

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 1	AÑO 1983

Transferencia de tecnología y fabricación en la Argentina de elementos combustibles nucleares para la Central Nuclear Atucha.

Experiencia desde planta piloto a fábrica industrial

Por H. Erramuspe, M. Sametband, E. Bisogni, C. Biondo y H. Koll.*

1. INTRODUCCION

Dada la importancia que la energía tiene en el desarrollo industrial y económico, la implementación de una política apropiada, realista y coherente, implica el logro del mayor grado de autonomía posible en tal vital sector.

Este ha sido uno de los motivos fundamentales de la decisión argentina de adoptar la línea de uranio natural y agua pesada para la generación de energía nucleoelectrica, pues ello asegura la posibilidad del dominio del ciclo de combustible, entendido como el conjunto de operaciones industriales sucesivas, a las que se someten los materiales fisibles para su aprovechamiento en un reactor nuclear.

En el caso de un país con recursos uraníferos como Argentina, su adopción hace innecesario

* Comisión Nacional de Energía Atómica. Trabajo presentado en ICONTT II.

sario acudir a los complejos y costosos procesos industriales de enriquecimiento de uranio, amparados adicionalmente en el carácter de secretos industriales.

Por otra parte, la alternativa de la compra de uranio enriquecido, tropieza con la dificultad de que no existe una oferta suficientemente diversificada en el mercado internacional, libre de posibles presiones políticas, que asegure en forma permanente su abastecimiento bajo adecuadas condiciones de seguridad y confiabilidad.

Estas circunstancias no resultan compatibles con la obtención de la autonomía necesaria.

Es, pues, en reflejo de la importancia fundamental que para la operación ininterrumpida de las centrales nucleares reviste un suministro continuo, como es el combustible, que la Comisión Nacional de Energía Atómica ha elaborado una estrategia de autosuficiencia en su abastecimiento, a través de la fabricación local de todos los componentes que integran los combustibles nucleares.

Conviene señalar que los elementos combustibles hacen a la esencia misma de la tecnología nuclear, pues en ellos se concentra todo lo concerniente a los procesos de fisión que tienen lugar en el uranio de las pastillas cerámicas contenidas en las barras combustibles, produciéndose como consecuencia la eyección de los núcleos atómicos residuales, que incluye la liberación de gases de fisión, para cuya retención se encierran aquéllas en las vainas de zircaloy que además le sirven de soporte. Es a través de estos procesos que se genera el calor que por medio de complejos mecanismos de ingeniería será transformado en energía mecánica y finalmente en electricidad.

Para concretar este ambicioso plan, la CNEA lleva a cabo diferentes proyectos que cubren todos los requerimientos esenciales para el cumplimiento de los objetivos fijados por dicha política.

En el caso del Ciclo del Combustible, y adicionalmente a las actividades de fabricación de combustibles nucleares que trataremos en esta Memoria, debemos destacar que en la Comisión Nacional de Energía Atómica se está desarrollando la tecnología, suficientemente elaborada para su implementación industrial, de los componentes de zircaloy que forman parte de aquéllos, lo cual incluye las fases de Planta Piloto y la construcción e instalación de la fábrica industrial respectiva, cuya terminación puede considerarse ya próxima, y sobre cuyos adelantos Uds. tendrán información en otra Memoria presentada a esta Conferencia.

2. FABRICACION DE ELEMENTOS COMBUSTIBLES

2.1. Antecedentes

Comentaremos a continuación, pues, las actividades relacionadas con la fabricación de elementos combustibles, señalando las transferencias de tecnología que han tenido lugar.

Simultáneamente con la decisión tomada en 1968 en relación con la instalación de la Central Nuclear Atucha I (CNA I) se planificaron programas correspondientes al ciclo de combustible, con el propósito de llegar a la producción nacional de elementos combustibles de potencia.

La importante experiencia ya acumulada en metalurgia y en fabricación de combustibles nucleares para reactores de investigación permitió que, si bien el diseño original del combustible Atucha I y su fabricación fueron realizados en Alemania por las empresas RBU-KWU, especialistas de CNEA participaran desde el comienzo en ese programa. Cuando la Central Atucha I entró en operación en 1974, simultáneamente se hizo la irradiación en el reactor MZFR del Centro Nuclear de Karlsruhe de prototipos de elemento combustible, fabricados en la CNEA, en colaboración con la empresa Siemens para optimizar el diseño y los métodos de fabricación.

En el marco de un programa general atinente al ciclo de combustible y basado en el plan de entrenamiento y realizaciones tecnológicas iniciado en 1968, en 1976 se puso en marcha un proyecto cuyo objetivo fue el desarrollo y puesta a punto, a nivel industrial, de las técnicas de fabricación y control del elemento combustible para la CNA I.

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

2.2. Etapa Planta Piloto

Los trabajos correspondientes llevados a cabo en la Planta Piloto de Elementos Combustibles y tendientes a alcanzar los objetivos propuestos, fueron conducidos a través de dos programas de realizaciones:

- Programa de "Combustibles de demostración"
- Programa de "Inicio de operación"

El primero de ellos, realizado entre 1976 y 1979, abarcó los desarrollos técnicos de fabricación y control, a nivel unitario, del citado elemento combustible y materializando dichas

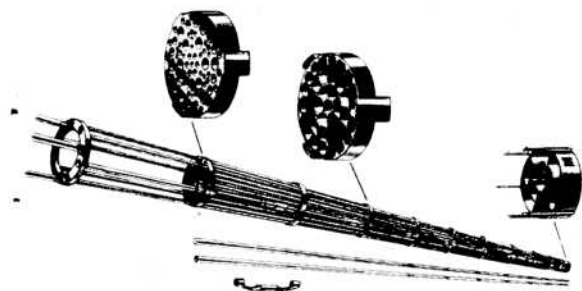


Figura 1: Elemento combustible de la Central Nuclear Atucha I (CNA I).

técnicas en la fabricación de una serie de 25 elementos combustibles en tres lotes, donde se integraron las mismas hasta lograr un 100% de fabricación nacional en el último lote.

En el segundo programa, cumplido entre 1980 y 1981, se obtuvieron niveles de producción industrial que permitieron abastecer el consumo de la CNA I, alcanzándose en la planta piloto un ritmo de producción sostenido de 1.5 elementos combustibles por día, a través de un lote de 218 unidades.

En la figura 1 se puede apreciar un elemento combustible, el que está constituido por 36 barras combustibles atornilladas en uno de sus extremos a una "placa portante" y guiadas en su longitud por 15 separadores equidistantes tomados de barras exteriores por traba "bayoneta" y deslizantes las restantes, lo que confiere al conjunto 1 grado de libertad axial para tener en cuenta la distribución de potencia. Una posición de la corona superior está ocupada por un "tubo soporte" que sujeta 15 "zapatas elásticas" que ajustan el elemento combustible en el canal de refrigeración. Se observa la estructura de acoplamiento formada por 6 tubos de Zry y 3 barras de acero que permiten alcanzar el cuerpo de relleno y así el tapón de cierre final del canal. En las vainas de Zry van soldados patines que permiten uajustado calce en los separadores.

Este elemento combustible mide 6 m de largo, con una longitud útil de 5.30 m, pesa aproximadamente 210 Kg, de los cuales 173 Kg corresponden a UO_2 y el resto a Zry y aceros especiales.

Estos combustibles se insertan en el reactor, cuyo núcleo puede observarse en las figuras 2 y 3.

Las barras inclinadas corresponden a las barras de los sistemas de control.

Las líneas de producción implementadas correspondieron a la:

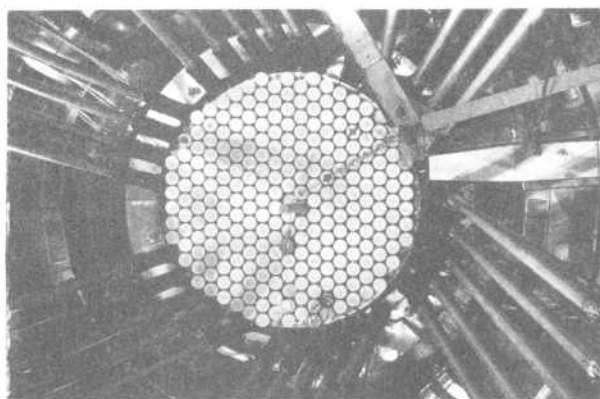
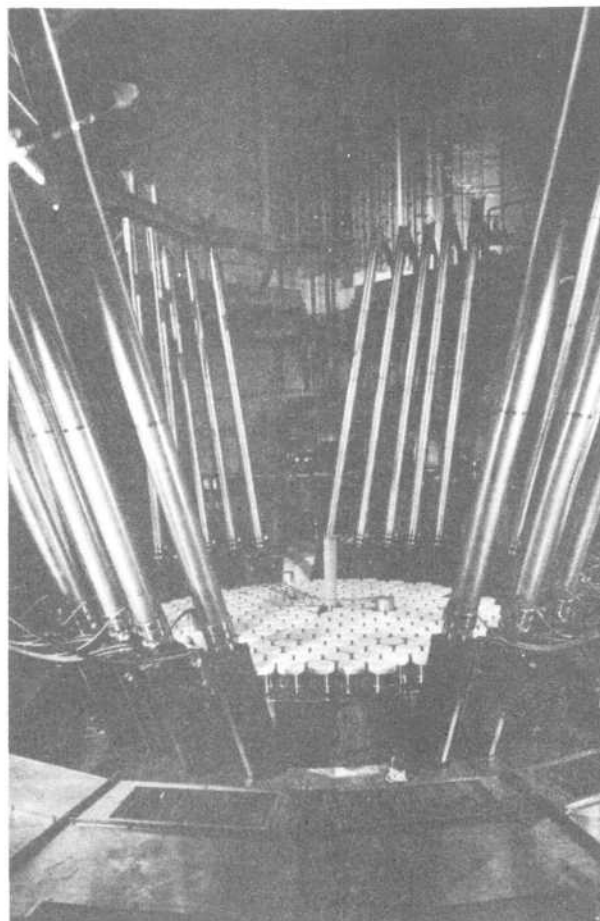


Figura 2 y 3: Núcleo del reactor de la CNA I.



- fabricación de pastillas combustibles de UO_2 sinterizadas.
- fabricación de barras combustibles y correspondiente montaje del elemento combustible.
- fabricación de las piezas estructurales.

Para la línea de fabricación de pastillas combustibles se adoptó la técnica de "compactación directa", en función de las características "freeflowing" del polvo de UO_2 utilizado.

En la etapa de compactación de pastillas combustibles, el polvo de UO_2 se acondiciona con el agregado de U_3O_8 en proporción de

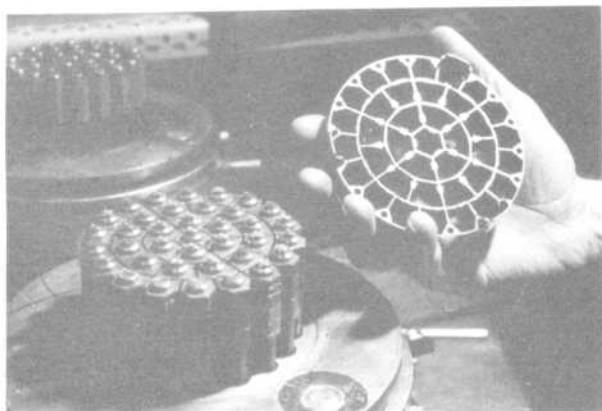


Figura 4: Separador y electrodos formados por yuxtaposición de placas electrodos, para la fabricación de aquéllos.

aproximadamente 5% lo cual, 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 las mismas.

En esta etapa se utilizan prensas mecánicas de doble efecto de 50 t. con dispositivos de compactación formado por matriz de sistema flotante, dotada con punzones de accionamiento compensado y lubricación periférica con dosificación controlada y que permite una producción de aproximadamente 400 Kg. de pastillas de UO_2 por día.

La acción combinada del sistema flotante de matriz, accionamiento compensado y lubricación periférica, permite fabricar pastillas combustibles, a niveles industriales, de alta performance.

La sinterización se efectúa en hornos industriales continuos de 100 t/año de capacidad, con calentamiento eléctrico y atmósfera reductora de hidrógeno y gradientes de temperatura compatibles con las curvas características de sinterización del polvo utilizado.

Completa la línea de fabricación de pastillas los sistemas auxiliares de recuperación de scrap de fabricación.

La automatización de los sistemas y la operatoria empleada aseguraron una producción continua y repetitiva de 6×10^6 pastillas combustibles por año (aprox. 65 t. de UO_2 /año), con rechazos totales menores del 10%.

En la fabricación de las barras combustibles, donde se emplean procesos de soldadura TIG para la unión tapón-vaina, tiene una relevante importancia la soldadura por resistencia de patines a vainas, cuya función es guiar las barras combustibles a través de los separadores, a fin de minimizar la afectación de su estructura

metalúrgica lo que puede dar lugar a fallas primarias de la barra durante el servicio nuclear.

Previo a las soldaduras de patines mencionados, son realizadas técnicas de electropulido de las vainas de Zircaloy-4 para dotar a la interfase de las condiciones apropiadas para la unión patín-vaina.

Todos los procesos desarrollados o puestos a punto cumplieron con los requerimientos de producción, a nivel industrial, de barras combustibles en la etapa de Planta Piloto, con rechazos menores del 16%.

La fabricación de piezas estructurales, cuya mayor parte fue llevada a cabo en la industria privada nacional, mediante la formación de un plantel de subproveedores calificados, tuvo como principal actividad la puesta a punto de procesos y técnicas intervinientes en la manufactura de los separadores.

Dada la especial geometría de dichos separadores, la fabricación correspondiente se lleva a cabo por técnicas de electroerosión, previo maquinado por arranque de viruta y tratamiento superficial posterior por electropulido y rectificado de asiento de las mallas, donde se deslizan con ajustada precisión las barras combustibles. En función de la alta producción de estos separadores, la fabricación de los electrodos (aprox. 240,000 por año) se realiza por la yuxtaposición de placas electrodos. En la figura 4 se observan detalles de lo expuesto.

La fabricación de estas placas electrodos (aprox. 3,500,000 por año), cuyas dimensiones deben encontrarse dentro de la tolerancia de 0.01 mm, se lleva a cabo en una prensa especial dotada de matriz especial de corte preciso y velocidades de producción de 80 placas por minuto.

Asimismo, la fijación de las zapatas a los separadores se efectúa mediante soldadura "brazing" con Be y en equipos automatizados de fabricación especial, dada la peligrosidad del manipuleo del material con Be. La producción total a nivel industrial de separadores, se obtuvo con rechazos menores del 8%.

Los programas de control de calidad desarrollados comprendieron los de evaluación y calificación de procesos y medios de producción, y los de control intermedio y final de partes componentes y elemento combustible, respectivamente. Esto permitió obtener, dentro de un esquema de producción económica, lotes de combustible que cumplieron su servicio nuclear en la CNA I, con performances comparables a los de procedencia del anterior fabricante, la firma RBÜ de la República Federal de Alema-

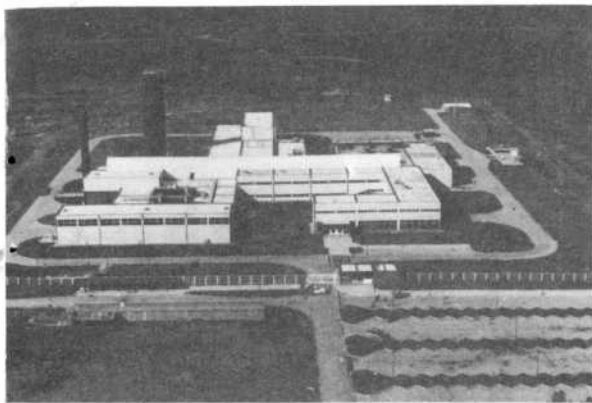


Figura 5: Fábrica de Elementos Combustibles Nucleares (FECN) en el Centro Atómico Ezeiza.

nia.

Durante los programas de desarrollo se fabricaron 243 elementos combustibles, los que fueron totalmente sometidos a servicio nuclear normal en la CNA I con un porcentual de barras combustibles defectuosas de 2.3 por diez mil.

Como puede apreciarse, la transferencia de tecnología en este caso ha adoptado una forma muy especial, pues esencialmente ha consistido en la formación técnica especializada de un reducido plantel de base, a partir del cual se ha entrenado el resto del personal de fábrica, incluido el correspondiente a aseguramiento de calidad, y se ha hecho el desarrollo de subproveedores locales, comprándose el equipamiento necesario mediante contratos con las firmas RBU/KWU que incluían entrenamiento en la operación de las máquinas, previéndose visitas esporádicas de expertos para casos especiales.

2.3. Fábrica de elementos combustibles

La tecnología de fabricación desarrollada en Planta Piloto, el personal capacitado y los equipos, fueron transferidos a la Fábrica de Elementos Combustibles Nucleares (FECN).

La fábrica está preparada para producir el combustible que utilizan por lo menos tres centrales nucleares: Atucha I, Embalse y Atucha II. Su producción permitirá generar 11,500 GWh de energía eléctrica por año. Para ello se requerirán 240 t. anuales de uranio y 55 de Zircaloy.

La Fábrica de Elementos Combustibles, construida por CNEA para abastecer sus centrales nucleoelectricas, está ubicada en el predio del Centro Atómico Ezeiza, en las afueras de Buenos Aires, tiene una superficie cubierta de 11,600 m² y está dotada de servicios de infraestructura adecuados al objeto específico, en par-

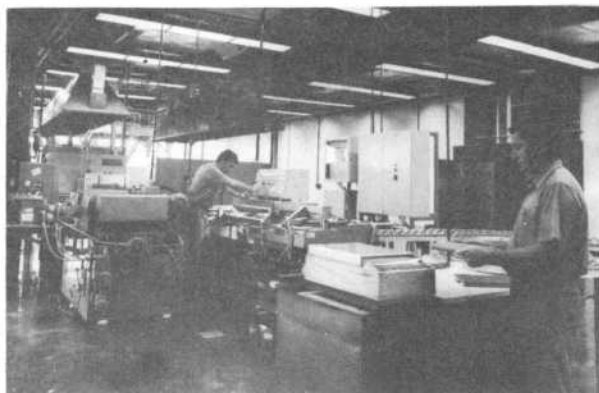


Figura 6: Sector de fabricación de núcleos cerámicos de la FECN.

ticular control de humedad y temperatura en los locales principales de fabricación y control de calidad.

En la figura 6 se observa el sector correspondiente a la fabricación de núcleos cerámicos.

En las figuras 7 a 11 se pueden observar otros aspectos de la Fábrica.

3. SOCIEDAD INDUSTRIAL

Para operar la FECN, la CNEA ha constituido, junto con empresas locales de capital nacional, la sociedad anónima Combustibles Nucleares Argentinos (CONUAR S.A.). Esta se formalizó legalmente a principios de diciembre de 1981, habiéndose inaugurado la Fábrica el 2 de abril del corriente año.

CONUAR alquila a CNEA las instalaciones de la FECN y adquiere de CNEA y de terceros los equipos e insumos necesarios para fabricar los elementos combustibles, con excepción del dióxido de uranio que recibe en uso.

CNEA suministra a CONUAR, a título oneroso, la totalidad de la tecnología requerida para la fabricación de elementos combustibles, manteniendo el derecho de propiedad de la misma y reteniendo las licencias a su nombre, en los casos en que existen.

La CNEA mantiene el control estratégico de la empresa.

Los insumos de la FECN son, fundamentalmente, Zry-4 y dióxido de uranio (UO₂). Otros materiales especiales utilizados son: acero inoxidable, helio y argón, nitrógeno líquido, hidrógeno de alta calidad, berilio y grafito de pureza nuclear.

CONUAR comienza la fabricación de los elementos combustibles tipo Atucha I utilizando vainas y semiterminados de Zry-4 actualmente de origen importado.

En forma progresiva se utilizarán vainas y

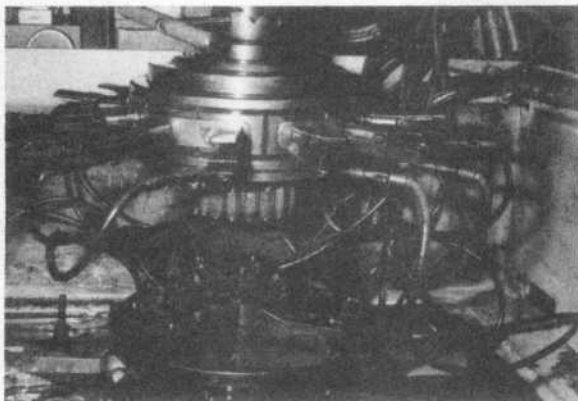


Figura 7: Máquina de electroerosión para fabricación separadores (posicionado de electrodos).

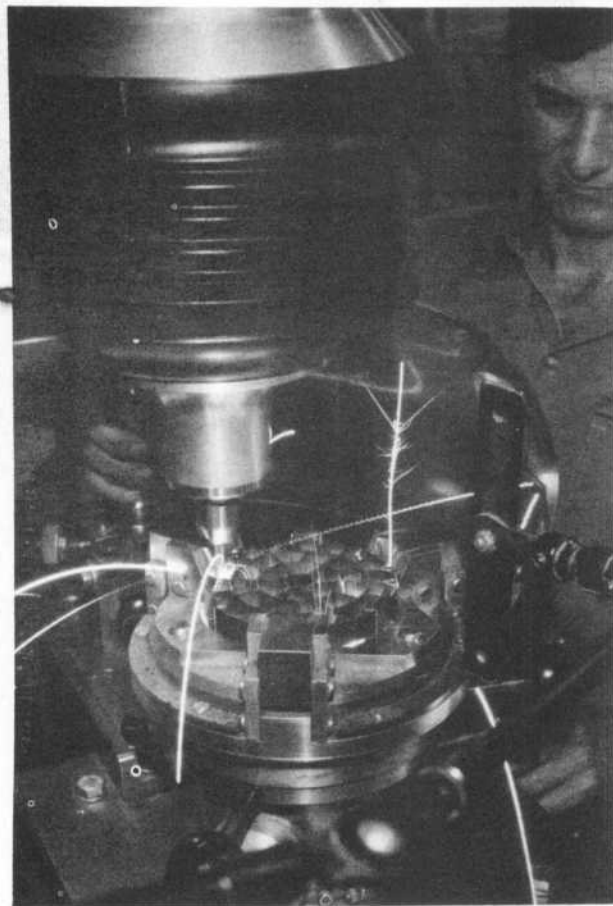


Figura 8: Rectificación del asiento de las barras combustibles en las mallas de los separadores.

semiterminados de Zry-4 producidos en la Fábrica de Aleaciones Especiales de CNEA (FAE), para la fabricación de los elementos combustibles para las tres centrales nucleares antes mencionadas. Se prevé en a partir de 1984, todos los elementos combustibles tipo Atucha I utilizarán Zry-4 nacional.

A nivel Planta Piloto se están fabricando 11,000 m de tubos de Zircaloy-4, constituyendo ésta una de las fases finales de la misma.

El UO_2 natural es la materia fisionable usada

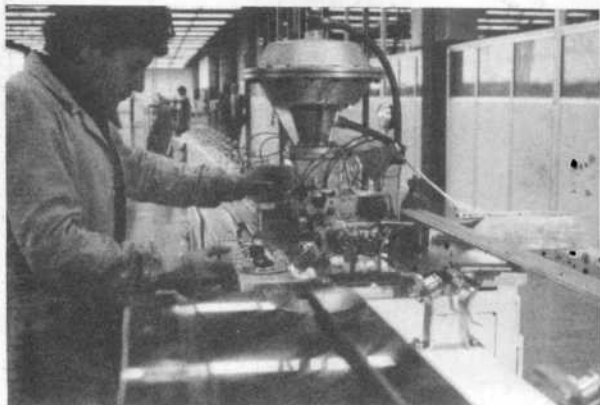


Figura 9: Soldadura TIG de la unión tapón-vaina.

en los reactores de potencia nacionales. Para las tres líneas se requieren aproximadamente 270 t. anuales de este material (240 t. de uranio).

CONUAR utiliza para la fabricación, UO_2 producido en Alemania a partir del concentrado de uranio nacional. Se prevé que a partir de 1983 CONUAR comenzará a utilizar polvo de UO_2 producido en el Complejo Fabril Córdoba de CNEA.

La FECN inició su actividad industrial con la fabricación del combustible para abastecer la CNA I, con un consumo previsto de 400 elementos combustibles anuales. Las primeras entregas se produjeron a partir de mayo de 1982 a un ritmo aproximado de 30 elementos combustibles nucleares por mes.

En la actualidad lleva entregados 172 elementos combustibles, habiéndose fabricado 188 al 19 de octubre de ppdo.

Es de significativa importancia señalar que el costo total del desarrollo de la tecnología, considerando la totalidad de las inversiones realizadas, incluidos los viajes al exterior para recepción de equipos, etc. y tomando en cuenta el valor económico de los equipos transferidos a la Fábrica y de los elementos combustibles fabricados y usados en la Central Nuclear, alcanzó a la suma de U\$S 5,108,000, la cual, en su mayor parte, fue cobrada a CONUAR como valor de la tecnología y ha sido incluida en el costo del elemento combustible.

En estas condiciones, que incluyen el pago de alquiler por el uso del edificio fabril, y sin la existencia de subsidios de ningún tipo, debe destacarse que el combustible fabricado en el país resulta más barato que el importado, considerando el valor de la última oferta de la firma proveedora correspondiente al año 1980, lo que realza la significación de este logro, el que, por añadidura, concreta la seguridad del suministro.

Si se considera, además, que la escala econó-

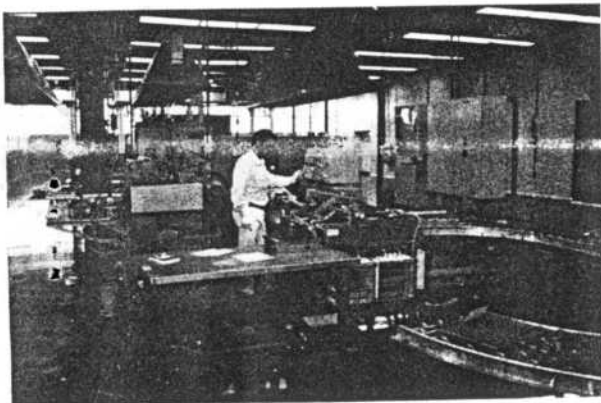


Figura 10: Maquinado de pastillas.

mica de producción mejorará sensiblemente al entrar en operación las líneas de fabricación de combustible nuclear Embalse en 1984 (con serie reducida) y en 1985 a pleno, y más adelante la línea correspondiente a Atucha II, puede afirmarse, sin ambages, que se ha logrado un éxito tecnológico, económico y estratégico.

Basado en resultados, puede decirse, por consiguiente, que se ha devuelto peso por peso invertido en investigación y desarrollo y, si se hace una evaluación integral, estar de acuerdo con quienes sostienen en los países líderes industriales que basan su pujanza en las innovaciones tecnológicas, que se obtienen dos dólares por cada dólar invertido en investigación y desarrollo.

En otra área de actividades, la Comisión Nacional de Energía Atómica tiene en avanzado estado de desarrollo la tecnología correspondiente a los combustibles tipo CANDU, para la Central Nuclear Embalse y las correspondientes maquinarias para el proceso de fabricación industrial.

Estos elementos combustibles, de distinto diseño, presentan diferencias notables en sus dimensiones y peso con respecto a los de CNA I. Su longitud es de 50 cm., su peso total de 23 Kg., de los cuales 19 Kg. corresponden al UO_2 (17 Kg. de uranio). Tiene 37 barras combustibles provistas con tapones soldados, las que son mantenidas rígidamente en posición por dos grillas extremas de Zry-4.

Durante 1983 y 1984 se producirán, además, series reducidas de estos combustibles. A partir de 1985, se prevé que CONUAR S.A. producirá la totalidad de los elementos combustibles necesarios para abastecer el funcionamiento de la Central Nuclear Embalse.

Esta corresponderá a una tecnología de fabricación, desarrollada por la Comisión Nacional de Energía Atómica, incluyendo importantes equipos de producción, que será transferida

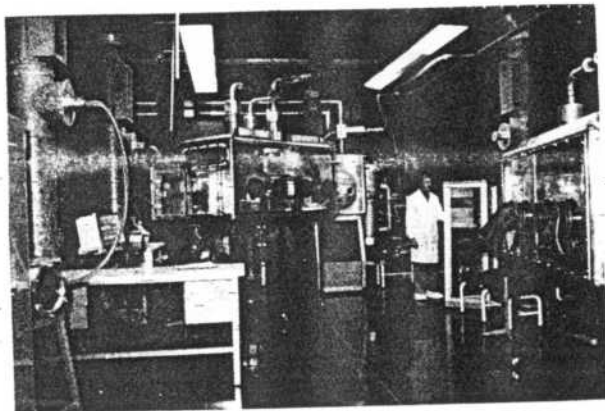


Figura 11: Área para las soldaduras con Be (Proceso de brazing).

a la empresa, juntamente con personal debidamente entrenado y los equipos necesarios para la producción industrial.

Respecto de Atucha II, CONUAR S.A. fabricará los elementos combustibles de su primer núcleo durante 1985 y 1986, estando previsto que abastezca la totalidad de los elementos combustibles requeridos por las tres centrales nucleares ya mencionadas, a partir de 1987.

El elemento combustible tipo Atucha II, si bien actualmente en desarrollo, tendrá características similares al de tipo Atucha I, pero con 37 barras de un diámetro mayor en 1 mm y de mayor simplicidad en los separadores intermedios.

Para el estado de régimen de producción correspondiente a las tres centrales nucleares, estimada en 240 t. de uranio anuales, como se dijo, CONUAR S.A. tendrá una dotación de personal de aproximadamente 300 personas. En 1982, con la única producción de los elementos combustibles tipo Atucha I, el plantel de personal es de 120 personas.

La calidad requerida por los elementos combustibles, exige contar con personal altamente calificado, no sólo en las tareas de control de calidad, sino también en todas y cada una de las etapas del proceso de fabricación. Dicho personal ha sido en su mayoría entrenado en la planta piloto de CNEA en las tareas específicas correspondientes. Es de hacer notar que, en razón de la alta confiabilidad exigida al combustible nuclear, su fabricación involucra el mantenimiento de una infraestructura de control de calidad muy superior a la usual en la industria electromecánica convencional.

Con el cumplimiento de esta importante etapa, estimamos que la Comisión Nacional de Energía Atómica ha dado un paso trascendente en el logro de su objetivo de autosuficiencia en el suministro del combustible nuclear.

SERVICIO I.A. 40