

C. N. E. A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº	AÑO 1981

ASOCIACION ARGENTINA DE TECNOLOGIA NUCLEAR
X REUNION CIENTIFICA - BAHIA BLANCA

FABRICACION A NIVEL INDUSTRIAL DE PASTILLAS DE UO₂ PARA LOS

ELEMENTOS COMBUSTIBLES DE LA CENTRAL NUCLEAR ATUCHA I.

DYMENT, ISAAC G.

NOGUERA ROJAS, FRANCISCO

PROYECTO PLANTA PILOTO F.E.C.N.-A - GERENCIA DE DESARROLLO

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

1981

FABRICACION A NIVEL INDUSTRIAL DE PASTILLAS DE UO₂ PARA LOS
ELEMENTOS COMBUSTIBLES DE LA CENTRAL NUCLEAR ATUCHA I.

DYMENT, Isaac G.

NOGUERA ROJAS, Francisco

PROYECTO PLANTA PILOTO F.E.C.N. A - GERENCIA DE DESARROLLO

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

RESUMEN

Con la construcción de la primera Central Nuclear argentina, ATUCHA I (CNA), surge la inquietud de fabricar, en el país los elementos combustibles nucleares para abastecerla en el futuro y en el marco de una política de autoabastecimiento en el suministro de los mismos.

Los primeros pasos hacia esa meta, se realizaron en el procesamiento del óxido de uranio para transformarlo en pastillas o núcleos combustibles de alta densidad.

Los desarrollos de fabricación de pastillas combustibles realizados en la CNEA desde 1968, primero a escala de laboratorio y posteriormente a escala industrial, han permitido poseer una línea con capacidad tecnológica propia y producción de 400 kg. de UO₂/día. (Consumo de la CNA 240 kg.UO₂).

El método de fabricación de pastillas combustibles es básicamente un proceso pulvimetalúrgico donde, además de un equipamiento convencional, se encuentra otro que por sus características especiales y específicas ha merecido la implementación de programas de ensayos sistemáticos para su desarrollo y/o puesta a punto, como así también un entrenamiento particular a nivel operacional.

Los procesos desarrollados corresponden a una tecnología moderna y de avanzada en cuanto se eliminan métodos clásicos, - utilizados aún hoy en la mayoría de las fábricas de elementos combustibles, tales como el precompactado de Polvo UO₂, la molienda del precompactado, agregado de ligantes y lubricantes al óxido de uranio y presinterizado para eliminar estos últimos, con la consiguiente economía que ello significa en los correspondientes programas de fabricación, toda vez que se disponga del polvo de UO₂ de características apropiadas.

Dado las altas exigencias a que es sometido el elemento combustible en servicio nuclear, ocupan un lugar de relevancia los programas de control y aseguramiento de la calidad aplicados durante los procesos de fabricación, como así también aquellos previos a su suministro.

INTRODUCCION

Al implementarse los trabajos contractuales relativos a la instalación de la Central Nuclear en Atucha (CNA), también se decidió en la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) la puesta en marcha de un programa de desarrollo en el campo de la tecnología de elementos combustibles nucleares de potencia. Esto surge además como corolario de los trabajos desarrollados hasta ese entonces en CNEA en elementos combustibles nucleares para reactores de investigación.

OBJETIVOS

Los objetivos principales perseguidos por CNEA fueron los siguientes: 1°) avanzar tecnológicamente y 2°) lograr la independencia en el suministro de combustibles de uranio natural.

El "know-how" de fabricación desarrollado en CNEA, sería transferido a una industria nacional.

En el presente trabajo se describen las técnicas empleadas y los desarrollos realizados para la elaboración de uno de los componentes del combustible Atucha, las pastillas de UO2. (Fig.1).

ANTECEDENTES

- En 1968 comienzan los trabajos de investigación y desarrollo en la línea de combustibles UO2-Zircaloy, (3.4.5.6.7.8).
- En 1969 se realizan las primeras experiencias en la caracterización y en el compactado de óxido de uranio para la obtención del pellet de UO2 y, desde entonces, sin solución de continuidad, se trabaja sobre el tema hasta el presente habiéndose desarrollado todas las técnicas necesarias hasta obtener una línea de fabricación con capacidad de procesar 400 kg. de UO2 por día. (Fig.2).

Los trabajos que más experiencia y conocimientos aportaron al personal afectado a fabricación de pastillas combustibles fueron sin duda, los relativos a la construcción de los núcleos para los prototipos CNEA-MZFR 1; 1b y II (9.10).

Particularmente el 1b) fue elaborado con cinco tipos diferentes de polvo de UO2 obviamente de distintas calidades y procedencias.

<u>Origen</u>	<u>Provisto por:</u>
Bélgica	S.G.D.M.
Francia	C.I.C.A.F.
Canadá	El Dorado
Alemania	Nukem
Inglaterra	U.K.A.E.A.

Esto permitió desarrollar todas las técnicas para la caracterización de los polvos, como así también las técnicas de acondicionamiento de los mismos para aquéllos que no podían ser utilizados en forma directa debido a sus características físicas.

Se evaluaron asimismo todos los parámetros de prensado, sinterizado y rectificación y se adquirió amplia experiencia en el diseño de matrices.

ESQUEMA GENERAL DEL PROCESO

En la fabricación actual de pastillas combustibles se emplea un método considerado como moderno y económico que se distingue por el reducido número de pasos de fabricación y, en consecuencia, menor costo de su producción (Proceso "A"-Fig.3).

Las condiciones básicas de este proceso son: contar con una materia (Polvo de UO_2) con buenas características de fluidez, densidad aparente y área específica entre otras, y un instrumental de prensado que permita la lubricación automática de las matrices.

La línea completa de fabricación consta de un mezclador homogenizador de polvo donde se prepara la materia prima; una prensa peletizadora; un horno de sinterización; una rectificadora sin centros; un horno de oxidación y una estufa de secado mas otro equipamiento menor accesorio como: aspiradoras de limpieza y trasvase, carros de transporte e instrumental de medición para el control de producción.

MATERIA PRIMA

El material de partida para la fabricación de pastillas es Polvo UO_2 fabricado por el proceso AUC-lecho fluido (Patente NUKEN), que fue seleccionado por sus excelentes características físicas y químicas puestas de manifiesto en la oportunidad de fabricarse el prototipo CNEA-MZFR lb.

El concentrado de uranio nacional fue enviado a la firma RBU de la República Federal de Alemania para su conversión a UO_2 por el proceso mencionado.

Actualmente se está montando en el Complejo Fabril de la ciudad de Córdoba, una planta de conversión (Fig.4), adquirida a RBU para procesar allí todo el concentrado proveniente de las minas. Esta planta entrará a funcionar en los primeros meses de 1982 y será la proveedora de la materia prima a la FECN.

MEZCLADO Y HOMOGENEIZADO

Esta operación es la primera que se realiza en la línea de fabricación de pastillas (Fig.5).

En cada lote de fabricación de polvo de UO₂ es necesario y conveniente agregar al mismo una cierta cantidad de U₃O₈ que se determina mediante un ensayo previo de densificación en pastillas sinterizadas.

Una vez determinada la cantidad de U₃O₈ que admite el polvo de UO₂, todo el lote es mezclado con el porcentaje prefijado de U₃O₈. Normalmente este porcentaje varía entre 3 y 7%.

El U₃O₈ utilizado para la mezcla, es producto de la oxidación de las pastillas de UO₂, sinterizadas y/o rectificadas, separadas por defectuosas durante la inspección final.

En consecuencia, con este procedimiento se utiliza parte del descarte de fabricación, disminuyendo el mismo en forma considerable. Pero el motivo fundamental de su agregado es que el U₃O₈ actúa como pasivador en la sinterización favoreciendo la estabilización de la densidad en servicio nuclear.

La operación de mezclado y homogeneizado se realiza por espacio de una hora. Posteriormente la mezcla es cargada en forma neumática al depósito de alimentación de la prensa de compactado. (F.6).

COMPACTADO

Generalidades

La transformación de polvo a pastilla de UO₂ se lleva a cabo mediante una prensa de compactado con un herramental consistente en dos punzones y una matriz de diseño especial (Fig.7). La densidad que adquieren los compactos es de aproximadamente el 50% de la densidad teórica del UO₂.

Como se puede ver en la Fig. 8, no es posible obtener pastillas con la densidad requerida (Atucha 10,55 ± 0,15 gr/cm³) sólo a través del prensado, ya que la función densidad en crudo vs. presión, a valores menores que los requeridos, supera las posibilidades técnicas.

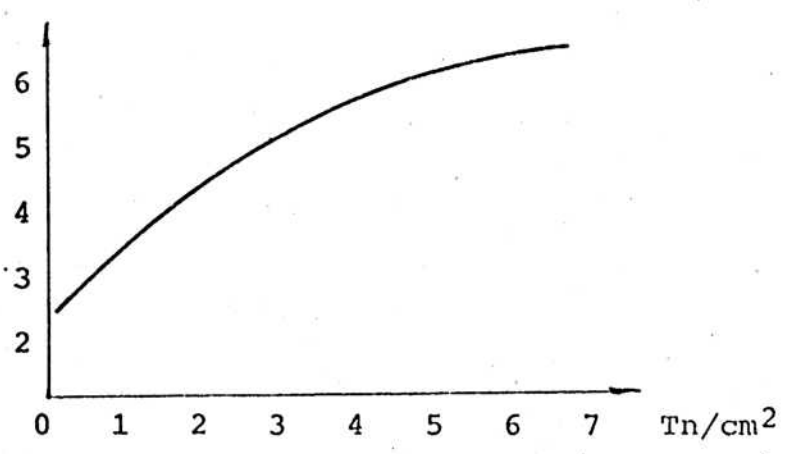


FIG.8

En presiones muy altas la posibilidad de fallas en las pastillas aumenta. Por esta razón se fija la presión durante la producción normalmente no más allá de las 5 Tn/cm².

Se trabaja con densidades en crudo de 5,5 a 6,2 gr/cm³. El límite inferior está fijado por la mínima firmeza necesaria para el manipuleo de los compactos y la densidad de sinterizado requeridas.

PROCESO

El polvo contenido en el depósito (3) Fig. 6) descarga por gravedad en una canaleta de dosificación (6) y una manguera flexible (7). El canal de dosificación vibratorio (6) está comandado por un sistema capacitivo de mando adosado a la manguera flexible de modo tal de mantener un peso aproximadamente constante en la zapata de carga para evitar el compactado del polvo en ésta debido a su movimiento de vaivén, hecho que influye en el llenado de las matrices.

A fin de mejorar la regularidad de llenado de las matrices sobre todo cuando se trabaja con juegos múltiples, la zapata de carga (5) se desplaza sobre ellas y en ese instante se pone en marcha un agitador interno rotativo.

La tecnología de compactado empleada para pastillas Atucha es la de doble efecto, es decir, prensado simultáneo de ambos lados con dos punzones (Fig. 9). Las fuerzas de rozamiento internas y los que aparecen entre el compacto y la pared de la matriz, dan como resultado una pastilla que tendrá distintas densidades en su longitud.

Debido a esta característica y a la propiedad del sinterizado de equilibrar las densidades, se obtendrá un cuerpo sinterizado de igual densidad pero con una mayor contracción en la zona menos densa de la pastilla cruda, esto da como resultado, luego del sinterizado, un cuerpo en forma de reloj de arena.

HERRAMENTAL

Debido a las altas presiones empleadas (2-6 Ton/cm²) durante el compactado del polvo y durante la expulsión de los compactos de las matrices, se generan considerables fuerzas de rozamiento entre las pastillas y las paredes de las matrices. Por este motivo, no es posible realizar el prensado de polvo de UO₂ en matrices cilíndricas sin la ayuda de un medio lubricante al polvo mismo o lubricando las paredes de la matriz.

El agregado en exceso de medio lubricante al polvo exige su eliminación en proceso previo al sinterizado; si se utiliza poco lubricante (con el fin de evitar el proceso de presinterizado), el pasaje de las pastillas a través del horno debe realizarse en forma lenta a fin de dar tiempo a la eliminación del lubricante antes que comience el proceso mismo de sinterizado.

Tanto uno como otro caso se traduce en una menor utilización de la capacidad instalada. Por esta razón se trabajó en el desarrollo de un sistema automático de lubricación de matriz durante el proceso de prensado.

Con ello se cubre la pared de la matriz con una delgada película de lubricante, suficiente para reducir las fuerzas de rozamiento entre pared y pastillas sin que penetre dentro del compacto mismo. Como medio lubricante se utiliza un aceite mineral de alta presión de calidad comercial.

Ambos punzones son de acero templado y en la parte frontal tiene el formato necesario para obtener las concavidades requeridas en la pastilla Atucha.

En los punzones inferiores además se grava en relieve un número correlativo, equivalente a la cantidad de matrices utilizadas, a los efectos de poder identificar la matriz que expulsa pastillas defectuosas y poder así corregir la causa una vez determinada.

Las matrices están construidas de acero pero la zona de trabajo es de metal duro para prolongar la vida útil.

En la fabricación de pastillas Atucha, es posible utilizar hasta siete matrices simultáneamente en una prensa de 50 toneladas KOMAGE.

EQUIPAMIENTO UTILIZADO

La experiencia capitalizada en fabricación de pastillas a través de los trabajos de desarrollo a nivel de laboratorio primero y en escala piloto posteriormente, con la fabricación de los prototipos MZFR, permitió tener la capacidad para seleccionar una prensa peletizadora de alta producción y grandes ventajas técnicas que se pueden resumir en los siguientes puntos:

1. Mayor espacio para la instalación de herramental;
2. Gran versatilidad de operación, pues siendo una prensa mecánica, tiene limitador de presión hidráulica además de gran posibilidad de realizar infinitas variaciones en los ciclos de prensado en función de las características del polvo utilizado.
3. Posibilidad de automatizar la descarga de pastillas prensadas, ya que la mesada de matrices descansa mayor tiempo en el punto muerto inferior.
4. Unido al punto anterior, posibilidad de llenar las matrices por aspiración.
5. Marcha más silenciosa.

Por estas características se seleccionó una prensa KOMAGE de 50 toneladas.

El ciclo utilizado en la fabricación de pastillas Atucha es el indicado en el diagrama de la Fig.10.

SINTERIZADO

Generalidades

La palabra "sinterización" es una derivación castellana de "sintering" o "sinterhung" y es utilizada para identificar un tratamiento térmico que, realizado bajo determinadas condiciones, actúa sobre partículas de polvo comprimidas. En este proceso, la afinidad mecánica entre partículas lograda por la presión de compactado, se transforma en verdadera soldadura como consecuencia de un mecanismo de difusión.

Lo original es que a través de este mecanismo un cuerpo de polvo compactado de reducida densidad, es transformado en un cuerpo de alta densidad, por contracción volumétrica pero conservando la forma inicial. Esto ocurre, en la mayoría de los casos, a temperaturas bastante inferiores al punto de fusión del material en cuestión.

En el caso del UO_2 , cuyo punto de fusión es de aprox. $2800^{\circ}C$ se pueden lograr densidades del 95% de la densidad teórica a temperaturas de solo $1600^{\circ}C$ partiendo de compactos con una densidad de aprox. 50% de la teórica.

Sin entrar a discutir aquí los complejos mecanismos del sinterizado, se describe a continuación el sinterizado de pastillas de UO_2 y lo que para ello debe tenerse en cuenta.

Densidad de los cuerpos sinterizados

La densidad de las pastillas de UO_2 sinterizadas depende de varios parámetros de acuerdo a las funciones representadas en la Fig. 11.

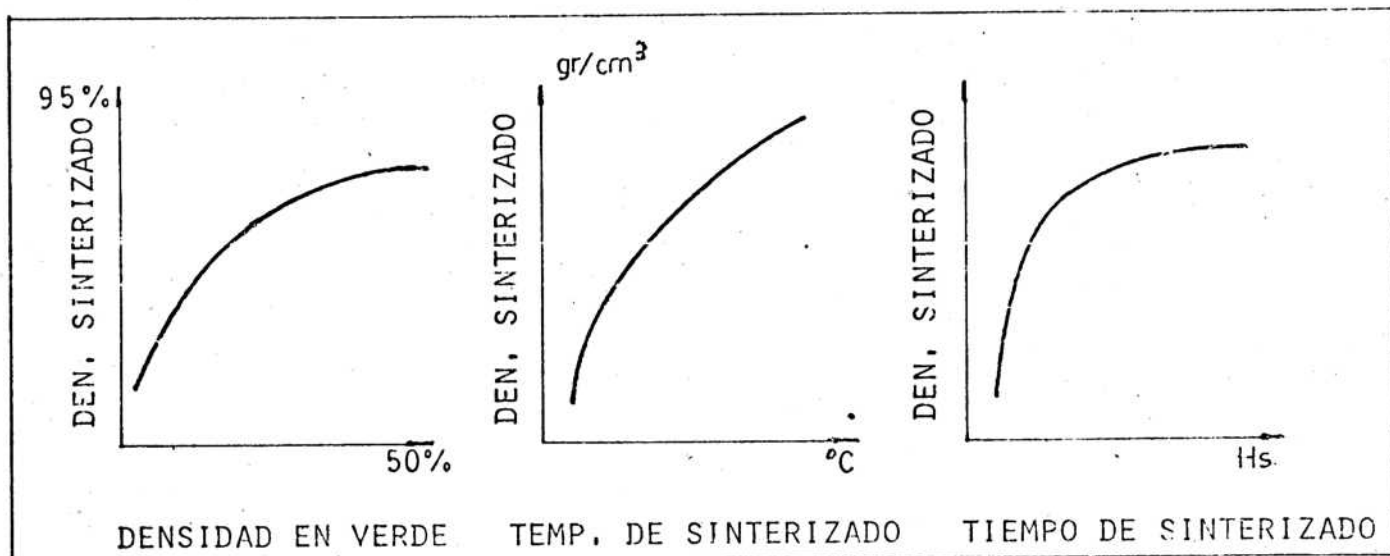


FIG. 11

Las curvas representadas son sólo cualitativas y reproducen el transcurso característico de las funciones; son no obstante dependientes de la respectiva calidad de polvo y pueden variar considerablemente de uno a otro proceso de fabricación de polvo.

Para un polvo, producido con un determinado proceso de fabricación, puede estimarse su curva aproximada conociendo su valor de superficie específica BET. Un ensayo de sinterizado revela resultados más exactos ya que los parámetros de las curvas de la figura 11 sólo pueden variar dentro de reducidos límites. En la fabricación de pastillas la curva de la Fig. 12 alcanza gran significado. Durante la fabricación se pretende, en lo posible, trabajar en la zona donde la curva se aplanan (zona 1).

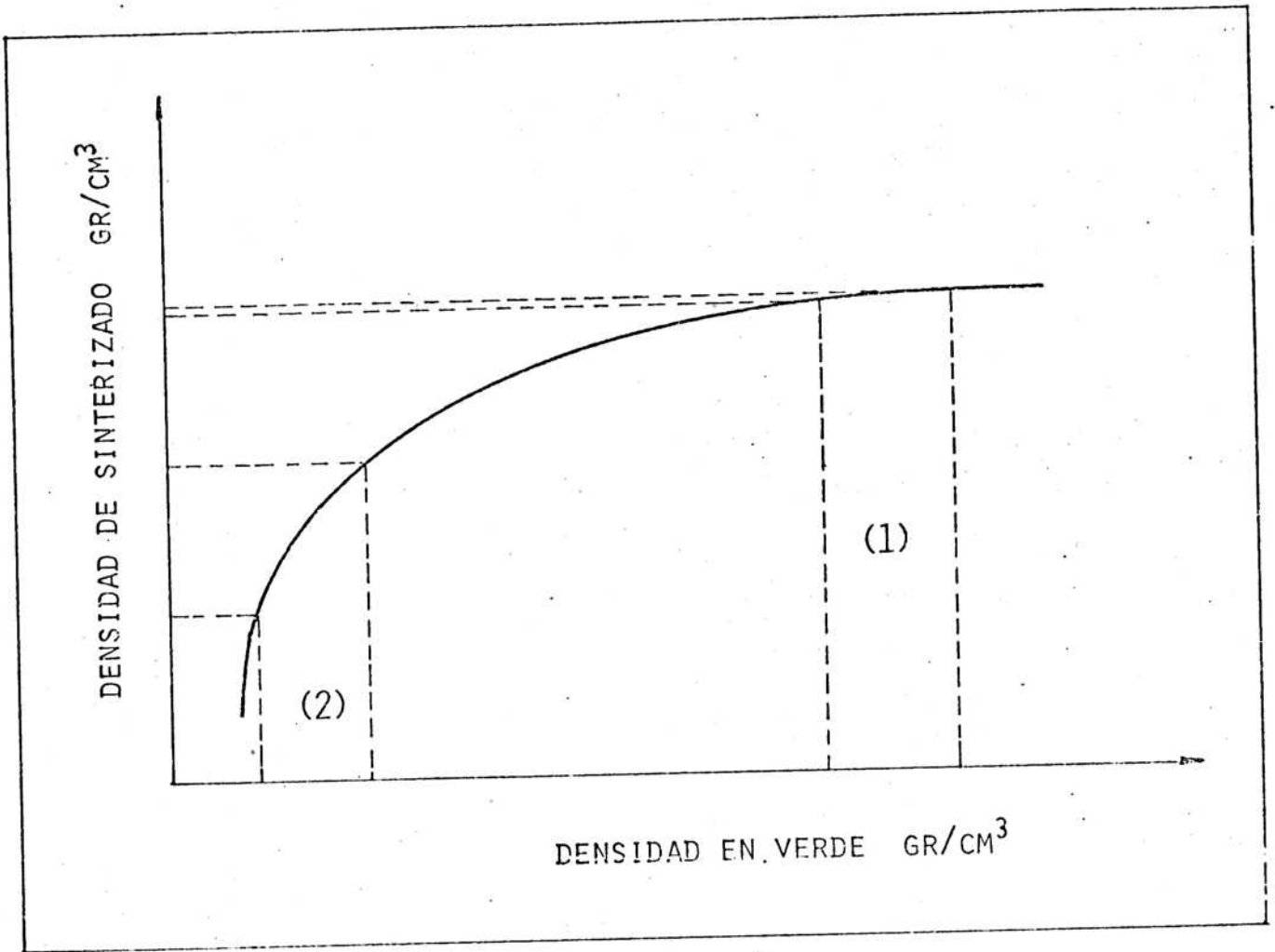


FIG. 12

En esta zona, las inevitables fluctuaciones de la densidad en crudo repercuten en menor grado sobre las fluctuaciones de la densidad de sinterizado. En la zona 2 por el contrario, las variaciones son mayores.

Constancia dimensional de los compactos sinterizados

La contracción provocada por el aumento de densidad de los compactos durante el sinterizado ocurre en forma casi equiaxial. La contracción lineal comprende aprox. 18-25%, dependiendo de la densidad en crudo y sinterizado.

Sinterabilidad del polvo

No todos los polvos de UO₂ son aptos para sinterizar. Si bien la sinterabilidad depende fundamentalmente de una serie de propiedades físicas tales como superficie específica, estructura de la red cristalina, tamaño de los cristales, forma de los mismos, etc., podemos considerar la sinterabilidad como una propiedad más.

Cuando el UO₂ es fabricado por un determinado proceso y se obtienen polvos semejantes, es posible deducir la sinterabilidad del mismo controlando la superficie específica según el método BET.

Estequiometría del polvo

El polvo de UO₂ estequiométrico con gran superficie específica, no es estable en el aire; es piroforico, se transforma fácilmente en óxidos superiores.

Para posibilitar la fabricación de pastillas es necesario partir de un polvo "estabilizado" lo cual se hace en el proceso de fabricación del UO₂ con una oxidación controlada para llevar la relación O/U a valores de 2,07 a 2,17. La propiedad de sinterabilidad de un polvo de UO₂ depende fuertemente de la estequiometría.

A fin de fabricar pastillas de UO₂ estequiométricas que cumplan con las especificaciones, es indispensable realizar el sinterizado en atmósfera de H₂. La reducción de los compactos debe producirse en forma lenta y completarse antes de comenzar el sinterizado.

Un sobreestequiométrico comienzo del sinterizado, seguido de reducción con sinterizado simultáneo, conduce a más bajas densidades.

Temperatura de la zona de reducción

La temperatura de la zona de reducción se determina en función de otros parámetros de producción, por ejemplo, influyen en la elección de esta temperatura características físicas del polvo de UO₂, fundamentalmente la relación O/U, como así también la densidad de prensado de la que partimos y la densidad de sinterizado a la que debemos llegar. En base a estas consideraciones y al horno utilizado, se determinó que la temperatura de reducción más apropiada estaba entre los 500°C y 800°C.

Temperatura de Sinterizado

Los hornos de sinterizado que se utilizan están diseñados para trabajar en esta zona hasta temperaturas de 1800°C. La temperatura de sinterizado como así también el tiempo de sinterizado y la densidad de prensado influyen en la densidad final especificada del compacto.

En razón de las exigencias de las especificaciones en cuanto a densidad y tamaño medio de grano, y a fin de evitar el resintering en servicio nuclear, se trabajó a temperaturas de 1700-1750°C.

Tiempo de sinterizado

El tiempo de sinterizado, es decir, el tiempo en que las pastillas permanecen a la máxima temperatura, varía en nuestro proceso entre 2 y 4 horas. Sin embargo, a menudo el tiempo total de pasaje a través del horno no está determinado precisamente por el tiempo de sinterizado sino por el de reducción.

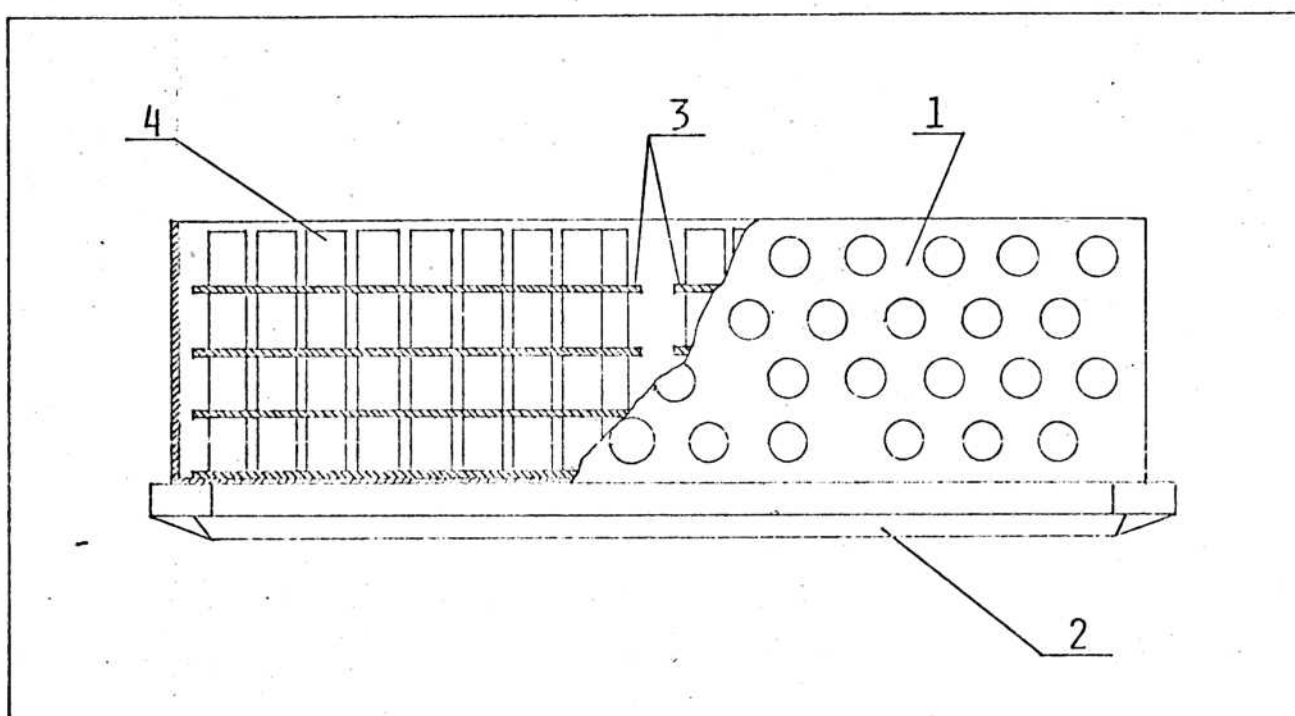
Horno de sinterizado

Se utilizó un horno continuo de sinterización como se esquematiza en la Fig.13. Sus partes principales son: cámara de carga (1); zona de precalentamiento o reducción (2); zona de alta temperatura (4); zona de enfriamiento (6) y una zona de descarga (7).

El calentamiento es eléctrico por medio de resistencia de Cr-Ni y Mo respectivamente en las zonas (2) y (4). El avance de las naves con pastillas se realiza por medio de un empujador regulado a una velocidad adecuada. La atmósfera utilizada es hidrógeno comercial húmedo.

Botes de sinterizado

Un modelo de nave de sinterizado se observa en la Fig. 14. Su material de construcción es molibdeno y la capacidad de cada una de ellas es aprox. 10.5 kg. Las pastillas van dispuestas de pie sobre placas separadas, también de molibdeno.



1. Canasto perforado
2. placa base
3. placas porta pastillas
4. pastillas de UO₂

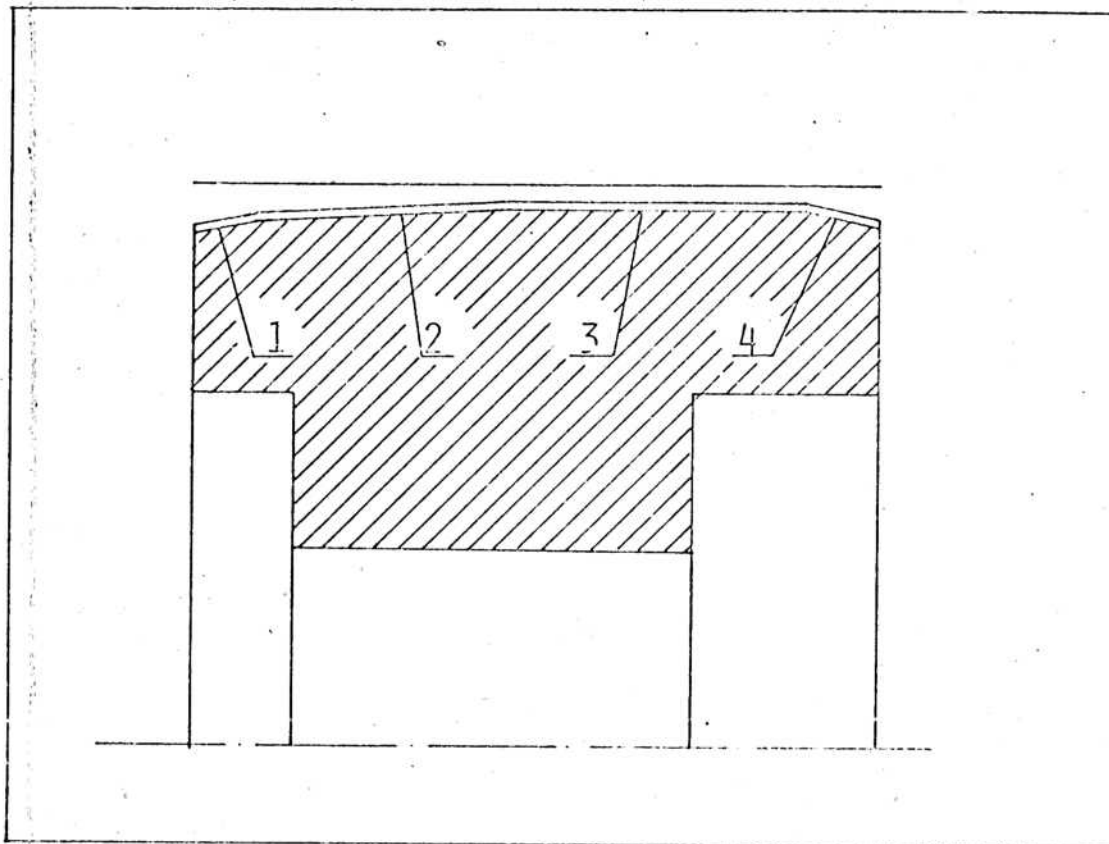
FIG. 14

RECTIFICADO

Las pastillas de UO₂ salen del proceso de sinterizado con una sobremedida que oscila entre 0,10 y 0,20 mm en el diámetro. A fin de mantener los límites de tolerancia especificados ($\pm 0,01$ mm), es necesario realizar un rectificado ciliíndrico. Esta operación es llevada a cabo en una rectificadora sin centros convencional.

Las primeras experiencias de rectificado se realizaron con muelas de carburo de silicio que tienen la ventaja de impartir a las superficies rectificadas, una rugosidad bajísima pero, como contrapartida, se desgastan rápidamente siendo necesario un ajuste frecuente de la máquina.

Por esta razón, cuando hubo necesidad de procesar grandes cantidades de material, se adoptó la muela diamantada. Un perfil de la misma se muestra en la Fig.15 el cual permite realizar la operación en una sola pasada.



1. Zona de desvaste grueso; 2. Zona de desvaste fino; 3. Zona de rectificado; 4. Descarga.

FIG.15

El rectificado es realizado con ayuda de un sistema complementario a la rectificadora de carga, lavado, secado y carga de bandejas de transporte teniendo en cuenta que se deben rectificar varios millones de pastillas por año. (Fig.16).

Sistema de enfriamiento

El calor generado por el rectificado es neutralizado por medio de un sistema de enfriamiento que constituye un circuito cerrado (Fig.17) El agua desmineralizada utilizada arrastra el polvo de UO₂ desprendido el cual es recuperado en una centrífuga. Este barro puede ser secado y agregado en bajas proporciones al polvo de UO₂ fresco.

CALIDAD

Generalidades

La manera de lograr la estricta calidad exigida por las especificaciones y altos rendimientos del producto fabricado, se basa en un seguimiento paso a paso de los procesos y equipamiento, manteniendo los medios de producción dentro de sus ajustados parámetros, dado lo complejo de la materia prima, de características cerámicas.

Control de producción

El supervisor de turno controla el producto obtenido en cada etapa y realiza los ajustes necesarios al equipamiento. En Prensado se toma una pastilla por cada matriz, en las que se verifican: estado superficial, altura y diámetro, estos últimos se vuelcan en una planilla tabulada que de inmediato determina la densidad de los compactos, La frecuencia de toma de muestras es de una hora.

En rectificado se controla: aspecto superficial, conicidad, ovalización y diámetro el cual es de fundamental importancia (tolerancia $\pm 0,01$ mm). Se toman muestras con mayor frecuencia que en el prensado.

Se separan de las bandejas terminadas, mediante una inspección visual, cualquier pastilla cascada, fisurada o manchada que pudiera haber pasado luego del rectificado.

Control de calidad

Esto es realizado por un Departamento independiente responsable de detectar material fuera de especificación y advertir a Producción sobre si hay tendencia a desviaciones de las especificaciones de algún parámetro lo cual permite corregir la causa producida ya sea por desgaste de herramienta o por fallas de operación.

Después del sinterizado, personal de Control toma muestras al azar, de pastillas para medir la densidad ($10,55 \pm 0,15$ gr/cm³.) y una vez realizado el control en forma estadística se aprueba el lote y recién es liberado para rectificar.

Del mismo modo se toman muestras de las cajas de embalaje a fin de realizar las mediciones físicas y químicas establecidas en las especificaciones.

El siguiente paso es completar las bandejas con las pastillas aprobadas, presintarlas y recién cuando se obtiene el resultado satisfactorio de laboratorio, pasan a ser liberadas para el armado del combustible.

Absolutamente todo control, comenzando desde la fabricación misma del polvo, es volcado en planillas que acompañan al material y forman parte del protocolo del combustible.

CONCLUSIONES

El proceso de fabricación de pastillas combustibles Atucha descrito a grandes rasgos en este trabajo, ha sido desarrollado paso a paso en CNEA pues si bien el mismo es común en industrias similares extranjeras, éstos no fueron comprados sino experimentados lo cual nos permitió fabricar pastillas de UO₂ y poder solucionar con certeza todos los problemas inherentes a tal fabricación.

Dentro del marco del Proyecto PPFCN-A se fabricaron núcleos cerámicos para 245 Elementos Combustibles en cuatro etapas: Lotes XA - XB - XC y XD (= 50 Tn UO₂ procesado = 4.000.000 pastillas liberadas)

Las últimas 40 toneladas que conforman el lote XD se comenzaron a procesar en Agosto de 1980 produciendo a un promedio de 300 kg de UO₂ por día.

El descarte total de producción en este último lote fue de aproximadamente 9% compuesto por: 5% en forma de pastillas; 2% en barro de rectificado; 1% polvo contaminado; 1% merma.

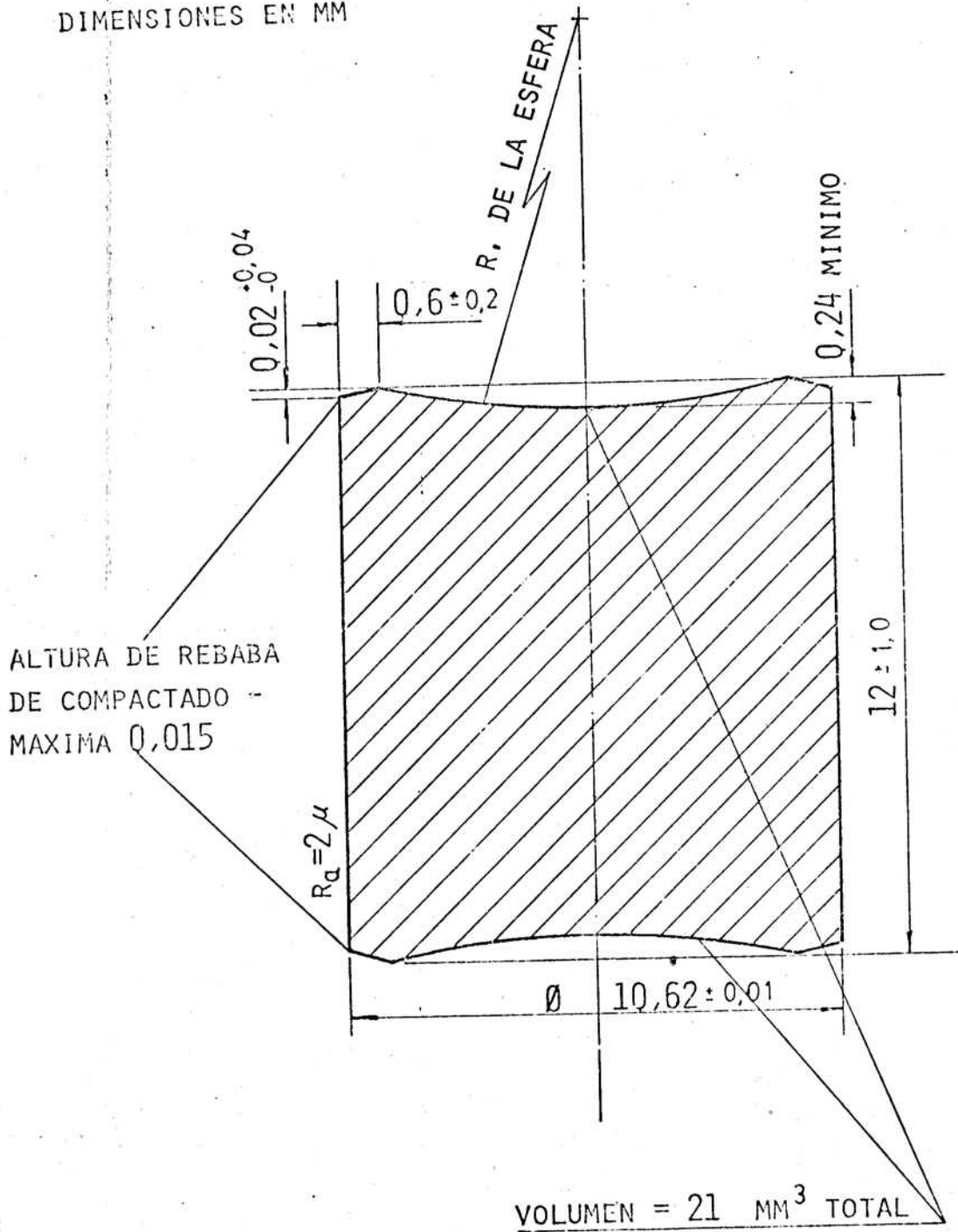
REFERENCIAS:

- (3) BIONDO, C., KOLL, H., Desarrollo de técnicas de fabricación de barras combustibles del tipo UO₂/zircaloy, IV Jorn. Metal. Argentina., SAM, Córdoba, 1970. Convención Unión Panam. de Ing. upadi, Buenos Aires, Argentina, St. 1970, public. int. CNEA (1970).
- (4) DYMENT, I., Fabricación de pastillas combustibles cerámicas UO₂, IV Jorn. Metal. Argent., SAM. Córdoba, 1970, public. int. CNEA (1970).
- (5) 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).
- (6) DE GRANDE, A., Ensayos de corrosión de soldadura y componentes de zircaloy-4, IV Jorn. Metal. Argent. SAM. Córdoba, 1970, public. int. CNEA (1970).
- (7) 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).
- (8) BAEZ, J., ROA, L., Diagramas de exposición y sensibilidad de la radiografía de zircaloy, IV Jorn. Metal. Argent. SAM, Córdoba, 1970, public, inter. CNEA (1970).
- (9) NOGUERA ROJAS, F. Metodología y resultados obtenidos en la fabricación del núcleo prototipo 1b. Informe interno 8/74. Dto. Combustibles CNEA.
- (10) CARLONI, J., NOGUERA ROJAS, F., Informe de fabricación del núcleo del elemento combustible prototipo CNEA-MZFR. II Inf. int. 24/75. Dto. Combustibles CNEA.
- (11) CIARROCHI, A., RUGGERI, I., Evaluación de la experiencia obtenida en el control de calidad de Pastillas de UO₂ sobre una producción de 40 Tn.-AATN-X Reunión Científica. Bahía Blanca.

PASTILLA COMBUSTIBLE ATUCHA

MATERIAL UO_2

DIMENSIONES EN MM



DENSIDAD 10,4 - 10,7 GR/ cm^3

FIG. 1

DESARROLLOS DE LA TECNOLOGIA DE FABRICACION DE PASTILLAS

Año	Tipo de elemento combustible	Reactor	Desarrollo de las técnicas de fabricación	Material combustible de partida	Enriquecimiento U 235 %
1969			Caracterización de polvos UO ₂ . Compactado de Pellets UO ₂ .	UO ₂ grado cerámico	Natural 0,7 %
1970		MZFR (Alemania) SILOE (Francia)	Sinterización continua Conversión de F ₆ U a UO ₂	UO ₂ grado cerámico F ₆ U	Natural 4 %
1971	Barras Al.UO ₂	RA-3 (Blanket)	Pellets UO ₂ Vainas Al. Tapones sold. TIG.	UO ₂ grado cerámico	Natural
1972	Barras Zry-UO ₂	MZFR (Alemania) (1b)	Dosificación UO ₂ a zapata de carga de matriz	UO ₂ grado cerámico distintas proced. y calidades	Natural
1973			Compactado múltiple Rectificado continuo	UO ₂ Polvo UO ₂ Pellets	Natural
1974	Barras Zry-UO ₂	MZFR (Alemania) (II)	Lubricación automática de matrices para compactado	UO ₂ grado cerámico	1,1 %
1976	Barras Zry-UO ₂	Atucha (Argentina) (2 EC) Lote (XA)	Compactado múltiple con equilibrador de presiones	UO ₂ grado cerámico	Natural
1977	Barras Zry-UO ₂	Atucha (11 EC) Lote (XB)	Rectificado con muela diamantada	UO ₂ grado cerámico	Natural
1979	Barras Zry-UO ₂	Atucha (12 EC) Lote (XC)	Puesta a punto. Línea industrial de FECN.	UO ₂ grado cerámico	Natural
1980	Barras Zry-UO ₂	Atucha (100 EC) Lote (XD)		UO ₂ grado cerámico	Natural
1981	Barras Zry-UO ₂	Atucha (117 EC) Lote (XD)		UO ₂ grado cerámico	Natural

FIG. 2

FABRICACION PASTILLAS UO_2

PROCESO
"A"

PROCESO
"B"

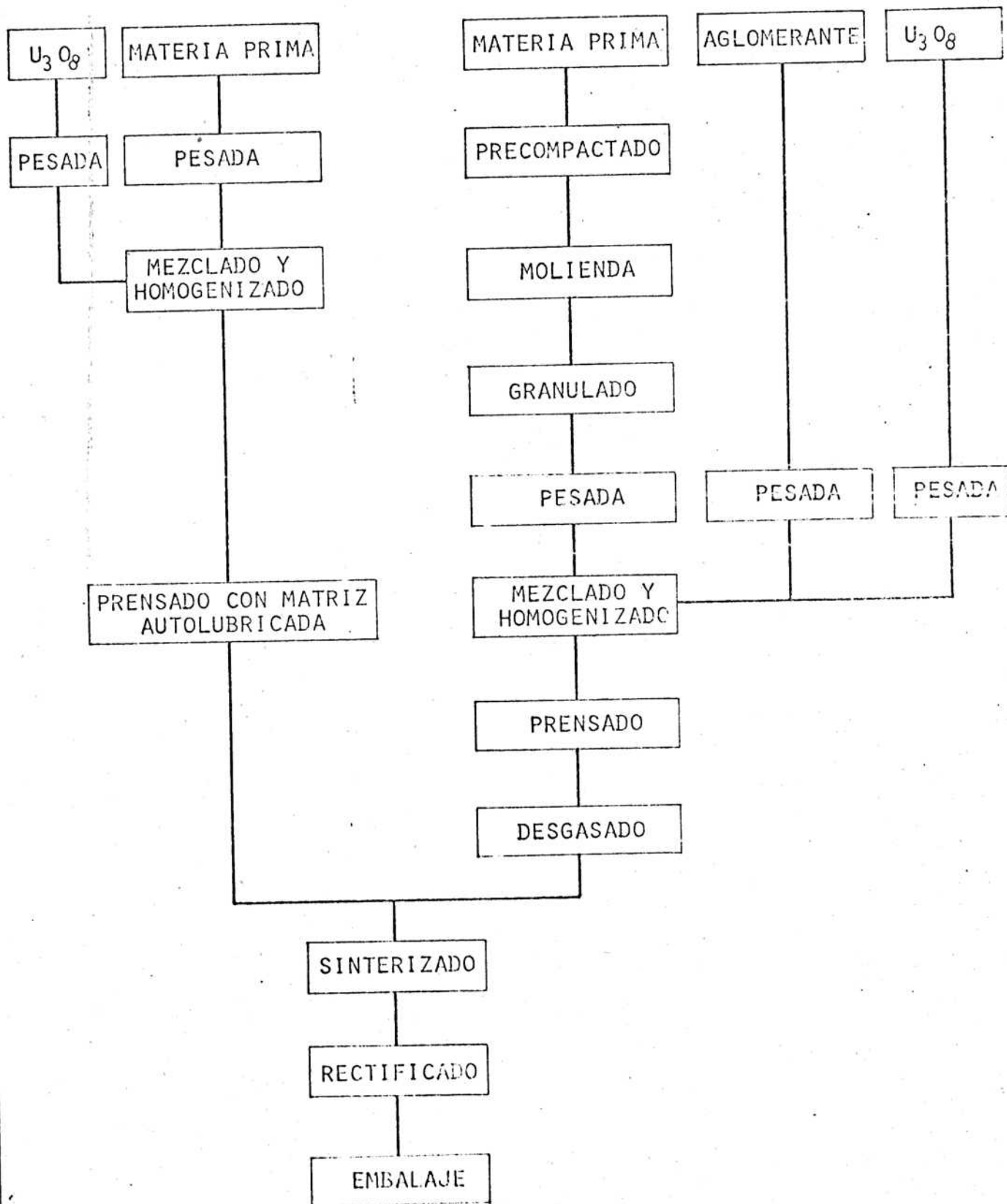
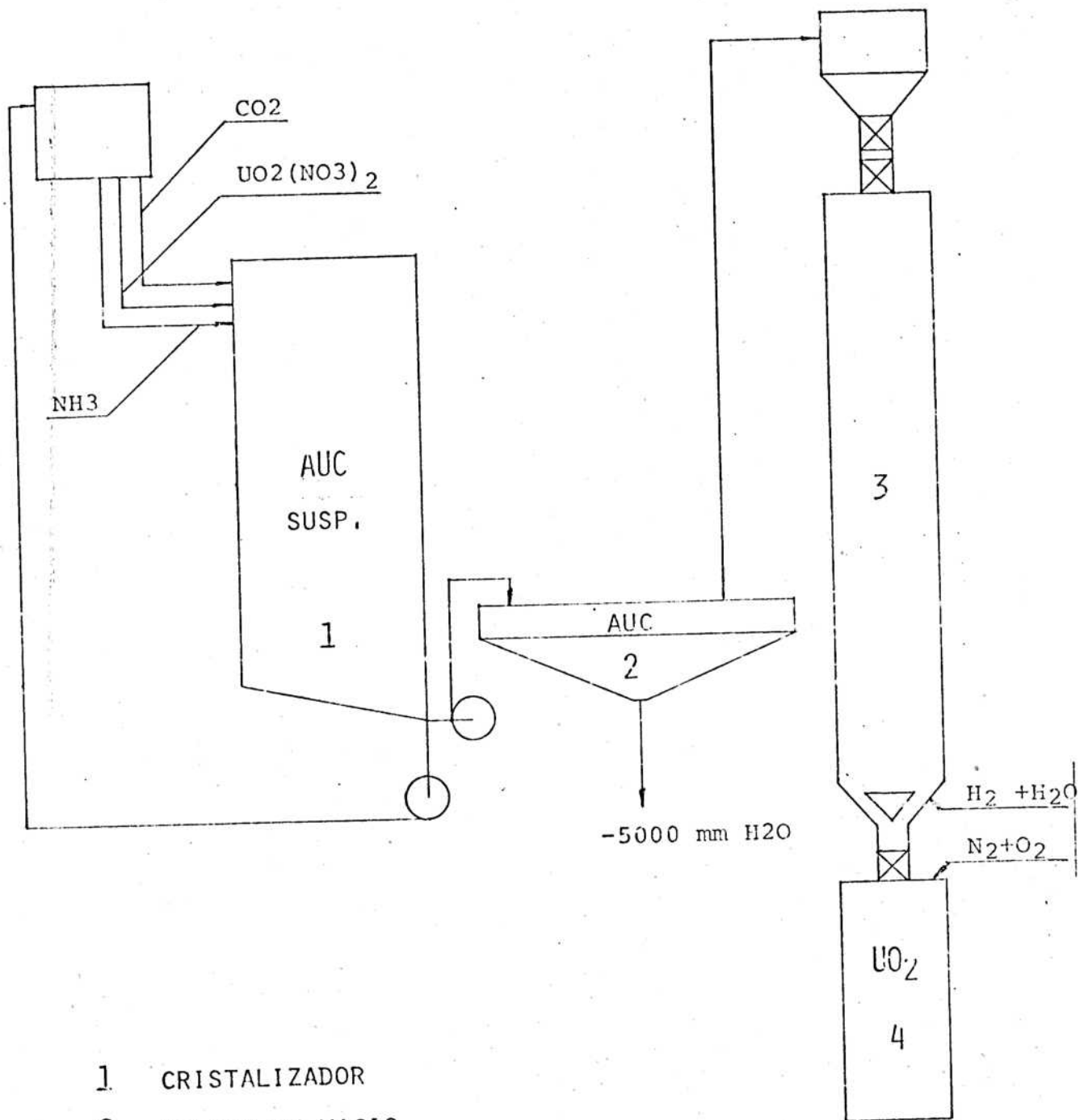
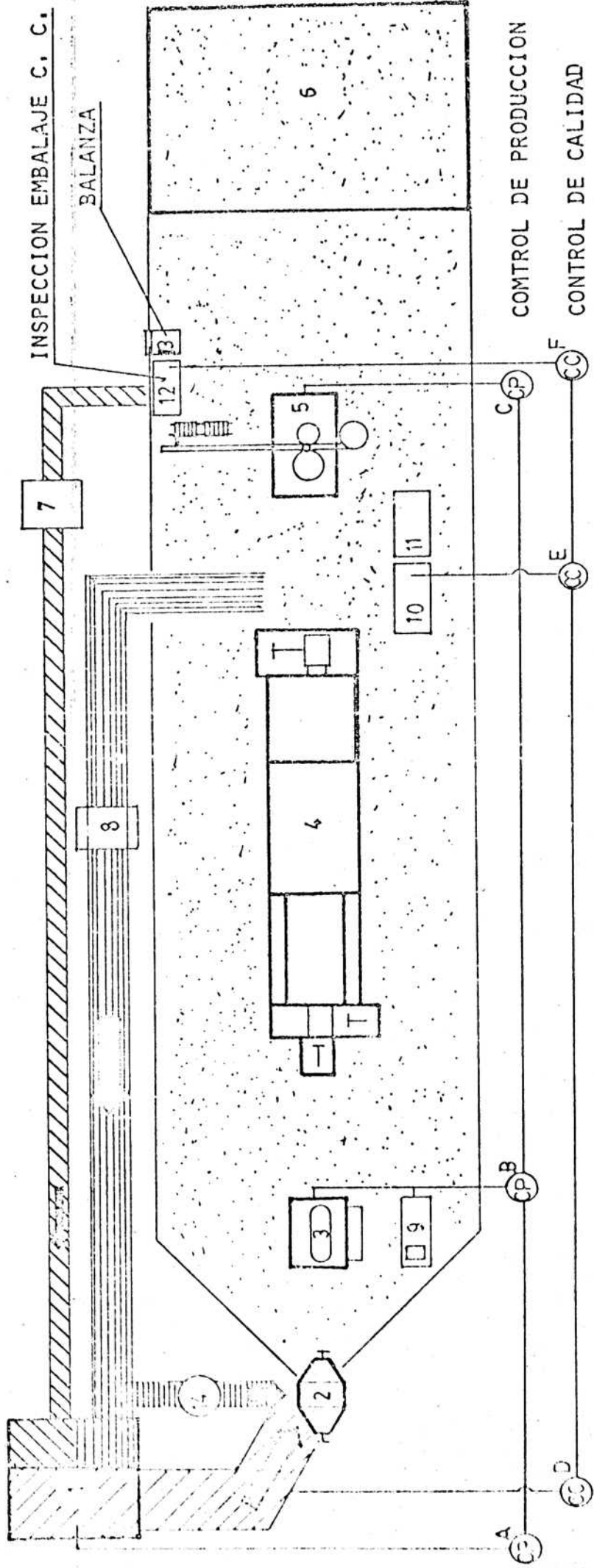


FIG. 3



- 1 CRISTALIZADOR
- 2 FILTRO DE VACIO
- 3 HORNO DE LECHO FLUIDO
- 4 PASIVADOR

FIG. 4



- II DEP. PAST. A RECTIFI.
- 1 DEPOSITO DE POLVOS
 - 2 MEZCLADOR HOMOGENIZADOR
 - 3 PRENSA DE COMPACTADO
 - 4 HORNO SINTERIZADO
 - 5 RECTIFICADORA SIN CENTROS
 - 6 DEPOSITO DE PASTILLAS TERMINADAS
 - 7 ESTUFA DE SECADO DE BARRO DE RECTIFICADO
 - 8 HORNO DE OXIDACION PARA TRANS. A U₃O₈
 - 9 MESA CONTROL DE PROD. Y ARMADO DE BOTES DE SINT.
 - 10 MESA DE DESC. DE BOTES Y ESTACION CONTROL (DENSIDAD)





-  POLVO UO VIRGEN
-  DESC. PASTILLAS Y POLVO U₃O₈
-  POLVO MEZCLA UO₂ + U₃O₈ Y PAST. TERMINADAS
-  POLVO RECUPERADA DE RECTIFICADO

FIG. 5

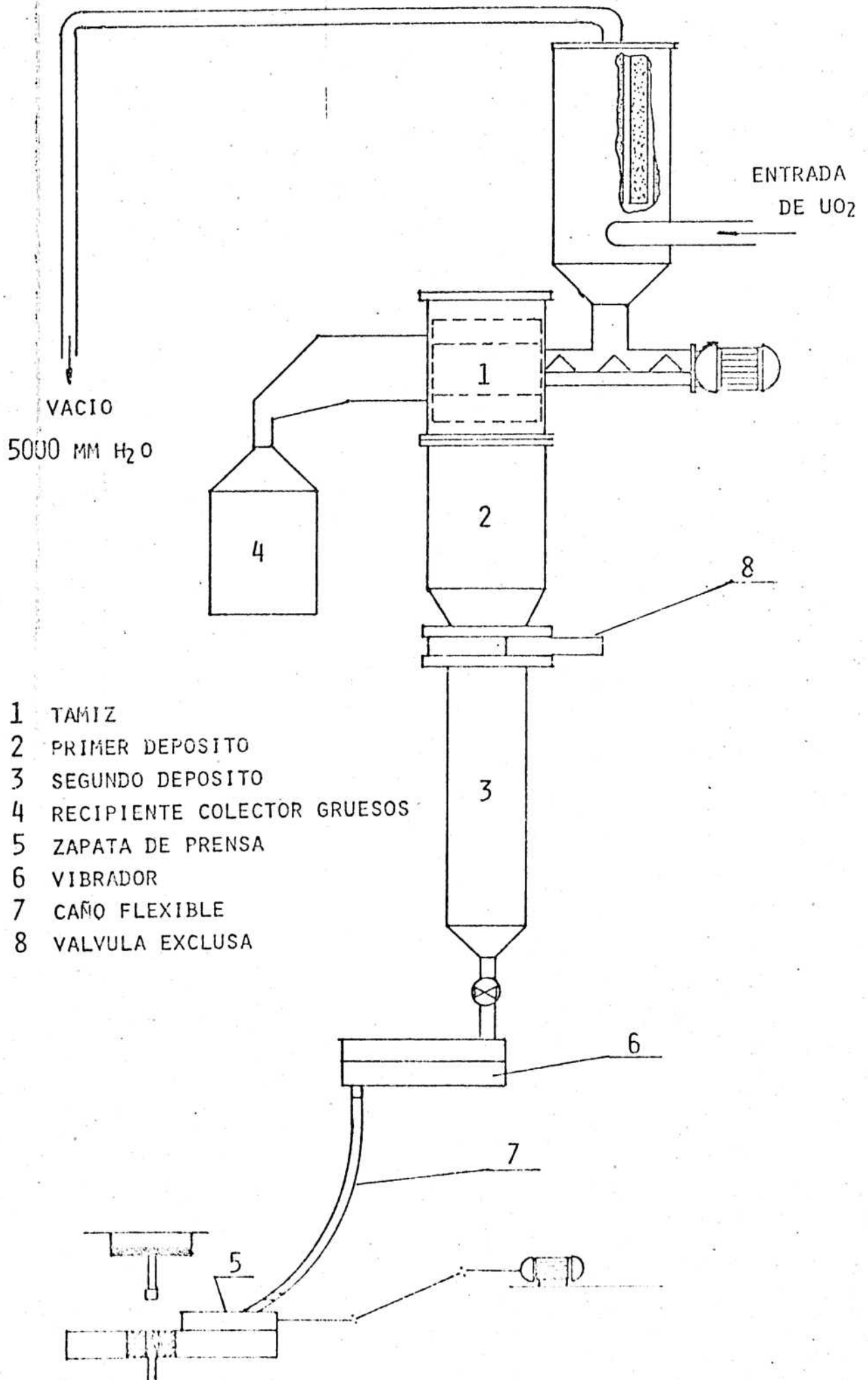


FIG: 6

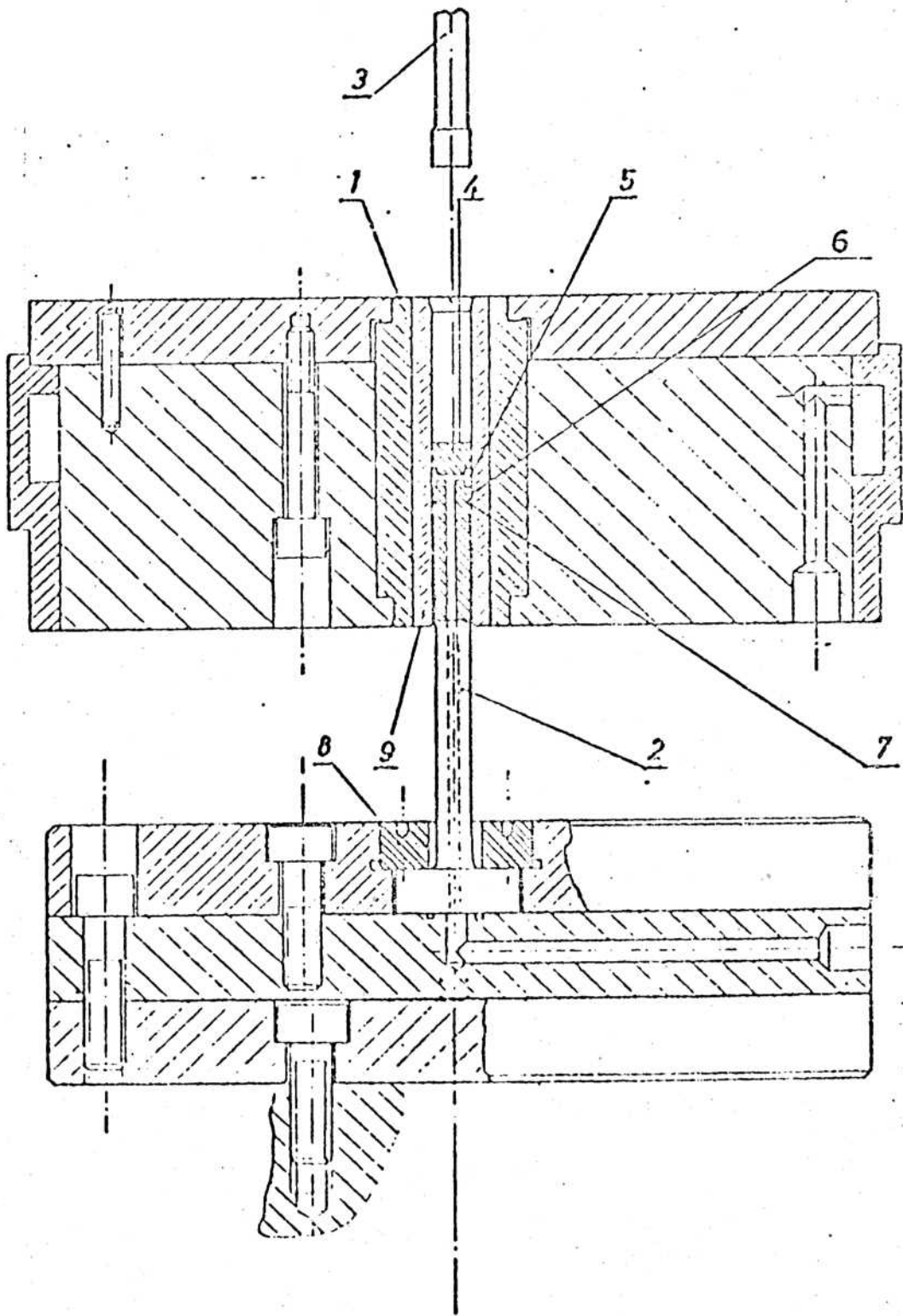


FIG 7

PRENSADO DOBLE EFECTO

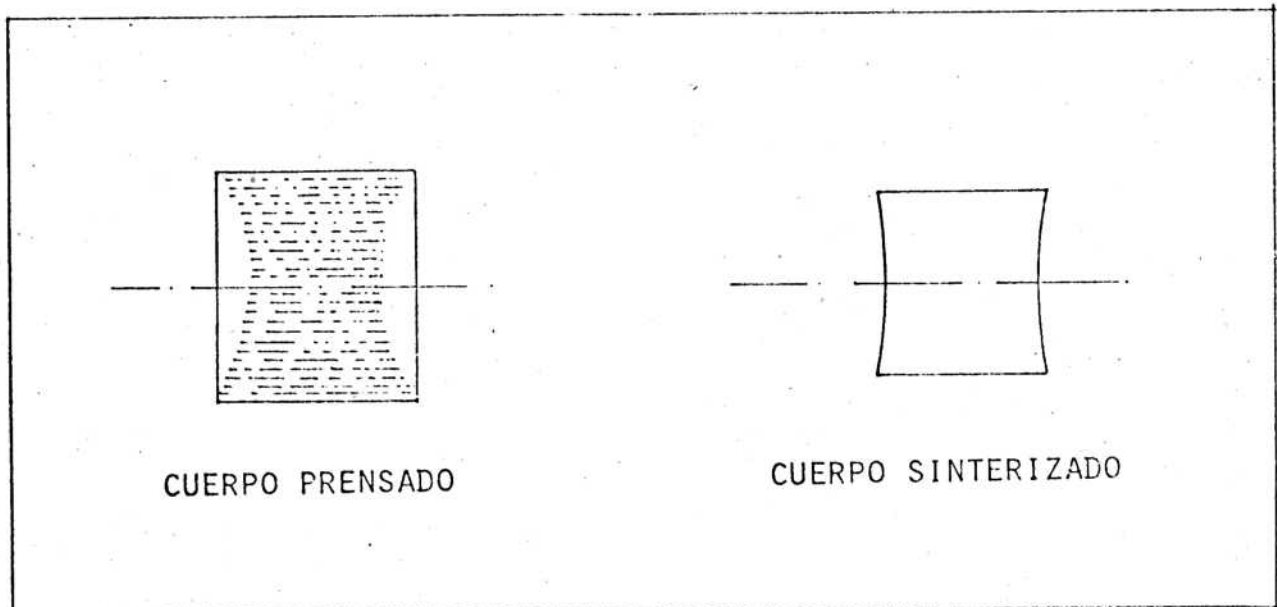
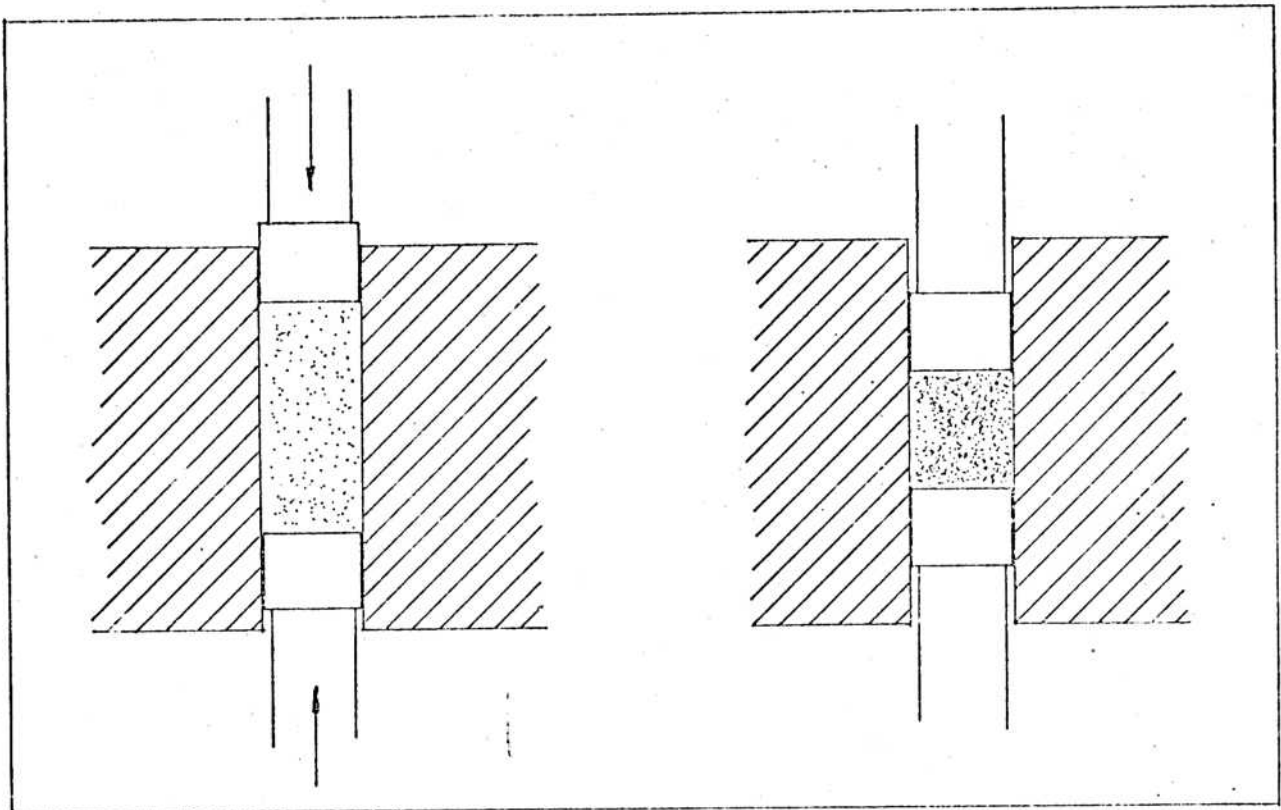


FIG 9

CICLO DE PRENSADO

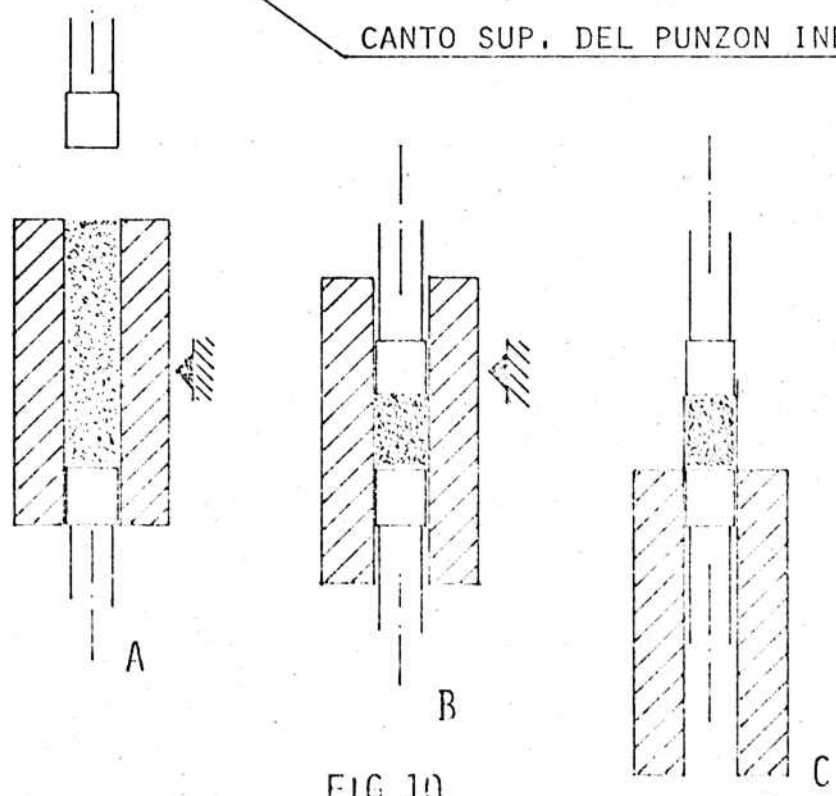
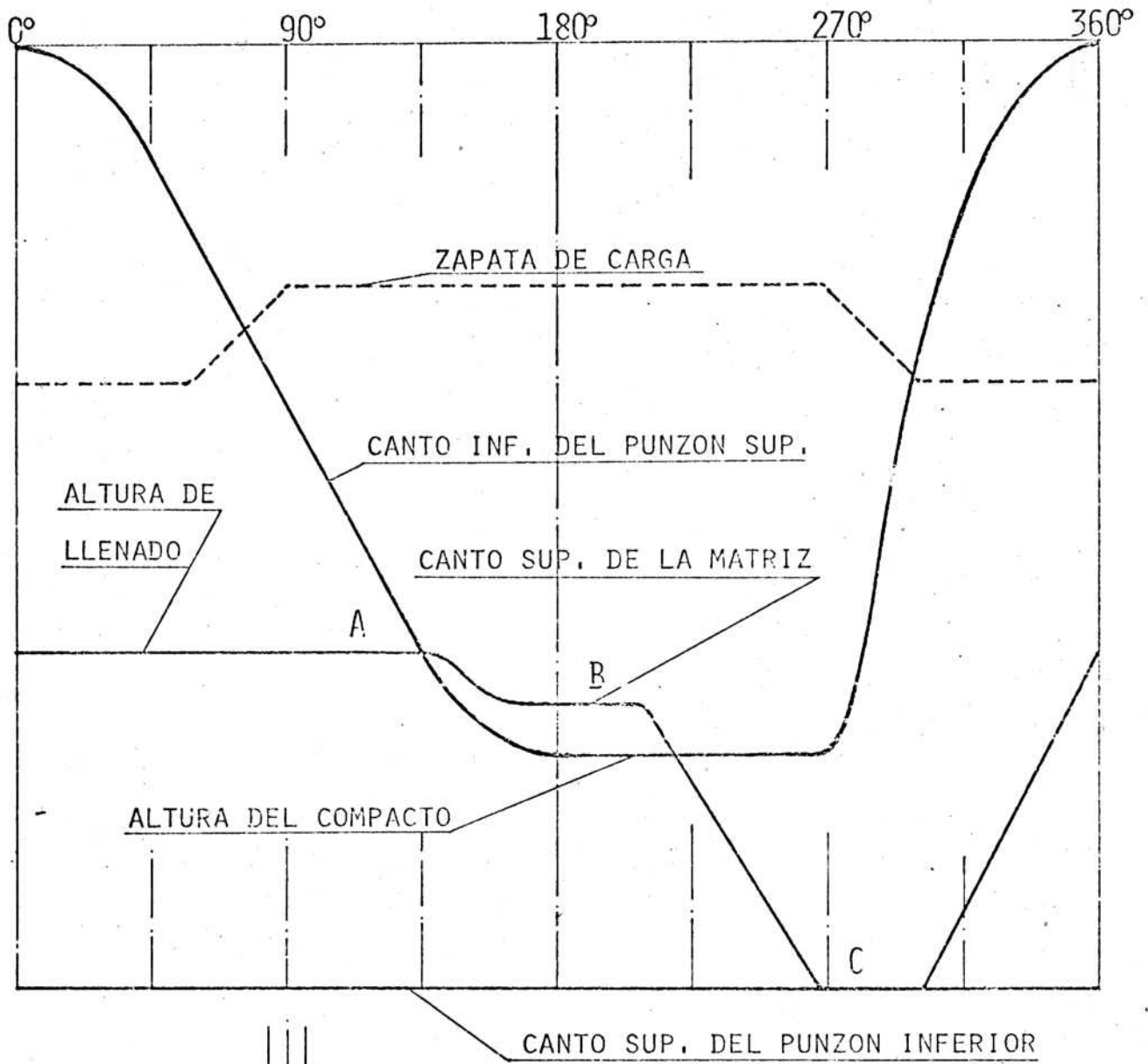
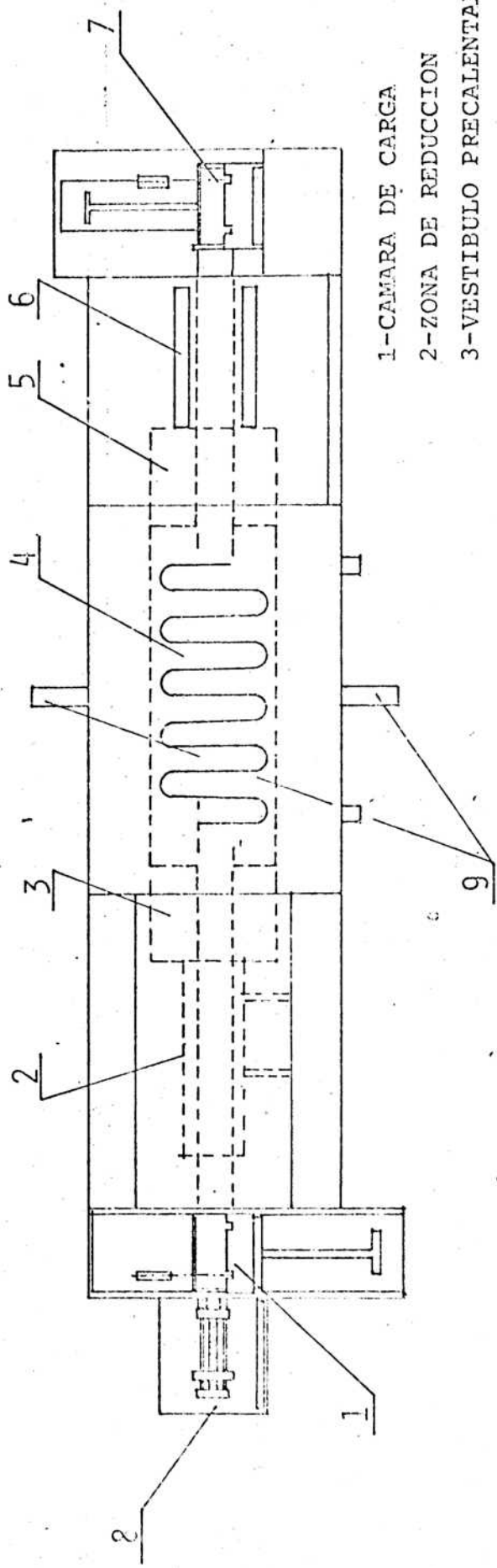


FIG 10



- 1-CAMARA DE CARGA
- 2-ZONA DE REDUCCION
- 3-VESTIBULO PRECALENTAMIENTO
- 4-ZONA DE ALTA TEMPERATURA
- 5-VESTIBULO PREENFRIAMIENTO
- 6-ZONA DE ENFRIAMIENTO
- 7-CAMARA DE DESCARGA
- 8-EMPUJADOR PRINCIPAL
- 9-PIROMETROS DE CONTROL

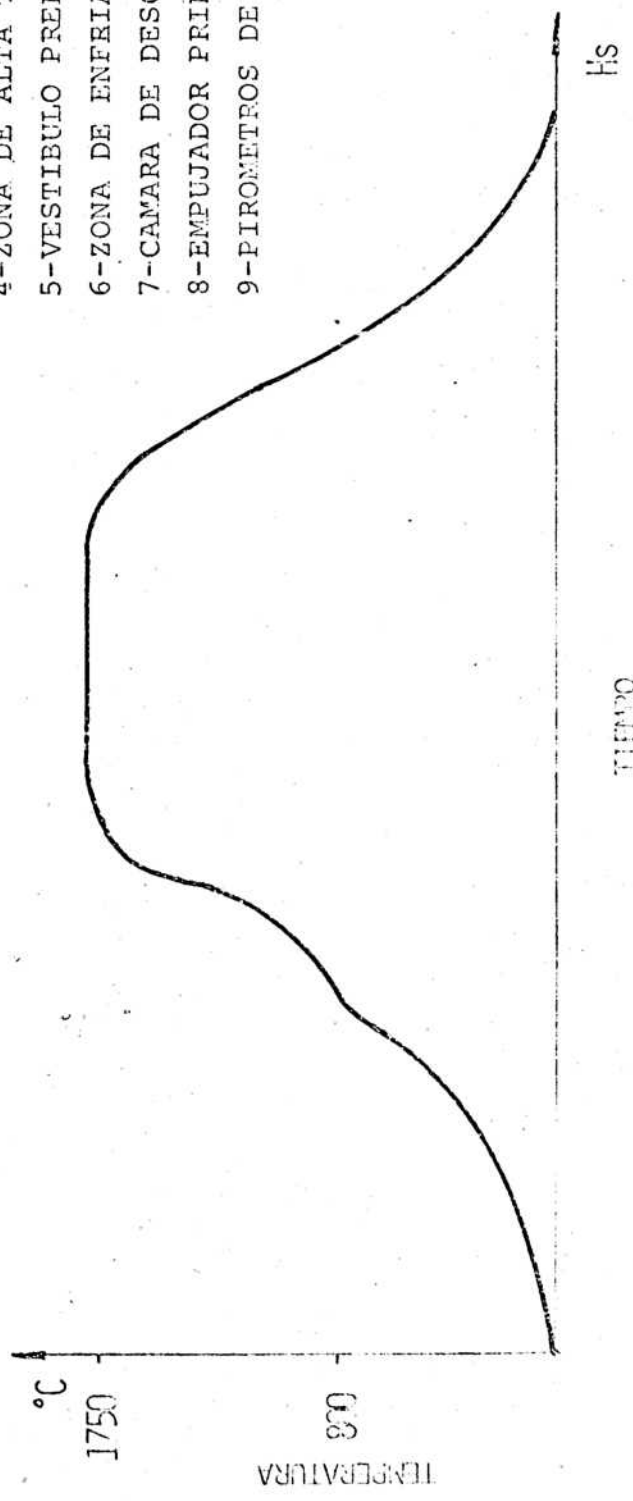


FIG 13

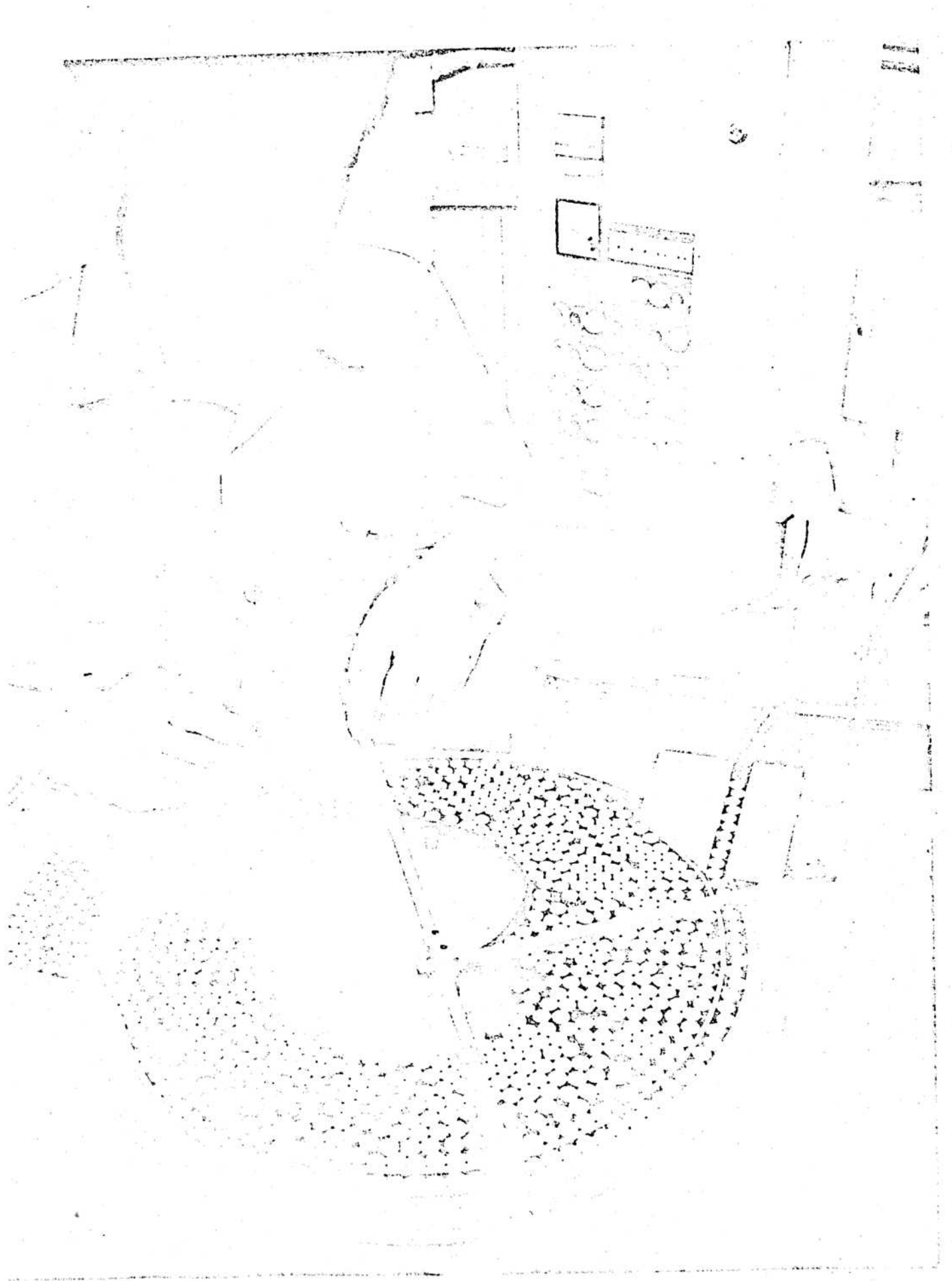
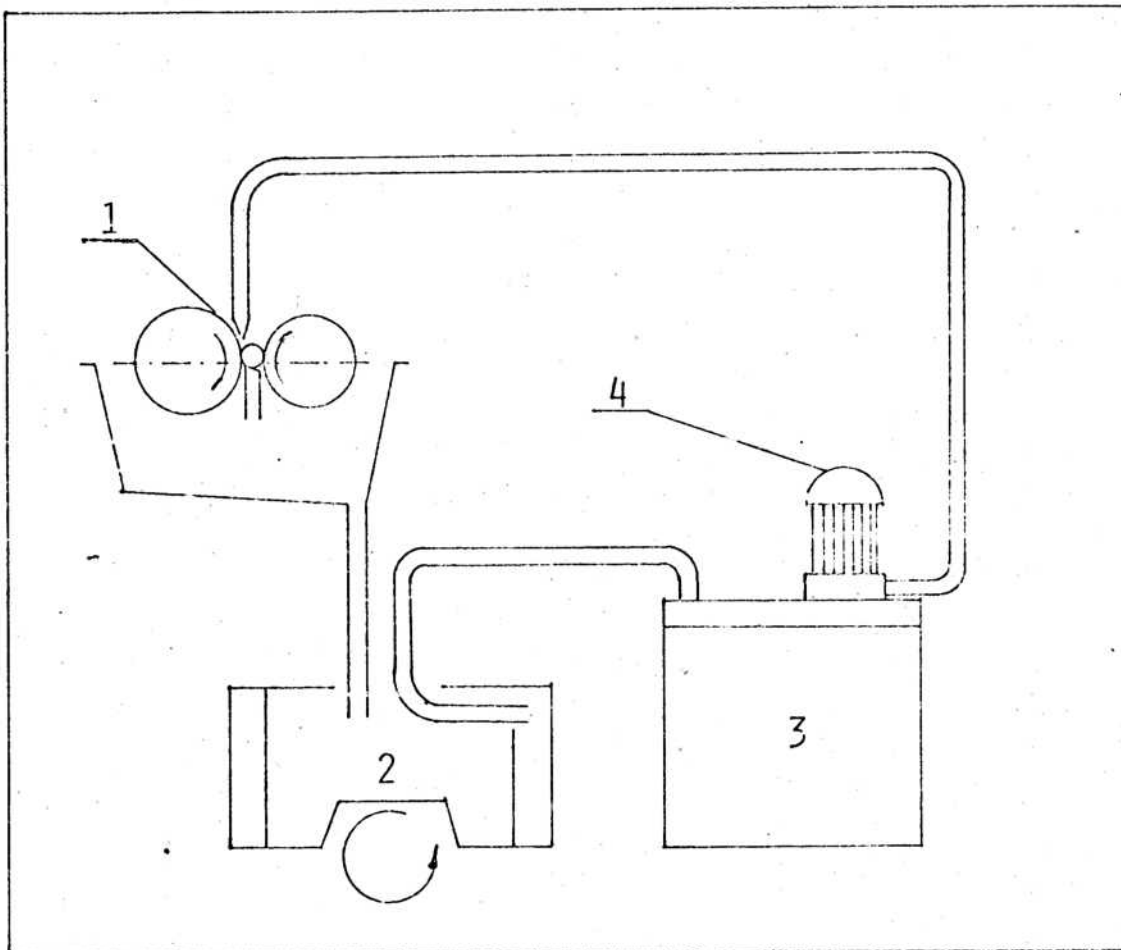


FIG 16

CIRCUITO REFRIGERANTE DE RECTIFICADO



- 1 ZONA DE RECTIFICADO
- 2 CENTRIFUGA
- 3 RECIPIENTE INTERMEDIO
- 4 BOMBA IMPULSORA

FIG 17