

C. N. E. A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 1	AÑO 1970

04.70.10

~~SECRETADO~~

4

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

DESARROLLO DE TECNICAS DE FABRICACION DE
BARRAS DE COMBUSTIBLES

- Dióxido de uranio natural con vainas de Zircaloy -

J. H. Koll - C. D. Biondo

IV Jornadas Metalúrgicas,
Sociedad Argentina de Metales
Córdoba, noviembre de 1970

Departamento Combustibles Nucleares
Buenos Aires - Argentina

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

DESARROLLO DE TECNICAS DE FABRICACION DE
BARRAS DE COMBUSTIBLES

- Dióxido de uranio natural con vainas de Zircaloy -

J.H. Koll - C.D. Biondo

IV Jornadas Metalúrgicas
Sociedad Argentina de Metales
Córdoba, noviembre de 1970

Departamento Combustibles Nucleares
Buenos Aires - Argentina

DESARROLLO DE TECNICAS DE FABRICACION DE
BARRAS DE COMBUSTIBLES

- Dióxido de uranio natural con vainas de Zircaloy -

José Helmut Koll (*)

Carlos E. Biondo (*)

R E S U M E N

La fabricación de componentes nucleares requiere una estrecha colaboración entre los grupos de desarrollo de técnicas y equipos y la industria convencional. Su interacción se traduce en beneficios para ambas partes.

Para el caso particular de las barras combustibles para reactores nucleares, se describen en el presente trabajo varios problemas resueltos en colaboración, como fabricación de pastillas de dióxido de uranio, soldadura de tapones a vainas de Zircaloy, fabricación de una máquina de ciclo automático de soldadura, etc.

(*) CNEA - Argentina - Gerencia de Tecnología - Dpto. Comb. Nucleares.

DESARROLLO DE TECNICAS DE FABRICACION DE BARRAS COMBUSTIBLES DE DIOXIDO DE URANIO CON VAINAS DE ZIRCALOY

1. INTRODUCCION

La generación de energía eléctrica con utilización de combustibles nucleares requiere el uso de técnicas avanzadas para la fabricación de los elementos combustibles.

En la actualidad en reactores nucleares de potencia refrigerados a agua, el combustible está compuesto por barras constituídas por pastillas de dióxido de uranio y envasadas en tubos de aleaciones de circonio. Estas barras montadas en una cierta configuración geométrica constituyen el elemento combustible como se muestra en la Figura 1.

La selección de los materiales para vainas y las piezas estructurales del elemento combustible está restringida, por razones nucleares y metalúrgicas, a la utilización predominante de aleaciones de circonio, dado su mejor balance de propiedades y costo de generación de energía. Para reactores con uranio enriquecido, el acero inoxidable también sería aplicable.

Una de las aleaciones de circonio más utilizada es Zircaloy (Zr-1,5 % Sn, Fe, Cr), aunque existen otras similares (Zr-Nb; Zr-Cu; etc.)

Para reactor con uranio natural, como el de la Central Nuclear en Atucha, se utiliza actualmente Zircaloy.

Las técnicas de fabricación de barras combustibles que se utilicen en estos casos deben satisfacer requerimientos tanto metalúrgicos como económicos.

Bajo requerimientos metalúrgicos deben entenderse por un lado el mantenimiento de condiciones de limpieza de operación que impida toda contaminación del UO_2 y del Zircaloy por otros materiales en detrimento de sus propiedades. Por otro lado debe lograrse una fabricación que asegure el cumplimiento de estrictas especificaciones y posibilite su control. Pequeñas fallas en cualquiera de los componentes de la barra combustible o en su fabricación pueden ocasionar su rechazo total. El valor residual de una barra combustible rechazada es muy pequeño en relación al costo de su fabricación.

La fabricación de barras combustibles prototipo ha sido tomada como ejemplo para el desarrollo de nuevas técnicas de fabricación, o para mejorar técnicas existentes y transferir luego el conocimiento adquirido para fabricación industrial tanto de las barras combustibles como de los equipos requeridos

Estos desarrollos han tenido en cuenta la posibilidad de introducir nuevas tecnologías en diversas ramas de la industria, sin que esto signifique pago de licencias u otros derechos al exterior. Respecto del combustible para reactores nucleares a uranio natural debe tenerse en cuenta que al cabo de unos 20 años el costo del combustible iguala al costo de la central. En consecuencia, todo desarrollo que signifique ahorro de licencias es significativo ya que debe aplicarse al tiempo de vida útil del reactor.

Los presentes trabajos fueron realizados como parte de un programa de fabricación de Prototipos de elementos combustibles para reactores a agua pesada presurizada similares a los que se usarán en la Central Nuclear en Atucha.

El primer prototipo ya fue enviado para su irradiación en el Reactor MZFR del Centro Nuclear de Karlsruhe en la República Federal Alemana.

Esto aportará la información necesaria tendiente a la fabricación, en la Argentina, de elementos combustibles para el Reactor en Atucha y además dará la capacidad tecnológica de fabricación de otros tipos de elementos combustibles integrándose así una línea de desarrollo de combustibles ya iniciada con la de los Reactores de Investigación que posee la Comisión Nacional de Energía Atómica.

2. DESARROLLO DE TRABAJOS

Se describen a continuación algunos de los desarrollos que fueron necesarios para la fabricación de barras combustibles. En la mayoría de ellos el diseño conceptual fue realizado por la CNEA en colaboración con la industria privada, la que tuvo a su cargo luego la fabricación de los equipos. En otros casos, una vez desarrollada la técnica por CNEA, ésta se transfirió a la industria para realizar las operaciones.

Los ejemplos que se describen son:

- 2.1. Fabricación de pastillas.
- 2.2. Control de propiedades y especificaciones de Zircaloy.
- 2.3. Soldadura por arco y por resistencia de tapones a vainas.
- 2.4. Control de soldaduras por rayos X y ensayo de autoclave.

2.1. Fabricación de pastillas de UO_2

La fabricación de pastillas de UO_2 se realiza partiendo de un polvo de UO_2 , el

cual es compactado a presiones de unas 2 toneladas/cm² a una densidad de unos 5 g/cm³, esto es, igual a la mitad de la densidad de la pastilla final. Luego se realiza un proceso de sinterizado a 1600°C durante 2 horas bajo atmósfera de hidrógeno, en un horno continuo, con un ciclo total de unas 10 horas. Finalmente las pastillas se rectifican para llevarlas a un diámetro exacto.

Los problemas asociados a la fabricación de pastillas son debidos a que se trata de un polvo difícil de compactar a densidades elevadas, ser un material ávido de oxígeno y muy frágil.

Las especificaciones requieren tolerancias de densidad, dimensiones e impurezas, así como ausencia de fallas tales como fisuras y cascaduras.

La figura 2 muestra pastillas sin cascaduras y con cascaduras producidas durante el rectificado.

Para el compactado del polvo fué diseñada una matriz y determinado el grado de compactación adecuado para obtener pastillas sin defectos (con poca compactación resultan pastillas que se rompen por falta de coherencia, mientras que una compactación exagerada produce fisuras transversales).

Para el rectificado sin centros se diseñó un perfil de piedra adecuado (1). Tanto el compactado de pastillas en serie como su rectificación fueron realizados por la industria privada.

Para el control de diámetro se desarrolló y fabricó un dispositivo basado en resistencias eléctricas "strain gauges" cerámicos, en colaboración con la industria privada. El equipo que se muestra en la figura 3 permite una medición de cada pastilla en menos de un segundo, pudiéndose registrar la medida con una resolución mejor que un micrón. Otra solución fue propuesta por la industria local, basado en medición neumática, figura 4.

2.2. Control de propiedades y especificaciones de vainas de Zircaloy

El Zircaloy es una aleación que, desde el punto de vista metalúrgico, requiere técnicas especiales para su uso, ya que pequeñas cantidades de gases absorbidas, por ejemplo nitrógeno u oxígeno durante la soldadura, pueden ocasionar una corrosión catastrófica durante su uso en el reactor.

El hidrógeno, a su vez, produce una fragilización, reduciendo la ductilidad notablemente.

La fabricación de vainas de Zircaloy, a su vez, tiene asociados problemas como la terminación superficial. Residuos de fluor provenientes del decapado de las vainas producen una corrosión acelerada similar a la del nitrógeno (3).

Las tolerancias dimensionales y requerimientos usuales de ausencia de fallas y defectos para estas vainas, exigen el uso de técnicas muy elaboradas para su control. Para ello se ha desarrollado y fabricado un equipo para medición de diámetro interno de vainas utilizando una bobina de reluctancia variable siguiendo las variaciones de diámetro. Esta bobina es autocentrada y movida por aspiración desde un extremo de la vaina (4).

La velocidad de medición es de aproximadamente 1 m/segundo. La disposición esquemática se muestra en la figura 5, y un registro típico en la figura 6. Equipos similares se han diseñado y fabricado para medición de defectos, diámetro exterior y ovalización.

2.3. Soldadura de tapones a vainas por arco y por resistencia

Los métodos de soldadura utilizados para soldar tapones a vainas para las barras combustibles son básicamente versiones de los métodos conocidos por arco y por resistencia. Los inconvenientes con que se cuenta son la alta actividad del Zircaloy para absorber gases; Por otro lado al soldar secciones delgadas de la vaina de espesor de pared 0,6 mm a un tapón sólido de diámetro de 12 mm, el ciclo de soldadura exige alta corriente en un tiempo muy corto, de unos pocos segundos.

Para este problema se ha desarrollado una máquina de soldadura con ciclo automático desde el arranque del arco hasta su extinción, figura 7. La zona a soldar se realiza en una cámara, figura 8, quedando el resto del tubo o barra combustible fuera de la misma. Una máquina prototipo fue construída en colaboración con la industria privada.

Un programador electrónico para controlar los tiempos del ciclo de soldadura también fue desarrollado y fabricado por CNEA. Como fuente de corriente para la soldadura se utilizó un equipo comercial, el cual fue modificado para darle una curva característica con corriente más constante, respecto de variaciones de voltaje, que la curva original. También se modificó el valor de la tensión en vacío para el arranque del arco respecto de un generador de alta frecuencia de fabricación comercial.

Finalmente se agregó un sistema de purificación de gases, con ciclo automático de evacuado y llenado de gas para la soldadura.

Luego de la puesta a punto de la soldadura de tapones a vainas de Zircaloy, se

contrató con la industria privada la fabricación completa de barras combustibles, incluyendo los controles (5). La instalación que se muestra en la figura 9 incluye secado de pastillas de UO_2 , carga de pastillas en la vaina, maquinado de tapones y extremos de vainas, soldadura de los tapones, control de soldadura por rayos X y ensayo de fugas de helio.

La construcción de un segundo equipo completo de soldadura de iguales características fue encargado íntegramente a una industria privada de mecánica de precisión la cual a su vez ha subcontratado la parte del programa electrónico a otra industria.

La soldadura por resistencia de tapones exigió también desarrollos desde el punto de vista del ciclo de soldadura, de la forma y material del electrodo, de la boquilla que soporta el tubo, permitiendo una buena transmisión de la corriente, sin producir deformaciones al tubo, figura 10.

Ensayos de soldaduras realizados indicaron buenos resultados, permitiendo predecir que la soldadura se realiza como proceso de unión por deformación plástica más que por fusión (6).

Desde el punto de vista del desarrollo de equipos se han iniciado discusiones preliminares para modificación de una máquina de soldadura comercial para adaptarla a las condiciones requeridas. El problema principal reside en la falta de reproducibilidad.

2.4. Control de soldaduras por rayos X y ensayos de autoclave

La técnica de control de soldaduras por medio de rayos X es bien conocida. En general es posible trabajar con una sensibilidad de aproximadamente 2 %, o sea son detectables defectos cuyo espesor en la dirección de los rayos X es el 2 % del espesor total a radiografiar.

Para el caso de soldaduras de tapones a vainas, el problema reside en que el espesor a radiografiar es de 12 mm, y con una sensibilidad de 2 %, el defecto menor detectable sería 0,24 mm. Pero 0,24 mm es el 40 % del espesor de la vaina de 0,6 mm. Ello justifica el esfuerzo para mejorar la sensibilidad, lo cual se logra mediante un balance apropiado de filtros, pantallas, máscaras que eviten reflexiones y dispersión de rayos X, etc.

La realización de los ensayos en autoclave es un control que permite detectar fallas metalúrgicas del material y contaminaciones por nitrógeno, fluor, etc., del Zircaloy. Consiste en oxidar en agua o vapor de agua a 300-400°C durante 3 días o más. Se evalúa el aspecto del óxido formado y el espesor de la capa de óxido. Un buen material presenta un óxido uniforme y adherente. Para la puesta a punto de la técnica se utilizó

un autoclave, diseñado en colaboración con la industria y fabricado por la misma, para trabajar a 400°C y 100 atm. de vapor de agua.

3. TRABAJOS FUTUROS

Se hará una breve mención de trabajos actualmente en desarrollo y que también incluirán la cooperación de la industria privada para la fabricación de los equipos según requerimientos que resulten.

- 3.1. Soldadura por resistencia de segmentos deslizantes a vainas.
- 3.2. Fabricación de separadores para barras.
- 3.3. Tratamientos superficiales en forma continua para vainas y barras de hasta 6 m de largo.

R E F E R E N C I A S

1. DYMENT, I. Fabricación de pastillas combustibles cerámicas de UO_2 . A ser publicado. CNEA 1970.
- 2.
3. DE GRANDE, A. Ensayos de corrosión de soldaduras y componentes de Zircaloy-4 A ser publicado. CNEA 1970.
4. BARMAN, L., VENTURINO, C., ABRALES, H. Ensayos no destructivos de tubos de paredes delgadas. A ser publicado. CNEA 1970.
5. MAZZA, J., GUTIERREZ, R., DE VEDIA, L. Soldadura por arco de barras combustibles para reactores nucleares. A ser publicado. CNEA 1970.
6. MAZER, E., MONTENERO, C. Soldadura de extremo de barras combustibles tipo Atucha por resistencia. A ser publicado. CNEA 1970.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Elemento Combustible típico de reactores refrigerados por agua presurizada.
- Figura 2: Pastilla de UO_2 sin y con cascaduras producidas durante el rectificado.
- Figura 3: Dispositivo eléctrico para la medición del diámetro de pastillas.
- Figura 4: Dispositivo neumático para la medición del diámetro de pastillas.
- Figura 5: Disposición para medición del diámetro interno, externo, ovalización y defectos de vainas.
- Figura 6: Registro de la medición del diámetro interno de vainas, utilizando el equipo de la Figura 5.
- Figura 7: Máquina de soldar de ciclo automático.
- Figura 8: Cámara de soldadura.
- Figura 9: Instalación para fabricación de barras combustibles en un laboratorio de la industria privada.
- Figura 10: Dispositivo de sujeción de vaina y tapón para soldadura por resistencia.

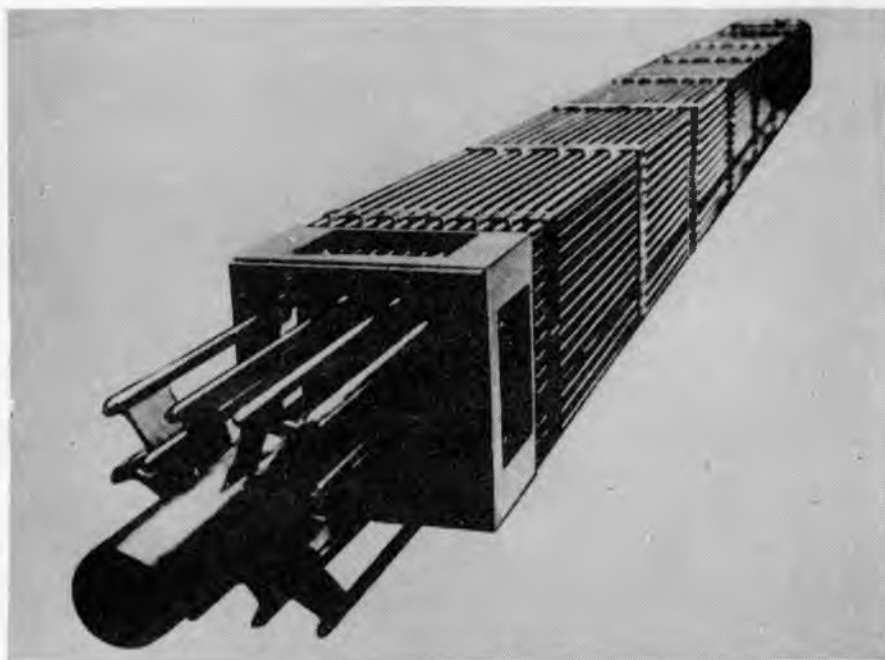


Fig. 1.-Elemento Combustible típico de reactores refrigerados por agua presurizada.

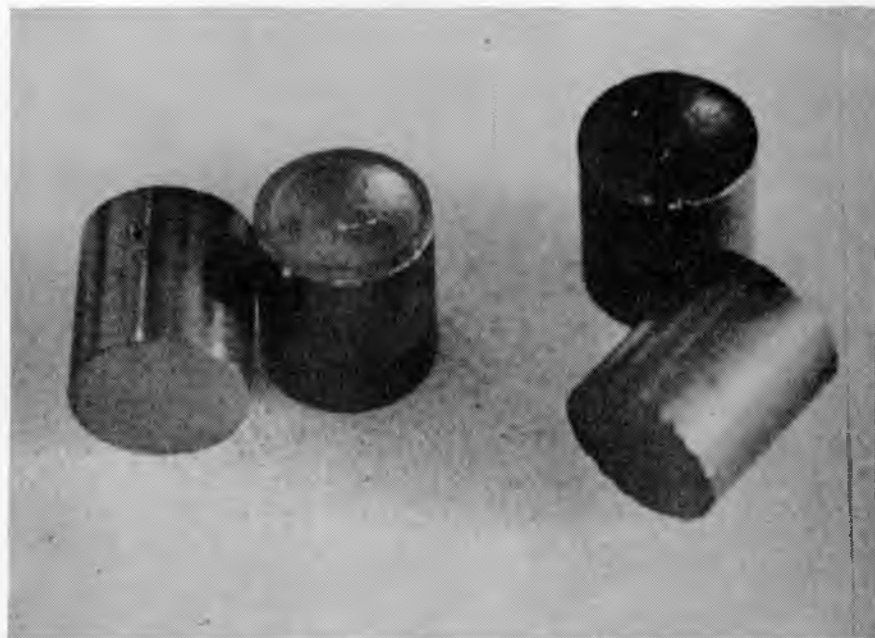


Fig. 2.-Pastillas de UO_2 sin y con cascaduras producidas durante el rectificado.

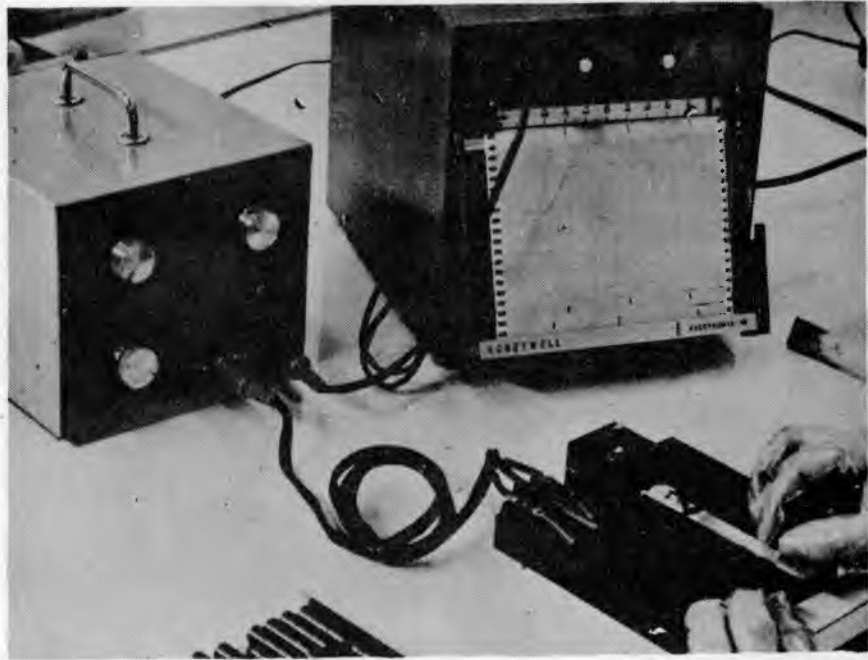


Fig. 3.- Dispositivo eléctrico para la medición del diámetro de pastillas.

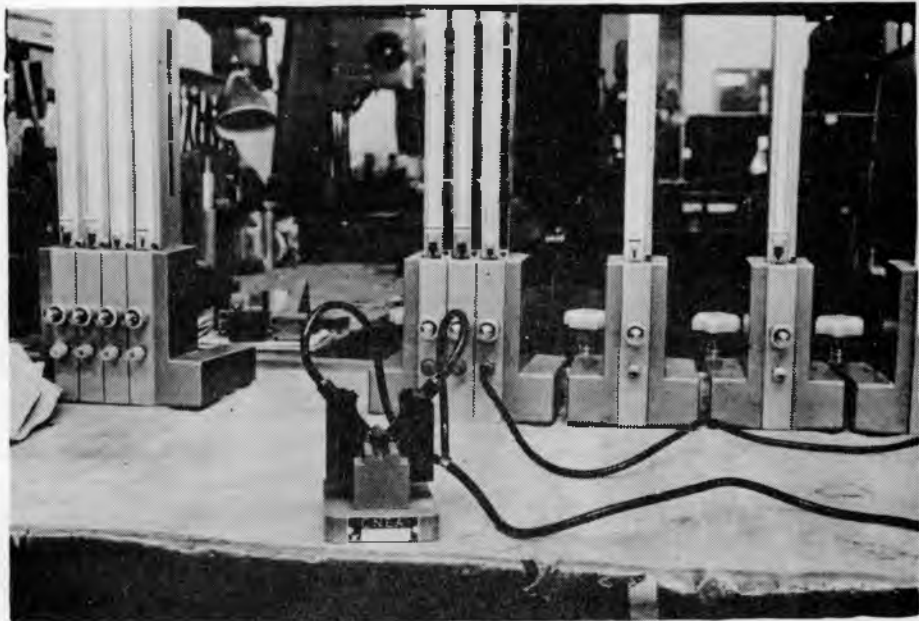


Fig. 4.- Dispositivo neumático para la medición del diámetro de pastillas.

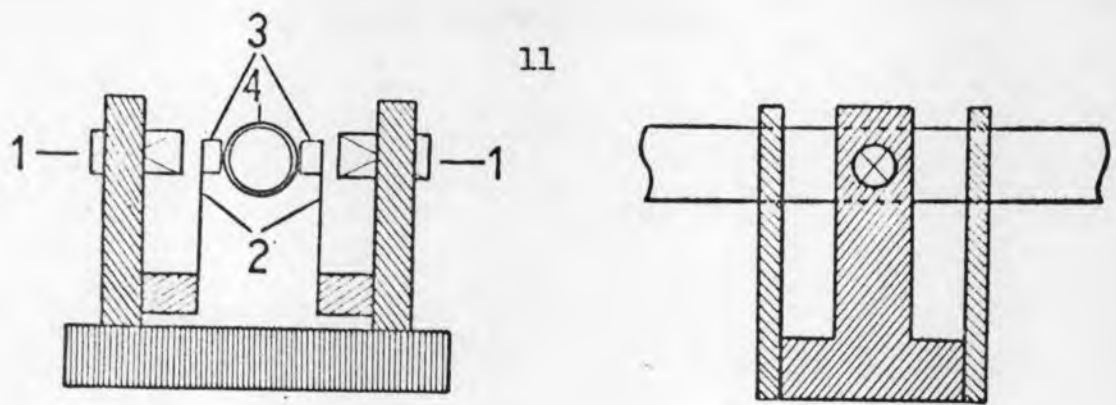


Fig. 5a.-Dispositivo de medición de diámetro exterior.

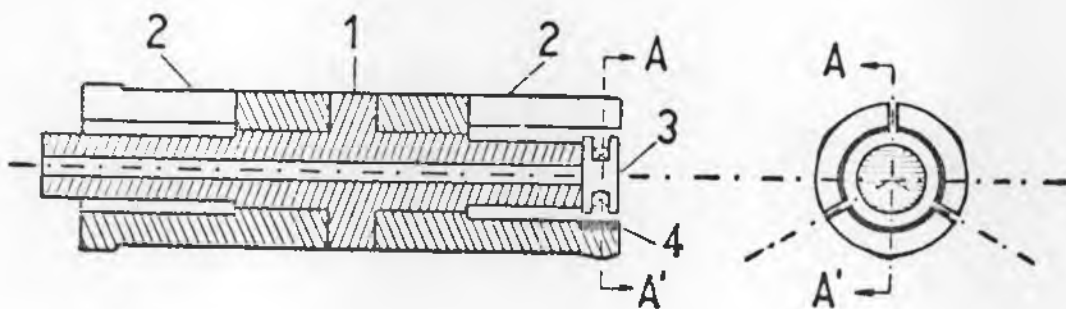


Fig. 5b.-Sonda para medir diámetro interior.

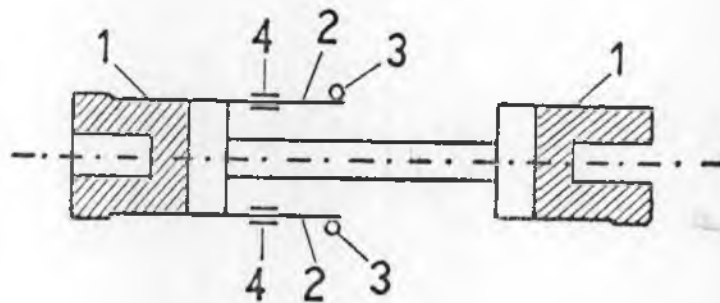


Fig. 5c.-Sonda para determinar ovalización.

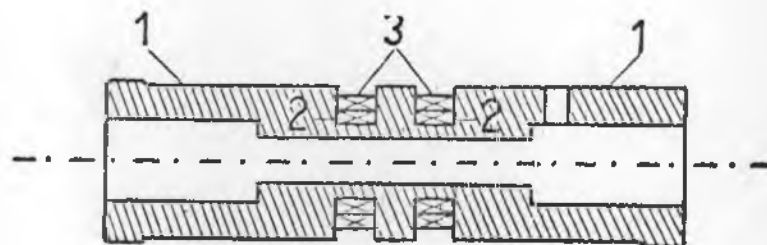


Fig. 5d.-Sonda para detección de defectos.

Fig. 5.- Disposición para medición del diámetro interno, externo, ovalización y defectos de vainas.

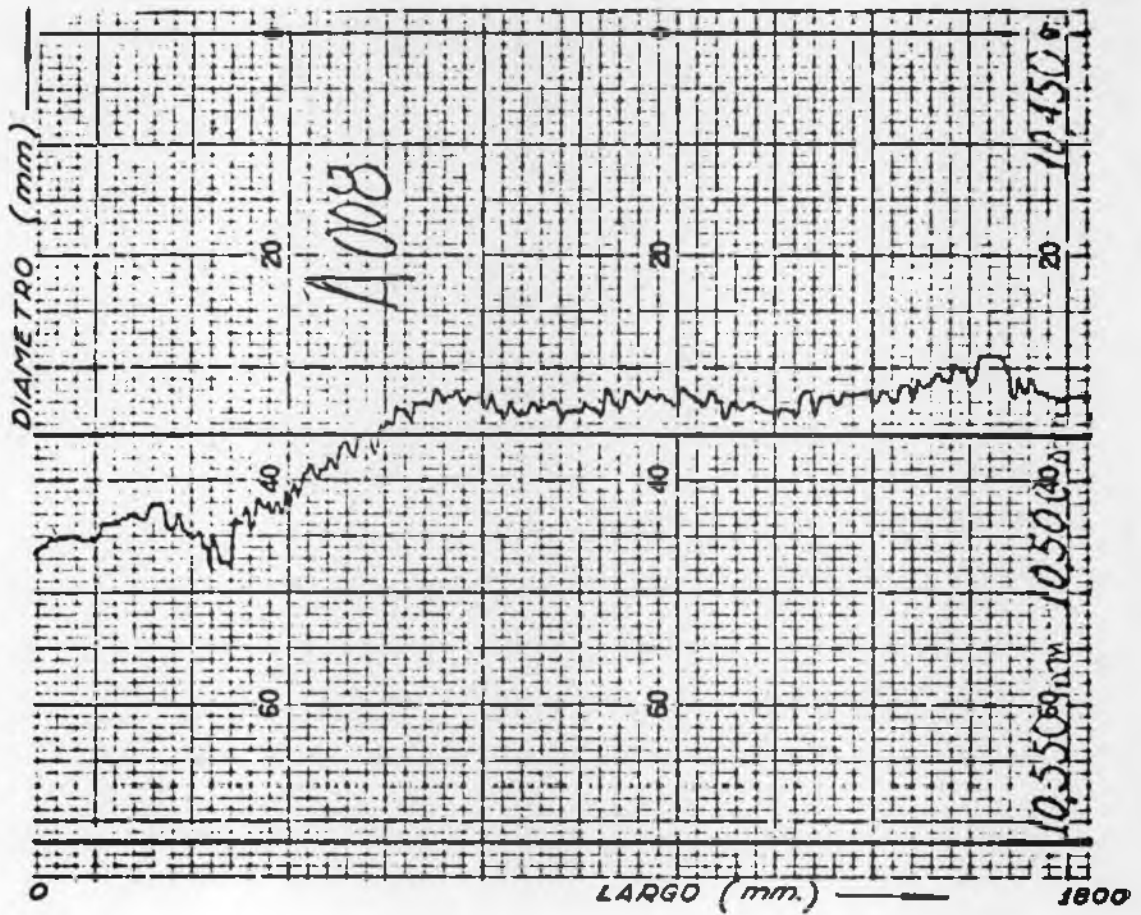


Fig. 6.- Registro de la medición del diámetro interno de vainas, utilizando el equipo de la figura 5.

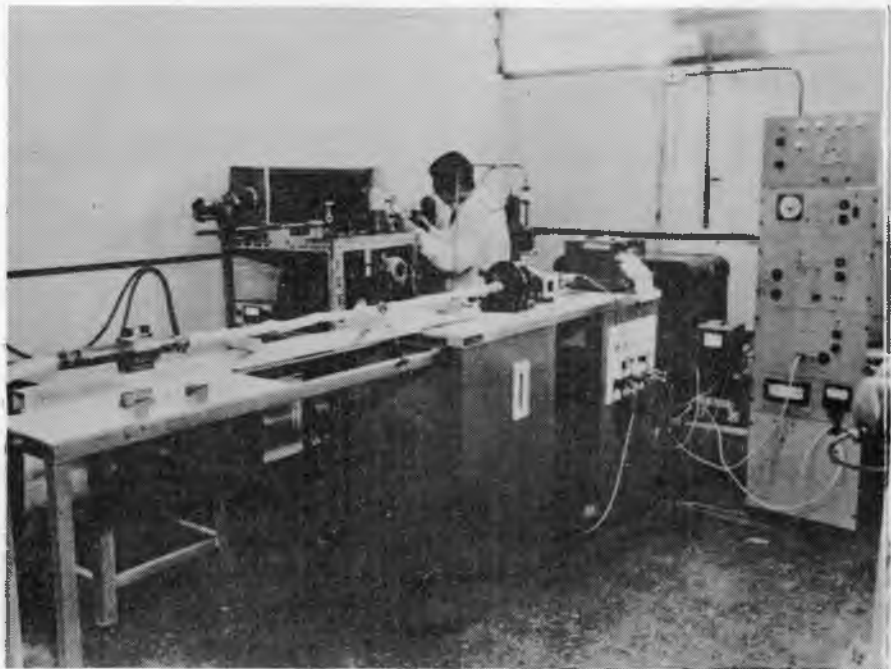


Fig. 7.- Máquina de soldar de ciclo automático.

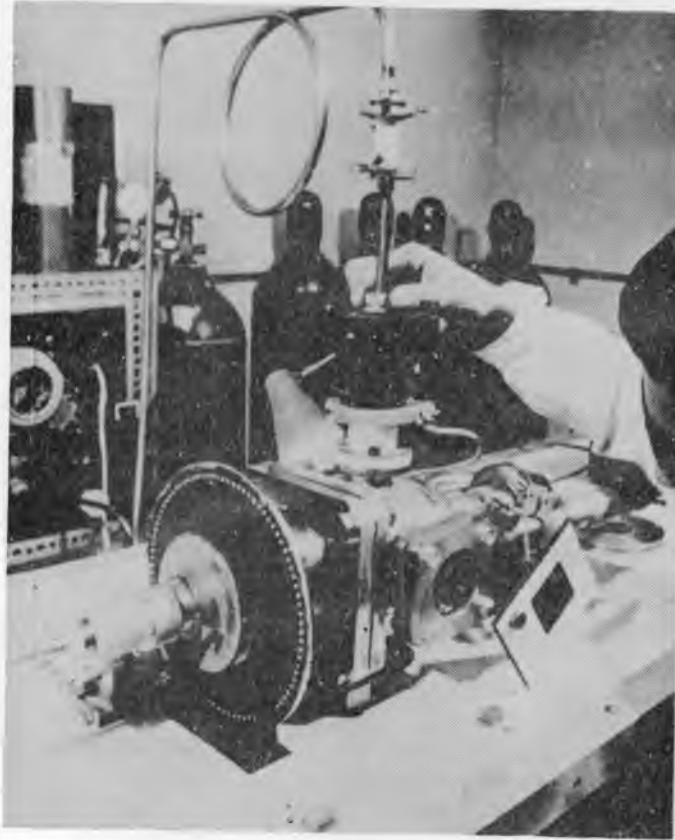


Fig. 8.- Cámara de soldadura.



Fig. 9.- Instalación para fabricación de barras combustibles en un laboratorio de la industria privada.

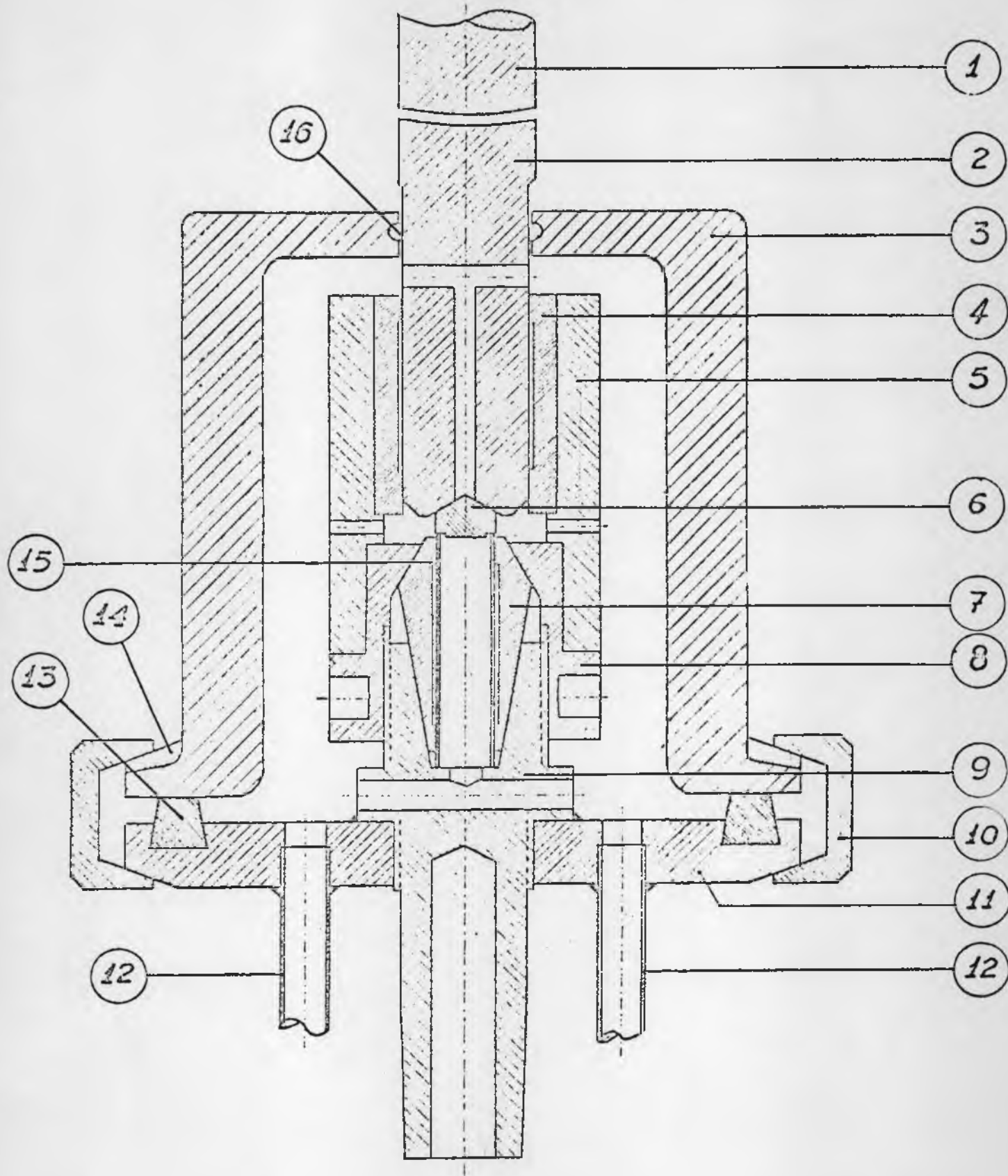


Fig. 10: Dispositivo de sujeción de vaina y tapón para soldadura por resistencia.