radiografiado adquirido a la firma RBU, como así también en la toma, revelado y evaluación de placas en más de 20.000 soldaduras que se efectuaron en los programas de fabricación llevados a cabo (23). También estos controles son complementados con aquellos de resistencia a la corrosión (autoclave), y metalográficos.

En los desarrollos de las técnicas de controles que se efectuaron en los semiterminados de Zircaloy, se destacó el realizado en los tubos para vainas de procedencia de la firma NRG de la República Federal de Alemania.

Entre dichas técnicas mereció especial atención los ensayos de ultrasonido para la detección de fallas (24), habiéndose utilizado a tal efecto un equipo adquirido a la firma Nukem, en cuya compra estuvo contemplado el entrenamiento específico en su utilización. Con dicho equipo se rensayaron aprox. 8000 vainas.

VIII RESULTADOS OBTENIDOS Y CONCLUSIONES ARRIBADAS

Los resultados obtenidos fueron basados exclusivamente en la experiencia capitalizada por:

- los trabajos de Planta,
- los programas que cumplieron en servicio nuclear los lotes de elementos combustibles fabricados en el Proyecto y suministrados a la CNA-I,
- la interacción con la industria privada en aquellas tecnología convencionales de aplicación en la industria nuclear,
- los entrenamientos específicos realizados sobre el equipamiento de fabricación y control adquirido.

De la capacidad operativa.

En las fig. 3 y 4 se indican la estructura de la mano de obra empleada en el Proyecto durante su desarrollo.

Puede observarse la transformación habida en dicha estructura en los dos períodos principales abarcados y que corresponden al de ejecución de los programas de "Combustibles de Demostración" (1976-1979): estructura de trabajos de desarrollo y puesta a punto de técnicas y equipos), y de "Inicio de Operación" (1980-1981): estructura de trabajo de producción. Dicha transformación correspondió a un decrecimiento de la componente en personal profesional y técnico y crecimiento de la correspondiente a operarios y servicios, aunque sin llegar al equilibrio normal de una organización de producción industrial convencional, en razón a la tecnología especial empleada, como así también a que una parte importante de la mano de obra que intervino en los programas de producción, correspondió a la de fabricación de piezas estructurales llevadas a cabo por la industria privada, cuya inversión en mano de obra no está considerada en la empleada en el Proyecto.

Del total de mano de obra empleada en el período 1976-1981, 6.800 horas-Hombres (equivalente a 1.180 días-hombres, considerando una labor de 200 horas al mes y jornadas de 8 horas diarias), fueron utilizadas en el exterior del país y que corresponden al 0,7% del total empleadas en el Proyecto, las cuales se discriminan en:

- aprox. 240 días-hombres en negociaciones de contratos (20%).
- aprox. 310 días-hombres en trabajos de recepción de equipos y materiales (26%).
- aprox. 540 días-hombres en **entrenamiento específico** en el uso de equipamiento adquirido (46%).
- aprox. 90 días-hombres en auditorías y discusiones técnicas (8%).

El equipo de trabajo para cumplimentar con los programas desarrollados en el exterior, estuvo constituido, en diferentes períodos, por diez profesionales y dos técnicos.

De la tecnología de fabricación y control

El total de lotes de elementos combustibles producidos durante los trabajos de desarrollo y puesta a punto (lote XA: 2 E.C., lote XB: 11 E.C., de los cuales ocho entraron en servicio nuclear, lote XC: 12 E.C. y lote XD: 218 E.C.), fueron sometidos en distintos programas a un servicio nuclear en la CNA-I.

Barras combustibles del lote XB fueron sometidos, previo al servicio nuclear del lote, a un programa de calificación contratado en la firma KWU en 1978 y consistente en ensayos destructivos y no destructivos para verificar el cumpli-

miento de especificaciones. La conclusión arriba da en el informe respectivo, indica que la fabricación llevada a cabo corresponde a un elevado standard de calidad y que con una calidad similar de fabricación no se deben producir defectos en las barras combustibles durante el servicio nuclear de las mismas.

Los lotes XA y XB siguieron un programa especial y los lotes XC y XD el mismo que cumplen los elementos combustibles en operación normal en la CNA-I.

Del lote XA un elemento combustible sufrió fallas a un quemado de 4.347 MWD/Tn U.

Los lotes XB y XC cumplieron satisfactoriamente el ciclo en servicio nuclear, alcanzando quemados promedio de descarga de 4.450 MWD/Tn U en el lote XB y 5.540 MWD/Tn U en el XC, este último lote de fabricación 100% nacional.

Del lote XD con un total de 218 elementos combustibles suministrados a la CNA-I, al 30-6-82 habían cumplido totalmente su programa en servicio nuclear 212 de ellos, con un quemado promedio de descarga de 5.700 MWD/Tn U; encontrándose aún en el núcleo en servicio 6 elementos combustibles, los cuales egresarán del mismo en las próximas semanas, siendo 2 E.C. retirados con signos de fallas con quemados de 4.092 MWD/Tn U y 2.613 MWD/Tn U.

En uno de estos elementos combustibles fallados, se comprobó que existía un daño mecánico en la barra combustible fallada y previo a su ingreso al reactor, no computándose en consecuencia como falla en servicio nuclear.

En resumen, del total de elementos combustibles que cumplieron con su servicio nuclear al 30-6-81: (XA: 2 E.C.; XB: 8 E.C.; XC: 12 E.C. y XD: 212 E.C.) = 234 E.C. = 8424 barras combustibles, con un quemado de descarga total de 1.300.000 MWD/Tn U, sufrieron fallas en servicio nuclear dos de ellas (no se considera la barra combustible fallada con daño previo), correspondiendo un porcentaje de **0,023%** de **barras combustibles falladas** sobre el total de la población analizada (8424 b.c.); inferior al alcanzado por las cargas de elementos combustibles de procedencia extranjera (RBU) utilizados hasta el presente en la CNA-I, toda vez que la población analizada (combustible nacional) sea representativa de aquella de importación.

El total de material fisiónable utilizado en los programas de trabajo, correspondió a 44 Tn de UO₂, obteniéndose al final de los dos programas de trabajo ejecutados (de "Combustibles de Demostración" e "Inicio de Operación") un rechazo total por parte de Control de Calidad del 13,63%, considerándose en ese rechazo: pastillas fuera de especificaciones = 10,37%, barro

de rectificado = 2,44^o/o, polvo sucio = 0,62^o/o, mermas = 0,20^o/o (22).

Este rechazo se reduce al 8,70^o/o, considerando que aproximadamente el 5^o/o de las pastillas fuera de especificaciones son recicladas por "vía seca" como U₃O₈ según lo permite la tecnología de fabricación de pastillas empleada (22).

Si bien las condiciones ideales de fabricación de pastillas combustibles corresponden a un rechazo equivalente al permitido por el reciclado por "vía seca" (aprox. 5^o/o) y evitar así el procesamiento de recuperación por "vía húmeda", los resultados alcanzados se considerarán aceptables, teniéndose en cuenta que el programa abarcó la puesta a punto de equipos y ocurrencia de problemas que, con la experiencia que se vaya capitalizando, disminuirán considerablemente.

Sobre un total de 10.562 vainas ingresadas al proceso de fabricación de barras combustibles de los lotes XC y XD (de manufactura 100^o/o nacional), hubo 1.688 vainas fuera de especificaciones con un porcentaje de rechazo del 15,98^o/o considerándose en dicho porcentaje los rechazos producidos en todos los programas de puesta a punto de procesos, como así también en las etapas de fabricación (soldadura de patines, maquinado de extremos y patines, soldadura de 1er. y 2^o tapón, etc).

La fabricación de separadores arrojó un rechazo total del 8^o/o, considerando dentro de este porcentaje el correspondiente a todos los procesos de manufactura intervinientes, donde se incluyen las puestas a punto realizadas hasta alcanzar el régimen de producción seriada.

REFERENCIAS

- (1) - J. COSENTINO, J. GOSZTOWVI, C. MAYANSS y E. NASJLETI. "Principales of the desing of the RAEP reactor, 3rd. Int. Symposium on the peaceful application of Nuclear Energy, page 263, Rio de Janeiro, Cunningham (July 1958).
- (2) - J. KITTL, R. MACHADO, J. MAZZA, J. SABATO and I. SILBERT "The manufacture of fuel elemens of the Argonaut type" Proceedings 2nd. Int Conference on the peaceful uses of atomic energy, page. 1845, Genève (1958).
- (3) - Carlos ARAOZ, Carlos MARTINEZ VIDAL, Carlos D. BIONDO, "Some Nuclear Development at Argentina" Inter-american Conference on Materials Technology. San Antonio Texas, U.S.A. (May 1968).
- (4) - J.A. SABATO, "Metalurgy at the Argentine Atomic Energy Commission" The Metallurgist, London (July 1963).
- (5) - H. HUBER, CNEA-CNA I "Atucha Reactor Physical Principles, Desing and Operation". Nuclear Science Abstracts 30.11846, page 98, INIS (1973).
- (6) - C. BIONDO, et al. "Desarrollos a Nivel Industrial, de las Técnicas de Fabricación del Elemento Combustible para la CNA-I". 5th Interamerican Conference on Material Technology. San Pablo, Brasil (1978).
- (7) - RODRIGUEZ PASQUES R.H. et al. "Examen post-irradiación del Elemento Combustible Nuclear Prototipo CNEA-MZFR I, CNEA-CN 5/145 (1974).
- (8) - R. CESARIO, R' CASALLA, R. GINER, R. CACCHIONE, C. ARAKELIAN. "Interacción entre el Proyecto Planta Piloto FECN-A y la industria privada nacional, para la elaboración, a nivel industrial, de piezas estructurales del elemento combustible para la CNA-I". X Reunión Científica de la Asociación Argentina de Tecnología Nuclear. Bahía Blanca, Argentina (Noviembre 1981).
- (9) - H. STEHLE, H. ASSMANN, F. WUNDERLICH. "Limitations Caused by UO₂ properties" "Advances Course on In-reactor Behaviour of Water Reactor Fuels and its influences on Deisng, Manufacture an Operation". Netherland - Norwegian Reactor School at Institut for Atomenergy. Norway.
- (10) - K.G. HACHSTEIN and F. PLOGER. "Atomwirtschaft", page 524. (May 1967).
- (11) - K.G. HACHSTEIN and F. PLOGER. "Atomwirtschaft" page 524. (May 1967).
- (12) - H. ASSMANN et al. "AED-CONF-71-100-27 Germany Additional paper" Genève Conf. (1971).
- (13) - I. DYMENT, F. NOGUERA ROJAS. "Fabricación a Nivel Industrial de Pastillas de UO₂ para los Elementos Combustibles de la CNA-I. X Reunión Científica de la Asociación Argentina de Tecnología Nuclear. Bahía Blanca, Argentina (Noviembre 1981).
- (14) - H.F. LYONS et al. "UO₂ Properties Affecting Performance". Nuclear engineering and Desing 21, page 192, art. 2.3.2. (1972).
- (15) - D. KNODLER, H. STEHLE, "PWR fuel reability and quality assurance KWU experience" BNES Conference. Rep. 87 (Octubre 1973).
- (16) - U. URRUSPURU, J.M. FERRO, J. REYNOSO, G. MARCORA. "Soldadura por Resistencia, TIG y Brazing, en la fabrica-

- Combustibles Nucleares" X Reunión Científica de la Asociación Argentina de Tecnología Nuclear. Bahía Blanca, Argentina (Noviembre, 1981).
- (22) - A. CIARROCCHI, I. RUGGERI. "Evaluación de la experiencia obtenida en el Control de Calidad de Pastillas de UO₂ sobre una Producción de 40 Tn". X Reunión Científica de la Asociación Argentina de Tecnología Nuclear". Bahía Blanca, Argentina. (Noviembre 1981).
- (23) - O. MACIA, H. FRANCIS, N. RUBIO "Control de Calidad por Radiografía, en soldaduras TIG de tapones en barras del elemento combustible para la CNA-I". X Reunión Científica de la Asociación Argentina de Tecnología Nuclear Bahía Blanca, Argentina. (Noviembre 1981).
- (24) - R.J. RODRIGUEZ. "Control Ultrasónico en Vainas de Zry-4". II Conferencia Regional sobre Ensayos no Destructivos (II COREND). S.M. de Tucumán. Argentina. (Oct. 1981).
- ción del lote de 200 elementos combusti-

- bles para la CNA-I". X Reunión Científica de la Asociación Argentina de Tecnología Nuclear. Bahía Blanca, Argentina (Noviembre, 1981)...
- (17) - H. ASSMAN und S. FORNER "Funkeroedierte Strukturteile". Werkstatt und Betrieb 104. (1971).
- (18) - FEINTOOL A.G. "Fine-Blanking, Practical Handbook", Hallwag A.G., Bern, Suisse (1972).
- (19) - KIMMRLER, G. "Handbuch der experimentellen Pharmakologie" Vol. XXI Beryllium. Springer Verlag. Berlin (1966).
- (20) - R. CASALLA, R. CESARIO, R. CACCHIONE, R. GINER, "Desarrollo de técnicas de tratamientos superficiales y térmicos para piezas estructurales del elemento combustible para la CNA-I" X Reunión Científica de la Asociación Argentina de Tecnología Nuclear. Bahía Blanca, Argentina. (Noviembre, 1981).
- (21) - P. ALVAREZ, A. HEY. "Tratamiento Térmico de componentes elásticos para

SERVICIO I.A. 71

EXPOSICIÓN Y CONFERENCIA PANAMERICANA SOBRE OBRAS PÚBLICAS

'82



Una conferencia y exposición dedicada exclusivamente a la tecnología, equipo, productos y servicios necesarios para diseñar, construir, operar y mantener proyectos y servicios públicos en toda Latinoamérica.

UN EXTENSO PROGRAMA TECNICO COMPRENDE NUEVOS SISTEMAS, TECNICAS Y PROCEDIMIENTOS

Esta conferencia técnica de gran alcance cubrirá aspectos del diseño, construcción, operación y mantenimiento de proyectos de obras públicas, especialmente en las áreas de desechos sólidos y líquidos, sistemas de purificación de agua, sistemas para eliminar desperdicios tóxicos y problemas de contaminación ambiental.

En cooperación con especialistas en las áreas de obras públicas, la conferencia presentará expertos que darán soluciones prácticas a los problemas de dicho sector, suministrando información de gran importancia.

Organizada y dirigida por:
OAKBROOK EXPOSITION MANAGEMENT LTD.
 1000 Jorie Blvd. Oakbrook, IL 60521, USA
 Teléfono (312) 789-8330

PRESENTACION DEL MULTIMILLONARIO MERCADO EN DOLARES DE LAS OBRAS PUBLICAS EN LATINOAMERICA

9-12 DE NOVIEMBRE DE 1982
 CENTRO INTERNACIONAL DE FERIAS BOGOTÁ, COLOMBIA



Patrocinada por:

CONFECAMARAS (Confederación Colombiana de Cámaras de Comercio) en cooperación con el Ministerio de Obras Públicas y Transporte

Ayudada por líderes de negocios internacionales y revistas profesionales

RECORTE Y ENVÍE

OAKBROOK EXPOSITION MANAGEMENT LTD.
 1000 Jorie Blvd. Oakbrook, IL 60521 USA Teléfono (312) 789-8330

Favor enviar por correo aéreo información para expositores. Estamos interesados en aproximadamente metros cuadrados.

Favor enviar el programa de la conferencia técnica.

Favor enviar información para visitantes.

Favor enviar información sobre el progreso de la exposición.

A TODOS LOS INTERESADOS:

Favor suministrar la siguiente información. Fecha _____

Nombre _____

Título _____ teléfono () _____

Empresa _____

Dirección _____

Ciudad _____

Provincia _____

País _____

Código Postal _____

Firma _____

Línea de Productos _____