

00.72.04
ej4

PROCEEDINGS SERIES

PEACEFUL USES
OF ATOMIC ENERGY

PROCEEDINGS OF THE
FOURTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON
THE PEACEFUL USES OF ATOMIC ENERGY
JOINTLY SPONSORED BY
THE UNITED NATIONS
AND
THE INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY
AND HELD IN GENEVA, 6 - 16 SEPTEMBER 1971

In fifteen volumes

VOLUME 8

Comisión Nacional de Energía Atómica
BIBLIOTECA

UNITED NATIONS, NEW YORK
INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, VIENNA
1972

ACTIVIDADES DE DESARROLLO PARA LA FABRICACION DE ELEMENTOS COMBUSTIBLES EN LA ARGENTINA

C. ARAOZ

Comisión Nacional de Energía Atómica,
Gerencia de Tecnología,
Buenos Aires, Argentina

Abstract—Résumé—Аннотация—Resumen

DEVELOPMENT WORK IN CONNECTION WITH FUEL-ELEMENT FABRICATION IN ARGENTINA.

The technological and financial aspects of the fabrication of fuel elements for power reactors are such that developing countries can engage in all stages of the fabrication process. The paper reports on what Argentina's National Atomic Energy Commission (CNEA) has been doing since 1967 with a view to embarking upon fuel-element fabrication. The development of the necessary techniques, the manufacture of prototypes and studies relating to fabrication on an industrial scale are described by the author, who gives an account not only of the current situation but also of what is expected in the near future. The country's integrated program includes plutonium-based fuels, although the CNEA is trying to keep the level of investment as low as possible.

PROGRAMME ORIENTE VERS LA FABRICATION D'ELEMENTS COMBUSTIBLES EN ARGENTINE.

La fabrication d'éléments combustibles pour réacteurs de puissance a des caractéristiques technologiques et financières qui permettent aux pays en voie de développement de s'en charger intégralement. Le mémoire décrit les travaux effectués à cette fin depuis 1967 au sein de la Comisión nacional de energía atómica (CNEA). Il expose les étapes actuelles et prochaines du développement de la technologie, de la fabrication de prototypes et des études en vue de la fabrication industrielle. Dans ce programme général on a fait également une place aux combustibles au plutonium en cherchant à maintenir les investissements à un niveau minimal par rapport aux réalisations correspondantes.

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ АРГЕНТИНЫ В ОБЛАСТИ ПРОИЗВОДСТВА ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.

Технологические и финансовые аспекты изготовления твэлов для энергетических реакторов дают возможность развивающимся странам изучить этот процесс в полном объеме. Дается описание деятельности Национальной комиссии по атомной энергии (CNEA) в этой области с 1967 года. В докладе сообщается о разработке необходимых технических методов, производстве прототипов и проведении исследований по изготовлению твэлов на промышленной основе. Автор рассматривает современное состояние работ в этой области и перспективы на будущее. Национальная программа предусматривает разработку топливных элементов на плутониевой основе при минимальных капиталовложениях.

ACTIVIDADES DE DESARROLLO PARA LA FABRICACION DE ELEMENTOS COMBUSTIBLES EN LA ARGENTINA.

La fabricación de elementos combustibles para reactores de potencia tiene características tecnológicas y de inversiones que hacen que pueda ser encarada en forma integral por países en desarrollo. Se describen los trabajos realizados en CNEA a partir de 1967 con esta finalidad. Las etapas de desarrollo de tecnología, fabricación de prototipos y los estudios para la fabricación industrial se muestran en su estado actual y futuro próximo. Se ha incluido asimismo dentro de este programa integral a los combustibles a base de plutonio, tratando de conservar el esquema de inversiones mínimas para los desarrollos correspondientes.

CONSIDERACIONES GENERALES

Es conveniente, antes de hablar del desarrollo de los combustibles nucleares en la Argentina, hacer una breve mención sobre las necesidades de los mismos y sus orígenes.

Las necesidades son planteadas algunas veces por las situaciones y otras por los hombres. En el mundo actual es bien claro que se puede disponer de energía nucleoelectrica sin necesidad de desarrollar total o parcialmente la tecnología correspondiente. Por lo tanto, si se carece de dicha tecnología, podría preferirse el planteo del problema nucleoelectrico al nivel eléctrico. La CNEA ha considerado, por el contrario, que el desarrollo tecnológico en áreas como la de combustibles dará a largo plazo mayores beneficios para el país [1] y por ello ha comenzado el programa correspondiente.

Este desafío tecnológico no se plantea por razones políticas o de prestigio, sino con el objeto de hallar la tecnología más conveniente para la Argentina, entendiéndose por ésta la que permite, entre otros, precios competitivos a nivel internacional y alta calidad. El desarrollo de los combustibles fue siempre realizado en este sentido y permitió que los combustibles para los reactores de investigación de CNEA se fabricaran en el país desde 1957 en adelante.

La compra en 1968 de la primera central nuclear significó, para conservar los objetivos anteriores, realizar un análisis cuidadoso de las posibilidades [2].

La Central Nuclear de ATUCHA (CNA)[3] es del tipo PWR, utiliza uranio natural y está moderada y refrigerada por agua pesada. Tiene 319 MW(e) y un consumo de 50 t U en elementos combustibles por año, o sea un poco más de un elemento por día. La fabricación de estos elementos combustibles en el país puede realizarse sobre bases diferentes, las que presentan diferentes necesidades de desarrollo tecnológico:

- a) Compra de una fábrica llave en mano. La fábrica se compra con garantías de calidad y cantidad de producción. En este caso el primer problema para un grupo tecnológico es «saber comprar» esta fábrica y luego inspeccionar y aconsejar durante la fabricación a fin de asegurar la calidad del producto. Realizar también tareas de «trouble shooting». Las técnicas de fabricación de combustibles para otros tipos de reactores y la infraestructura necesaria pueden desarrollarse con tiempo suficiente y con la experiencia adquirida durante las fabricaciones. Esta solución da una fábrica funcionando en el plazo más corto. Pero es un inconveniente que las posibilidades de CNEA se usen sólo parcialmente y no se aplique este primer desarrollo a la amortización de las inversiones que serán de cualquier manera necesarias para combustibles de otro tipo.
- b) Compra de un proyecto de planta y su construcción utilizando en ese proyecto la tecnología desarrollada por CNEA. Esto implica el desarrollo previo de las operaciones unitarias y su «know-how» a escala planta piloto y la realización de ensayos de pre-irradiación y de irradiación, destinados a asegurar la calidad del producto a fabricar.

CNEA es responsable de la calidad del combustible. Las inversiones realizadas para este primer «know-how» son aplicables a otros combustibles.

- c) Realización del proyecto total para la construcción de la fábrica. Implica además del punto anterior poseer un grupo de ingeniería especializada en diseño de planta, lo que escapa a las posibilidades y objetivos de un laboratorio para estudios y desarrollo de combustibles. En este caso también CNEA garantiza la calidad del combustible.

Los puntos a), b) y c) presentan etapas crecientes de conocimientos y capacidad técnica. Debe tenerse en cuenta que una central PHWR a uranio natural como la de ATUCHA, implica una facilidad extra en su sistema de recambio continuo: este sistema permite la introducción de prototipos o extraer el combustible que se encuentre defectuoso en cualquier momento.

ANTECEDENTES

Un resumen de las principales actividades de desarrollo llevadas a cabo hasta la fecha puede verse en la tabla I.

- Se comenzó en 1957, con las técnicas de fabricación por coextrusión de combustible tipo Argonaut [4] para el reactor experimental RA-1. El material fisionable era U_3O_8 enriquecido al 20% y disperso en Al.

- Se estudió la fundición múltiple de barras de uranio para combustible envainado en aluminio, donde la transferencia térmica se aseguraba por «ironing».

- Se desarrollaron luego los métodos para fabricación del combustible tipo MTR para la instalación crítica RA-2 y reactor experimental RA-3. Para este tipo de combustible, con núcleo de aleación Al-U enriquecido al 90%, se desarrolló un novedoso método de transformación directa de F_6U en dicha aleación [5].

- El aumento de potencia del reactor RA-1 fue causa del cambio de su núcleo Argonaut por uno con un combustible cilíndrico de mezcla 80% UO_2 - 20% C, enriquecido al 20%. Para este núcleo se utilizó el U_3O_8 del núcleo anterior, reduciéndolo a polvo de UO_2 extrudable con grafito y brea en barras de 7,6 mm de diámetro [6].

- Quemado el primer núcleo, el segundo se fabricó a partir de F_6U , desarrollándose también la transformación de este F_6U en UO_2 [6].

- Se desarrollaron posteriormente sistemas automáticos para soldadura TIG de tapones de zircaloy y Al [7], la sinterización de pastillas de UO_2 , el ensayo no destructivo de tubos de Al, etc.

- En el interín se estudiaron las propiedades del UO_2 [8, 9, 10, 11], su sinterización [12, 13], fenómenos de transporte [14], propiedades del aluminio utilizado como vaina en los combustibles anteriormente citados

TABLA I. DESARROLLO DE LA TECNOLOGIA DE LOS COMBUSTIBLES NUCLEARES (período 1957 - 1970)

Año	Tipo de elemento combustible	Reactor	Desarrollo de las técnicas de fabricación	Mat. combustible de partida	Enriquecimiento ²³⁵ U	Desarrollo de la técnica conversión a
1957	Placas Argonaut	RA-1	Coextrusión U ₃ O ₈ -Al, vaina Al	Polvo U ₃ O ₈	20%	
1960	Barras U met.		Fundición U, <<ironing>> vaina Al	U met.		
1964	Placas MTR	RA-2	Colaminación (picture frame)	F ₆ U	90%	Conversión directa a U-Al *
1964	Barras	RA-0 y RA-1	Extrusión núcleo UO ₂ -C, vaina Al, extremo inf. swaged, extremo sup. tapón sold. TIG sin cámara de soldar	Polvo U ₃ O ₈ F ₆ U	20% 20%	Polvo UO ₂ para extrusión Polvo UO ₂ para extrusión
1966	Placas MTR	RA-3	Colaminación (picture frame)			
1970	Barras especif. PHWR	MZFR y cápsula irradiada	Pellets UO ₂ , vainas zircaloy, tapones sold. TIG	UO ₂ grado cerámico F ₆ U	natural 4%	UO ₂ grado cerámico
1970	Barras	RA-3 blanket	Pellets UO ₂ , vainas Al, tapones sold. TIG	UO ₂ grado cerámico	natural	

[15], propiedades del uranio metálico [16, 17, 18, 19, 20], propiedades del Zr [21, 22, 23, 24], etc.

En 1966 los trabajos sobre elementos combustibles comenzaron a tener continuidad por el mayor consumo de los reactores RA-1 y RA-3, y se creó la rama correspondiente dentro de la Gerencia de Tecnología. En 1968 comienzan los trabajos para combustibles del tipo UO_2 -zircaloy [25, 26, 27, 28, 29, 30, 31] y en 1970 las experiencias para transformación de F_6U en UO_2 grado cerámico.

Es interesante puntualizar aquí las principales diferencias que se nos aparecieron al pasar de combustibles para reactores de investigación a combustibles de potencia:

- a) Los reactores de investigación de CNEA trabajan con combustible muy sobredimensionado. Su preparación presentaba solamente problemas de «know-how», y no había necesidad de ensayos pre o post-irradiación costosos. Las fabricaciones de la tabla I podían resolverse a nivel de laboratorio tanto para la preparación de material fisionable a partir de F_6U como para la fabricación del elemento combustible. El costo resultante al fabricarlo CNEA de este modo es inferior al precio en el mercado internacional. Por otra parte, las sumas involucradas son pequeñas y podría incluso aceptarse que el costo sea superior al internacional. No es este el caso en combustibles para centrales nucleares.
- b) En la literatura disponible no se han publicado numerosos datos necesarios para especificar los materiales o los elementos combustibles, o que indiquen los resultados de su comportamiento durante la generación de potencia.
- c) No se obtiene internacionalmente gran apoyo o consejo para la concepción de programas de trabajo que conduzcan a desarrollar una tecnología nacional. La mayoría de los desarrollos relacionados con centrales nucleares térmicas han pasado de laboratorios estatales a compañías privadas que venden dichas centrales y su combustible, y que por lo tanto venden también el conocimiento técnico respectivo. En la mayoría de los casos, los laboratorios estatales que aún trabajan en estos problemas han adoptado también la postura de las compañías.

PROGRAMAS DE TRABAJO

En función de las consideraciones generales y antecedentes mencionados anteriormente, se comenzó un programa destinado a lograr los conocimientos y tecnologías necesarios para la fabricación en el país de combustible para la CNA. Al mismo tiempo se comienza en forma progresiva a establecer la infraestructura necesaria para atender problemas provenientes de centrales de otro tipo, o de mejoramiento del combustible para ATUCHA.

Trataremos a continuación separadamente, además del plan de trabajo para la CNA, el entrenamiento de personal y la infraestructura necesarios, por ser en nuestro caso factores de importancia.

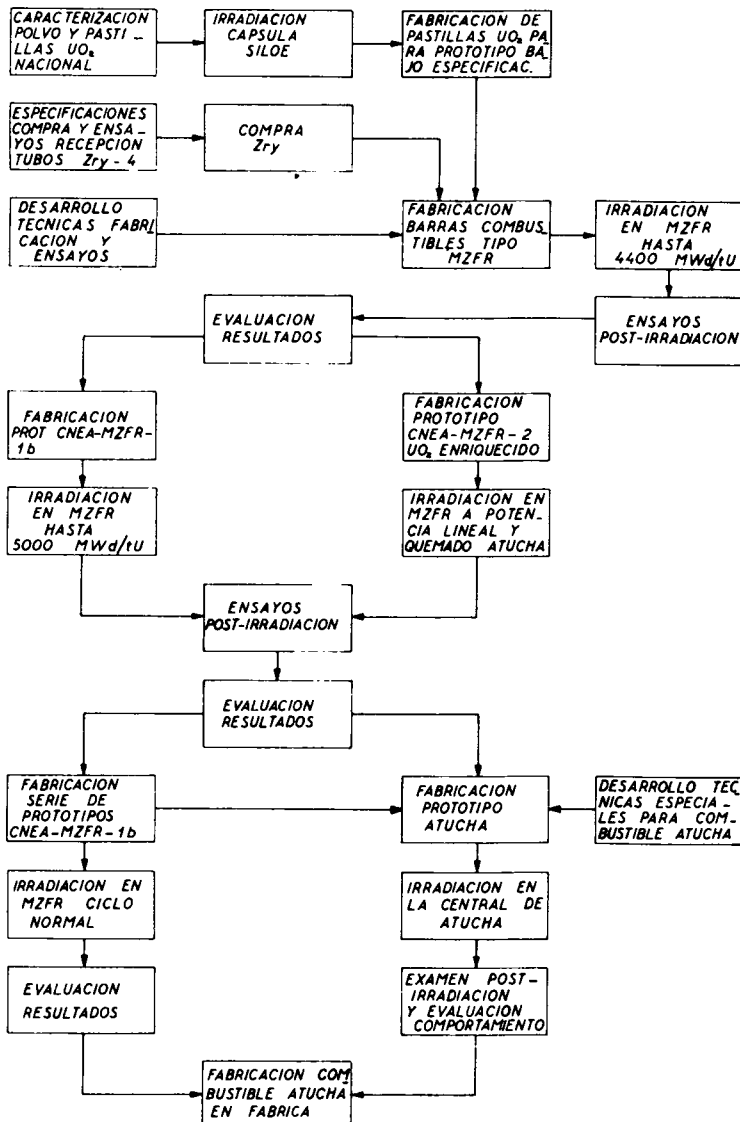


FIG. 1. Esquema general de los trabajos programados para encarar la fabricación de combustibles ATUCHA.

Entrenamiento

El personal profesional nuevo para el programa comienza su entrenamiento en el curso Panamericano de Metalurgia, de un año de duración y con especialización en su último período en temas relacionados con combustibles de potencia. Realizan además un trabajo de seminario de dos o tres meses de duración en algún tema de interés directo para el

programa. Algunos son enviados al exterior para completar la especialización en temas tales como las propiedades de vainas, ensayos hidrodinámicos, técnicas de irradiación, ensayos no destructivos, propiedades de óxidos fisionables, etc.

Una consideración especial por su gran importancia debe darse a las posibilidades de entrenamiento en los grupos de trabajo de la empresa proveedora de la central. De acuerdo a lo convenido oportunamente, hemos enviado ingenieros a Alemania para participar en los trabajos de cálculo y diseño del combustible para ATUCHA, preparación de los prototipos para ensayos, y ensayos de materiales para vainas y componentes estructurales.

Plan de trabajos

Las distintas etapas del programa pueden verse en la figura 1; dicho programa incluye actividades de desarrollo a escala laboratorio y a escala planta piloto.

Las actividades de desarrollo a escala laboratorio que se realizan actualmente están destinadas a: estudiar los materiales y sus especificaciones, seleccionar sus proveedores, verificar los criterios de diseño, fabricar las barras combustibles y prototipos correspondientes a los ensayos que se programen. Durante esta preparación de prototipos se seleccionan y estudian las distintas técnicas posibles de fabricación. Los conocimientos que se adquieren son necesarios para «saber comprar», desde el punto de vista técnico, una fábrica de elementos combustibles que utilice un «know-how» moderno cuya incorporación sea conveniente para los planes de CNEA.

Estas actividades a escala laboratorio deben distinguirse de los trabajos a escala planta piloto, los que están destinados además a aportar el «know-how» completo de fabricación, en el que se incluyen rendimiento y costo de las operaciones, selección de equipos y sus proveedores, diseño de equipos especiales, balance de materiales, problemas de seguridad en el manipuleo del uranio, etc.

En nuestro programa se ha contemplado la posibilidad, de ser conveniente, de pasar de actividades a escala laboratorio a actividades a escala planta piloto.

A título de ejemplo se dan a continuación algunos de los trabajos que componen este plan y que están ya realizados o en ejecución. Se han dividido en grupos de a) desarrollo de tecnología, b) materiales y c) evaluación de diseño.

a) Desarrollo de tecnología:

Pastillas de UO_2 :

- Prensado automático con matriz autolubricada.
- Calidad-velocidad del prensado.
- Sinterización continua.
- Medición continua del diámetro y defectos.
- Criterios de rechazo.
- Comparación de especificaciones para distintos reactores.

Barras combustibles:

- Diseño de tapones para soldadura TIG.
- Máquina automática para soldadura TIG, con y sin presión interna.

- Ensayos de corrosión anódica y por autoclave de soldaduras.
- Ensayo explosión, frío y caliente.
- Decapado y electropulido continuo.
- Soldadura por resistencia de tapones y segmentos deslizantes.
- Ensayo no destructivo multiparamétrico de tubos de zircaloy.
- Ensayo de soldaduras por rayos X.

Partes estructurales:

- Maquinado de grillas.
- Maquinado de separadores por electrobrosión.
- Brazing.

Ensamble:

- Bancos para montaje y para medición.
- Ensayos mecánicos del elemento ensamblado.

b) Materiales

Materiales combustibles:

- Polvo UO_2 , caracterización.
- Estudio comparativo de especificaciones de distintos proveedores.
- Pellets UO_2 , factores que afectan la conductividad térmica y la generación de gases.
- Estudio de especificaciones para reactores PHWR.

Vainas y materiales estructurales (zircaloy):

- Creep, explosión.
- Efecto de textura e impurezas (H_2 , O_2 , N_2 , etc.) en las propiedades.
- Corrosión bajo agua a presión. Tratamiento superficial.
- Estudio de especificaciones para reactores PHWR.

c) Evaluación de diseño.

- Estudio del diseño del elemento combustible primer núcleo. ATUCHA y evaluación del comportamiento del mismo.
- Predicción del comportamiento según un código de cálculo, experiencias.
- Especificaciones: criterios de aceptación o rechazo.

Instalaciones y servicios

Las instalaciones y el equipamiento e infraestructura necesarios para el programa se encuentran en vías de ser completadas y consisten principalmente en los laboratorios del Depto. de Combustibles Nucleares, con 1500 m² de edificio en total, según se muestra en las figuras 2, 3 y 4.

Se dispone además de servicios del grupo de ensayos no destructivos y de otros pertenecientes al Depto. de Metalurgia, los que cubren las siguientes áreas:

- Metalografía
- Rayos X
- Fundición
- Gases en metales
- Microsonda electrónica
- Ensayos mecánicos
- Taller de mecanizado
- Taller de vidrio

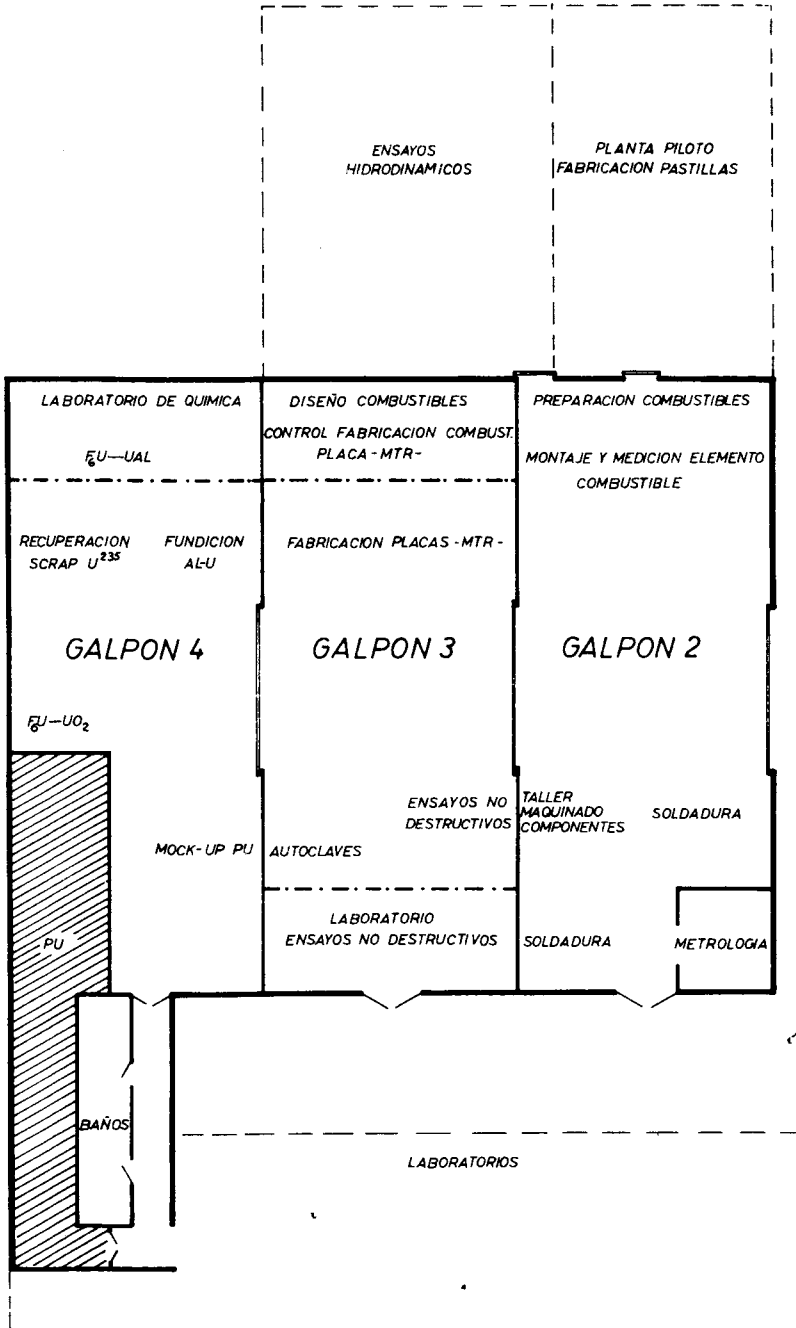


FIG. 2. Instalaciones de los laboratorios para desarrollo de combustibles. Las zonas punteadas marcan las ampliaciones futuras. Los combustibles que contienen Pu serán estudiados en la zona rayada.

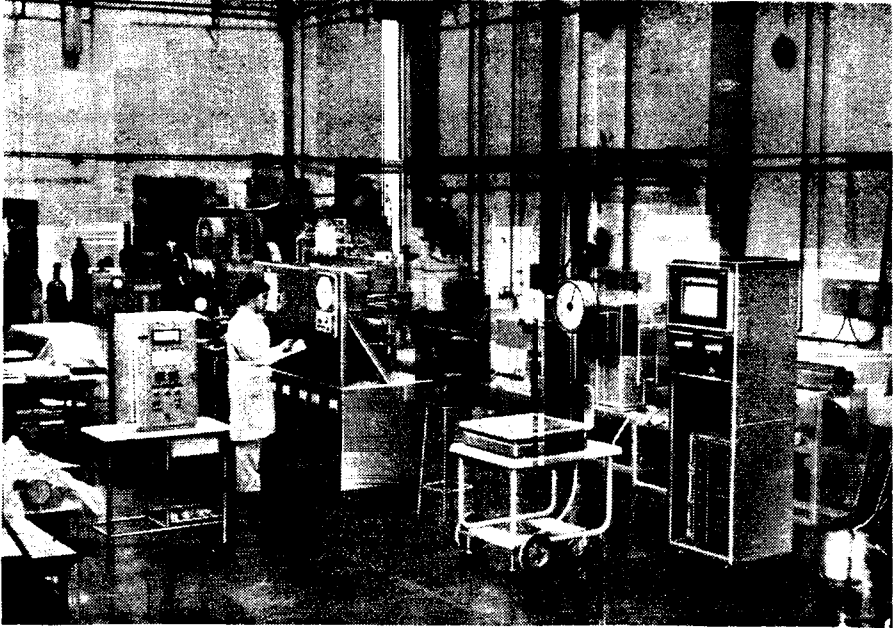


FIG. 3. Aspecto del interior del Galpón 2 en el área correspondiente a fabricación de barras combustibles (fabricación pellets combustibles cerámicos).

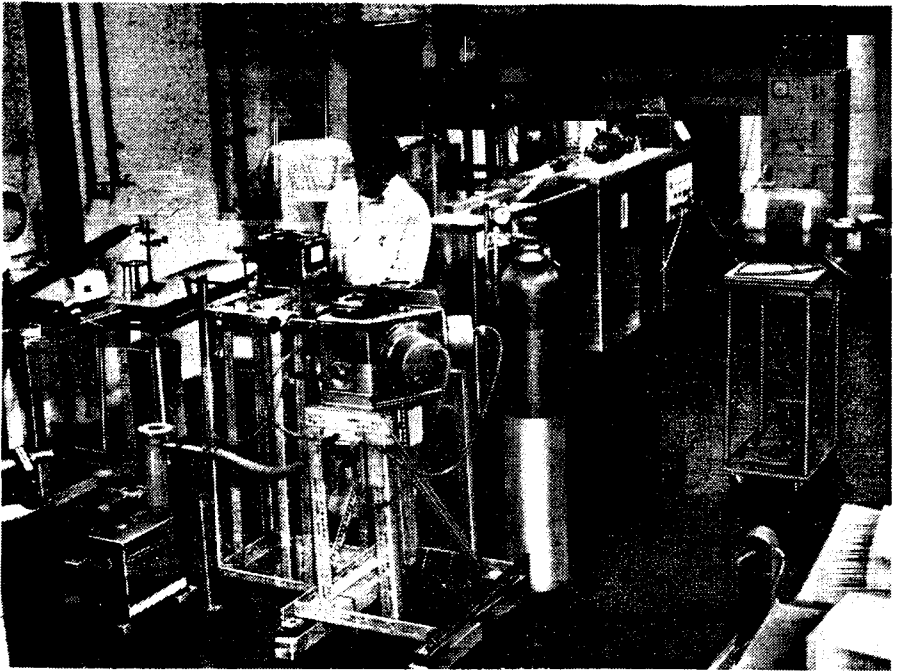


FIG. 4. Aspecto del interior del Galpón 2 en el área correspondiente a fabricación de barras combustibles (soldadura barras combustibles).

Sus grupos de investigación básica estudian además ciertos problemas específicos en corrosión, daño por irradiación, difusión, propiedades mecánicas, etc.

Dentro de los servicios, los ensayos de irradiación merecen especial consideración por su elevado costo. Para nuestro caso los hemos considerado de tres tipos:

- a) Irradiaciones experimentales: comprenden irradiaciones de pellets, cápsulas y materiales de zircaloy instrumentados o no. Serán realizadas en el reactor RA-3 de CNEA y en el exterior. La selección del lugar de la irradiación en el exterior se realiza en función de:
 - características del reactor y sus instalaciones de irradiación;
 - posibilidades de entrenamiento de personal en técnicas de irradiación;
 - costo.
- b) Irradiaciones de barras y sub-ensambles: realizadas en pequeños loops, con o sin presión de refrigerante. Debido a su alto costo se debe hacer el máximo esfuerzo para realizarlas en el país. Por ello, la selección del lugar, en caso de tener que irradiar en el exterior, se hará principalmente en función del costo.
- c) Irradiaciones de prototipos, escala 1 : 1 : realizadas en reactores, prototipos de potencia o en centrales nucleares. Estas irradiaciones pueden tener un precio tan elevado que resulte imposible hacer su contratación en el exterior por grupos de trabajo como el Departamento

TABLA II. IRRADIACIONES PARA COMBUSTIBLE TIPO ATUCHA, PRIMER NUCLEO

Año	Irradiaciones	Descripción	Lugar de irradiación
1971	Cápsula	Pellets enriq. 4% Vaina zircaloy-2	Francia, SILOE
	Prototipo CNEA-MZFR-1a	Barras tipo MZFR	Alemania, MZFR
1972	Prototipo CNEA-MZFR-1b	Elemento combust. completo tipo MZFR	Alemania, MZFR
	Prototipo CNEA-MZFR-2	id., enriquecido	Alemania, MZFR
1973	Serie de 10 prototipos CNEA-MZFR-1b	.	Alemania, MZFR
1974	Prototipo CNEA-3	Elemento combust. tipo ATUCHA	Argentina, ATUCHA

de Combustibles Nucleares de la CNEA. Deben arreglarse mediante acuerdos internacionales. Para el caso ATUCHA tenemos un programa de este tipo con el KFZ, Karlsruhe, donde ha finalizado la irradiación del primer prototipo en el reactor MZFR y están programadas otras. El Centro Nuclear de Karlsruhe ha atendido a nuestra petición de ensayos de irradiación y también todo lo referente a examen post-irradiación de los prototipos, dentro del Acuerdo de Cooperación Técnica Argentino-Alemana. Se considera de suma importancia este aspecto de la colaboración. Este punto, de extremo interés cuando se quiere desarrollar una tecnología propia, conviene tenerlo en cuenta durante las tratativas para la compra de una central nuclear.

TABLA III. FONDOS INVERTIDOS EN LAS ACTIVIDADES DE DESARROLLO PARA LA FABRICACION DE COMBUSTIBLE PARA ATUCHA (en U\$S)

	1969	1970	1971	1972	1973	1974
Edificios, amortizados a 20 años	7 000	7 000	12 000	12 000	12 000	12 000
Equipos, amortizados a 10 años	15 000	30 000	45 000	60 000	65 000	65 000
Gastos de operación, irradiaciones, ensayos, etc.	50 000	70 000	100 000	100 000	120 000	120 000
Personal profesional en trabajos del programa	7	13	16	17	18	18
Personal profesional en cursos de entrenamiento metalúrgico	3	2	2	1	-	-
Personal en entrenamiento en el exterior	3	5	2	2	1	
Personal técnico	7	9	13	15	20	20
Costo personal	60 000	83 000	107 000	111 000	123 000	123 000
Total anual	132 000	192 000	264 000	283 000	320 000	320 000

Total invertido en estas actividades: U\$S 1 511 000.

Los programas de irradiación deben ser cuidadosamente estudiados ya que su costo es elevado y se carga directamente al costo de los prototipos correspondientes. La tabla II muestra las irradiaciones destinadas a colocar en la CNA un prototipo hecho en el laboratorio siguiendo las especificaciones del primer núcleo y suministradas por la empresa según el contrato de compra de dicha central. En forma paralela se ha comenzado la formación de un grupo encargado de coordinar y ejecutar los ensayos post-irradiación. Dicho grupo participará con fines de entrenamiento en los ensayos en celdas calientes a realizarse en Alemania sobre los prototipos mencionados anteriormente, también dentro del Acuerdo de Cooperación Técnica Argentino-Alemán. Asimismo se ha comenzado con el equipamiento para realizar en el futuro estos trabajos en el país. Ciertos trabajos de observación post-irradiación podrán realizarse en la celda (no contaminable) del reactor RA-3. Se ha previsto la construcción de celdas chicas para 1974 y celdas para combustibles de potencia para 1976. Los costos de instalación de estas celdas no se cargan al costo de este programa, según tabla III.

Inversiones

Las inversiones, personal y costos del programa se resumen en la tabla III. La misma da una estimación de los costos necesarios para la preparación del primer prototipo de potencia para la CNA y, paralelamente, atender los problemas técnicos provenientes de su fabricación. No se han incluido los costos de los servicios de ensayos no destructivos y los del Depto. Metalurgia mencionados anteriormente.

Los gastos que se muestran en la tabla III corresponden en 1971 a un 50% del total invertido en combustibles. El 50% restante está dedicado a otros tipos de combustibles de reactores de potencia e investigación. No se incluyen tampoco combustibles a base de plutonio, sobre los cuales se hará una breve referencia a continuación.

COMBUSTIBLES A BASE DE PLUTONIO

Se ha comenzado la instalación de un pequeño laboratorio para preparar barras combustibles conteniendo PuO_2 o $\text{PuO}_2\text{-UO}_2$. Hemos considerado conveniente que el mismo se encuentre instalado dentro del conjunto de los laboratorios de desarrollo de combustible a fin de que se utilice en forma integral la capacidad en combustibles a base de uranio. Esta capacidad incluye no solamente el uso de técnicas o de ciertos equipos y suministros, sino también y principalmente la capacidad humana: los estudios y desarrollo de combustibles con Pu son llevados a cabo por los mismos grupos que trabajan en uranio. Un grupo separado contempla todo lo relacionado con la ingeniería, proyecto e instalación del laboratorio y los problemas de operación y desarrollo de técnicas especiales.

La ubicación de este laboratorio dentro de las instalaciones para combustibles se muestra en la figura 2 y un esquema del mismo en la figura 5. Se ha instalado una línea completa para la preparación de los óxidos, las pastillas sinterizadas y el envainado de las mismas en tubos de zircaloy o acero inoxidable. Esta instalación está destinada a permitir

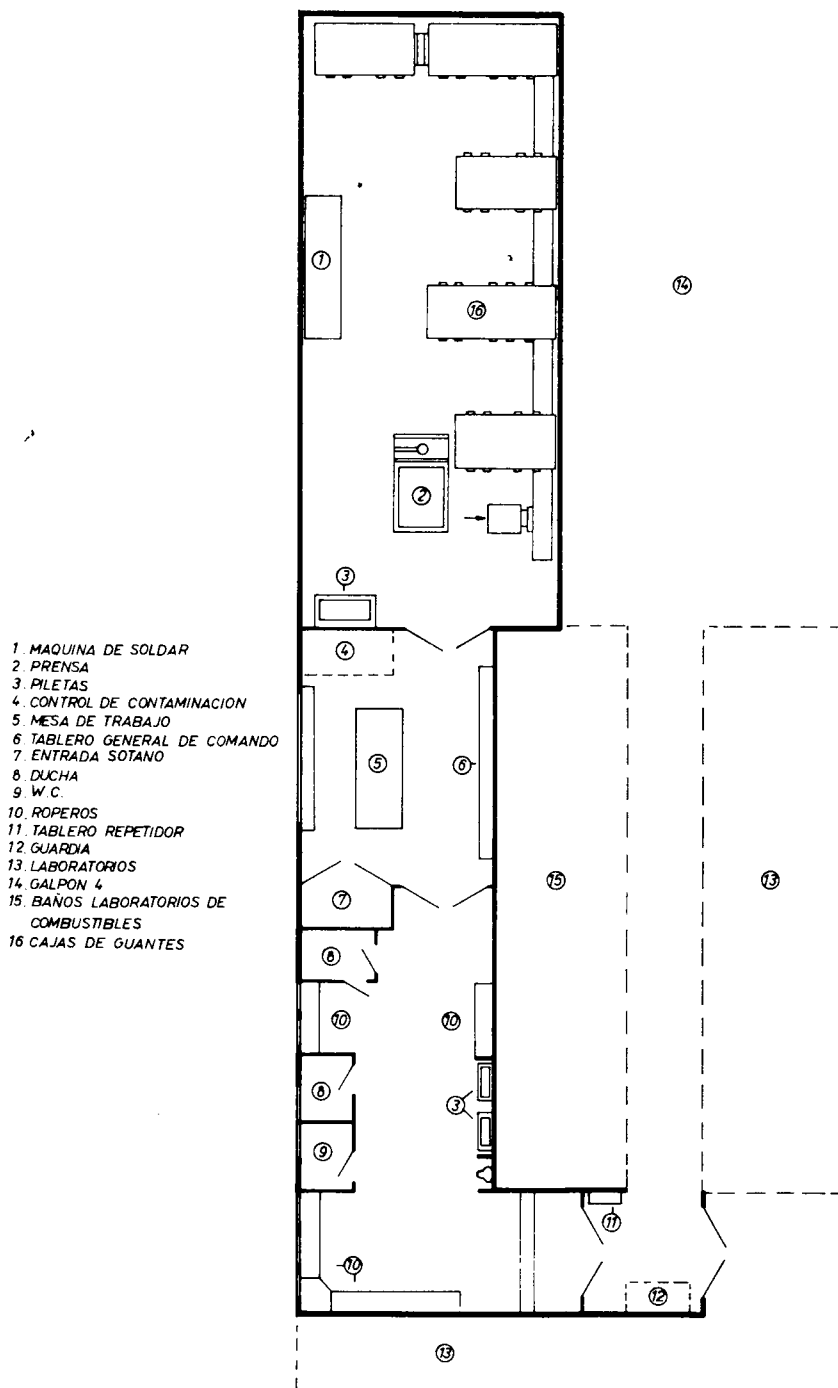


FIG. 5. Instalaciones para la preparación de encapsulados y barras combustibles que contienen Pu.

con una inversión mínima el logro de los primeros objetivos de CNEA en combustibles a base de Pu, a saber:

- a) Desarrollo de los conocimientos necesarios para el diseño y construcción de este tipo de instalaciones.
- b) Desarrollo de la tecnología necesaria para la preparación de este tipo de combustibles.
- c) Conocimiento del comportamiento del PuO_2 y $\text{PuO}_2\text{-UO}_2$ bajo condiciones de generación de potencia, a fin de poder confeccionar códigos de cálculo de barras combustibles que contienen Pu y poseer criterios propios de diseño de este tipo de combustible para reactores térmicos.

Los conocimientos que se desarrollan son en su mayoría aplicables en un futuro próximo a combustibles para reactores rápidos.

Siguiendo el objetivo a), el proyecto y construcción del laboratorio de Pu se realiza en su totalidad en el país. Para el diseño del sistema de ventilación y discusiones generales sobre el laboratorio y su operación hemos contado con el aporte valioso de la experiencia de los Doctores Böhme y Dippl del KFZ, Karlsruhe, también dentro del Acuerdo de Cooperación Técnica Argentino-Alemán.

Las inversiones totales hasta la puesta en funcionamiento son del orden de U\$S 500 000 en los que está incluido el equipamiento para la preparación de barras combustibles.

CONCLUSIONES

Este trabajo resume nuestros puntos de vista tres años después de la compra de la CNA, los lineamientos generales y los objetivos de las actividades que se realizan para la fabricación de combustibles para dicha central. Hay que destacar ciertos puntos principales:

1. Hemos comenzado con experiencia en combustibles para reactores de investigación, experiencia en metalurgia y prácticamente sin experiencia en el campo de combustibles de potencia. El combustible de reactores de investigación, que fuera durante muchos años la razón de ser de nuestro esfuerzo, pasa a ser una herramienta más del programa actual. Así, muchas de las modificaciones que posiblemente se realizarán sobre dicho combustible estarán dictadas por las necesidades de irradiación de este programa y otros programas similares.
2. La Argentina no tiene en la actualidad capacidad técnico-financiera para desarrollar y construir sus propias centrales nucleares. Consecuentemente no tiene realizadas grandes inversiones que obliguen a seguir instalando en el futuro un tipo dado de central nuclear. Este hecho, muy común entre países compradores de centrales refléjase directamente en un programa de desarrollo de combustibles, como una incertidumbre que pesa sobre los programas de trabajo. Hemos decidido al respecto que durante los primeros cuatro años del programa para combustible de reactores de potencia, un 70% será invertido para ATUCHA y el 30% restante en otras líneas. Este balance de esfuerzos cambiará cuando se haya decidido la segunda central.

3. Creemos que el conocimiento tecnológico que permita la fabricación y el ciclo de combustibles más conveniente, es uno de los objetivos importantes de las inversiones que realiza una Comisión de Energía Atómica cuando en el panorama nacional aparecen centrales nucleares. Puede además verse claramente el papel promotor del estado en este tipo de industrias, al ser el que instala, opera y carga con los gastos correspondientes a la infraestructura necesaria, como ser reactores de investigación, celdas calientes, investigación básica sobre materiales nucleares y sus propiedades, etc. Por otra parte, la posibilidad de concertar acuerdos con otras Comisiones de Energía Atómica o con organismos internacionales, que contribuyen a formar un ambiente adecuado para el desarrollo de estas actividades, son funciones prácticamente exclusivas de una comisión de energía atómica. De su iniciativa, constancia y agresividad dependerá la posibilidad y el éxito de programas de este tipo.

REFERENCIAS

- [1] SABATO, J., Energía Atómica en Argentina, Rev. del Inst. Estud. Intern. Univ. de Chile 2 (1968).
- [2] SABATO, J., Construcción de una central nuclear y sus efectos sobre el proceso de industrialización argentino, Centro Estud. Econ. Inst. T. Di Tella (1966).
- [3] CSIK, B.J., La primera central nuclear argentina, La Ingeniería 1001 (1968) 29.
- [4] KITTL, J., MAZZA, J. A., MACHADO, R., SABATO, J., SILBERT, E., «The manufacture of fuel elements of the Argonaut type», 2^a Conf. int. util. energ. atóm. fin. pac. (Actas Conf. Ginebra, 1958) 6, NU, Nueva York (1958) 531.
- [5] Transformación F_2U a U-Al, patentes Nos. 174959 Arg., 3377161 U.S.A., 1212304 Alemania. ARAOZ, C., MARTINEZ VIDAL, C. A., MAZZA, J. A., MORANDO, R., WORTMAN, O., «Fabricación de elementos combustibles para reactores de investigación», 3^a Conf. int. util. energ. atóm. fin. pac. (Actas Conf. Ginebra, 1964) 10, NU, Nueva York (1965) 56.
- [6] ARAOZ, C., BIONDO, C. D., MARTINEZ VIDAL, C., Some nuclear developments at Argentina, Interamerican Conf. on Materials Technology, Ed. ASME (1968).
- [7] DE VEDIA, L. A., GUTIERREZ, R., MAZZA, J. A., Soldadura por arco de barras combustibles para reactores nucleares, IV Jorn. Metal. Argent., SAM, Córdoba, 1970, public. interna CNEA (1970).
- [8] ARAOZ, C., Físico-química de la oxidación de dióxido de uranio, Tesis doctoral, Univ. Nac. Buenos Aires, Argentina (1960).
- [9] ARAOZ, C., Cinética de oxidación de UO_2 en aire, I Jorn. Metal. Argent., Buenos Aires, 1959, Inf. públ. CNEA N° 74 (1962).
- [10] CAPONI, E., Determinación del parámetro de red de dióxido de uranio vs. contenido de oxígeno, Trabajo de seminario pres. ante Univ. Nac. de Buenos Aires, Argentina (1967).
- [11] BENSKI, C., Medición del rango de partículas de dióxido de uranio, Trabajo de seminario pres. ante Univ. Nac. de Buenos Aires, Argentina (1967).
- [12] CARREA, A. J., Sinterización de dióxido de uranio de producción nacional, Tesis doctoral, Univ. Nac. Buenos Aires, Argentina (1961).
- [13] KOLL, H., CARREA, A. J., Producción de placas delgadas de UO_2 , Inf. públ. CNEA N° 71 (1962).
- [14] ARAOZ, C., Sintering mechanism in stoichiometric and nonstoichiometric UO_2 , Conf. on Sintering and related phenomena, Junio 1965, Notre Dame, Ind., EE.UU.
- [15] GALVELE, J., Corrosión de aluminio en agua a alta temperatura, Tesis doctoral, Univ. Nac. Buenos Aires, Argentina (1962).
- [16] BILONI, H., LINDENVALD, N., SABATO, J., SILVERT, I., Inclusiones y subestructuras en uranio de pureza nuclear, Inf. públ. CNEA N° 51 (1961).
- [17] LIBANATI, N., Recrystallisation secondaire et recrystallisation par écrouissage critique de l'uranium de haute pureté, Tesis doctoral, Univ. París, Francia (1959).
- [18] COLL, J., Deformación plástica de monocristales de fase sigma y uranio beta, Tesis doctoral, Univ. Nac. Buenos Aires, Argentina (1963).
- [19] TANIS, S. V. de, Estudios de la evolución de la recrystalización de uranio fuertemente deformado en frío, Tesis doctoral, Univ. Nac. Buenos Aires, Argentina (1963).

- [20] RODRIGUEZ, C., KITTL, J., COLL, J., MARCONE, N., Anomalous thermal arrest within the beta range in uranium, Techn. Rep. to the Naval Research Office, Contract NONR 3418 (00) (1967).
- [21] POVOLO, F., Fricción interna en aleaciones zirconio-hidrógeno a bajas temperaturas, Tesis doctoral, Univ. Nac. Buenos Aires, Argentina (1967).
- [22] DYMENT, F., Autodifusión en volumen de titanio, circonio y hafnio en fase alfa, Tesis doctoral, Univ. Nac. Córdoba, Argentina (1967).
- [23] SEREBRINSKY, H., Propiedades físicas del circonio, public. int. CNEA (1970).
- [24] SAVINO, E., Fricción interna de circonio bajo deformación, Trabajo de seminario pres. ante Univ. Nac. Buenos Aires, Argentina (1968).
- [25] BARMAN, I. L., An approach to multiparametric eddy current nondestructive testing using pulse type wave-forms, Rep. Battelle North-West Lab. BNWL 1406 (9 Spt. 1970).
- [26] ABRALES, H., BARMAN, I. L., VENTURINO, C., Ensayos no destructivos de tubos de paredes delgadas, IV Jorn. Metal. Argent., SAM, Córdoba, 1970, public. int. CNEA (1970).
- [27] DYMENT, I., Fabricación de pastillas combustibles cerámicas UO_2 , IV Jorn. Metal. Argent., SAM, Córdoba, 1970, public. int. CNEA (1970).
- [28] BAEZ, J., ROA, L., Diagramas de exposición y sensibilidad de la radiografía de zircaloy, IV Jorn. Metal. Argent., SAM, Córdoba, 1970, public. int. CNEA (1970).
- [29] BIONDO, C., KOLL, H., Desarrollo de técnicas de fabricación de barras combustibles del tipo UO_2 /zircaloy, IV Jorn. Metal. Argent., SAM, Córdoba, 1970, Convención Unión Panam. de Ing., UPADI, Buenos Aires, Argentina, Set. 1970, public. int. CNEA (1970).
- [30] DE GRANDE, A., Ensayos de corrosión de soldadura y componentes de zircaloy-4, IV Jorn. Metal. Argent., SAM, Córdoba, 1970, public. int. CNEA (1970).
- [31] MONTENERO, C., MAZER, E., Desarrollo de soldadura por resistencia de extremos de barras combustibles, IV Jorn. Metal. Argent., SAM, Córdoba, 1970, public. int. CNEA (1970).