

316924

PATENTE DE INVENCION

B-1391-3.

316924 2



Memoria Descriptiva

sobre

"REACTOR NUCLEAR DE MODERADOR LIQUIDO"

Solicitante: COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE, entidad francesa,
residente en 29 rue de la Fédération, París 15ème,
Francia.

La presente invención se refiere a los reactores nucleares de moderador líquido enfriados por circulación de un refrigerante gaseoso, y más particularmente a los reactores nucleares que comprenden un depósito de recepción del moderador dis-

5.

316924



1955

puesto en un recinto general de resistencia a la presión del gas refrigerante. El término "gas" debe evidentemente tomarse en un sentido muy general, incluyendo las emulsiones y vapores secos o saturados.

5. Se han realizado hasta el presente dos tipos de soluciones en la realización de los reactores de moderador líquido y refrigerante gaseoso: en uno de ellos el gas refrigerante circula por unos tubos que constituyen canales de recepción de los elementos combustibles; esta
10. disposición evita someter a la presión del gas el depósito donde se halla situado el moderador y permite el empleo de un depósito relativamente ligero.

- En la otra solución, se ha previsto un depósito-cajón de gran dimensión, previsto para resistir a
15. la presión del gas refrigerante que se ejerce igualmente sobre el moderador; esta disposición permite constituir los canales de recepción de los elementos combustibles por tubos-calandrias relativamente delgados.

- Se ha propuesto realizar un reactor del segundo tipo (de tubos-calandrias) en el que las funciones de retención del líquido moderador y de resistencia a la presión del gas refrigerante queden aseguradas por órganos diferentes; un depósito contiene el moderador, en tanto que una caja de gran dimensión (en hormigón pretensado
20. por ejemplo), que encierra al depósito y delimita el circuito del gas moderador, soporta la presión de éste, según una disposición que puede ser análoga a la adoptada para los reactores grafito-gas más recientes.
- 25.

- Esta solución permite utilizar un depósito relativamente poco profundo y ligero, siempre que las pre-
- 30.

siones del gas refrigerante y del moderador se hagan iguales por medios de equilibrio.

Pero esta igualación plantea cierto número de problemas: Por el hecho de las pérdidas de

5. carga, la presión del gas refrigerante varía a lo largo de su circuito y, en un punto dado, en función del caudal de gas. La presión ejercida por el líquido moderador varía con la temperatura. Ahora bién, los efectos de una diferencia entre las presiones del gas
10. refrigerante y del moderador, particularmente sobre los tubos calandrias que constituyen los órganos más frágiles, cambian según el sentido en que la misma se ejerza: Un exceso de la presión del moderador tiende a provocar una rotura local por flexión de los tubos
15. calandrias en el plano de una sección recta. Un exceso de presión del gas refrigerante tiende a provocar la rotura por compresión longitudinal de los tubos de calandria, así como la de la virola del depósito (si éste es cilíndrico, de eje vertical). Hay que tener en
20. cuenta, finalmente, la dilatación del moderador entre la temperatura ambiente y la de funcionamiento.

- Ninguna de las soluciones propuestas hasta aquí resuelve el problema así planteado: al no poder ser completo el equilibrio, conducen a prever tubos-calandria gruesos, y por tanto, que presentan una absorción neutrónica importante.
- 25.

- La presente invención se propone realizar un reactor que responde mejor que los anteriormente propuestos a las exigencias de la práctica, principalmente por el hecho de realizar un equilibrio satisfac-
- 30.



torio, pese a las dos condiciones contradictorias que anteceden.

- Con tal fin, la invención propone un reactor que comprende un circuito de equilibrio entre la presión del gas refrigerante y la del líquido moderador,
5. que iguala las presiones mínima del gas refrigerante y máxima del líquido moderador en sus circuitos respectivos, reactor cuyo depósito está suspendido de los tubos-calandria.
10. Para conseguir este resultado, basta con equilibrar la presión del gas refrigerante por delante de los inyectores de circulación con la presión del moderador en el fondo del depósito: así, la presión del refrigerante es siempre por lo menos igual a la del moderador y las
15. fuerzas de presión actúan siempre en el mismo sentido, para el que no existe riesgo alguno de rotura por flexión de los tubos calandria en el plano de una sección recta; en cuanto al riesgo de rotura de los tubos calandria por compresión axial, se evita gracias a la suspensión
20. del depósito: la transmisión de una parte al menos del peso del depósito por los tubos calandria provoca la aparición en éstos de cargas de tracción.
- En una forma de realización preferente -si bien no exclusiva- del invento, el circuito de equilibrio
25. comprende por lo menos una cámara fraccionada por un tabique móvil en dos compartimientos, y unos conductos de traída del refrigerante a uno de los citados compartimientos, y del moderador al otro compartimiento.
- Esta determinación del mantenimiento de una
30. presión de gas superior a la del moderador se ha efectuado



igualmente teniendo en cuenta las consecuencias de un fallo de un tubo-calandria o de su unión con el depósito: vale más que el gas refrigerante tienda a penetrar en el depósito y a expulsar el moderador, que es un producto

5. costoso (agua pesada por lo general) hacia unos recipientes de almacenamiento, donde puede ser recuperado, que el moderador quede pulverizado en el conjunto de la caja: el moderador sería, en efecto, difícil de recuperar en los rincones y puntos bajos, sobre todo sin impurezas debidas
10. al calorífugo, a la oxidación de los aceros, etc... y existiría el riesgo de que diera lugar a corrosiones.

Entre otras ventajas de la disposición que acaba de ser descrita con respecto a las que utilizan tubos de fuerza, puede hacerse observar en particular:

15. -la disminución sensible de espesor del depósito y sobre todo de los tubos, que se traduce por una disminución de la absorción neutrónica;

- la posibilidad de empleo de soluciones ya experimentadas en el terreno de los reactores moderados de grafito y enfriados por circulación de gas carbónico: en particular, se puede adoptar la disposición de trocador térmico "integrado" en una caja de hormigón pretensado que contiene igualmente al núcleo.
- 20.

- El problema planteado por la dilatación del moderador entre las temperaturas ambiente (del orden de 20°C) y de funcionamiento (del orden de 100°C) puede resolverse de dos maneras diferentes: O bien se puede almacenar el volumen en exceso en el curso del funcionamiento, o bien hacer preceder cada divergencia del reactor de un recalentamiento del moderador. El inconveniente de la primera solu-
- 25.
- 30.

316924

28A



ción es el de inmovilizar una gran masa de líquido moderador, de donde se deriva un encarecimiento de la central. El de la segunda es el exigir una instalación de caldeo y necesitar grandes precauciones para atenuar las consecuencias de una falsa maniobra que implique un enfriamiento del moderador (el gas refrigerante debe penetrar en el depósito para evitar el aplastamiento de éste).

- 5.

10. Una forma de realización preferida del invento utiliza la primera solución y prevé el almacenamiento del moderador (agua pesada, por lo general). El contacto directo del gas refrigerante (gas carbónico, por lo general) y del moderador (agua pesada) queda excluido, ya que no permitiría realizar la condición de equilibrio enunciada más arriba y conduciría a una puesta en solución del gas en el agua pesada, de donde se produciría un aumento del pH de ésta, y una elevación del grado higrométrico del gas carbónico.
- 15.

20. La invención palía los inconvenientes indicados previendo una cámara de equilibrio en la cual se halla interpuesto un tabique móvil entre moderador y refrigerador: este tabique puede estar constituido por una película líquida aislante, tal como una capa de aceite de silicón. Esta capa debe, evidentemente, estar, en permanencia, fuera de la radiación del núcleo y esta solución presenta numerosos problemas físico-químicos. Por ello, la invención, en una forma preferente de realización, hace uso de pistones sólidos que corren por el interior de una cámara de almacenamiento del volumen dilatado.
- 25.
- 30.



De todos modos, los dispositivos de equilibrio se hallarán situados de preferencia en los circuitos de purificación del gas y del líquido moderador más arriba de los aparatos de tratamiento, para permitir

5. la vigilancia de las poluciones accidentales recíprocas y su atenuación.

Consiste igualmente el invento en otras disposiciones ventajosamente utilizables en combinación con las precedentes pero que pueden serlo independientemente. Todas estas disposiciones aparecerán mejor por la lectura de la descripción que sigue de una forma de puesta en práctica particular de la invención, que se da a título de ejemplo no limitativo.

10. La descripción se refiere a los planos que la acompañan y en los cuales:

la fig. 1 es una vista muy esquemática de un reactor según la invención y de sus circuitos asociados;

20. la fig. 2 muestra una cámara de equilibrio representada en sección siguiendo un plano que pasa por su eje;

la fig. 3 es una vista en sección vertical de la parte superior de un reactor nuclear conforme al invento;

25. y la fig. 4 es una vista en sección vertical de un detalle de la fig. 3 que muestra cómo atraviesa la prolongación superior de un tubo-calandria al bloque tubular.

30. La fig. 1 muestra esquemáticamente un reactor que comprende un recinto de protección biológica y de



- resistencia a la presión del gas refrigerante constituido por una caja 4 en hormigón pretensado revestido interiormente de una cubierta de estanqueidad y eventualmente de un calorífugo (no representados).
5. La caja 4 delimita una cámara interna de forma sensiblemente cilíndrica de eje vertical, dividida por una base 6 horizontal en dos compartimientos superpuestos 8 y 10 que contienen respectivamente el núcleo 12 del reactor y el trocador de calor 14 entre el gas carbónico que constituye el gas refrigerante y un fluido secundario (agua en general).
10. El núcleo 12 del reactor consiste en un recipiente 13 de recepción de agua pesada que constituye el moderador, recipiente atravesado por tubos-calandria, de los cuales se ha representado uno, en trazos, destinados a recibir elementos combustibles. El recipiente está suspendido de un bloque tubular que puede constituir la parte superior de la caja 4 por los tubos-calandria, como más adelante se verá,
15. y sólo los elementos combustibles descansan sobre la base 6 que asegura a los trocadores 14 una protección biológica parcial. La base 6 reposa sobre una falda soporte 16.
20. El gas refrigerante es puesto en circulación por unos inyectores 18 a lo largo de un circuito cerrado, indicado por unas flechas f en la fig. 1, y que comprende, dispuestos en serie: los tubos-calandria; unos pasos 19 dispuestos dentro de la base 6; el compartimiento 10 de los trocadores; el espacio anular entre la falda 16 y la caja 4; y el comparti-
25. 30.

316924



mento 8.

Un circuito denominado "moderador" se ha previsto para evitar el calentamiento excesivo del agua pesada: este circuito, representado en trazos continuos gruesos en la fig. 1, va situado en el interior de la caja en la parte superior del compartimiento 8; comprende unas bombas 20 que toman agua de la parte superior del depósito 13 y la envían a unos trocadores de calor 22 donde se enfría el agua antes de ser reenviada a unos conductos 24 que la reparten en el fondo del depósito 13.

El circuito de equilibrio de las presiones del agua pesada y del gas carbónico comprende una parte ocupada por el agua pesada y otra ocupada por el gas, una y otra comunicadas con diversas cámaras de equilibrio idénticas 26 (fig. 2), montadas en paralelo y situadas fuera de la caja 4.

La parte del circuito ocupada por el gas refrigerante (gas carbónico) comprende un conducto de toma 28 (en línea de trazos en la fig. 1) que une un punto del circuito de gas refrigerante situado más allá del trocador de calor 14 con el compartimiento superior 30 de cada una de las cámaras de equilibrio 26. Un segundo conducto 32 une el compartimiento 30 a un dispositivo de regeneración del gas carbónico (no representado) que permite vigilar la eventual polución producida en las cámaras 26. El gas regenerado se hace volver al circuito de gas refrigerante por medio de unos conductos no representados.

La parte del circuito de equilibrio ocupada por



el agua pesada comprende una conducción de toma de presión 34 que une el circuito moderador al compartimiento inferior 36 de las cámaras 26. Como el equilibrio ha de realizarse para la presión máxima del agua

5. pesada, el conducto 34 se conecta al circuito moderador más allá de las bombas 20. El compartimento inferior 36 se une igualmente a un circuito de purificación y de desgasificación, que toma agua pesada del compartimento 36 y la reenvía hacia el depósito después de su
10. tratamiento. Este circuito comprende un balón desgasificador 38 donde se descomprime el agua pesada y un circuito anejo de recombinación. Este circuito anejo se compone esencialmente de una bomba 40 y de una unidad de recombinación catalítica 42, en la que los gases procedentes de la radiólisis se recombinan antes de regresar en
15. fase líquida al balón.

- El agua es tomada a continuación por una bomba 44 que, cuando es accionada por un circuito adecuado (no representado), reenvía al agua por un conducto
20. 48 al circuito moderador después de pasar por un depurador 46. Este circuito de accionamiento comprende particularmente unos contactos de puesta en marcha y de detención de las bombas al final de recorrido alto y bajo del pistón 49 que constituye el tabique móvil de las cámaras 26. Las bombas de reinyección 44 reenvían así agua
25. pesada al depósito y evitan el aplastamiento de éste en caso de detención del reactor.

- Se ha previsto asimismo un circuito de seguridad constituido por una tubería de sección gruesa 50,
30. provista de una válvula 54, que une el depósito de agua



- pesada 12 con un depósito de almacenamiento 52 situado debajo de la caja. La válvula 54 está telegobernada a partir de las cámaras de equilibrio 26 por una línea 56 esquemáticamente representada en trazos mixtos en la fig. 1. En caso de rotura de un tubo-calandria, esta conducción, cuya válvula 54 es accionada a distancia desde las cámaras 26, asegura un vaciado rápido del depósito 13 y evita que la mayor parte del agua pesada atraviese toda la caja: en efecto, el gas carbónico rechaza entonces el agua pesada hacia las cámaras de equilibrio 26 y, simultáneamente, el agua pesada tiende a correr hacia el fondo de la caja bajo la presión de la columna de líquido. Por otra parte, en caso de fuga de agua pesada, esta conducción 50 evita el aplastamiento del depósito por el gas.
- 5.
- 10.
- 15.

- Las cámaras de equilibrio están previstas en número suficiente para almacenar el aumento de volumen entre la temperatura ambiente y la temperatura de funcionamiento; la cámara 26 representada a título de ejemplo en la fig. 2 comprende un cilindro fijo 58 de eje vertical, en varias piezas unidas por unos pernos tales como 60. Un pistón 49 móvil en la cavidad 62 del cilindro y provisto de una junta de estanqueidad 64 separa el compartimiento inferior 36 ocupado por el agua pesada del compartimiento superior 30 ocupado por el gas carbónico.
- 20.
- 25.

- El pistón 49 es libre, pero está guiado en sus desplazamientos por una pieza zaguera 66 que corre dentro de la parte inferior, de pequeño diámetro, del compartimiento 36 y que se halla comunicada con el pistón
- 30.



por un vástago rígido 68 y la pieza zaguera 66 son tubulares y están provistas de orificios de comunicación de las dos porciones del compartimiento 36, situadas a uno y otro lado de la pieza zaguera.

5. Se darán a continuación indicaciones numéricas correspondientes a un reactor de 500 MW (e) según el invento, reactor representado parcialmente en las figs. 3 y 4. El núcleo 12 tiene un diámetro aproximado de 7 m y una altura de 5 m. Contiene 530 tubos calandria 15
10. dispuestos en una red triangular de un paso de 280 mm. Cada elemento combustible o cartucho, de 1000 mm de longitud, está compuesto por una grapa de 31 "lápices", cada uno de los cuales está formado de una pila de pastillas de óxido de uranio recubierta de un tubo de berilio.
15. El gas refrigerante (gas carbónico) es de una presión media de 80 bares. Sus temperaturas de entrada y de salida en un tubo calandria 15 son respectivamente de 260 y 500°C.
20. La forma general de la caja 4, de hormigón pretensado, es un cilindro vertical cerrado por dos losas. El espesor de la losa superior, única visible en la fig. 3, es de 4,9 m. La sección horizontal de la pared cilíndrica está interiormente limitada por un círculo de diámetro de 10,5 m y exteriormente por un hexágono de 27,3 m sobre
25. placas; el espesor mínimo del hormigón es de 8,4 m. La forma hexagonal conduce a una economía de hormigón y a una variación menos fuerte del espesor de la pared lateral, lo cual es favorable al buen funcionamiento de la obra. La altura total de la caja es de 48,5 m.
30. La pared lateral va pretensada mediante tres



- sistemas de armaduras horizontales curvas tales como 70 cuyas fijaciones se encuentran situadas sobre dos caras opuestas del hexágono y por unas armaduras verticales rectilíneas tales como 72. La pretensión de las
5. losas está constituida por unos cables sensiblemente horizontales que forman una red triangular no representada.
- La cubierta de estanqueidad 74 es de acero dulce de 25 mm. de grueso.
- El bloque tubular 76, de una altura de 2 m
10. y de un diámetro de 10,5m, es una ensambladura metálica de una red tubular 78 (fig. 4) en la que se vacía un hormigón que desempeña el papel de protección biológica entre el núcleo 12 y un "granero" 80.
- La prolongación 82 de los tubos-calandrias
15. 15 atraviesa el bloque tubular 76 y queda inmovilizada sobre la placa superior 84 de este bloque por unos tornillos tales como 86. Un cambio de diámetro 88 hacia el centro del bloque tubular 76 evita la fuga directa de neutrones procedentes del núcleo y sirve de soporte a
20. los obturadores biológicos 90 y 92.
- El recipiente ó depósito 13 que contiene el agua pesada está constituido por una virola, dos fondos y unos tubos de calandria 15 que unen entre sí los fondos. El material utilizado para el recipiente es un acero inoxidable austenítico 18/8 y para los tubos de calandria 15 el "zircaloy". La virola es una chapa cilíndrica de un grueso de 30 mm, reforzada por un cerco y los fondos están constituidos por una sola placa delgada (50 mm
25. aproximadamente) sobre la que se hallan acoplados los tubos calandria 15 cuyas paredes se ha forjado previamente.
- 30.

316924 28 AGO



El depósito va suspendido por intermedio de la prolongaciones superiores 82 de los tubos calandria 15 del bloque tubular fijo 76.

5. Esta disposición permite reducir el espesor de los tubos calandria a un valor del orden de 1,5 mm.

10. El circuito de equilibrio del reactor (utilizando 200 m³ de agua pesada) exige, cuando la temperatura de ésta excede de 20 a 120°C, el almacenamiento de 10 m³ aproximadamente: este volumen puede, por ejemplo, fraccionarse en doce cámaras que presenten una cavidad de 800 mm y una longitud máxima del orden de 10m.

15. Quede bién entendido que la presente invención no se limita al ejemplo de realización descrito y representado. Se podrá, si es necesario, recurrir a otras modalidades y a otras formas de realización, sin por ello salirse del marco de la invención.

N O T A

20. Descrita suficientemente la naturaleza del invento, así como la manera de realizarlo en la práctica, debe hacerse constar que las disposiciones anteriormente indicadas son susceptibles de modificaciones de detalle en cuanto no alteren su principio fundamental. También se hace constar que el invento corresponde

25. a una solicitud de patente presentada en Francia con fecha y número siguientes: 28 de agosto de 1.964, n^o PV. 986.578, y 28 de agosto de 1.964, n^o PV.986.579, accogiéndose por lo tanto a los beneficios que conceden los

30. Convenios Internacionales en vigor y siendo lo que constituye la esencia del referido invento y por lo que se

316924

28



solicita Patente de Invención por 20 años en España sobre: "Reactor nuclear de moderador líquido"; caracterizándose por lo siguiente:

5. 1.- Reactor nuclear de moderador líquido enfriado por circulación de un gas refrigerante en tubos calandria verticales que reciben los elementos combustibles y atraviesan un depósito de recepción del moderador dispuesto en un recinto general de resistencia a la presión del gas refrigerante, reactor que comprende un circuito de equilibrio entre la presión mínima del gas refrigerante y la presión máxima del líquido moderador en sus circuitos respectivos.

10. 2.- Reactor nuclear según la reivindicación 1, en el cual el depósito está sustentado, parcialmente por lo menos, por los tubos calandria que trabajan en tensión.

15. 3.- Reactor nuclear según las reivindicaciones 1 ó 2, cuyo circuito de equilibrio comprende, por lo menos, una cámara fraccionada por un tabique móvil en dos compartimientos y unas conducciones de traída del refrigerante a uno de los indicados compartimientos y del moderador al otro compartimiento.

20. 4.- Reactor nuclear según la reivindicación 3, en el que dicha cámara es de eje vertical y el mencionado tabique está constituido por una capa de líquido no miscible con el moderador y más ligero que éste.

25. 5.- Reactor nuclear según reivindicación 3, en el cual el referido tabique está constituido por un pistón que corre de modo estanco dentro de la indicada cámara.

30.

316924

5. 6.- Reactor según la reivindicación 1, 2, 3, 4 ó 5, en el que el citado depósito está suspendido, por unas prolongaciones superiores de los tubos calandria, de un bloque tubular formado por un ensamblado metálico tubular embebido en hormigón.

7.- Reactor nuclear según la reivindicación 6, en el que dicho bloque tubular reposa sobre una caja en hormigón pretensado que constituye el recinto.

10. 8.- Reactor nuclear de moderador líquido; tal y como queda descrito sustancialmente en la presente Memoria, e ilustrado en los dibujos adjuntos.

Esta Memoria consta de 16 hojas escritas a máquina por una sola cara.

28 AGO. 1955

Madrid,

COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE

J. GOMEZ ACEBO Y MODET
p. p. Firmado: A. GARCIA BRAVO



[Handwritten signature]

316924

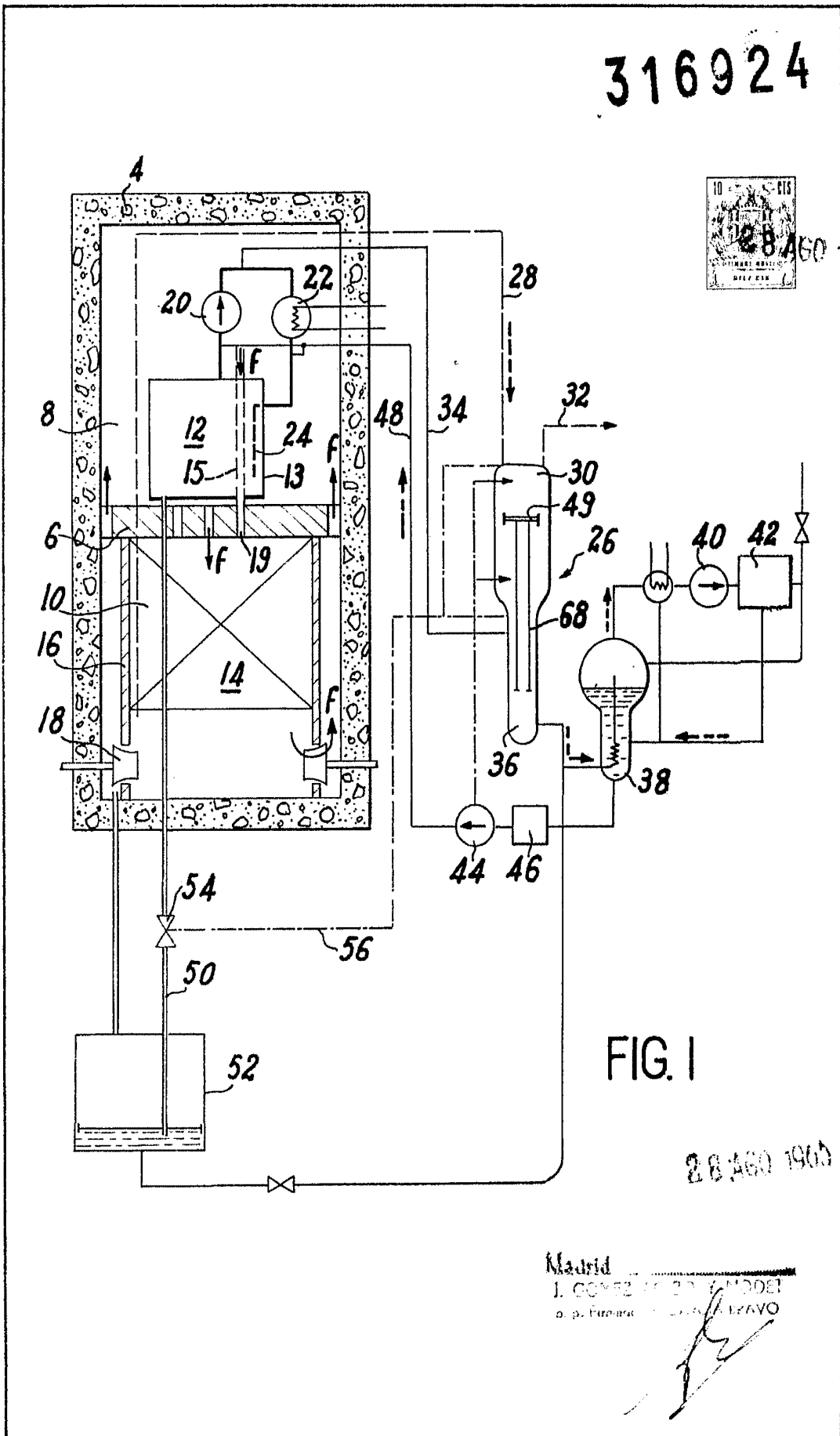


FIG. I

28460 1960

Madrid
J. GONZALEZ DE NOUVEAU
p. p. FERRAZ Y CAJA DE ALVAYO

316924

38 MAR 1965
ESTADO ESPAÑOL
INSTITUTO ESPAÑOL DE PATENTES Y MARCAS

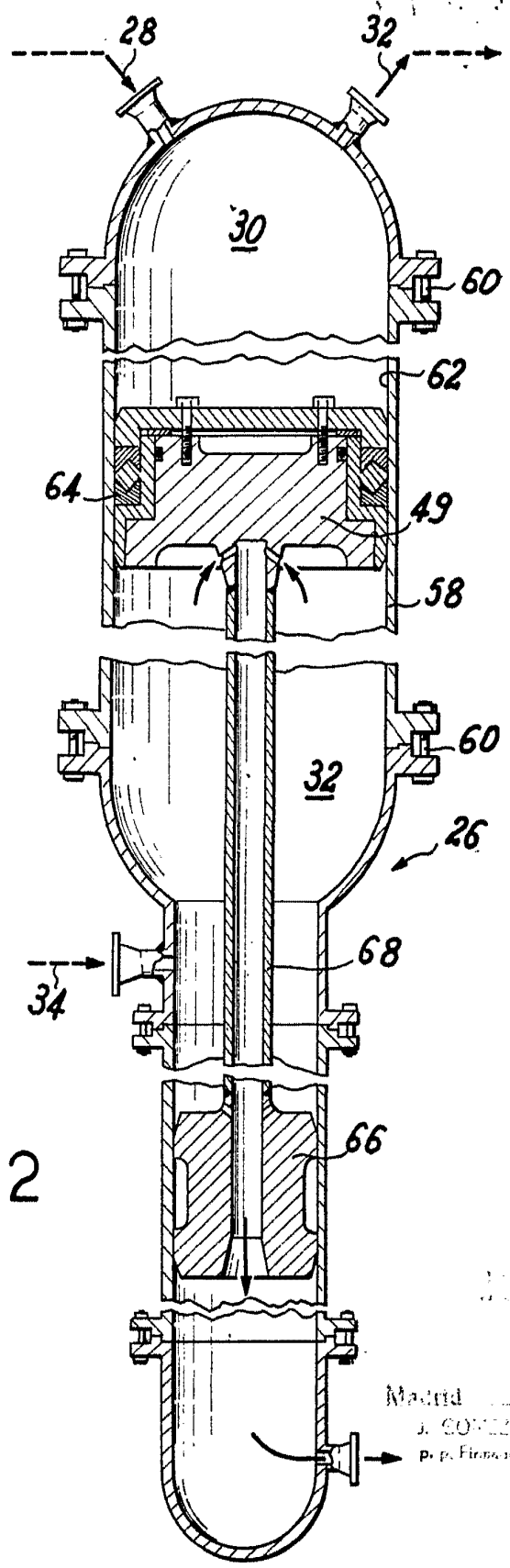


FIG. 2

MARCO 1965

Madrid
J. GOMEZ GARCIA Y MONDET
P. P. FERRAZ GARCIA Y CRAVO

316924

8 AGO 1965

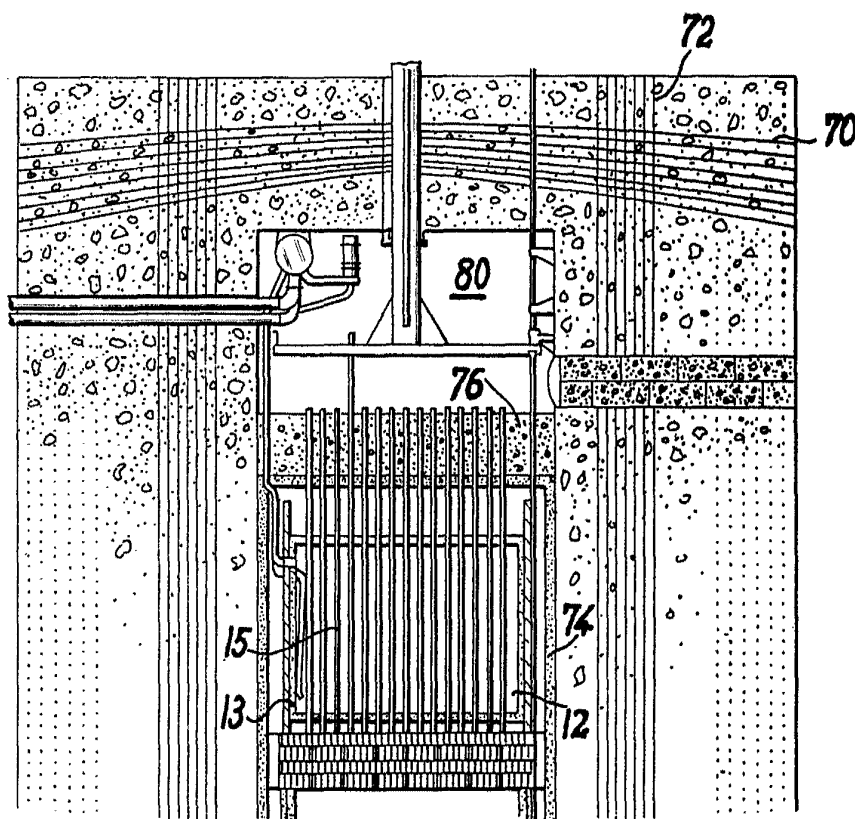


FIG. 3

8 AGO 1965

Wade

J. GOMI, AGO 20, 1965

P. p. Firmado, A. GOMI, 1965

316924

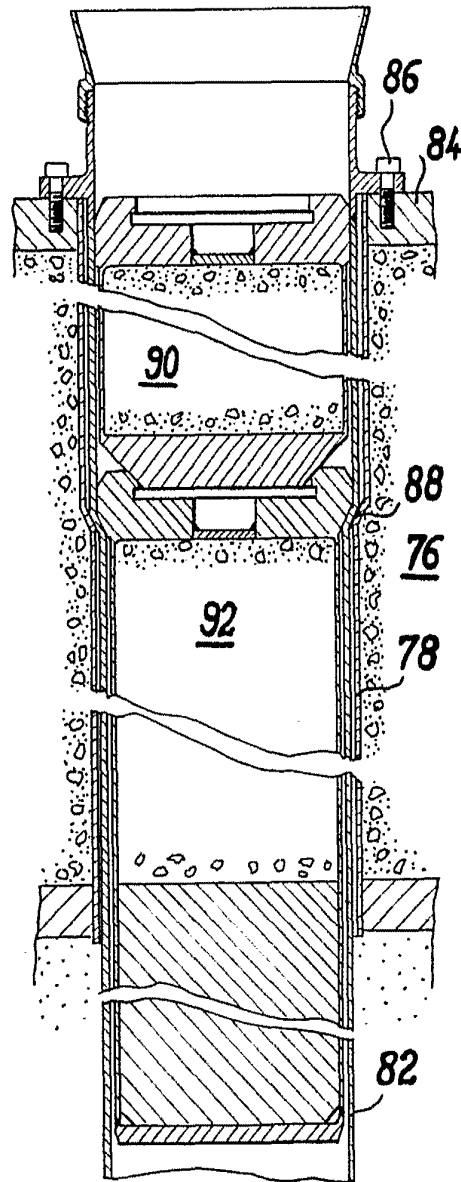


FIG. 4

Madrid 28 AGO 1965

J. GOMEZ
p. procedimiento de patentes