

REVISTA ENERGETICA

AÑO 8
4/84

Julio - Agosto/84
July - August/84



Organización Latinoamericana de Energía
Latin American Energy Organization

FACTIBILIDAD DEL SUMINISTRO DE COMBUSTIBLES NUCLEARES PROVENIENTES DE NUCLEBRAS **olade** ON THE FEASIBILITY OF NUCLEAR FUEL SUPPLY BY NUCLEBRAS
olade LOS REACTORES DE PEQUEÑA Y MEDIANA POTENCIA EN EL ESTUDIO DE IMPLEMENTACION DE UN PROGRAMA NUCLEOELECTRICO PARA EL PERU **olade**
SMALL - AND MEDIUM - CAPACITY REACTORS AND THE NUCLEAR POWER PLANNING STUDY IN PERU **olade** ESTUDIO DE PLANIFICACION ELECTRICA EN EL SISTEMA INTERCONECTADO CENTRAL CHILENO, INCLUYENDO ALTERNATIVAS NUCLEOELECTRICAS **olade** STUDY ON ELECTRIC POWER PLANNING IN CHILE'S CENTRAL INTERCONNECTED SYSTEM, INCLUDING NUCLEAR POWER ALTERNATIVES **olade** ASPECTOS DE LA IMPLANTACION DE CENTRALES NUCLEARES DE PEQUEÑA Y MEDIANA POTENCIA EN AMERICA LATINA **olade** ASPECTS OF THE IMPLANTATION OF SMALL - AND MEDIUM - CAPACITY NUCLEAR POWER PLANTS IN LATIN AMERICA

FACTIBILIDAD DEL SUMINISTRO DE COMBUSTIBLES NUCLEARES PROVENIENTES DE NUCLEBRAS

R. G. Estevez
EMPRESAS NUCLEARES
BRASILEIRAS (NUCLEBRAS)

RESUMEN

El presente trabajo expone los motivos de la instrumentación en Brasil de un programa industrial que exige un ciclo de combustibles nucleares. Una de las prioridades del programa será una planta fabricadora de dichos combustibles.

Además, se explica el alcance programado para el suministro de servicios por NUCLEBRAS en esta área, así como los procedimientos y puntos destacados que vuelven relevantes a dichos servicios.

Se indica, también, el estado actual de la planta fabricadora, y se presentan los antecedentes y calificaciones que apoyan a NUCLEBRAS en su papel de proveedor de combustibles.

Finalmente, se proyecta la disponibilidad de servicios.

I. INTRODUCCION

A pesar de haber sido fuertemente afectado por la crisis petrolera, Brasil se ha encontrado en una situación muy favorable en cuanto a la generación eléctrica. Hoy en día sólo el 3% de la energía eléctrica es generada a partir de fuentes petroleras, así que las decisiones sobre el desarrollo de fuentes alternativas de energía se toman en base a los precios actuales y disponibilidad del petróleo.

Aunque Brasil ha aprovechado solamente 38.900 MW de su potencial hidroeléctrico de 213.000 MW, se

espera que éste habrá sido completamente explorado para la primera década del siglo XXI.

Por otra parte, ya que el 50% del potencial hídrico global está ubicado a más de 1.000 kms. de los centros de consumo, existe la posibilidad de que se habrá utilizado todo el potencial hidroeléctrico antes de finalizar este siglo.

En base a esta posibilidad, y considerando que la adquisición de una nueva tecnología y la preparación de antecedentes industriales para una fuente alterna necesita de un largo período de gestación, Brasil ha decidido iniciar gradualmente un programa alternativo, de tal manera que no se produzca ninguna discontinuidad antes de que el potencial hidroeléctrico haya sido completamente aprovechado.

Con base en las justificaciones anteriormente señaladas, y en el hecho de que las reservas brasileñas de uranio al momento conocidas y medidas tienen un mayor contenido energético que las de carbón mineral y petróleo, la energía nuclear ha sido seleccionada como la fuente alterna indicada para la generación eléctrica.

Para satisfacer la demanda energética a comienzos del siglo XXI, cuando se espera tener una enorme demanda de electricidad, un programa nuclear tendría que ser emprendido con 20 a 30 años de antelación. Con miras a esta meta, Brasil se ha embarcado en un programa nuclear que prevé una transferencia completa de la tecnología del ciclo de combustibles, y la instrumentación de una infraestructura industrial para aten-

der las necesidades previstas, en términos de la calidad y cantidad de centrales eléctricas.

Una de las prioridades relativas al ciclo de combustibles, es la planta fabricadora de combustibles (PFC). La estrategia para instrumentar la PFC es la de construir una instalación con una capacidad de 400 toneladas de uranio por año, a edificarse paulatinamente en módulos de 100 toneladas anuales, según los requerimientos.

Por ahora, NUCLEBRAS ha comisionado el primer módulo de la PFC y ha fabricado la primera recarga para la planta nuclear ANGRA I, con un total de 40 conjuntos completos de combustibles para el tipo de reactor Westinghouse.

Ya que al iniciarse la operación de la PFC la demanda interna de combustibles en Brasil será relativamente reducida, NUCLEBRAS realmente está en condiciones de ofrecer servicios de fabricación a los mercados externos a precios competitivos en términos internacionales.

2. ALCANCES DEL SUMINISTRO

NUCLEBRAS estará preparada para brindar servicios de fabricación de combustibles a partir del UF_6 enriquecido y combustibles no reciclados. Las actividades de fabricación de combustibles comprenderán el diseño de éstos, la reconversión del UF_6 a UO_2 , peletización, suministro de todos los componentes mecánicos del paquete de combustibles, ensamblaje final de los componentes en el paquete final y entrega de los elementos de combustible terminados al sitio del reactor.

En vista de que las instalaciones de conversión y enriquecimiento de NUCLEBRAS no entrarán en operación por algún tiempo, NUCLEBRAS estará preparada para gestionar dichos servicios hasta el momento en que se hagan operacionales.

En cuanto al diseño de combustibles, hay que tener conciencia de las interrelaciones con otros contratos de servicios públicos, así como por ejemplo los requisitos de torta amarilla (yellow cake) y servicios de conversión y enriquecimiento. Por ende, si estos servicios son solicitados a NUCLEBRAS, se tiene que prever un tiempo suficiente de antelación en dicha empresa para que el cumplimiento de todos los servicios pueda ser adecuadamente planificado.

Además del diseño y fabricación de combustibles, NUCLEBRAS también estará capacitada para dar seguimiento nuclear como parte del alcance de sus servicios. Esto implica que NUCLEBRAS preparará instrucciones para la empresa sobre cómo desplazar, reactivar y recuperarse de las condiciones anormales de operación. Por lo tanto, entre NUCLEBRAS y la empresa se llegará a un acuerdo respecto a la operación de la planta, la administración del combustible y un sinnúmero de otros factores; de otra manera, la empresa tendría que operar independientemente.

En cuanto a calidad asegurada, el combustible suministrado por NUCLEBRAS cumplirá con los requerimientos de los trece criterios planteados en el "Código de Prácticas para la Calidad Asegurada en las Plantas Nucleoeléctricas", emitido por la OIEA. Para garantizar la empresa el cumplimiento de aquellos criterios, será permitida la fiscalización por NUCLEBRAS.

En resumen, NUCLEBRAS estará preparada para prestar los siguientes servicios relacionados con la fabricación de combustibles:

- diseño de combustibles
- gestión de servicios de conversión
- gestión de servicios de enriquecimiento
- aceptación de UF_6 enriquecido a niveles apropiados de enriquecimiento
- gestión y aceptación de revestimiento de barras
- fabricación o adquisición de otros componentes como son las barras y equipos
- conversión de UF_6 a UO_2
- peletización
- fabricación de barras
- fabricación de componentes
- entrega de los elementos de combustible terminados al sitio del reactor.

2.1 Garantías

NUCLEBRAS podrá proporcionar a la empresa garantías mecánicas o de reactividad, o hacer cualquier arreglo combinado entre las dos categorías de garantía. Las primeras son garantías contra quemadura total o el costo del combustible, y las segundas son las bien conocidas garantías contra integridad mecánica del combustible.

3. FABRICACION DE CONJUNTOS DE COMBUSTIBLES POR NUCLEBRAS

La actividad de NUCLEBRAS de suministrar combustibles se realizará en su Fábrica de Elementos Combustibles, la cual está ubicada en Resende, en el Estado de Río de Janeiro, a 156 kms. de la ciudad de Río de Janeiro. En este sitio NUCLEBRAS también está construyendo instalaciones de enriquecimiento y conversión.

El proceso de fabricación comienza con la conversión del uranio entregado (exafluoruro de uranio, UF_6) a un polvo sinterizable de UO_2 e incluye la producción de UO_2 , pellets, barras de combustible, rejillas de espaciamiento, tubos guía, extremos y otros componentes estructurales, así como también el montaje de los elementos de combustible.



Tal como se mencionó anteriormente, se prevé para la planta de fabricación de combustibles una capacidad futura de 400 toneladas de uranio por año y se está construyendo en módulos de 100 toneladas anuales. El primer módulo, ya terminado, tiene una capacidad anual que puede atender tanto un primer inventario de núcleo o tres recargas, ambas para una planta nucleoelectrónica de 1.300 MWe.

PUNTOS SOBRESALIENTES DEL PROCEDIMIENTO DE FABRICACION DE NUCLEBRAS

Reconversión UF_6/UF_4

NUCLEBRAS podrá procesar uranio en la forma de hexafluoruro o en la forma de nitrato de uranilo.

Normalmente el UF_6 se entrega en tambores de acero con un diámetro de 30" y una capacidad de hasta 1,5 toneladas cada uno. En el sitio de la planta, el UF_6 es pesado y su composición es determinada cuidadosamente por medio de la espectrometría de masa.

En el caso del nitrato de uranilo en las plantas reprocesadoras, los pasos del proceso de conversión al polvo UO_2 son realizados en los mismos equipos que para el UF_6 . Después de la conversión, no se tiene que efectuar ningún cambio especial en el proceso si el nitrato de uranilo necesario puede ser utilizado para obtener niveles intermedios de enriquecimiento.

El proceso de reconversión (UF_6 a UO_2) a emplearse en la PFC es el tal llamado CUA (carbonato uranilo amoníaco), proceso desarrollado por NUKEM y RBG, el cual da un polvo de UO_2 de flujo libre que se puede prensar directamente sin ningún tratamiento previo adicional como es molienda, precompactación, granulación o adición de aglomerantes o lubricantes.

La hidrólisis del UF_6 y su precipitación como CUA se realizan por etapas de aproximadamente 250 kg U cada una.

Si en lugar del UF_6 se utiliza el nitrato de uranilo de las plantas reprocesadoras como materia prima, se obtiene un CUA de la misma calidad del obtenido a partir del UF_6 . Este proceso de reconversión también se utiliza en el reciclaje de chatarra de uranio proveniente del polvo producido en la peletización, la cual se disuelve en su forma de nitrato.

El proceso global de reconversión también incluye unidades de filtración, hornos de lecho fluidizado y unidades homogenizadoras; todos estos se pueden apreciar en forma esquemática en la Figura N° 1.

Peletización

De los homogenizadores, el polvo de UO_2 es transferido neumáticamente hasta una unidad de almacenamiento encima de las prensas mecánicas. Luego, a través de un dispositivo especial de dosificación, el pol-

vo alimenta las cavidades del cojinete de roscar, donde se convierte en pellets.

Ya que los pellets son prensados sin agregar ningún aglomerante o lubricante al polvo pueden ser sinterizados directamente sin un tratamiento intermedio de desparafinado a calor, lo cual es un paso requerido en la mayor parte de los procesos diferentes al CUA.

Como es usual, la sinterización se realiza en un horno de sinterización, bajo un ambiente hidrógeno, para obtener pellets cuya densidad varía entre 9,5 y 10,7 g/cm³.

Desde el horno los pellets son llevados a los molinos sin centro donde son amoldados a diámetros específicos.

La superficie de los pellets es controlada 100% por el operador del molino, quien rechaza todos los que tengan rotas o fisuradas.

El control de dimensiones y densidades y el análisis de las impurezas químicas en los pellets son llevados a cabo por el personal de control de calidad, sobre una base de estadísticas.

Fabricación de barras de combustible

El esquema de la fabricación de barras de combustible está presentado en la Figura N° 2. Además de la inspección completa por parte del fabricante respectivo, los tubos de revestimiento también están sujetos a otra cuidadosa revisión de aceptación en la planta de fabricación de combustibles. Esta revisión se realiza en una unidad ultrasónica de operación continua, en la cual se controlan simultáneamente, defectos, espesor de paredes y diámetro externo.

Los tapones de los extremos son fabricados en tornos automáticos para prevenir cualquier fuga de gas, en el futuro, que provenga de las barras de combustible (por medio de agujeros de contracción en los tapones de los extremos). La superficie plana de cada tapón se funde a través del proceso de soldadura TIG.

Después de una cuidadosa limpieza de los tubos de revestimiento y los tapones de los extremos, el primer tapón es unido al tubo por la soldadura TIG. El próximo paso en la operación es la inserción del pellet en el tubo de revestimiento (con un extremo ya tapado). Primero los pellets son pesados y colocados por partes en forma de columna, en los agujeros de un recipiente de tipo tambor rotativo y luego son secados en un horno. Después de un tiempo, el recipiente cilíndrico es transferido a la segunda máquina de carga y soldadura, donde se inserta el extremo abierto del tubo de revestimiento. Los pellets son cargados en el tubo y se realiza la soldadura en un ambiente controlado (argón), impidiendo así la presencia de humedad.

Los parámetros de la soldadura son controlados automáticamente a través de un sistema de tarjetas

perforadas, asegurando de esta manera una soldadura de alta calidad e independiente de las calificaciones del operador. Posteriormente, las soldaduras son controladas por rayos X en dos direcciones a un ángulo de 90°.

Para los reactores de agua presurizada, las barras de combustibles son presurizadas con helio. Para estos fines, el segundo tapón tiene un pequeño agujero central a través del cual se inyecta el helio. Este agujero es cerrado con una tapa plástica inmediatamente después de extraerse la barra de combustible de la segunda máquina de carga y soldadura. La barra de combustible es entonces llevada a otra máquina donde primero se llena de helio, hasta llegar a la presión de diseño. Entonces, el hueco central del tapón es sellado por la soldadura TIG.

Cada barra es revisada para detectar fugas de helio en una cámara al vacío, a través de un detector de fugas de helio (espectrómetro de masa).

Como paso final en la fabricación de barras estas son pulidas electromecánicamente para evitar corrosión en la superficie.

Ensamblaje de los elementos de combustible

La Figura N° 3 indica el esquema del montaje de los elementos de combustible.

La primera operación mayor en esta sección es el montaje del llamado esqueleto de elementos de combustible, el cual consiste de tubos de guía (normalmente 20), rejillas de espaciamento (normalmente 9) y las piezas de los extremos superior e inferior.

En un banco de taller se ajustan las rejillas de espaciamento y se las fijan en distancias precisamente definidas a través de marcos ajustadores. Además, se posiciona el extremo inferior y se le acopla al banco. Los tubos de guía de las barras de control entonces son insertados en las celdas definidas de cada espaciador y son soldadas temporalmente a las mangas de los espaciadores. El extremo inferior es acoplado a los tubos de guía por medio de las partes enroscadas de los tapones que lo atraviesan. Se utilizan tuercas para fijarlo de tal manera que el conjunto de combustibles pueda ser reparado, como en el caso de los reactores brasileños.

Para prevenir el fisurado de la superficie del revestimiento durante la inserción, con anterioridad las barras electropulidas son metidas ligeramente en un barniz orgánico y luego secadas al aire. Las barras barnizadas entonces son colocadas en las celdas correspondientes del espaciador. Para prevenir la distorsión del esqueleto, la inserción se tiene que realizar de acuerdo con una secuencia especial.

Después de haber conectado el extremo superior al esqueleto, todo el conjunto de combustibles es intro-

ducido en un líquido disolvente orgánico para quitarle el barniz.

Posteriormente, después del ajuste final, el elemento de combustible se monta verticalmente en una columna donde a través de un dispositivo especial se miden todas las dimensiones (rectitud, torsión y espacios entre las barras de combustible). Todos estos datos, así como los provenientes de las etapas de fabricación y ensamblaje, son registrados en un cuadro de control para cada uno de los conjuntos de combustible.

Finalmente, los elementos de combustibles controlados son envueltos en fundas de plástico las cuales son selladas por medio de la soldadura y almacenadas hasta su envío.

Calidad asegurada

La detección de desviaciones en los niveles de calidad o parámetros de fabricación prescritos, incluyendo documentos extraviados, se reporta inmediatamente al responsable del departamento de calidad asegurada.

Se vuelve a trabajar los materiales no conformes de acuerdo con reglas estrictas. Los componentes no conformes sólo pueden salir después de ser aprobados por los departamentos de ingeniería y diseño y de tecnología y, según el caso, después de consultarle al cliente. Además, la aprobación de su entrega por el personal responsable de NUCLEBRAS sólo puede ser concedida cuando la confiabilidad y seguridad de los montajes no hayan sido afectadas por esta acción.

El informe sobre las pruebas y revisiones, y cualquier otro documento relacionado con garantías de calidad tienen que ser preparados para todo proyecto. Mientras los montajes llegan a la etapa final de fabricación, todos estos documentos son reunidos y examinados. Entonces son colocados en archivos especiales y fácilmente recuperables. Generalmente, la documentación es retenida por lo menos hasta la quema planificada de los conjuntos o hasta la eliminación de los componentes nucleares.

La Figura N° 4 muestra los pasos de control más importantes durante la fabricación de los elementos de combustible del tipo RAP, a realizarse en la planta de fabricación de combustibles en NUCLEBRAS.

4. CALIFICACIONES DE NUCLEBRAS

Para cumplir con los requisitos de ser proveedor de combustibles nucleares, NUCLEBRAS ha desarrollado un programa intensivo de capacitación para los ingenieros y técnicos que actualmente están encargados de las diversas tareas involucradas en la fabricación y diseño de elementos de combustibles.

El concepto básico de este programa de capacitación es la asignación de los pasantes para que "apren-

dan haciendo" a través de proyectos similares en desarrollo en la República Federal de Alemania. Es así como los supervisores, asistentes y jefes de sección de NUCLEBRAS han trabajado en puestos parecidos en la planta de fabricación de combustibles RBU en Hanau, Alemania, la cual es similar a la planta de NUCLEBRAS. Los excelentes resultados de esta capacitación están demostrados por el hecho de que una línea de producción de la RBU ha sido operada con éxito durante seis meses por un equipo brasileño.

Dentro del programa de capacitación, en el campo de la fabricación, fueron preparados 52 miembros claves del personal en las siguientes áreas: fabricación de barras de combustibles, ensamblaje de elementos de combustibles, fabricación de componentes, control de calidad, mantenimiento, soldadura, ingeniería industrial y seguridad. Además, se están preparando programas de capacitación para las secciones de conversión y peletización. Junto con las actividades de formación en el área de fabricación, grupos de ingenieros han estado trabajando en la KWU de Erlangen, Alemania, junto con diseñadores alemanes para que se califiquen en el desarrollo del diseño de combustibles. Hasta ahora, ocho ingenieros han trabajado con la KWU con responsabilidades en diversas tareas de diseño. Este tipo de capacitación toma un promedio de 20 meses luego de un cuidadoso entrenamiento en Brasil y eventualmente en el exterior. Todos los pasantes habían trabajado anteriormente en investigación y desarrollo y tenían por lo menos el título en maestría. Al momento, los ya capacitados han realizado satisfactoriamente el diseño de recarga de la Planta Nucleoeléctrica ANGRA I, la primera fabricada por NUCLEBRAS.

Antes de involucrarse en capacitación en los campos de diseño y fabricación de combustibles en Alemania, muchos de los miembros claves del personal de NUCLEBRAS habían trabajado en actividades relacionadas con la irradiación de barras de combustible.

En 1976, por ejemplo, veintiún barras fueron diseñadas y fabricadas en Brasil e irradiadas por una quema baja en el reactor R-2 de Studsvik, Suecia. Se verificaron varios parámetros de diseño tales como espaciamiento, porosidad de los pellets de UO_2 , estructura material y diferentes procesos de fabricación. Se debe enfatizar que el diseño y fabricación de aquellas barras fueron realizados por el personal de NUCLEBRAS. Los informes de los operadores del reactor R-2, incluyendo informes sobre irradiaciones de poste, indicaron que el rendimiento de las barras fue excelente a pesar de la aplicación de una mayor densidad de potencia lineal de aproximadamente 750 w/cm.

Posteriormente NUCLEBRAS, junto con la KWA y el centro de investigaciones de la KFA emprendió un programa de quema mediana y alta utilizando el reactor FRJ-2 (DIDO) de la KFA en Julich, Alemania. De manera parecida al programa anterior de irradiación en Studsvik, las barras de combustible fueron diseñadas y fabricadas en NUCLEBRAS. Nuevamente presentaron

un excelente comportamiento en esta oportunidad con densidades de potencia lineal de 670 w/cm para una quema de 3.200 MWd/ton. En la actualidad otro programa de irradiación ha sido puesto en marcha, destinado a una quema de 30.000 MWd/ton.

Los excelentes resultados de los programas brasileños de irradiación de combustible y la experiencia que se ha logrado en el diseño y fabricación de la primera recarga para la ANGRA I, en base a la asistencia técnica y transferencia de tecnología de Alemania y dentro del marco del acuerdo entre Brasil y ese país en el campo de las aplicaciones pacíficas de la energía nuclear, ciertamente proporcionará a NUCLEBRAS la capacidad requerida para ser un proveedor altamente calificado de combustibles nucleares.

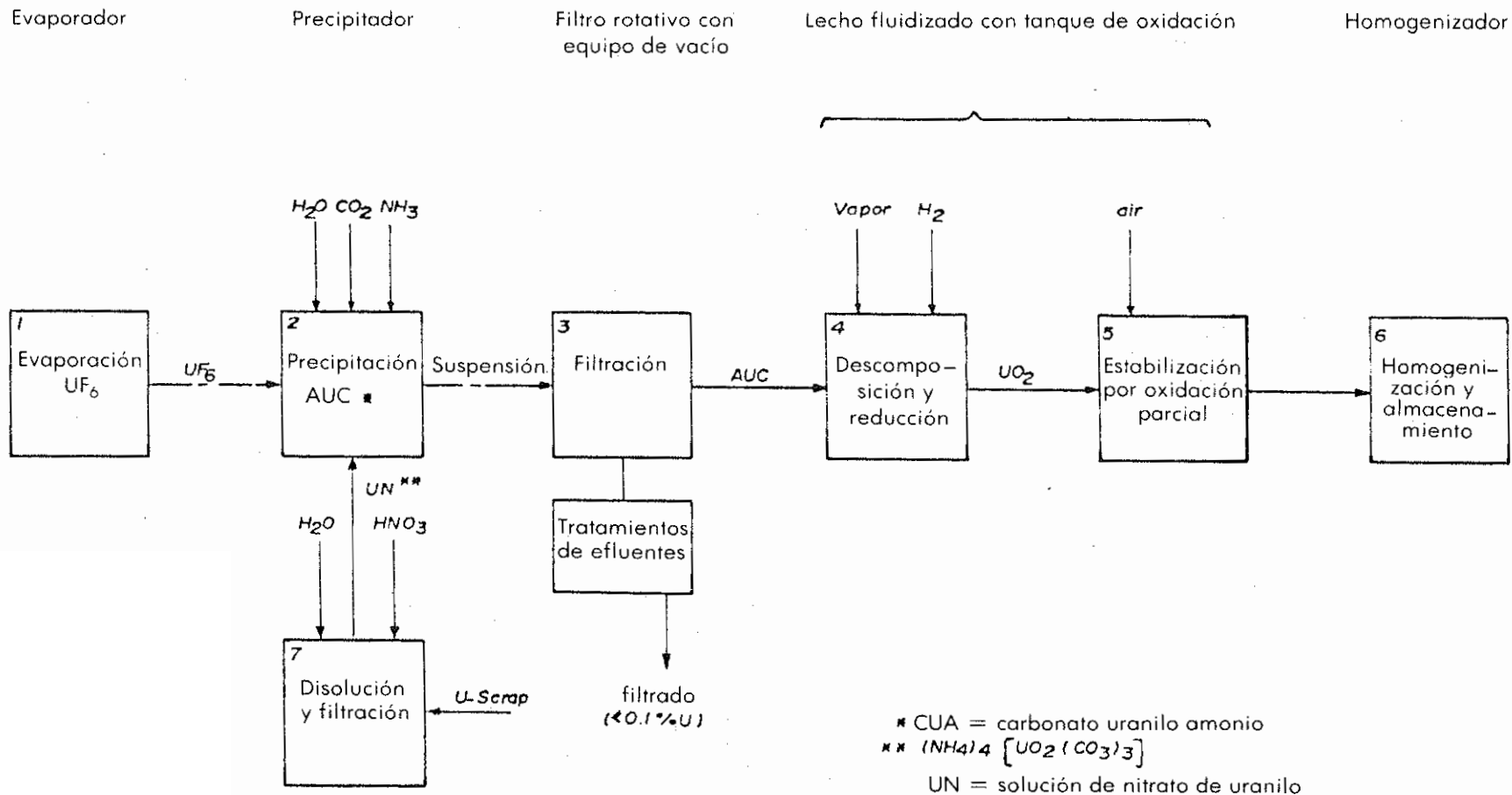
CONCLUSIONES

El programa nuclear de Brasil ha sido establecido con miras a lograr independizarse de las fuentes externas en relación a los requerimientos del ciclo de combustible. Al momento se está preparando la infraestructura industrial necesaria para completar el ciclo.

En vista de los exitosos programas de irradiación, las barras de combustible nacionales, la altamente positiva capacitación del personal de NUCLEBRAS en Alemania, y junto con la experiencia adquirida en la fabricación de una fase de recarga de combustibles para la ANGRA I, NUCLEBRAS tiene que ser incluida entre los proveedores calificados a nivel mundial. Además, en vista de la disponibilidad inicial de excedentes en la capacidad productiva de la planta de fabricación de combustibles, NUCLEBRAS estará preparada para ofrecer precios competitivos con los del mercado internacional.



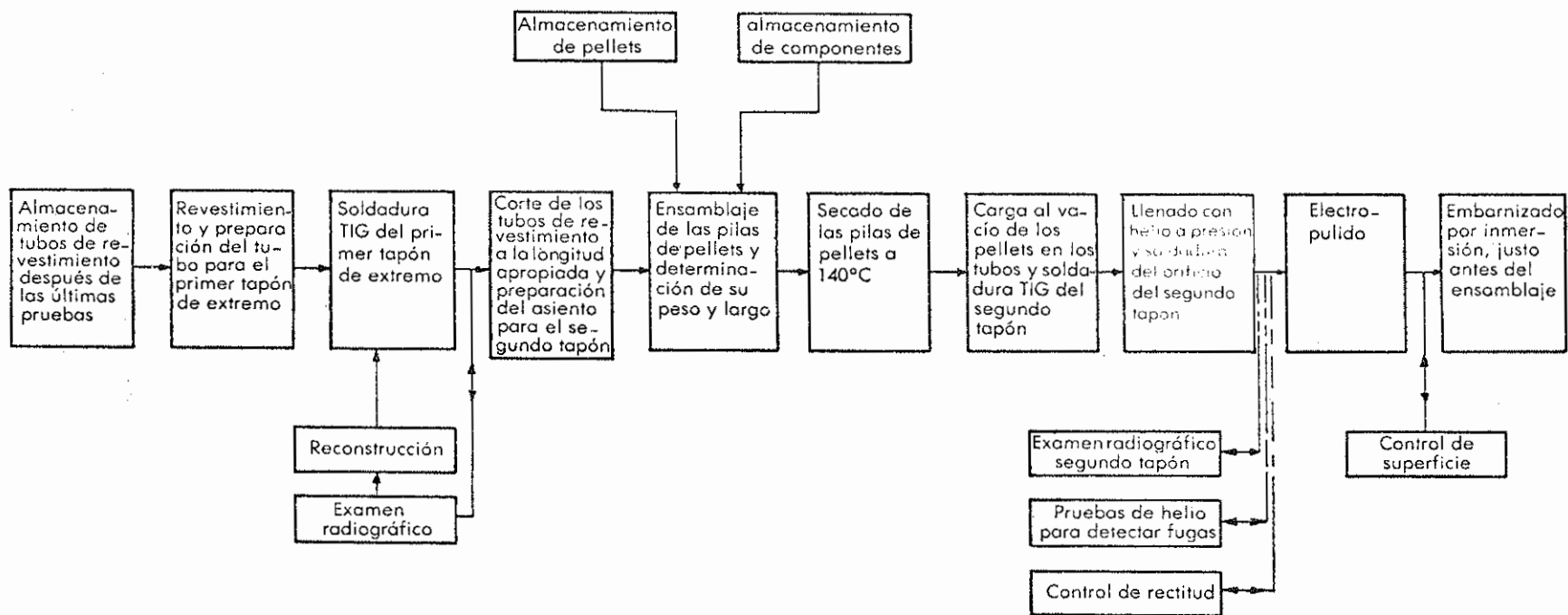
NUCLEBRAS
SUPERINTENDENCIA GENERAL DO ELEMENTO COMBUSTIVEL



ESQUEMA DEL PROCESO DE CONVERSION DE UF_6 A UO_2

FIGURA 1

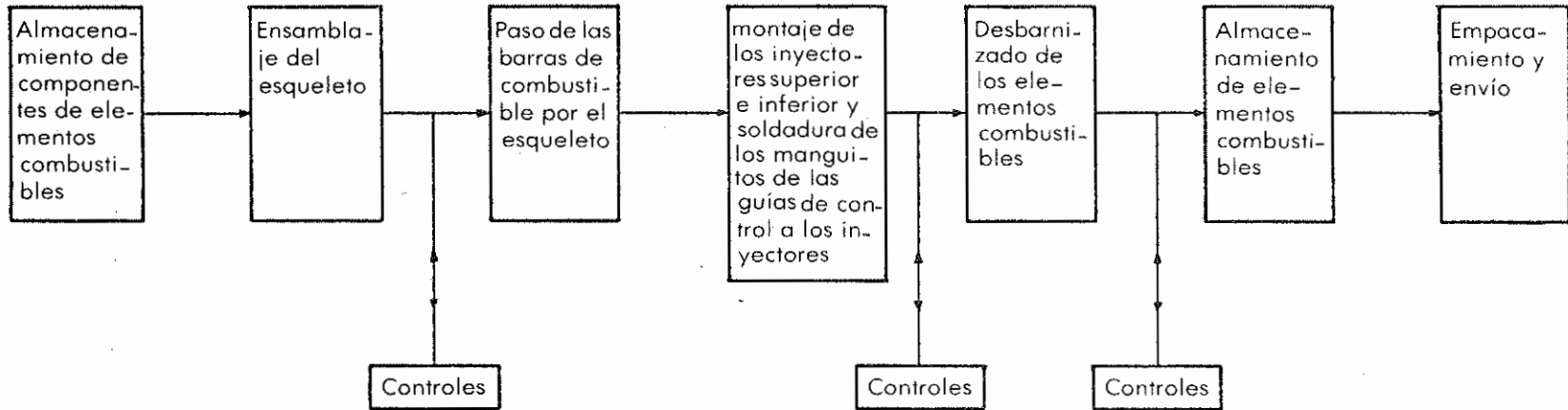
NUCLEBRAS
SUPERINTENDENCIA GERAL DO ELEMENTO COMBUSTIVEL



ESQUEMA DE LA FABRICACION DE BARRAS DE COMBUSTIBLE

FIGURA 2

NUCLEBRAS
SUPERINTENDENCIA GERAL DO ELEMENTO COMBUSTIVEL



ESQUEMA DEL ENSAMBLAJE DE LOS ELEMENTOS COMBUSTIBLES

FIGURA 3

ON THE FEASIBILITY OF NUCLEAR FUEL SUPPLY BY NUCLEBRAS

R. G. Esteves
BRAZILIAN NUCLEAR
POWER COMPANIES
(NUCLEBRAS)

ABSTRACT

The reasons for implementing an industrial program in Brazil encompassing the requirement of a nuclear fuel cycle are presented. One of the priorities in the program is the Fuel Fabrication Plant. The planned scope of supply of services by NUCLEBRAS in this area is explained. The highlights and procedures that will make NUCLEBRAS fuel supply services relevant are also presented. The actual status of the Fuel Fabrication Plant is shown as well as the qualified program and background supporting NUCLEBRAS as fuel supplier. Finally, a projection is made of the availability of these services.

1. INTRODUCTION

Despite being badly hurt by the oil crisis, Brazil has been in a very comfortable situation concerning electric power generation. Actually, only 3% of electric power is generated from oil sources, so the decisions on the development of alternative energy sources are taken based only on actual oil prices and availability.

Even though Brazil has utilized only 38,900 MW of its 213,000 MW hydro potential it is expected that this potential will be completely explored by the first decade of the 21ST century.

Furthermore 50% of the overall hydro potential is located beyond 1000 km from the consumer centers. Therefore, there exists a possibility that all the usable

hydro power potential will be used up before the end of this century.

Based on this possibility, and considering that the acquisition of a new technology and the preparation of the industrial background for an alternative source takes a long time, Brazil has decided to start the alternative program gradually in such a way that no discontinuity will take place by the time hydro power potential has been completely used up.

Based on the above mentioned justifications and on the fact that the presently known and measured Brazilian uranium reserves are larger in energy content than those of coal and oil, nuclear energy has been chosen as the alternative source for electric power generation.

In order to meet the energy demand in the beginning of the 21ST century, when a tremendous power demand would be expected, a nuclear program should start 20 to 30 years in advance. Aiming at this goal, Brazil has embarked in a nuclear program which foresees the complete transfer of fuel cycle technology and the implementation of an industrial background in order to supply the foreseen power plant needs in quality and quantity.

One of the priorities concerning the fuel cycle is the Fuel Fabrication Plant (FFP). The strategy of implementation of the FFP is to build a facility with a capacity of 400 tons of uranium per year, to be erected gradually in modules of 100 tons per year as required.



At the present time NUCLEBRAS has commissioned the first module of the FFP and has manufactured the first reload for ANGRA I Nuclear Power plant, in a total of 40 complete fuel assemblies of Westinghouse reactor type.

As in the beginning of operation of the FFP the Brazilian domestic demand of fuel will be relatively small, NUCLEBRAS is actually in a position to offer fabrication services to foreign markets at prices which could be competitive in international terms.

2. SCOPE OF SUPPLY

NUCLEBRAS will be prepared to perform fuel fabrication services starting from enriched UF_6 and non-recycled fuel. The fuel fabrication activities will involve fuel design, reconversion of UF_6 to UO_2 , preparation of pellets, supply of all mechanical parts of the fuel bundle, final assembly of parts onto the finished bundle, and delivery of the finished fuel elements to the reactor site.

In view of the fact that the conversion and enrichment facilities of NUCLEBRAS will not go into operation for some time, NUCLEBRAS will be prepared to perform procurement for those services until such a time that they will be operational.

Concerning fuel design, one should be aware of the interfaces with other utility contracts, such as yellow cake requirements, and conversion and enrichment services. Therefore if these services are ordered from NUCLEBRAS, sufficient time in advance must be allowed by the utility so that the rendering of all services can be planned adequately.

In addition to fuel design and manufacture, NUCLEBRAS will also be prepared to supply the "core follow" as part of the scope of services. This implies that NUCLEBRAS will prepare instructions to the utility on how to reshuffle, refuel, and recover from non standard operating conditions. Thus, an agreement regarding plant schedule, fuel management, and a host of other factors is to be reached between NUCLEBRAS and the utility; otherwise, the utility will have to do the job by itself.

Regarding quality assurance, the fuel supplied by NUCLEBRAS will meet the requirements of the thirteen criteria stated in the "Safety Code of Practice on Quality Assurance for Safety in Nuclear Power Plants" issued by the IAEA. In order to give assurance to the utility as to the fulfilment of those criteria, audits will be allowed by NUCLEBRAS.

In sum, NUCLEBRAS will be prepared to supply the following services regarding fuel fabrication:

- fuel design;
- procurement of conversion services;

- procurement of enrichment services;
- acceptance of enriched UF_6 at proper enrichment levels;
- procurement and acceptance of rod cladding;
- fabrication or procurement of other rod and element hardware items;
- conversion of UF_6 to UO_2 ;
- pellet fabrication;
- rod fabrication;
- element fabrication;
- delivery of the finished fuel elements to the reactor site.

2.1 Warranties

NUCLEBRAS will be able to provide the utility with either reactivity or mechanical warranties, as well as any combined arrangement between both warranty categories. The first ones are warranties on burn up or fuel cost and the second ones are the well-known fuel mechanical integrity warranties.

3. FABRICATION OF FUEL ASSEMBLIES BY NUCLEBRAS

The activity of fuel supplying by NUCLEBRAS will be performed at its "Fabrica de Elementos Combustiveis" which is located in Resende, State of Rio de Janeiro, 156 km from the city Rio de Janeiro. At this site NUCLEBRAS is also erecting its enrichment and conversion facilities.

The fabrication process starts with the conversion of the delivered uranium (uranium hexafluoride, UF_6) to sinterable UO_2 - powder and includes the production of UO_2 - pellets, fuel rods, spacer grids, guide tubes, end pieces, and other structural components, as well as the assembly of the fuel elements.

As mentioned above, the Fuel Fabrication Plant is predicted to have a future capacity of 400 t U a year, and is being erected in modules of 100 t U a year. The first module, already erected, has an annual capacity to supply either a first core inventory or three reloads, both for a 1300 MWe nuclear power plant.

NUCLEBRAS FABRICATION PROCEDURE HIGHLIGHTS

UF_6 - UO_2 - Reconversion

NUCLEBRAS will be able to process uranium in the form of uranium hexafluoride or in the form of uranyl nitrate.

Usually the UF_6 is delivered in 30" steel drums

with a capacity of up to 1.5 tons of uranium each. At the plant site, it is weighed and its isotopic composition carefully determined by mass spectrometry.

In case of uranium from reprocessing plants, in the form of uranyl nitrate, the process steps of conversion to UO_2 powder take place in the same equipment as that for UF_6 . After conversion, no special change in the process has to be made. If necessary uranyl nitrate can be used to obtain intermediate enrichment levels.

The reconversion process (UF_6 to UO_2) to be employed at the FFP is the so-called AUC (Ammonium-uranyl-carbonate) process developed by NUKEM and RBG which yields a free flowing UO_2 - powder which can be pressed directly without any previous additional treatment such as milling, precompacting, granulating and adding of binders or lubricants.

The hydrolysis of the UF_6 and its precipitation as AUC are performed batchwise with batch sizes of approximately 250 kg U.

If uranyl nitrate (from reprocessing plants) is used as the starting material instead of UF_6 , AUC of the same quality as from UF_6 is obtained. This reconversion process is also used for recycling the uranium scraps from powder or pellet production which are dissolved in nitrate form.

The overall reconversion process also includes filtration units, fluidized bed furnaces, and homogenizer units, all of them shown schematically in Fig. 1.

Pellet Fabrication

From the homogenizers the UO_2 -powder is transferred pneumatically into a storage unit on top of the mechanical presses. Then, via a special dosing device, it is fed into die cavities where it is pressed into pellets. Since the pellets are pressed without addition of any binder or lubricant to the powder, they can be sintered directly without any intermediate dewaxing heat treatment, a step required in most processes other than that of the AUC.

Sintering is performed as usual in a continuous sintering furnace under hydrogen atmosphere to obtain pellets with density in the range from 9.5 to 10.70 g/cm³.

From the furnace the pellets are taken to the center-less grinders where they are ground down to specified diameters.

The surface of the pellets is 100 percent visually controlled by the grinder operator, who rejects all pellets with chips or cracks.

Dimension and density control and the analysis of chemical impurities of the pellets are performed on a statistical basis by the Quality Control Personnel.

Fuel Rod Fabrication

The scheme of the fuel rod fabrication is given in Fig. 2. Besides the 100 percent complete inspection by the tube manufacturer, the cladding tubes are subject to another careful acceptance test at the Fuel Fabrication Plant. This test is performed on a continuously operated ultrasonic unit on which defects, wall thickness, and outer diameter are simultaneously controlled.

The end plugs are manufactured on automatic lathes and, in order to prevent future gas leakage from the fuel rods through shrink holes in the end plugs, the plane surface of every plug is molten by means of a TIG-Welding process.

After having the cladding tubes and the end plugs carefully cleaned, the first end plug is TIG Welded to one end of the tube. Inserting the pellet into cladding tube (with one end already plugged) is the next operation step. The pellets are first put in a column form, weighted, placed in sections in the holes of revolver-drum like container, and then dried in an oven. After a while the cylindrical container is transferred to the pellet loading and second welding machine where the open end of the cladding tube has been inserted. The pellets are loaded into the tube and welding is performed in a controlled environment (argon) thus precluding the presence of moisture.

The welding parameters are automatically controlled by a punched card system thereby ensuring high weld quality which is highly independent of the qualification of the operator. Subsequently the welds are controlled by X-ray in two directions 90° apart from each other.

Fuels rods for pressurized water reactors are pre-pressurized with helium. For this purpose the second end plug has a small central bore through which helium is injected. This bore is closed by a plastic cap immediately after extracting the fuel rod from the loading and second welding machine. The fuel rod is then taken to another machine where it is first filled with helium up to the design pressure. After that the end plug central bore is sealed by TIG-Welding.

Every rod is checked for helium leakage in a high vacuum chamber by means of a helium leak detector (mass spectrometer).

As a last step in the rod fabrication section, the rods are electrochemically polished in order to avoid surface corrosion.

Fuel Element Assembly

Fig. 3 shows the scheme of the fuel element assembly.

The first major operation in this section is to assemble the so-called fuel element skeleton which

consists of guide tubes (usually twenty), spacer grids (usually nine), and the upper and lower end pieces.

On a mounting bench the spacer grids are adjusted and fixed in exactly defined distances by means of fixing frames. Also, the lower end piece is positioned and fixed to the bench. The control rod guide tubes are then introduced into defined cells of every spacer and spot-welded to the sleeves of the spacers. The lower end piece is attached to the guide tubes by means of threaded parts of the guide tube end plugs which traverse it. Nuts are used to fix it in such a manner that the fuel assembly can be repaired as in the case of the Brazilian reactors.

In order to prevent scratching of the cladding surface during insertion, the electropolished fuel rods are previously dipped into organic varnish and subsequently dried in air. The varnished fuel rods are then drawn into their corresponding spacer cells. In order to prevent distortion of the skeleton the insertion operation is performed according to a special sequence.

After having the upper end piece connected to the skeleton the whole fuel assembly is introduced into an organic dissolving liquid in order to remove the varnish.

Then, after final adjustment, the fuel element is vertically mounted on a column where, through a special measuring device, all dimensions as well as straightness, torsion, and gaps between the fuel rods are measured. All the measured data as well as those taken during the fabrication and assembly steps are recorded in a control chart for every fuel assembly.

The controlled fuel elements are finally wrapped in plastic bags, which are sealed by welding, and then stored until they are shipped out.

Quality Assurance

The detection of deviations from prescribed quality levels or from prescribed manufacturing parameters during manufacture, including missing documents, is reported immediately to the responsible person in the quality assurance department.

Reworking of nonconforming materials is carried out according to strict rules. The release of nonconforming components can only be done after approval by the engineering and design and technology departments, and, as the case may be, only after the client is consulted. In addition, the approval of a release by the responsible personnel of NUCLEBRAS can only be given when safety and reliability of fuel assemblies are not impaired by this action.

Testing and examination reports, and any other related Quality Assurance documents, are prepared for every project. As the fuel assemblies reach the final manufacturing stage, all these documents are compiled

and checked again. They are then put in special and easily retrievable files. Generally, the documentation is retained at least until the planned burn-up of the fuel assemblies is reached or until core components are decommissioned.

Fig. 4 shows the most important control steps during the fabrication of fuel elements of PWR-type to be performed at NUCLEBRAS Fuel Fabrication Plant.

4. NUCLEBRAS QUALIFICATION

In order to comply with the requirements for a nuclear fuel supplier, NUCLEBRAS has developed an intensive training program for the engineers and technicians which are now in charge of the different tasks involving fabrication and design of fuel elements.

The basic concept of this training program is the on-the-job assignment of the trainee to similar projects being developed in the Federal Republic of Germany. Thus NUCLEBRAS foremen, assistants, and section leaders have held corresponding positions in the fuel fabrication plant of RBU, in Hanau, Germany, which is similar to the NUCLEBRAS plant. The excellent result of this training is demonstrated just by the fact that a production line at RBU has been successfully operated during six months by an all-Brazilian team.

Within the fabrication training program 52 key personnel were trained in the following areas: fuel rod fabrication, fuel element assembly, component fabrication, quality control, maintenance, welding, industrial engineering, and safety. Also training schedules are being prepared for the conversion and pelletization sections. Along with the training in fabrication, groups of engineers have been working at KWU Erlangen, Germany, together with German designers, in order to be qualified for fuel design development. Up to now eight engineers have worked at KWU, holding responsibilities in different fuel design tasks. That type of training takes an average period of 20 months for every one, after a careful previous training in Brazil and sometimes abroad. All the trainees were previously engaged in research and development and they hold at least an M.S. degree. At the moment, those already trained have performed satisfactorily the reload design for ANGRA I Nuclear Power Plant which has its first reload batch manufactured by NUCLEBRAS.

Before engaging in the fuel design and fabrication training in Germany, many of NUCLEBRAS's key personnel were involved with fuel rod irradiation activities.

In 1976, for instance, twenty-one fuel rods were designed and fabricated in Brazil, and irradiated to low burn-up in the R-2 Reactor in Studsvik, Sweden. Different design parameters such as gaps, UO₂ pellet porosity, material structure, and different fabrication processes were verified. It should be emphasized that the design and fabrication of those fuel rods



were performed by NUCLEBRAS personnel. Reports from the R-2 reactor operators, including the post irradiations, indicated that the performance of the fuel rods, without any failure, was excellent despite the high linear power density of approximately 750 w/cm applied.

Later NUCLEBRAS became engaged, together with KWU and KFA research center, in a medium and high burn-up program using the FRJ-2 (DIDO) reactor of KFA, Julich, Germany. Similarly to the former irradiation program in Studsvik, the fuel rods were designed and fabricated at NUCLEBRAS. Again, they presented an excellent behaviour, this time at linear power densities of 670 w/cm to a burn up of 3,200 MWd/t. At the moment another irradiation program, aiming at a burn up of 30,000 MWd/t, is underway.

The excellent results of our fuel irradiation programs and the experience that we achieved in the design and fabrication of the first reload of ANGRA I, based on the technical assistance and transfer of technology from Germany within the framework of the agreement between BRASIL AND GERMANY in the field of peaceful uses of nuclear energy, will certainly provide NUCLEBRAS with the capability required for a highly qualified nuclear fuel supplier.

CONCLUSIONS

The Brazilian nuclear program has been established aiming at achieving independence of external sources in all the fuel cycle requirements. At the moment we are preparing the necessary industrial background regarding the completeness of the fuel cycle.

In view of our successful programs of irradiation of Brazilian fuel rods and the highly successful training of NUCLEBRAS personnel in Germany facilities together with the experience gained in the fabrication of the first fuel reload batch for ANGRA I, NUCLEBRAS must be included among the world's qualified fuel suppliers. And in view of the initial extra availability of production capacity at the fuel fabrication plant, NUCLEBRAS will be prepared to offer prices comparable to those in the international market.

NUCLEBRAS
SUPERINTENDENCIA GERAL DO ELEMENTO COMBUSTIVEL

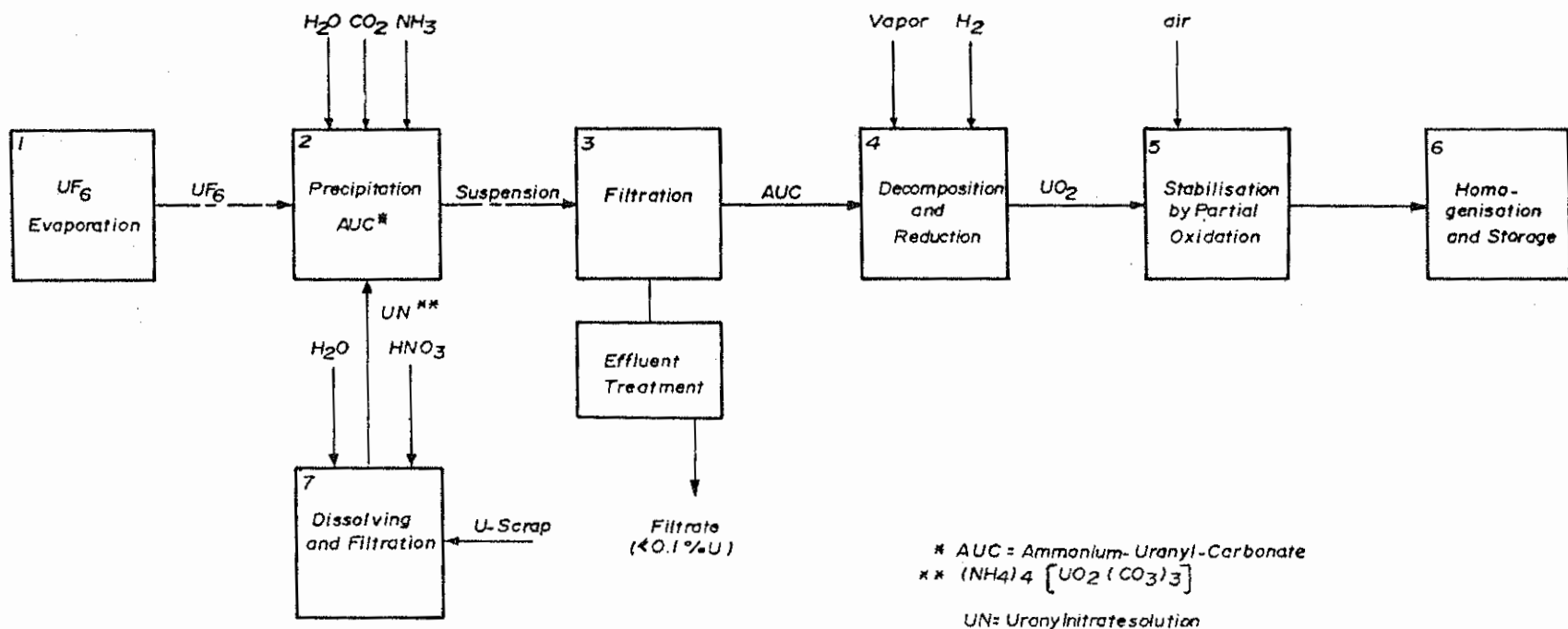
Evaporator

Precipitator

Rotary Filter with
Vacuum Equipment

Fluidized Bed with Oxidation Can

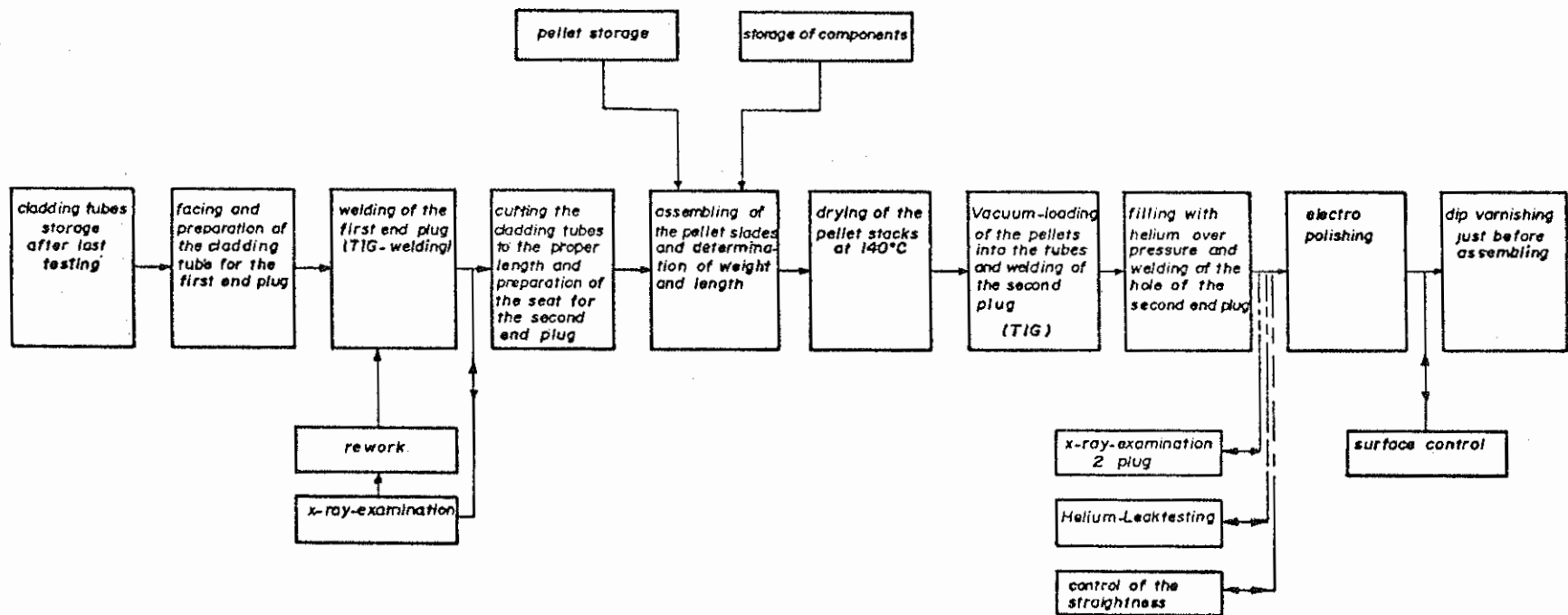
Homogenizer



SCHEME OF THE $UF_6 - UO_2$ CONVERSION - PROCESS

FIGURE 1

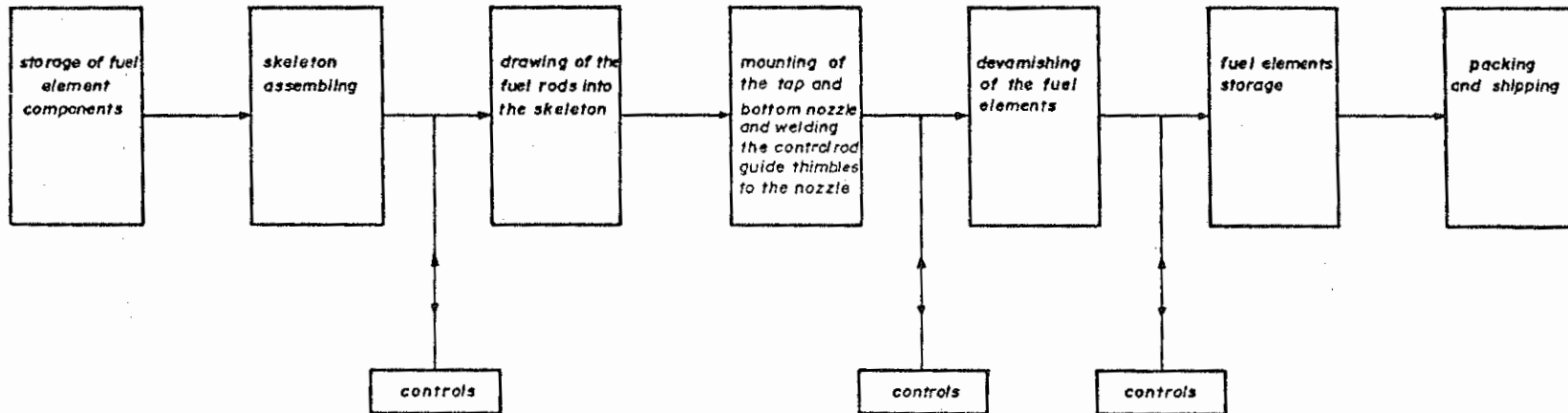
NUCLEBRAS
SUPERINTENDENCIA GERAL DO ELEMENTO COMBUSTIVEL



SCHEME OF THE FUEL ROD MANUFACTURING

FIGURE 2

NUCLEBRAS
SUPERINTENDENCIA GERAL DO ELEMENTO COMBUSTIVEL



SCHEME OF THE FUEL ELEMENT ASSEMBLING

FIGURE 3