

04.77.06

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
NO	AÑO
1	1977

ASOCIACION ARGENTINA DE
TECNOLOGIA NUCLEAR

Conferencias

Vª REUNION CIENTIFICA
EMBALSE RIO TERCERO
CORDOBA 1976

FABRICACION DE ELEMENTOS COMBUSTIBLES EN LA REPUBLICA ARGENTINA

J. H. KOLL - P. R. PEROSANZ

BUENOS AIRES
1977

ASOCIACION ARGENTINA DE
TECNOLOGIA NUCLEAR

CONFERENCIAS

V REUNION CIENTIFICA

EMBALSE RIO TERCERO
CORDOBA

1976

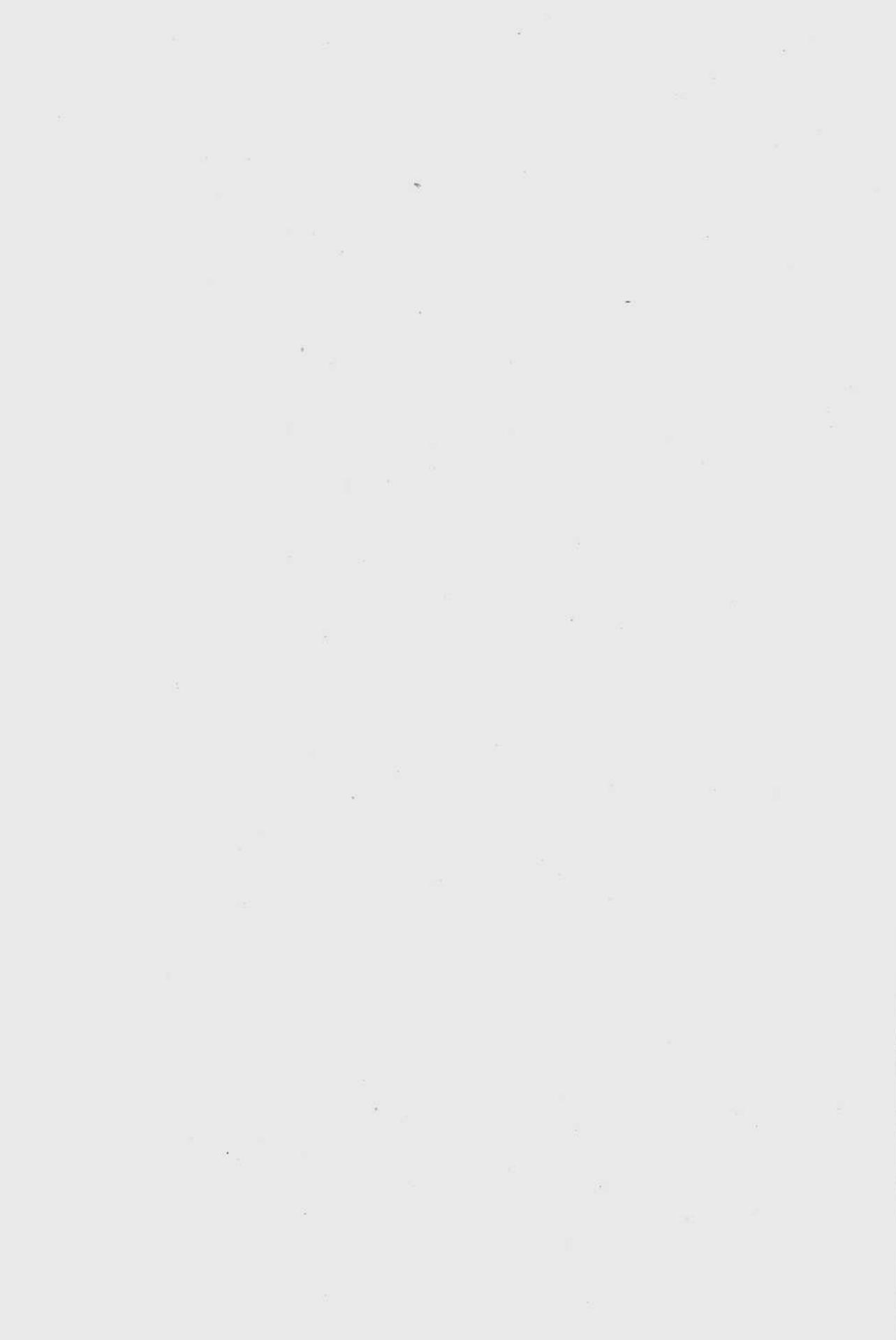
FABRICACION DE ELEMENTOS COMBUSTIBLES

EN LA REPUBLICA ARGENTINA

J. H. KOLL - P. R. PEROSANZ

BUENOS AIRES

1977



FABRICACION DE ELEMENTOS COMBUSTIBLES

EN LA REPUBLICA ARGENTINA

J. H. KOLL* - P. R. PEROSANZ*

RESUMEN

Se describe cómo, mediante el desarrollo propio, fué posible elaborar un proyecto para una Fábrica de Elementos Combustibles Nucleares en el país.

Se da una breve descripción de los elementos combustibles que serán fabricados, de los requerimientos de combustibles para las Centrales Nucleares, de los procesos de fabricación y de aquellos temas en los que son esperables dificultades tecnológicas que deben ser resueltas antes de comenzar exitosamente la fabricación de combustibles nucleares.

ABSTRACT

It is described how it was possible to work out a design for a nuclear fuel element factory in the country.

A short description is given of the fuel elements which will be fabricated, of the fuel requirements of the nuclear stations, of the fabrication processes and those topics in which technological difficulties are expected, which must be resolved before industrial nuclear fuel fabrication can be started successfully.

* Comisión Nacional de Energía Atómica. Bs.As. - Argentina

INDICE

1. INTRODUCCION

2. PRODUCTO A FABRICAR

- 2.1 Descripción de los Elementos Combustibles
- 2.2 Volumen físico de la producción
- 2.3 Garantía de calidad

3. FABRICACION DE ELEMENTOS COMBUSTIBLES

- 3.1 Mercado mundial
- 3.2 Mercado local
- 3.3 Integración de la fabricación

4. DESCRIPCION DE LA F.E.C.N.

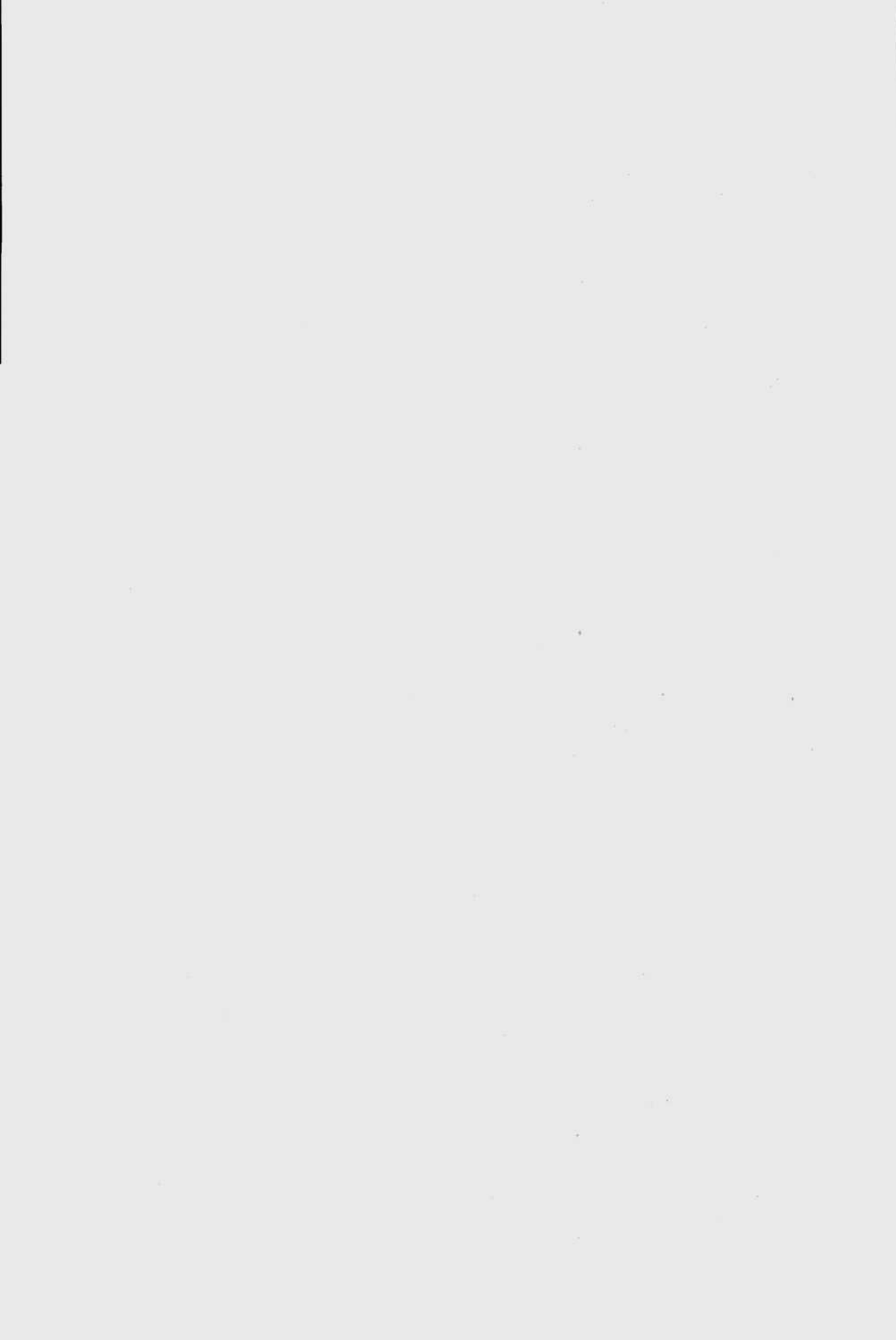
- 4.1 Requerimientos para la fabricación
- 4.2 Flujo de Procesos
- 4.3 Obra Civil, Instalaciones auxiliares e Infraestructura.
- 4.4 Metodología empleada en el Proyecto

5. DIFICULTADES TECNOLOGICAS

- 5.1 Fabricación de Pastillas UO_2
- 5.2 Procesos de soldadura
- 5.3 Proceso de maquinado, formado de precisión
- 5.4 Control de calidad

6. CONCLUSIONES

7. ABREVIATURAS



1. INTRODUCCION.-

La generación de energía eléctrica a partir de una fuente calórica de origen nuclear requiere, fundamentalmente, una vez construída la Central Nuclear, el suministro del combustible en forma de Elementos Combustibles nucleares. Estos pueden ser importados o se puede encarar su fabricación en el país.

Para los países que poseen minerales de uranio, es posible llegar a obtener una independencia en el suministro de los Elementos Combustibles Nucleares. Sin embargo, no es el uranio el único elemento que entra en la fabricación, también se requiere Zircaloy, acero inoxidable, aleaciones de níquel, berilio, grafito, helio y argón de alta pureza, etc. Además tres elementos independientes que también deben considerarse como críticos y son: equipos apropiados, tecnología de fabricación (know how) y capacidad de diseño e ingeniería para el proyecto y construcción de las instalaciones requeridas para la fabricación de los Elementos Combustibles Nucleares.

Las actividades para obtener estos elementos se desarrollan en los laboratorios y plantas de CNEA y comprenden tres grandes grupos: a) Obtención del uranio; b) Fabricación de Zircaloy y c) Fabricación de los Elementos Combustibles.

El presente trabajo sólo se referirá a la fabricación de los Elementos Combustibles.

En varios trabajos publicados se han descripto las actividades del Departamento Combustibles Nucleares en relación al diseño y fabricación de Elementos Combustibles para Reactores de Investigación y Prototipos de Elementos Combustibles para Reactores de Potencia; un resumen de dichas actividades fue descripto por Carlos Aráoz * en la conferencia de Ginebra en 1972.

* Carlos Aráoz. Conferencia de Ginebra en 1972.

Para la fabricación de Elementos Combustibles para reactores de potencia, o sea para generación de energía eléctrica. Ya desde antes de 1970 se comenzó a estudiar la posibilidad de instalar una Fábrica de Elementos Combustibles en el país, habiéndose considerado en su primer instancia una pequeña producción para la única Central Nuclear que, en ese momento, aún se encontraba en construcción, la Central Nuclear en Atucha, debiéndose recurrir entonces a asesoramientos internacionales para la provisión del diseño de la Planta, del equipamiento, de la tecnología y hasta del entrenamiento de su personal durante la puesta en marcha de la Planta.

Luego de la decisión de la Argentina de proseguir con la línea de uranio natural para sus Centrales Nucleares próximas, (Central de Embalse y Atucha II), se comenzó en 1972 un estudio más profundo de las posibilidades de la instalación de la F.E.C.N. con diseño propio y utilizando al máximo los recursos nacionales en cuanto a equipamiento, tecnología y entrenamiento para la operación de los equipos.

Es evidente que esta metodología de utilizar la propia infraestructura todavía en desarrollo, lleva un mayor tiempo que comprar "llave en mano", pero es que en algún momento debe tomarse la decisión de comenzar a sentirse ma duro para estas tareas y en un futuro próximo poder entregar también instalaciones "llave en mano" que hayan sido desarrolladas íntegramente en el país.

Se describen a continuación algunos aspectos relativos a la instalación de la primera F.E.C.N. en el país, que servirá para alimentar a sus tres primeras Centrales Nucleares (Atucha I, Embalse y Atucha II), y en la cual ya está participando en forma creciente la industria privada, no só lo en la fabricación de piezas, sino también en el diseño de herramental o máquinas mediante contratos de tipo "Proyecto y Construcción".

2. PRODUCTO A FABRICAR.-

En la F.E.C.N. se fabrican Elementos Combustibles a partir del polvo UO_2 , semiterminados de Zircaloy (vainas, barras, etc.), de acero inoxidable y de Inconel. Se entregan Elementos Combustibles terminados, controlados y empaquetados.

2.1. Descripción de los Elementos Combustibles

Un Elemento Combustible es un conjunto de barras formadas por vainas de una aleación de circonio conteniendo en su interior el material fisiónable (óxido de uranio natural, para nuestro caso), siendo las barras convenientemente separadas y soportadas por elementos estructurales de la misma aleación de circonio. Todo el conjunto es fabricado bajo estrictas especificaciones de calidad y precisión como consecuencia de las severas condiciones de trabajo a que son sometidos los Elementos Combustibles durante su permanencia en el reactor nuclear, lo que obliga a que los mismos deban ser totalmente confiables, y cumplan con estrictas reglas de seguridad radiológica.

Para el caso de los Elementos Combustibles Atucha, el largo de las barras combustibles es de unos 5 m estando formado un Elemento Combustible por 37 barras. El conjunto se mantiene unido por 15 separadores y se completa con otras piezas estructurales en un total de más de 30 piezas diferentes.

En la Figura 1 se muestra un esquema de un Elemento Combustible Atucha.

Para el caso de los Elementos Combustibles - Candu, a ser utilizados para las Centrales en Embalse y Atuchá II, el largo de las barras combustibles es de 50 cm, formando también 37 barras un Elemento Combustibles. El conjunto se mantiene unido por 2 grillas extremas. En total hay 6 piezas diferentes.

En la Figura 2 se muestra un esquema de un Elemento Combustible Candu.

El peso de un Elemento Combustible Atucha es de 220 Kg, mientras que el del Elemento Combustible Candu es de 20 Kg.

2.2. Volumen físico de la producción.

Los elementos más importantes que entran en la fabricación de los Elementos Combustibles son los siguientes: Polvo UO_2 , vainas y otros componentes de Zircaloy, acero inoxidable e Inconel. Las cantidades que se requieren por año se resumen como sigue:

Componente del EC	CNA 1X300 MW por año	CNC 1X600 MW por año	TOTAL FECN por año
UO_2 t	70	100	270
Pastillas UO_2	5.000.000	5.000.000	15.000.000
Vainas Zry	12.000 de 6 m	170.000 de 0,50 m	350.000
Otros componentes Zry - Inox. Incon.	10 t	5 t	20 t
EC/año	400	4.500	9.400

2.3. Garantía de calidad.

Para Elementos Combustibles Nucleares, la calidad queda definida de dos formas. La primera está definida por el control de calidad y significa el cumplimiento de las especificaciones, planos, tolerancias, procedimientos de fabricación y de manipuleo. Esta calidad es garantizada como de "Materiales y buena fabricación" y es dada por la F.E.C.N.

La otra Garantía de Calidad es dada como garantía de funcionamiento, o sea que se logre una dada cantidad de energía sin que el Elemento Combustible falle. En general se expresa como MW-D/tU, o también podría darse como KWh/KgU. Esta garantía, en general la da el diseñador del Elemento Combustible. Para el caso de la F.E.C.N., en el país, esta garantía la debe dar el Departamento Combustibles Nucleares de la CNEA, dado que

posee el conocimiento adecuado y en caso de ser requerido, el Comité de Licenciamiento de instalaciones nucleares, del cual el Departamento Combustibles Nucleares es el asesor natural en cuestiones de Elementos Combustibles.

3. FABRICACION DE ELEMENTOS COMBUSTIBLES.-

3.1. Mercado mundial

Los requerimientos de Elementos Combustibles para una Central Nuclear dependen fundamentalmente del tipo de material fisiónable variando si son de uranio natural o de uranio enriquecido.

Para uranio natural, el consumo de una Central de 600 MWe de potencia, puede estimarse en 100 tU por año, en cambio para reactores de uranio enriquecido es aproximadamente la tercera parte, o sea 30 tU/año.

En general cada país que tenga una política nuclear desarrollada, cuenta también con una o varias Plantas para la fabricación de Elementos Combustibles.

Para citar algunos (sólo para Reactores de uso comercial).

U.S.A.	10 Plantas (aprox.)
Alemania Occidental	2 Plantas
Canadá	2 Plantas
Gran Bretaña	1 Complejo nuclear
Francia	2 Plantas
Bélgica	1 Planta
Italia	2 Plantas (1 para U metálico)
Japón	3 Plantas
Suecia	1 Planta
India	1 Complejo nuclear

La capacidad de producción de estas fábricas varía entre 100 tU/año hasta 1.000 tU/año.

El mercado de consumo mundial está determinado por la cantidad de reactores en funcionamiento y en construcción. En total existen en el mundo unos 60 reactores en funcionamiento y unos 150 en construcción o proyectados.

Puede considerarse, desde el punto de vista económico que el módulo mínimo para una F.E.C.N. es de 200 tU/año, lo que corresponde a unas 6 centrales de uranio enriquecido o 2 de uranio natural de 600 MWe. Desde ese punto de vista, la selección de una línea de uranio natural en un país en desarrollo facilita mucho la fabricación de los Elementos Combustibles localmente, al requerirse sólo 2 Centrales para poder iniciar la fabricación bajo condiciones competitivas.

3.2. Mercado local

La fabricación de los Elementos Combustibles en el país puede dividirse en dos etapas, la primera F.E.C.N. para las Centrales Atucha I y II, y Embalse con una capacidad nominal de 270 tU por año. La segunda F.E.C.N. para las siguientes Centrales deberá ser programada y proyectada acorde a los requerimientos del Plan Nuclear Argentino y de la experiencia que se obtenga de la primer F.E.C.N. La capacidad de la segunda F.E.C.N. puede estimarse entre 500 y 800 tU/año, pero no será requerida antes de 1983.

3.3. Integración de la Fabricación

El tipo de componentes requeridos y los procesos involucrados permiten en una F.E.C.N. comenzar la fabricación de ciertos componentes y en forma sucesiva integrar los restantes.

Sin embargo esta integración está reservada a las piezas estructurales, la que es justamente la más interesante para la participación de la industria privada pequeña o mediana. La fabricación de las pastillas, las barras combustibles y el montaje de los Elementos Combustibles debe comenzarse desde el inicio de operación de la F.E.C.N.

4. DESCRIPCION DE LA F.E.C.N.-

4.1. Requerimientos para la fabricación.

La fabricación de Elementos Combustibles Nucleares constituye una industria de características particulares.

Estas características están representadas por una reducida cantidad de insumos, alto valor de los mismos y considerable valor agregado, trabajando con una tecnología de avanzada.

Las características fundamentales del proceso de fabricación consisten en las delicadas operaciones que deben efectuarse para lograr la elaboración de las partes y piezas componentes de los Elementos Combustibles, su posterior incorporación en la fabricación de las barras combustibles y ulterior montaje de los Elementos Combustibles integrados por el conjunto de barras combustibles, realizado todo ello con un exhaustivo control de calidad aún de los semiterminados e insumos.

Teniendo en cuenta lo antedicho se requiere contar con un conjunto de locales de dimensiones adecuadas que satisfagan la distribución de máquinas y equipos, que cuenten con las instalaciones auxiliares que deben proveer los suministros necesarios con absoluta confiabilidad.

En el interior de los locales el ambiente debe estar libre de polvo y en locales de fabricación de barras combustibles el aire debe tener además una humedad relativa inferior al 45%.

Dada la toxicidad de materiales tales como el uranio y berilio, se requiere el confinamiento de los locales afectados.

Se requiere contar con personal estable, especializado y debidamente entrenado, no sólo el personal de producción sino también el de dirección. Es de hacer notar que más del 20% del personal está ocupado en control de calidad.

El equipamiento es otro rubro de extrema importancia. Muchos de los equipos requeridos son de diseño y fabricación especial. Otros son adaptaciones de máquinas comerciales. En la mayoría de los casos se comple-

mentan con herramental y dispositivos que también deben ser diseñados, construídos y probado su funcionamiento antes de ser aceptados para su uso.

4.2. Flujo de Procesos

El proceso de fabricación típico se muestra en la Figura 3 y puede resumirse como sigue:

- Fabricación de Barras Combustibles:

. Fabricación de pastillas

Preparación del polvo

Prensado

Sinterizado

Rectificado

Preparación de la columna de pastillas

- . Recepción y preparación de vainas
- . Soldadura del primer tapón
- . Llenado de la vaina con pastillas
- . Soldadura del segundo tapón
- . Control de la barra combustible

- Fabricación de las piezas estructurales:

Cada pieza lleva su ruta de fabricación. Incluye o peración de torneado, fresado, estampado, punzonado, formado, soldadura de punto, de eutéctico y por arco.

- Montaje y control final del Elemento Combustible

- . Posicionado de las barras combustibles
- . Ensamble de los componentes
- . Armado
- . Control

- Empaque y Despacho

Los controles que se realizan son, no sólo dimensionales, sino también metalúrgicos (ensayos de metalografía, de corrosión), no destructivos (Rayos X, ultrasonido), del estado superficial (rugosidad, limpieza o contaminación superficial), de estanqueidad de las barras com

bustibles, ensayos mecánicos y análisis químicos. Para el polvo UO_2 además, se realizan mediciones de caracterización de sus propiedades y un ensayo de sinterabilidad.

4.3. Obra Civil, Instalaciones Auxiliares e Infraestructura

La F.E.C.N., tal como se la ha proyectado, consta de un conjunto de sectores agrupados en un solo edificio. Estos son:

Sector Pastillas UO_2 , con su depósito de polvo, preparación del polvo, fabricación de pastillas, depósito de pastillas y recuperación de residuos.

Sector de Barras Combustibles, preparación de vainas, colocación de las pastillas, soldadura de tapones y control.

Sector Semiterminados, con su depósito, control, limpieza.

Sector Talleres Fabricación Piezas Estructurales.

Sector Administrativo

Sector Mantenimiento

Los servicios auxiliares que requiere la F.E.C.N. son: los comunes de industrias convencionales e incluyen:

- Fuerza motriz
- Gas
- Aire comprimido
- Agua potable, desmineralizada
- Sistema de Tratamiento de aire
- Vestuarios, cafetería, servicio control, sanitarios, etc.

4.4. Metodología empleada en el Proyecto

A fin de elaborar el Proyecto para la instalación de la F.E.C.N. se habían comenzado durante 1968, hasta 1972, diversas tratativas.

- 1) En forma directa con firmas internacionales o sea fabricantes reconocidos de Elementos Combustibles.
- 2) En forma indirecta con firmas internacionales, a través de un contrato de ingeniería con una firma local para proveer la tecnología, el equipamiento, el proyecto, la instalación y puesta en marcha, así como participar en la fabricación.
- 3) Por último se decidió realizar todas estas tareas bajo la dirección directa de CNEA. Se tuvo en cuenta para ello la necesidad de no tener una dependencia de firmas extranjeras en la operación de la FECN, sobre todo teniendo en cuenta que en esta fábrica de ben reunirse bajo un mismo techo, aunque adecuadamente separadas, las tecnologías de origen alemán (Reactor de Atucha) y canadiense (Reactor de Embalse).

Además, y como punto fundamental, se consideraba que un proyecto de esta naturaleza se debía realizar en el país.

Los trabajos que comprende la instalación de la F.E.C.N. puede dividirse en cuatro grandes grupos:

- a) La tecnología de fabricación de los Elementos Combustibles.

Esta etapa se comienza en 1967 al decidirse la compra de la Central Nuclear en Atucha. Los desarrollos necesarios se basan en conocimientos ya existentes en la CNEA (Departamento Combustibles Nucleares) relativos a la fabricación de pastillas UO_2 , soldadura y fabricación de barras combustibles a nivel de laboratorio. Se decidió entonces ampliar ese conocimiento

hasta llevarlo a un nivel suficiente para encarar y resolver todos los problemas asociados a la fabricación industrial.

Los tres principales elementos constitutivos son:

- Selección y adquisición del equipamiento adecuado.
- Desarrollo y puesta a punto de los procesos, hasta el nivel de manuales de producción e instrucciones de trabajo.
- Entrenamiento del personal.

Para el desarrollo de estas tareas se dispone en la actualidad de una planta piloto con aprox. 1.200 m² de superficie y 30 personas afectadas a estas tareas, y que ya está operando en forma parcial para Elementos Combustibles Atucha.

Se ha desarrollado un programa de integración de la tecnología, elaborado por Carlos Biondo de esta CNEA** consistente en la fabricación de Elementos Combustibles de demostración y luego de producción. Todos los Elementos Combustibles serán irradiados en la Central Nuclear y sometidos a las mismas condiciones de los Elementos Combustibles normales de origen importado.

b) Proyecto y Construcción de la Obra Civil, Instalaciones Auxiliares e Infraestructura.

Esta etapa se comienza en 1973 con la decisión de elaborar el proyecto por CNEA. Se fijaron los requerimientos, el alcance y volumen de la fabricación y en base a ello el programa de necesidades. El proyecto para la construcción de la Obra Civil fue contratado a una firma privada de arquitectura. En la actualidad se dispone de la Documentación completa (planos y pliegos) para el llamado a licitación de la construcción.

** Carlos Biondo - Informes Internos CNEA. 1972-1976

c) Dirección y coordinación hasta entrada en producción:

Considerando que las condiciones y requerimientos de operación de esta F.E.C.N. son muy particulares, es necesario compatibilizar la tecnología nuclear, altamente especializada con una producción económica. Se tiene previsto un esquema que cumpla con ambos requerimientos. Se considera para ello los aportes que puede brindar la CNEA y la industria privada.

d) Operación normal:

Se tiene previsto que antes de 1980 esta FEEN comience a operar. Para ello se tiene en estudio la forma de participación de la industria privada y el momento más oportuno.

5. DIFICULTADES TECNOLOGICAS.

Se examinan a continuación los procesos tecnológicos que se considera son de especial interés y que requieren dedicación especialmente durante la puesta a punto de los procesos.

5.1. Fabricación de Pastillas UO₂

El proceso es típico de pulvimetalurgia. Pero las características especiales del polvo UO₂ hacen dificultoso su prensado y sinterizado. Es un polvo duro y frágil, se oxida fácilmente y requiere una temperatura de unos 1.700°C para su sinterizado.

5.2. Procesos de soldadura

Para las diversas operaciones se requiere la soldadura, en especial:

- Soldadura de Tapones por arco o por resistencia.
- Soldadura eutéctica con Zr - Be.
- Soldadura por punto.

Se requiere especialmente una perfección de las soldaduras que asegure total hermeticidad y completa penetración y unión.

Para los casos de soldadura por arco es posible realizar un control del 100% por medio de Rayos X, mientras que para las demás soldaduras el proceso sólo puede controlarse por ensayos destructivos.

5.3. Procesos de maquinado y formado de precisión.

La mayor parte de las partes y piezas estructurales son maquinadas o formadas con estrictas especificaciones en cuanto a sus tolerancias dimensionales, así como a ausencia de marcas, fisuras de defectos superficiales, rebabas, etc.

Si bien puede admitirse un cierto rechazo, el elevado costo de los materiales (Zircaloy, acero inoxidable, Inconel), el riesgo que significa que, piezas defectuosas entren en la fabricación y el elevado costo del control, limita enormemente estos rechazos.

5.4. Control de calidad.

El control de calidad es una de las características de la tecnología nuclear. Si bien las exigencias individuales de tolerancias dimensionales no son exageradas, en general entre la décima y la centésima de milímetro, la dificultad surge por la simultaneidad en el cumplimiento de todas las tolerancias dimensionales. Además se requiere calidad metalúrgica, o sea estructura metalográfica, adecuada especialmente para las soldaduras.

También se requiere calidad en el estado de las superficies, esto se refiere a rugosidad, defectos superficiales como rayaduras, fisuras, inclusiones, etc. y finalmente contaminación por agentes químicos y suciedad, grasa, etc.

El control de calidad incluye también los materiales de entrada: polvo UO_2 , semiterminados de Zircaloy (vainas, barras, fleje, alambre) gases para procesos (pureza de helio, argón e hidrógeno), material para electrodos de soldadura o para electroerosión, análisis de reactivos químicos, etc.

En algunos casos es suficiente con solicitar un certificado que garantice la calidad de los materiales de entrada, pero en otros es necesario verificar la calidad en fábrica.

Se espera que, a medida que se gane experiencia se puedan disminuir los requerimientos de control de calidad, pero lo que no se puede disminuir es la calidad misma.

El arte en la fabricación de Elementos Combustibles consiste en saber solucionar, en forma consistente y reproducible, todas y cada una de las dificultades que se presentan durante la fabricación, con un mínimo de control.

6. CONCLUSIONES.-

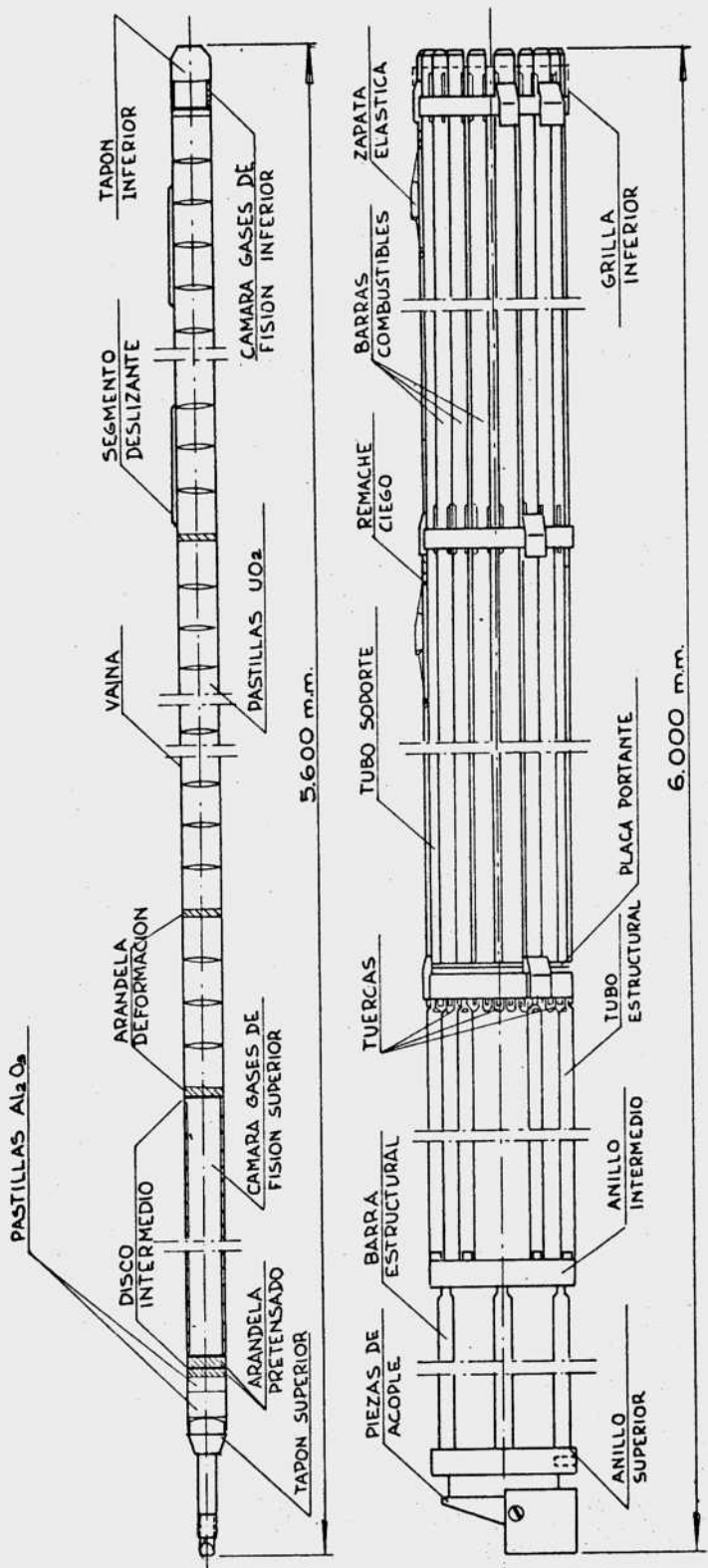
De todo lo expuesto puede concluirse que, si bien el proyecto, desarrollo y puesta a punto de los procesos y operación de una F.E.C.N. son únicos de su tipo en el país, se puede mostrar que esto es posible realizarlo con iniciativa y esfuerzo propios.

Se requiere para ello la existencia de un Grupo de Trabajo que permita el desarrollo de las tareas, sea por realizaciones propias o por contratos con terceros.

Lo importante es que reconozca el riesgo que significa que Elementos Combustibles defectuosos entren en el núcleo de una Central Nuclear.

7. ABREVIATURAS.-

EC = Elementos Combustibles
 FECN = Fábrica de Elementos Combustibles Nucleares
 CNA = Central Nuclear en Atucha
 CNEA = Comisión Nacional de Energía Atómica



ESQUEMA BARRA COMBUSTIBLE Y ELEMENTO COMBUSTIBLE ATUCHA

FIG. 4

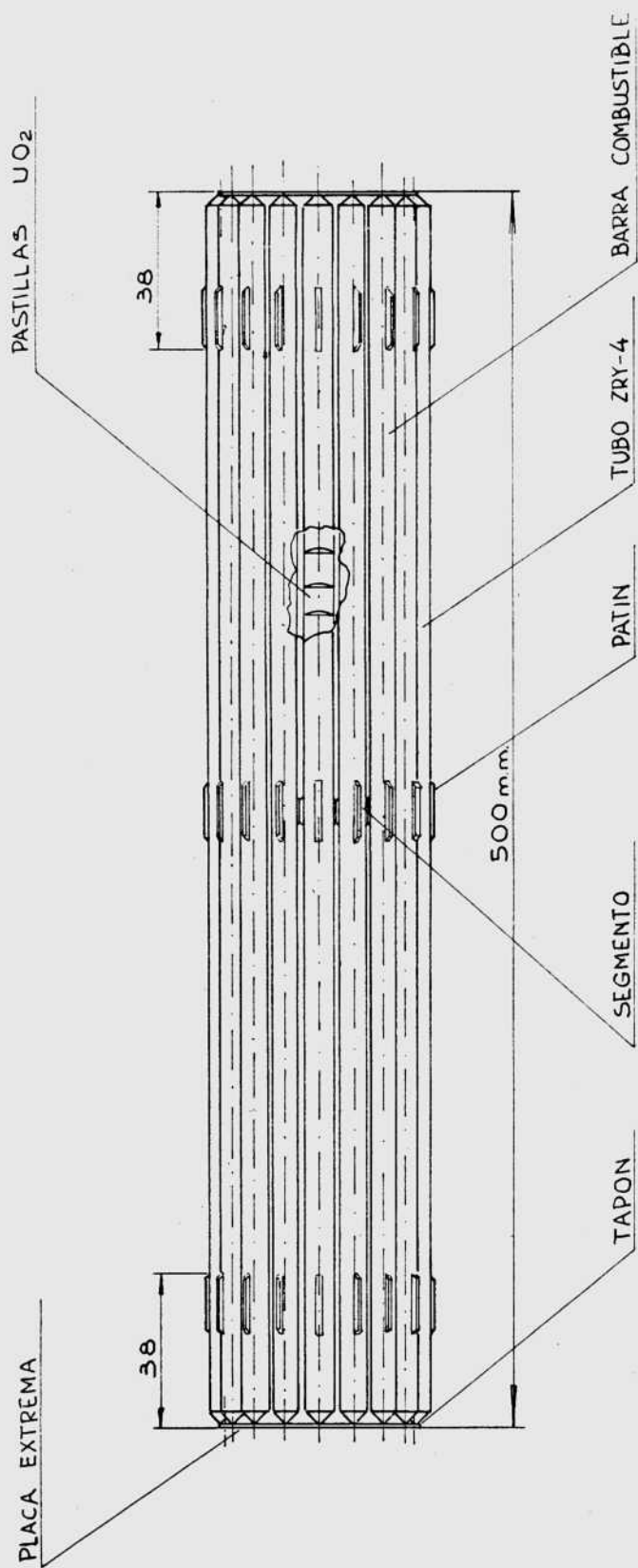


FIG. 2

ELEMENTO COMBUSTIBLE CANDU

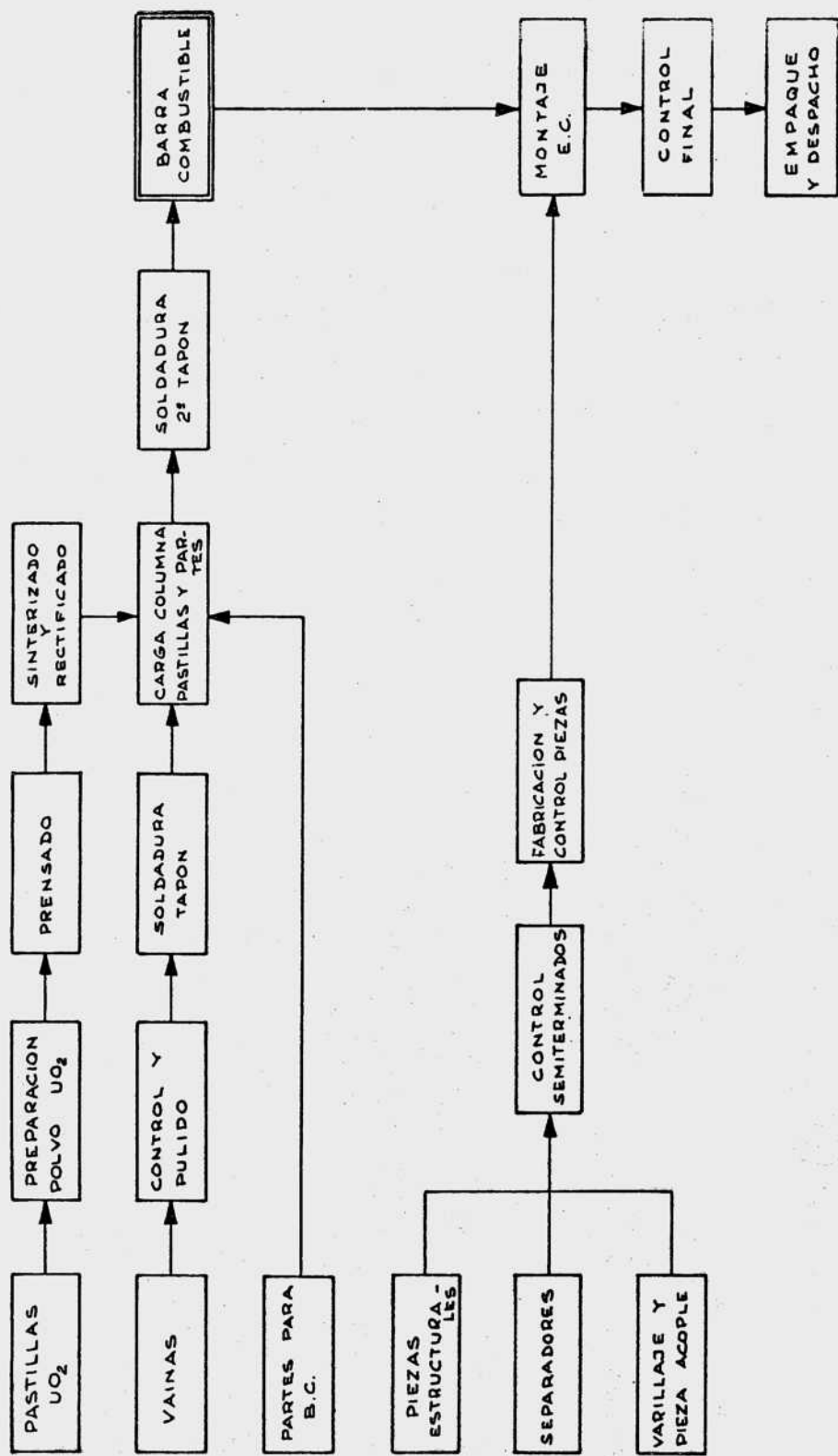


Fig. 3
 DIAGRAMA DE FABRICACION DEL
 ELEMENTO COMBUSTIBLE C.N.A.