

28 MAY



288441

MEMORIA DESCRIPTIVA.

PATENTE DE INVENCION.

P A I S : ESPAÑA.

DURACION : 20 AÑOS.

OBJETO : "PERFECCIONAMIENTOS EN LOS LAPICES
"DE COMBUSTIBLE DE FUNDA DELGADA Y
"FLEXIBLE PARA REACTORES NUC LEARES".

=====

A nombre de : COMMUNAUTE EUROPEENNE DE
L'ENERGIE ATOMIQUE (EURATOM).

Residente en : BRUSELAS (Bélgica), 51-53, Rue Belliard.

288441

28 MAY



La presente invención se refiere a los lápices de combustible para reactores nucleares, y particularmente a los de los reactores de potencia enfriados por un fluido comprimido, que comprenden esencialmente una funda cilíndrica exterior que contiene una barrita o partillas de materia fósil apiladas unas sobre otras, un material de relleno buen conductor de calor y que absorbe poco los neutrones entre la funda y el combustible, y dos tapones de cierre de los extremos de la funda.

Es sabido que, en los reactores, y en particular en los reactores de potencia, se obtienen rendimientos térmicos aceptables elevando la temperatura de salida del fluido portador de calor y que de ello se deriva una elevación de temperatura del punto caliente de la funda de los elementos o lápices de combustible.

Desde este punto de vista, entre los materiales utilizables para las fundas, el acero inoxidable es el que presenta un buen comportamiento tanto frente a las distintas sollicitaciones mecánicas, como frente a la corrosión en los fluidos corrientes portadores de calor, como el gas carbónico, el agua o el vapor de agua, los fluidos orgánicos, etc.

Sin embargo, como es sabido, estos aceros tienen el inconveniente de tener una elevada sección eficaz de absorción, lo que hace que, en los reactores de uranio natural o muy ligeramente enriquecido, el empleo de fundas de acero resulte muy a menudo prohibitivo por razones de economía neutrónica.

288441 28 MAY.



En efecto, para obtener una avanzada extracción de calor, los reactores de potencia son enfriados muy a menudo por un fluido portador de calor comprimido - en los reactores tanto de caja de presión como de tubos de fuerza - y en este caso, si se utiliza acero inoxidable como material para las fundas, los espesores de una funda libre necesarios para resistir la presión exterior, teniendo en cuenta la presión, el diámetro del lápiz y las sollicitaciones termomecánicas provocadas por el combustible mismo, son de varias décimas de milímetro (por ejemplo 0,5 mm), lo que no resulta aceptable más que en el caso de ser uranio enriquecido el combustible empleado.

Para disminuir el espesor de las fundas, se ha propuesto ya utilizar una funda de acero inoxidable que se aplica sobre el combustible por fluencia en caliente, pero esta solución presenta el riesgo de una rotura de la funda porque el lápiz de combustible, en este caso, es muy sensible a los choques térmicos y a la fatiga plástica, así como a las dilataciones diferenciales del combustible y de la funda.

Además, el empleo de combustibles cerámicos, en general en forma de pastillas apiladas unas sobre otras en la funda, aumenta los riesgos de rotura en caso de resquebrajadura de una de las pastillas.

Además, estos combustibles cerámicos, tales como el bióxido de uranio o el carburo de uranio, son muy sensibles a los efectos de los choques térmicos provocados por la caída accidental de las barras de seguridad.

Es sabido, por otra parte, que los lápices de funda libre - en los que el combustible en pastillas está dispuesto dentro de la funda de modo que, en régimen de funcionamiento, la superficie lateral del combustible cerámico no puede solicitar nunca

288441

28 MAY.



fuertemente la funda en extensión - presentan el inconveniente de una resistencia térmica elevada, del orden de 2 a 58 C/W/cm² e incluso más, en correspondencia del contacto muy imperfecto entre el combustible y la funda: esta resistencia provoca, entre
60.- estos elementos, una caída de temperatura que limita los intercambios térmicos y que llega a ser importante, sobre todo cuando se quieren extraer elevados flujos de calor, por ejemplo del orden de 100 W/cm²..

Para evitar estos efectos y asegurar un buen contacto térmico entre el combustible y la funda, se ha propuesto disponer un
65.- baño líquido como p. e. de sodio o el eutéctico sodio-potasio entre la funda y las pastillas de combustible cerámico.

Sin embargo, estas soluciones no evitan el que la funda tenga que resistir la presión del fluido portador de calor, lo cual, en el caso de reactores de potencia de gran rendimiento, implica
70.- el uso de fundas de acero inoxidable de considerable espesor, por ejemplo del orden de 0,5 mm.

El objeto de la presente invención está constituido por un lápiz de combustible con funda de acero que, gracias al modo como está concebido, puede extender su aplicación, hasta aquí limitada a los solos reactores de uranio enriquecido, incluso a los reactores cuyo combustible es uranio natural en forma metálica o cerámica, y que presenta además características mejoradas de empleo térmico y mecánico.
75.-

El fin principal de la presente invención es la realización de un lápiz de combustible del tipo anteriormente mencionado, cuya funda de acero tenga un espesor muy reducido, equivalente, desde el punto de vista neutrónico, a los otros materiales nucleares para fundas.
80.-

Otro fin de la invención es el de prever, para un tal lápiz,
85.-

288441 28 MAY.



90.- una funda provista de medios susceptibles de permitirle una deformación flexible, y un medio de relleno viscoso entre fundas y combustible, de modo que la funda pueda resistir presiones exteriores elevadas o deformaciones interiores importantes sin ser sometida a un trabajo excesivo.

Otro fin de la invención es el de prever, para un tal lápiz, un medio de relleno térmicamente conductor que, asegurando el contacto térmico entre la funda y el combustible, favorezca la transmisión del calor entre el combustible y la funda.

95.- Otro fin más de la invención es de prever para un tal lápiz un medio de relleno que constituya una trampa para los gases de fisión desprendidos por el combustible durante el enfriamiento del lápiz.

100.- El lápiz en cuestión se caracteriza por el hecho de que su funda, con preferencia de acero inoxidable, es de un espesor muy reducido y presenta elementos de deformación flexible, y de que el material de relleno está constituido por una capa viscosa, cuando menos a la temperatura de empleo, conteniendo dicha funda el conjunto combustible-material de relleno, de modo que este conjunto se encuentra solicitado en todos sus puntos por la funda en condiciones hidrostáticas, todo ello de modo tal que, por las deformaciones de dichos elementos, la funda adopte distintas configuraciones, adaptándose a la deformación viscosa de la capa de relleno bajo las sollicitaciones térmicas y mecánicas.

105.- Otra característica consiste en que el espesor de la funda es inferior a la décima de milímetro, y preferiblemente del orden de $0,06 \pm 0,05$ mm.

110.- Según otra característica, el material de relleno está constituido por un metal, con preferencia magnesio, o por una aleación que, a las temperaturas de empleo del lápiz, es plástico y

115.-

288441



presenta una buena compatibilidad con el combustible y el metal de la funda.

Otras características y particularidades de la invención se rán ilustradas, a título de ejemplo no limitativo, con referencia

120.- a los adjuntos dibujos, en los cuales :

Las Figs. 1 y 2 muestran, respectivamente en alzado y en sección longitudinal, un lápiz de combustible según la invención;

La Fig. 3 es una sección transversal por A-A de la Fig. 2;

Las Figs. 4, 5 y 6, análogas a las Figs. 1, 2 y 3, se refieren a una variante de realización;

La Fig. 7 representa un tapón de cierre del lápiz deformable axialmente, y

La Fig. 8 representa otra variante de la realización de lápices en un montaje en racimo.

130.- Considerando en primer lugar la realización del lápiz de combustible según las Figs. 1, 2 y 3, se ha indicado con 1 la funda cilíndrica de acero dentro de la cual están apiladas las pastillas de combustible 2, con 3 el tapón provisto de un tetón central 4 para la introducción del lápiz en tirantes o soportes de

135.- montaje del racimo, y con 5 una pastilla de materia refractaria dispuesta entre el tapón y el combustible para aislar el extremo del lápiz, que es una zona delicada.

Según la invención, el espesor de la funda de acero 1 es muy reducido, inferior a 1/10 mm, por ejemplo del orden de 0,05 a

140.- 0,06 mm, lo cual es compatible, desde el punto de vista neutrónico, con el combustible de que están constituidas las pastillas 2, y que es uranio natural, bien metálico y con preferencia ligeramente aleado, bien cerámico como el bióxido o el carburo de uranio.

145.- Para resistir las deformaciones flexibles radiales y axiales,

288442^B MA



la funda está conformada con pliegues 6 y 7 que sobresalen del cuerpo cilíndrico, y respectivamente previstos en la parte intermedia y en las partes extremas del mismo.

150.- Los pliegues 6, cuando menos en número de tres, sirven para crear cierta rigidez axial del lápiz, mientras que los pliegues 7, practicados en uno solo de los extremos de la funda o en ambos, sirven para seguir las deformaciones axiales de manera que los extremos desempeñen el papel de membranas de fuelle.

155.- Para que la funda, muy delgada, pueda resistir los esfuerzos provocados por la presión exterior del fluido refrigerante, y para evitar una medida de trabajo de esta funda incompatible con su buen comportamiento, todo el espacio anular comprendido entre las pastillas 2 y la funda 1, incluidas las cavidades de los pliegues 6 y 7, está ocupado por un metal que forma un colchón viscoso 8 alrededor del combustible 2, y sobre el cual se ajusta la funda 1 durante sus deformaciones debidas a la presión exterior o al trabajo de deformación térmica del combustible.

165.- El colchón viscoso 8 es constituido llenando el espacio anular vacío entre el combustible 2 y la funda 1 considerada, en posición de reposo con sus elementos de flexibilidad 6 y 7, con un metal que es con preferencia plástico a las temperaturas de empleo. Este colchón intermedio, cuyo espesor mínimo es de algunas décimas de milímetro (por ejemplo 0,5 mm), está constituido por un metal o aleación que absorbe poco los neutrones y que presenta una buena conductibilidad térmica, que no reacciona a las temperaturas de empleo ni con el combustible ni con el metal de la funda (compatibilidad).

170.- El metal empleado es con preferencia el magnesio que no reacciona, a las temperaturas que llegan a 550° C, con el óxido o el carburo de uranio o con el acero inoxidable.

175.-

28844128 MAY



La realización del llenado de la funda se desarrolla de la siguiente manera:

Después de soldar el tapón de cierre sobre el extremo inferior de la funda, se coloca ésta verticalmente en un horno con sus elementos de flexibilidad 6 y 7 formados en posición de equilibrio.

Se lleva rápidamente el horno a una temperatura superior al punto de fusión del elemento plástico elegido, por ejemplo magnesio. Una vez alcanzada esta temperatura, se introduce en la funda una pastilla de volumen conveniente de este elemento con una atmósfera protectora, por ejemplo argón.

Una vez fundido el elemento plástico, se introducen una por una en la funda las pastillas de combustible, obteniéndose el nivel deseado del baño.

Cuando el conjunto se ha enfriado, y después de limpiar y quitar las rebabas, se efectúa la colocación del tapón superior, que se suelda normalmente con sus berdes levantados.

Para obtener una puesta en equilibrio hidrostático de la funda, se lleva luego el lápiz a 450° - 500° C en un recinto cuya presión aumenta lentamente para permitirle a los pliegues adaptarse por deformación viscosa del colchón hidrostático y desempeñar su papel de elementos flexibles deformables.

La pequeña cantidad de gas incluido puede eliminarse bien soldando en vacío el segundo tapón, bien por reacción química y adsorción en el colchón hidrostático 8.

Preferiblemente, se emplea magnesio para constituir el colchón hidrostático, ya que puede desempeñar un papel muy bueno de trampa o de "getter" para la adsorción de los gases incluidos, como los gases de fisión durante el enfriamiento del lápiz de combustible, después de un elevado régimen de consumo.

28844 12 8 MAY



210.- En servicio en el reactor, como el lápiz puede trabajar en el fluido portador de calor bajo presión, este último comprime la funda cuyos pliegues tienden a aplastarse, de modo que la funda misma alcanza una configuración correspondiente al equilibrio hidrostático entre el conchón viscoso y el fluido exterior, a la presión de este último.

215.- La funda se comporta de la misma manera frente a las dilataciones del combustible y de los gases de fisión desprendidos por que, incluso en esta situación, los pliegues, al abrirse, desempeñan el papel de reserva de elasticidad.

Una variante de realización del lápiz está representada en las Figs. 4, 5 y 6, en las cuales se indican con las mismas referencias las partes correspondientes.

220.- Según esta realización, para mejorar el comportamiento mecánico de la funda delgada al nivel de la zona de transición entre los pliegues longitudinales 6 y los pliegues transversales 7 (zona que corre el riesgo de ser debilitada a consecuencia del brusco pasaje de una disposición de los pliegues a otra) se prevé un solo sistema de ondulaciones.

225.- Como se ve por las Figs. 4 y 5, los pliegues 9 abandonan hacia uno de los extremos, o ambos, su curso longitudinal y se arrojan en espiral de varios filetes, del paso más apretado posible.

230.- Para simplificar la realización de la funda evitando la formación de los pliegues transversales y de los filetes de la espiral, puede obtenerse una limitada flexibilidad axial, como se desprende de la Fig. 7, haciendo el tapón con la parte que constituye el fondo de la funda de pequeño espesor y provista de ondulaciones 10 de forma circular.

235.- Preferiblemente, los tapones son mecanizados en una pieza redonda de acero inoxidable o de material idéntico al de la fun-

2884



da, si ésta es de acero refractario, y son soldados a ésta con bordes levantados por bombardeo en vacío o con arco de argón.

Con preferencia, el borde levantado del tapón es soldado con moleta sobre la funda para limitar el trabajo de soldaduras

240.- herméticas de los tapones,

Como se ha dicho anteriormente, los pliegues longitudinales 6 de la realización representada en las Figs. 1, 2 y 3, y la parte recta de los pliegues 9 de la realización ilustrada por las Figs. 4, 5 y 6, sirven en cierta medida para asegurar la rigidez axial del lápiz, cuya rigidez es muy limitada debido a la flexibilidad de la funda.

245.-

Para impedir toda deformación prohibitiva de los lápices según la invención, es necesario, en el momento de su colocación en racimo, intercalar entre ellos, en los canales inferiores del racimo, unos elementos de rigidificación parciales o completos, como por ejemplo estructuras de grafito.

250.-

Como se representa en la Fig. 8, los elementos de rigidificación 11 imponen una geometría definida en proximidad del lápiz 12, aun permitiendo limitadas variaciones radiales.

255.-

Según la realización representada en dicha Fig. 8, la funda de acero está constituida prácticamente por una membrana de fuele 13.

En esta solución, la flexibilidad tanto axial como radial es debida a la extrema flexibilidad de la funda.

260.-

El hilo 14, de acero fino o de aluminio fritado oxidado anódicamente, sujeto a un solo extremo del lápiz, está arrollado sobre este último y desempeña el papel de elemento de separación para permitir la libre dilatación axial de la funda.

Conviene notar que la funda de acero es empleada en espesores equivalentes al aluminio desde el punto de vista neutrónico.

265.-

288441 28 MAY.



270.- Ello permite disponer de fundas de acero en todos los reactores en los que el combustible puede ser lo mismo uranio natural en metal, con preferencia ligeramente aleado para aumentar sus rendimientos, que en cerámica como el bióxido o el carburo de uranio.

275.- Además, la finura de la funda no es crítica, porque el trabajo de la funda en régimen permanente bajo la presión del fluido refrigerante es extremadamente débil, gracias a la presencia del colchón plástico hidrostático, lo que permite el empleo de una máxima presión del fluido refrigerante tan elevada como se desee.

280.- Además, este colchón reduce las caídas de temperatura del contacto entre el combustible y la funda, lo que favorece considerablemente el intercambio térmico, permitiendo disipar flujos caloríficos más importantes, y mejora al propio tiempo el comportamiento del combustible, sobre todo si está constituido por una cerámica.

285.- De este hecho, se deriva que para un régimen determinado de trabajo del combustible, la temperatura en el corazón del combustible resulta la más baja posible, sobre todo en comparación con los lápices de combustible de materiales cerámicos y de funda libre.

290.- Además, la finura de la funda de acero y el excelente contacto térmico entre ésta y el combustible a través del colchón plástico conductor reduce considerablemente el efecto de los choques térmicos, y por tanto también los riesgos de puntos calientes durante el funcionamiento de la funda.

295.- Conviene también notar que, aun cuando, en la estructura propuesta, las pastillas de combustible cerámico se encuentran en sus mejores condiciones de empleo, pueden desplazarse o también agrietarse o fragmentarse sin que se deriven de ello riesgos de rotura

28844



de la funda, dado el modo de trabajo de la funda, que se encuentra en régimen hidrostático.

300.- Se puede advertir también que, durante el servicio, los gases de fisión desprendidos al cabo de una importante producción de calor son equilibrados por la presión del fluido refrigerante, mientras que, durante el enfriamiento, el efecto de captación de los gases en el colchón plástico conductor disminuye fuertemente la presión interior de la funda, debida a la presencia de dichos gases.

305.- Por fin, hay que advertir que las temperaturas del punto caliente de la funda propuesta están limitadas exclusivamente por las temperaturas que permite el empleo del acero inoxidable, por ejemplo en el fluido refrigerante considerado, teniendo en cuenta su compatibilidad con dicho fluido a la temperatura en cuestión.

310.- Se ha descrito la invención con referencia a realizaciones particulares, pero es evidente que la misma no se limita a estas últimas y que las variantes y modificaciones posibles caen dentro de los límites de la invención. Así, por ejemplo, en las realizaciones en las que la flexibilidad axial es obtenida mediante el tapón, éste pueda ser conformado a modo de membrana de fuelle hacia el interior.

NOTA.-

320.- Los puntos de invención propia y nueva que se presentan para que sean objeto de esta Patente de Invención en España, por veinte años, son los siguientes:

325.- 1º.- Perfeccionamientos en los lápices de combustible de funda delgada y flexible para reactores nucleares, y particularmente para reactores de potencia enfriados por un fluido portador de calor bajo presión, que comprenden esencialmente una fun-

288441

28 MAY.



- da cilíndrica exterior de acero que contiene una barritas o pastilla apiladas unas sobre otras de materia físil, un material de relleno buen conductor de calor y que absorbe poco los neutrones entre la funda y el combustible, y dos tapones de cierre
- 330.- de los extremos de la funda, caracterizados por el hecho de que la funda, con preferencia de acero inoxidable, es de un espesor muy reducido y presenta elementos de deformación flexible, y de que el material de relleno está constituido por una capa viscosa, cuando menos a la temperatura de empleo, conteniendo dicha
- 335.- funda el conjunto combustible-material de relleno, de modo que este conjunto se encuentra solicitado en todos los puntos por la funda en condiciones hidrostáticas, todo ello de modo que, por las deformaciones de dichos elementos, la funda adopta configuraciones varias adaptándose a la deformación viscosa de la
- 340.- capa de relleno bajo sollicitaciones térmicas y mecánicas.
- 2º.- Perfeccionamientos según el punto 1º., caracterizados por el hecho de que el espesor de la funda es inferior a la décima de milímetro y con preferencia del orden de 0,06 - 0,05 mm.
- .. 3º.- Perfeccionamientos según los puntos 1º. y 2º., caracterizados por el hecho de que el material de relleno está constituido por un metal, con preferencia magnesio, o una aleación que, a las temperaturas de empleo del lápiz, es plástica y presenta una buena compatibilidad con el combustible y con el metal de la funda.
- 345.-
- 4º.- Perfeccionamientos según los puntos 1º., 2º. y 3º., caracterizados por el hecho de que los elementos de deformación flexible están constituidos por pliegues longitudinales paralelos, previstos en una parte del cuerpo cilíndrico de la funda comprendida entre las zonas terminales de aplicación de los tapones y de los pliegues circunferenciales de cuando menos uno de
- 355.-



288441²⁸ MAY.

los extremos de dicho cuerpo.

360.- 5^a.- Perfeccionamientos según los puntos 1^a., 2^a. y 3^a., caracterizados por el hecho de que los elementos de deformación flexible están constituidos por pliegues paralelos previstos en el cuerpo cilíndrico de la funda y compuestos por una parte longitudinal que termina en espiral en cuando menos uno de los extremos del cuerpo.

365.- 6^a.- Perfeccionamientos según los puntos 1^a., 2^a. y 3^a., caracterizados por el hecho de que la funda está prevista a modo de membrana de fuelle.

370.- 7^a.- Perfeccionamientos según los puntos 1^a., 2^a. y 3^a., caracterizados por el hecho de que los tapones son de pequeño espesor y comprenden ondulaciones concéntricas de deformación flexible, estando constituidos los elementos de deformación flexible de la funda por pliegues longitudinales paralelos, previstos entre los extremos circulares de aplicación de los tapones.

375.- 8^a.- "PERFECCIONAMIENTOS EN LOS LAPICES DE COMBUSTIBLE DE FUNDA DELGADA Y FLEXIBLE PARA REACTORES NUCLEARES", todo tal y conforme se describe en la presente Memoria, la cual consta de 376 líneas y a título de ejemplo se representa en los adjuntos dibujos.

Madrid, 28 MAY. 1963

COMMUNAUTE EUROPEENNE DE
L'ENERGIE ATOMIQUE (EURATOM).

P. A.

(ESCALA VARIABLE)

288441 MAY

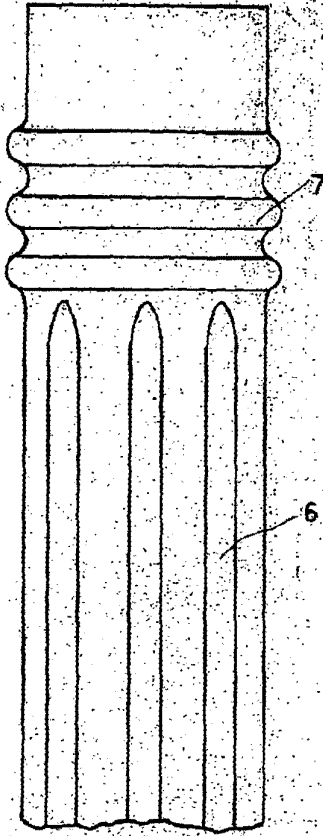


FIG 1

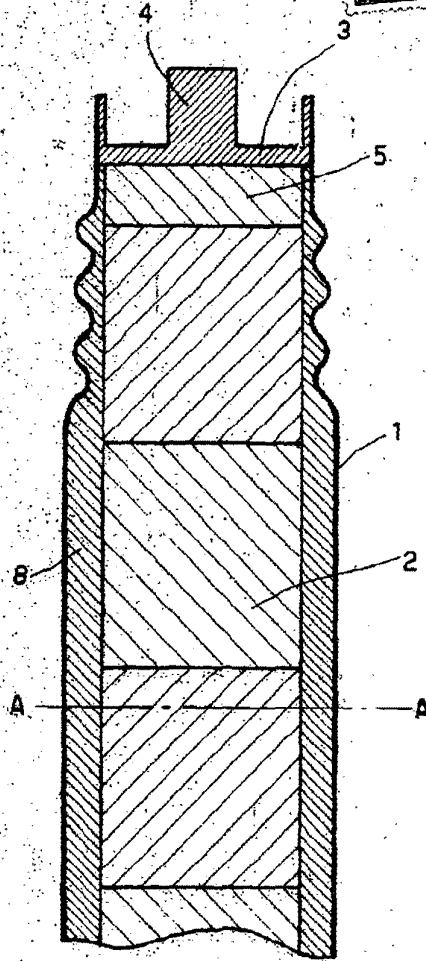


FIG 2

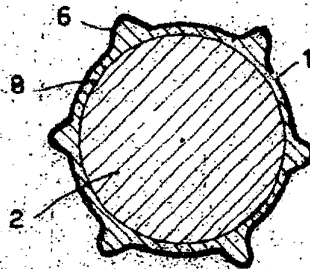


FIG 3

MADRID, 28 MAY 1963
P. A. J.

(ESCALA VARIABLE)

28 MAY

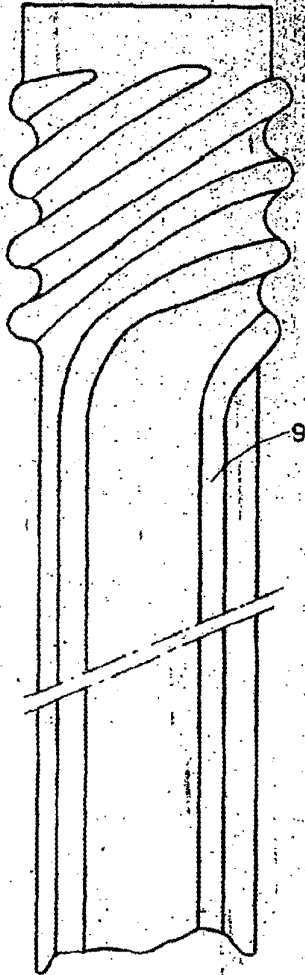


FIG 4

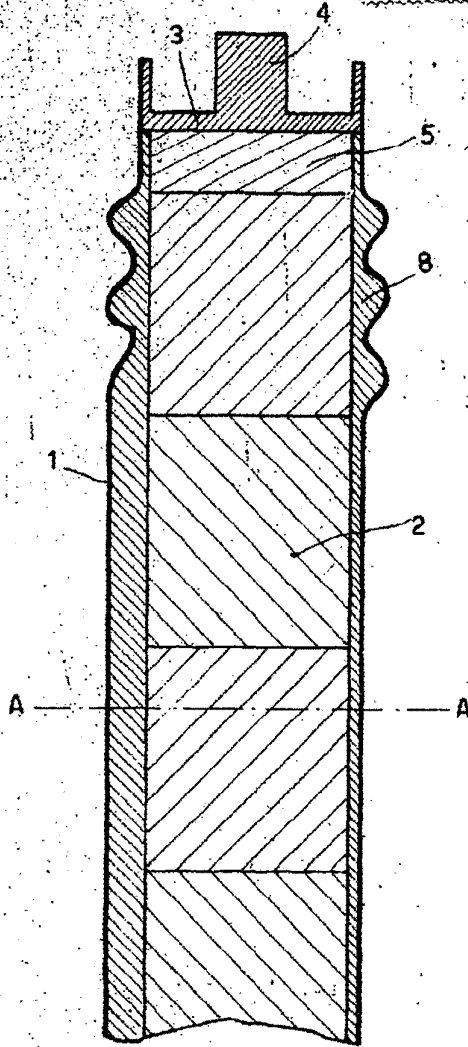


FIG 5

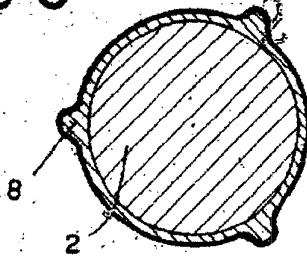


FIG 6

MADRID, 28 MAY. 1963

P. A.

288441

(ESCALA VARIABLE)

28 MAY



288441

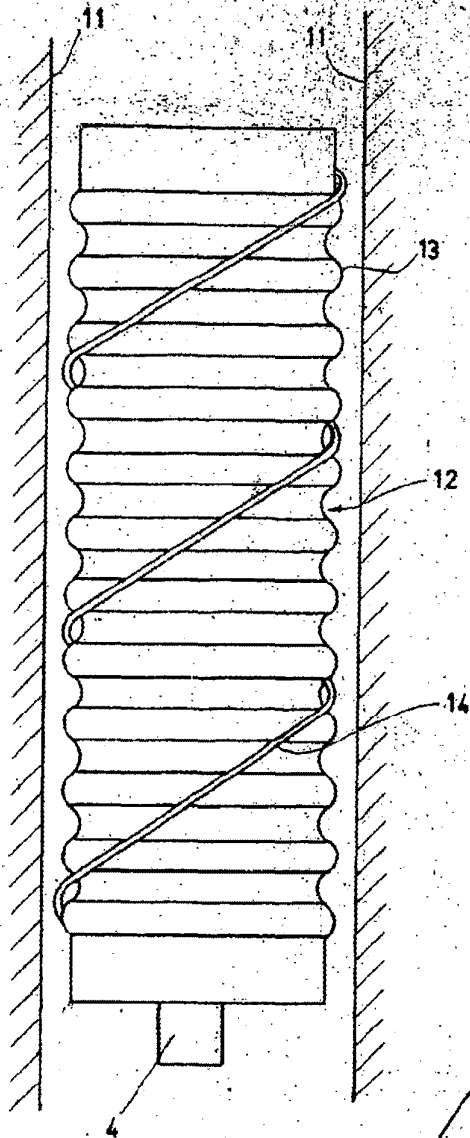


FIG 8

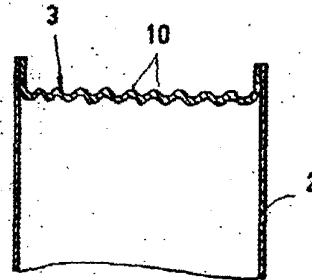


FIG 7

Madrid 28 MAY. 1963
P. A.