

266530



MEMORIA DESCRIPTIVA

que se acompaña a la solicitud de registro de

PATENTE DE INVENCION

por veinte años, en España, y sus Posesiones
con prioridad de la Patente Norteamericana -
Serial nº. 22.145, solicitada el 14 Abril 1960,

a favor de:

THE BABCOCK & WILCOX COMPANY, entidad Nortea-
maricana, domiciliada en New York (EE.UU.) en
161 East 42 Street

por:

"PERFECCIONAMIENTOS EN UN REACTOR NUCLEAR Y EN
EL METODO DE OPERARLO"

Esta invención concierne en general a los reactores
nucleares donde tiene lugar una reacción de fisión en cade-
na y más particularmente está conectada con los métodos y
aparatos para operar reactores nucleares que tengan una gran
cantidad de exceso de combustible y con los materiales fi-
sionables reproductores.

Esta Patente es en parte una continuación de la Se-
rial nº. 662.450 registrada en 29 de Mayo de 1957, en Esta-
dos Unidos.

266530



- 2 -

10

En todo reactor nuclear debe haber una cierta distribución de material fisionable que actúa como combustible y otros materiales, de modo que exista una masa suficiente para que se produzca una reacción en cadena. A la masa del material fisionable se le denomina "masa crítica". Para operar un reactor de tipo "no reproductor" durante un periodo de tiempo apreciable, es necesario introducir un exceso de combustible sobre el valor crítico que representa el combustible que se ha de consumir durante la operación del reactor. Y como este exceso de combustible proporciona una cantidad de neutrones, mayor que la cantidad necesaria para establecer una reacción en cadena controlada, dicho sobrante de neutrones debe ser absorbido adecuadamente para evitar una reacción incontrolada. La capacidad del exceso de combustible para producir este exceso de neutrones suele ser denominada "exceso de reactividad".

15

20

25

30

35

40

Los métodos existentes para controlar el exceso de reactividad de los reactores se basan en la absorción improductiva del exceso neutrónico, bien utilizando materiales que absorben neutrones que sean diferentes del combustible o isótopos fértiles, o bien permitiendo una excesiva difusión o escape de los neutrones fuera del reactor. Estos métodos de control consisten en barras de control móviles absorbentes de neutrones (tales como el hafnio metálico), en el uso de venenos combustibles (tales como el boro), en la variación de la geometría del moderador, tal como el que consiste en variar la altura del agua pesada en un reactor de uranio natural y agua pesada, y en la variación de la cantidad de combustible en el núcleo como ocurre en los reactores homogéneos. Estos sistemas o varían el número de neutrones que escapan de la periferia del reactor, o varían la



- 3 -

absorción improductiva de los neutrones del reactor o modifican la cantidad de combustible en uso.

45 A medida que el material combustible se consume, se controla el estado crítico del reactor aumentando la capacidad de moderación.

50 Y puesto que se puede asegurar en general que la masa crítica disminuye cuando el nivel de energía de los neutrones se aproxima a la región térmica, la presente invención proyecta regular un reactor mediante el control de la moderación del reactor.

55 Un problema afrontado en el desarrollo de los reactores nucleares ha sido lograr un reactor de tipo reproductor en especial en el campo de los reactores térmicos. Un reactor "reproductor" convierte material fértil en fisiónable de modo que se producen mayor número de átomos fisiónables que los que se consumen durante la reacción de fisión. En otras palabras, un reactor reproductor es aquel que posee una relación de conversión superior a la unidad, de tal forma que se producen mas átomos de material fisiónable que los que son destruidos.

60 Aunque teóricamente ha sido posible construir un reactor térmico reproductor, hay varias limitaciones que han hecho imposible un desarrollo práctico. Uno de los factores limitadores ha sido la imposibilidad de construir o embarcar un reactor en forma de depósito a presión lo suficientemente grande para lograr una relación interna de conversión superior a 0,85. Otro es que la razón conversión mayor de uno no puede ser lograda en un sistema que utilice agua natural pura como moderador. También otro factor que
65
70 hace prohibitivo un reactor "reproductor" es el uso de sis-



temas de control que absorben neutrones improductivamente reduciendo por tanto la posibilidad de que los neutrones que no actuen en otras fisiones, sean capturados por el material fértil.

75

Para vencer estos factores adversos, la presente invención estudia una disposición del núcleo de forma que el material fértil tenga la posición más ventajosa para su conversión en material fisiónable, como recurso para regular un reactor mediante el control de la moderación en él.

80

La invención actual tiene como fin el operar un reactor nuclear haciéndolo crítico, según una masa crítica basada en una cuantía de la moderación previamente determinada y siendo la cantidad del combustible la máxima que se desee.

85

La invención proporciona además un método para operar el reactor en el cual la moderación variable se consigue utilizando una mezcla de agua natural y pesada teniendo tal mezcla inicial una relación deuterio-hidrógeno alta y el reactor se controla variando dicha relación.

90

Además, el material fértil ha de ser distribuido en el reactor de modo que los neutrones en exceso, que no son capturados en un proceso de fisión, sí sean capturados productivamente en una mayor cuantía por el material fértil, originándose una conversión a material fisiónable, decreciendo por tanto, la velocidad neta a la cual se consume el combustible en el reactor y aumentando su vida.

95

Simultáneamente la invención proporciona un método de convertir el material fértil en fisiónable en un reactor nuclear, en el que la "manta" de material fértil está colocada cerca del núcleo y el reactor es controlado variando su capacidad de moderación.

100

266530



105

Ademas el invento proyecta el aparato específico que opera de acuerdo con el método desarrollado que incluye el sistema para variar la moderación en el reactor. Tambien intenta la invención un aparato especial para un reactor nuclear que incluye el medio de variar la moderación en el reactor, lo que permite la absorción productiva de neutrones en el reactor, permitiendo por tanto una relación de conversión mayor de la unidad.

110

Los varios aspectos de novedad que caracterizan este invento, quedan acentuados en las reivindicaciones anexas y forman parte de esta descripción.

115

Para una mejor comprensión de la invención, de sus ventajas operativas y de los objetos específicamente obtenidos mediante su uso, nos referimos a los dibujos que se acompañan en los que se ilustran y describen partes escogidas del invento.

120

LA FIGURA 1, es un dibujo semiesquemático de un reactor que opere segun la presente invención.

LA FIGURA 2, es una curva mostrando la variación de la masa crítica con el cambio del moderador en el reactor de la figura 1, comparándola con otros reactores.

125

LA FIGURA 3, representa una curva mostrando la variación de la criticidad con el tiempo relativa al reactor de la figura 1.

LA FIGURA 4, es una curva representando la razón de conversión del reactor de la figura 1, comparándola con otros reactores.

130

LA FIGURA 5, representa una vista en planta de la disposición del núcleo incluyéndose la manta, para un reactor térmico reproductor operado de acuerdo con la presente invención.

266530



- 6 -

135

LA FIGURA 6, es una curva representando la razón de conversión con el tiempo de operación del reactor de la figura 6, comparada con la del reactor de la figura 1.

140

Los reactores nucleares, incluyendo su teoría y diseño están completamente descritos en la Patente U.S. Patent 2.708.656 de FERMI Y SZILARD fechada en 17 de Mayo de 1955, y la presente invención puede ser aplicada a los informes específicos allí apuntados. Las definiciones de los términos utilizados se pueden encontrar en la obra A. GLOSSARY OF TERMS IN NUCLEAR SCIENCE AND TECHNOLOGY, publicada en Abril de 1953, por la American Society of Mechanical Engineers.

145

150

En la figura 1, se presenta un dibujo esquemático de un reactor nuclear del tipo de agua a presión, descrito detalladamente en los "Proceedings of the International Conference of the Peaceful uses of Atomic Energy" vol.III, pág. 211-234. El reactor (10) está equipado con barras de control (12) y tiene una entrada (14) y salida del circuito primario de refrigeración. Una carcasa en forma de U, y una caldera tubular (18) tiene la parte tubular conectada al reactor (12) por los circuitos de alimentación (20) y de salida (22). Una bomba instalada en el circuito primario de alimentación obliga a circular continuamente al líquido refrigerante (agua) según una línea de flujo cerrada a través del reactor (10), donde absorbe calor, y a través de la caldera (18) donde el calor se emplea en hacer hervir el agua de la carcasa para la generación de vapor.

155

160

El agua alimentada a la caldera entra por la entrada (26) y el vapor la abandona por el circuito (28) hacia el lugar de utilización (no representado). Un pre-



165 sionizador o regulador de presión (30) está conectado a la línea de retorno (22) por una válvula (32), a fin de mantener una presión alta en el agua, de modo que el calor del reactor pueda ser transferido al agua que refrigera sin que llegue a hervir.

170 El reactor es del tipo bien conocido llamado "heterogéneo" y en su núcleo los elementos del material fisiónable y del fértil están dispuestos en formas diferentes. La masa del combustible en él, es superior a la "crítica" basada en la del caso de moderación con agua natural, en la cuantía necesaria para mantener la "criticidad" durante un tiempo prefijado de operación. Así el reactor es del tipo 175 térmico, pues la mayoría de las fisiones son debidas a la absorción de neutrones térmicos, es decir, de neutrones que tengan una energía cinética media determinada a la temperatura de trabajo, que vale alrededor de 0,025 electronvol- tios a 300°K. El exceso de combustible origina un exceso 180 de reactividad que consiste en que se generan más neutrones que el mínimo necesario para mantener la reacción en cadena.

185 La presente invención es principalmente un método de operar el reactor descrito, en el cual el exceso de reactividad del exceso de combustible es controlado modificando el poder de moderación para aumentar la energía media de los neutrones en el reactor y para aumentar la captura resonante productiva de neutrones por el material fértil, si éste existe.

190 La potencia de moderación del reactor es la capacidad para frenar los neutrones desde la energía de fisión, a fin de aumentar la probabilidad de captura por un átomo fisiónable. Variando el poder de moderación, se logra el



control del reactor, aumentándose además la velocidad de conversión del material fértil en fisionable.

195

Como ejemplo, esta invención puede ser aplicada a un reactor que tenga la disposición de la figura 1. El circuito primario de refrigeración (10) contiene una mezcla de agua pesada y agua natural rica en deuterio. La cantidad de deuterio presente se ajusta hasta que el reactor lle-

200

ga a ser crítico con todas las barras de control fuera del núcleo. El agua pesada es introducida en forma controlada en el circuito de salida (16) del sistema primario por la línea gobernada por la válvula (34) y el agua natural a través de la conducción gobernada por la válvula (36). La

205

mezcla de agua es impulsada desde la línea de alimentación (20) por medio de una tubería regulada por una válvula (38) hacia la instalación de recuperación (40) de agua pesada.

210

En esta instalación el agua pesada se separa de la ligera para así alimentar al circuito (34). El sistema de recuperación del agua pesada está perfectamente discutido en "Production of Heavy Water" edited by G.M. Murph, y otros, primera edición, Mc. Graw-Hill 1955, páginas 17-30.

215

Para aumentar la cantidad de deuterio en el sistema y disminuir por tanto el poder de moderación, el agua pesada se alimenta a través del circuito (34) y una cantidad igual de la mezcla de agua es extraída por el circuito (38). A medida que el combustible es consumido en el núcleo se mantiene el estado de criticidad introduciendo agua natural, por medio de la línea (36) y sacando una can-

220

tidad igual de la mezcla acuosa. Las características del reactor son las siguientes:



225	Diámetro del núcleo	7 pies
	Altura id.	8 "
	Potencia del reactor	610 Mw. de calor
	Combustible	U-235 y U-233 en forma de óxido de uranio
	Material fértil	Torio, como óxido de torio.
	Carga de uranio	670- Kg.
	" de torio	18.000 Kg. de óxido.
	Relación metal-agua	0,75
230	Tamaño de la barra del elemento combustible	0,375 pulgadas O.D.
	Recubrimiento	0,030 pulgadas de zircalloy - 2
	Moderador y refrigerante inicial	90% de agua pesada 10% de agua ligera

235 La relación agua a metal es la cantidad de metal sólido con relación a la cantidad de agua presente en el núcleo del reactor.

240 El procedimiento característico de operar este reactor, consiste en cargar 670 Kg. de combustible en el núcleo, introducir la mezcla de agua pesada en el reactor (90/10) y en ajustar exactamente la relación de deuterio a hidrógeno para que el reactor sea justamente crítico. Entonces ajustar la temperatura disminuyendo la relación D/H y la potencia sacando del núcleo una pequeña barra de control.

245 También es necesario ajustar la relación de hidrógeno a deuterio, en sentido descendente lo suficiente para compensar el quemado de combustible y la producción de productos de fisión, y continuar la operación del reactor hasta que no se pueda mantener por más tiempo la criticidad a la tem-



250 peratura de operación rebajando la relación de hidrógeno a deuterio.

255 El invento está basado en el hecho de que a medida de que se deceleran los neutrones, mayor es la probabilidad de producir una fisión. También es bien conocido que los átomos de deuterio tienen una menor capacidad para frenar los neutrones que los de hidrógeno. En consecuencia, la masa crítica de un material fisionable para un reactor de agua pesada puede hacerse mayor que la del caso del agua natural en un reactor de conversión interna. De igual manera si el agua natural se añade al agua pesada, serán moderados más neutrones a través de las resonancias del combustible y del material fértil, aumentándose así la probabilidad de que se produzcan fisiones. Así a medida que disminuye el número de neutrones debido a su desaparición, se puede mantener el estado crítico por el aumento del efecto moderador del efecto de la dilución por el agua natural.

265 Hay que indicar también que el material fértil tal como el torio y el U-238 tienen una sección eficaz de captura por resonancia importante en el nivel de energía de los neutrones por encima del térmico y en el intervalo desde 0,4 a 200 electron-voltios. La fracción de neutrones de fisión capturados en las resonancias del material fértil puede ser incrementada reduciendo la moderación en el núcleo del reactor, es decir, desplazando el espectro de energía de los neutrones hacia energías más altas. Esto posibilita al material fértil competir más favorablemente con los materiales que forman la estructura del reactor en cuanto a absorber neutrones, aumentándose así la razón de conversión y reduciendo la velocidad neta de agotamiento

275



280

del combustible.

285

La figura 2, ilustra el efecto calculado del cambio del porcentaje de agua pesada en la masa crítica del reactor del ejemplo, representando M el porcentaje en volumen de D_2O en agua y N masa crítica de $U,235$ Kg. Hay que indicar que la masa crítica cambia desde 670 Kg. hasta alrededor de 260 Kg. cuando la moderación se realiza solo con agua natural.

290

El control del reactor se efectúa desplazando el espectro de energía de los neutrones y provocando así el que se utilicen más neutrones para la conversión del material fértil y tener menos neutrones disponibles para fisión térmica. El exceso de reactividad es entonces controlado a la vez que la velocidad de conversión. En consecuencia, se puede obtener una distribución de flujo más uniforme además de un tiempo de operación mayor entre las cargas de combustible.

295

La siguiente tabla contiene el efecto calculado del corrimiento de la energía de los neutrones:

300

<u>%D₂O en volumen.</u>	<u>Frac. en% de fisiones en el intervalo de energías 0,4 - 200eV</u>
0	12
50	20
70	27
80	30
90	32

305

Para ilustrar las ventajas del actual invento se comparará con reactores previos controlados por métodos clásicos:



266530

Reactor A.

Características:

310

Dimensiones del núcleo 7 pies
 Altura del núcleo 8 "
 Potencia del reactor 610 MW de calor
 Combustible U-235 y U-233 como Uq
 Material fértil Torio con ThO₂

315

Relación metal-agua 0,75
 Carga del torio 18,000 Kg. como ThO₂
 Tamaño de las barras 0,375 pulgadas O.D.
 Revestimiento 0,030 pulgadas de Zircaloy-2

320

Moderador y refrigerante H₂O pura
 Método de control Clásico (barras de control y venenos quemables)

Reactor B.

Características:

325

Diámetro del núcleo 15,58 pies
 Altura del núcleo 14,5 "
 Potencia del reactor 610 MW de calor
 Combustible U-235 y U-233 como UO₂
 Material fértil Torio como ThO₂
 Carga de torio 18.000 Kg. de ThO₂

330

Relación metal-agua 0,05
 Tamaño de las barras 0,375 pulgadas O.D.
 Revestimiento 0,030 pulgadas de Zircaloy-2

Moderador y refrigerante }

99,75% D₂O
0,25% H₂O

Métodos de control

Clásicos (barras de control y venenos quemables)



335

Estas características del núcleo representan el diseño típico de un reactor de potencia. Una relación baja metal-agua (m/w) es necesaria en el reactor B para mantener la masa crítica en una cuantía razonable. El gran tamaño es necesario para asegurar una salida de potencia de 610 MW basada en el bajo valor de M/W , suponiéndole el mismo flujo medio de calor en A.

340

Un aumento en el porcentaje de D_2O en volumen en agua, es decir, un aumento de D/H , disminuye el poder de moderación y aumenta la masa crítica.

345

La vida de los reactores A, B, y los referidos en la actual invención, fueron calculados bajo la base de tener cada núcleo una carga inicial de combustible superior a la crítica, aproximadamente 350 Kg.

350

La figura 3, representa la criticidad en función del tiempo-potencia 610 M-W (megavatios), cuyas abscisas P son el tiempo de operación del reactor-días a plena potencia y cuyas ordenadas Q son la radioactividad. En dicha figura 3, las curvas R y S representan la criticidad de los núcleos A - H_2O pura y B - D_2O pura en función del tiempo de operación y V es el punto crítico. En realidad, estos dos núcleos no son realistas, porque una actividad aproximada de 0,20 es normalmente el valor máximo que puede ser controlada con barras de control clásicas. Esto obliga a emplear cargas más pequeñas y a acortar la vida del núcleo como se indica en la curva C del reactor A' - H_2O pura de la misma figura 3.

355

360

Sin embargo, esta carga inicial alta se puede conseguir en el reactor de la presente Patente debido a la presencia de D_2O en el pequeño reactor.

266530

utilizando las mismas cargas iniciales de combustible y las técnicas clásicas de control, la vida previsible en el reactor B es 310 días (figura 3) mientras que utilizando el método de control de esta patente, la vida se alarga hasta 1310 días (figura 4). Conviene compararla con la vida esperada de 300 días del caso en que la carga inicial se reduce como en el reactor A' (figura 3) en que se obtiene una reactividad inicial (K_{eff}) de solo 1,20 utilizándose barras de control usuales. Aproximadamente se pueden aumentar 300 días de vida (185.000 MWD) incrementando la carga inicial lo suficiente para asegurar 350 MG. de masa inicial en exceso en vez de satisfacer el requisito de la limitación de su máximo (K_{eff}) = 1,20. Un suplemento de 400 días, casi 300.000 MWD, se añaden a la vida previsible debido al aumento de la relación conversión obtenida utilizando el método de la variación de la potencia de moderación en vez del clásico de las barras de control.

En la figura 4, se representa el significado de este efecto en la razón de conversión. En esta figura 4 - P' representa el tiempo de operación del reactor-días a plena potencia - Q' razón de conversión y las curvas R' del reactor A (H_2O pura) R' del reactor B (D_2O pura) y Z' del reactor de la presente invención (mezcla de $H_2O - D_2O$). A continuación se compara la media de la razón de conversión en todo el tiempo de vida de los núcleos:

Núcleo del reactor.-	Días de vida.	Refrigerante-Moderador.	Valor medio de la razón de conversión.
A	340	H_2O pura	0,53
Reactor de la presente invención	1.310	H_2O-D_2O	0,71



395

Esto demuestra las ventajas del control basado en la variación de la fracción de neutrones capturados en las resonancias del material fértil en comparación con el basado en el cambio de la velocidad de consumo improductivo de neutrones de los métodos normales.

400

La captura resonante de neutrones aumenta con la disminución de la probabilidad de escape a la resonancia P. A menor valor de la probabilidad le corresponde un mayor porcentaje de absorciones resonantes en el reactor aquí patentado de mezcla H_2O-D_2O . A fin de utilizar la idea propuesta de la barra para ajuste aproximado del control, el núcleo debe poseer un valor bajo de la probabilidad de escape a la resonancia con un porcentaje grande de D_2O en agua. Es decir, que la capacidad de aumentar P aumentando la potencia de moderación (es decir, disminuyendo la relación D/H), es lo que permite ajustar el control para mantener crítico el reactor durante la operación.

405

410

En un reactor de uranio -torio de conversión interna, el control mediante la variación de la potencia de moderación en el núcleo a través de la variación de la relación entre deuterio e hidrógeno, puede aumentar el tiempo de vida nuclear de un núcleo de 610 MW desde 540 días (utilizando métodos de control usuales) hasta 1.310 días. Esto se consigue por:

415

420.

- 1.- Logrando el control de grandes cargas iniciales de combustible, permitiendo así cargar grandes cantidades de exceso de masa.
- 2.- Aumentando el valor medio de la razón de conversión eliminando las pérdidas no productivas de los neutrones debidas a los mecanismos de control.



425

Ademas, para aumentar la razón de conversión en el reactor antes considerado, es tambien posible realizar un reactor nuclear reproductor combinando el control del moderador de la presente Patente con una disposición del reactor, en la cual al núcleo que contiene material fisiónable o material fisiónable y fértil, se le rodea por una manta de material fértil.

430

Para lograr un reactor reproductor térmico, hay que tener en cuenta que el material fisiónable debe contener una cierta proporción de U-235 que es originado a partir del torio. La razón de esto radica en que en un reactor térmico que contenga solo U-235 como material fisiónable, no hay suficientes neutrones emitidos por cada neutrón absorbido para permitir una relación de conversión superior a la unidad. Las proporciones necesarias de U-233 y U-235 para lograr la reproducción dependende los parámetros del reactor.

435

440

En la figura 5, se representa una materialización adecuada del núcleo de un reactor térmico reproductor similar e intercambiable con el de la figura 1. El núcleo en forma de enrejado cuadrado, está formado por un número de elementos combustibles alargados y uniformemente distribuidos de sección cuadrada (42).

445

450

Los elementos combustibles (42) están constituidos por un número de delgadas y largas espigas de material combustible (no representadas) que contienen el material fértil en cada extremo con una mezcla de materiales fértil y fisiónable dispuestos entremezclados. El material fértil dispuesto en los extremos de las espigas combustibles proporciona una manta relativamente delgada en cada extremo del núcleo. El material fértil y el combustible están constituidos por óxi-

6530



500 dos de torio y uranio respectivamente.

505 Alrededor de la periferia lateral del núcleo que contiene los elementos combustibles (42) hay otro conjunto de componentes alargados (44). Estos componentes tienen esencialmente la misma forma y están dispuestos en correspondencia paralela con los elementos combustibles (42). Los componentes (44) sin embargo, contienen solo material fértil tal como óxido de torio que está preferentemente contenido en los vástagos como el caso de los elementos combustibles.

510 Esta disposición de los componentes proporciona una manta extendida longitudinalmente alrededor de los lados del núcleo. La combinación de la manta final dentro de los elementos combustibles (42) y la manta lateral formada por los componentes (44) proporciona una capa de material fértil completamente rodeando o comprendiendo el núcleo.

515 La distribución espaciada de los elementos combustibles y componentes proporciona canales de flujo (46) para que el refrigerante del reactor pueda fluir alrededor y a través de los elementos combustibles y componentes.

520 Los elementos combustibles (42) están divididos en dos zonas de concentración de combustible extendidas de modo uniforme y longitudinal que cada una tiene una relación en peso de material fisionable a fértil sustancialmente diferente. En la figura 5 los componentes (44) que forman la manta están designados con la letra A y los elementos combustibles están identificados por las letras B o C. Los elementos marcados con la C constituyen una zona de concentración interior y central de combustible rodeada por los elementos combustibles marcados con la B, que forman una zona



550

de concentración exterior de combustible concéntricamente dispuesta. Los componentes marcados con la A, forman un anillo concéntrico alrededor de las zonas de concentración del combustible. La relación de material fisionable a fértil es superior en la zona exterior de concentración de combustible a la de la zona interior. La finalidad de esta variación es nivelar la distribución de potencia dentro del núcleo.

555

560

Aunque la manta de material fértil ha sido descrita juntamente con un núcleo en el que la relación de material fisionable a fértil se varia radialmente en dos zonas, no queda restringida a esta disposición. Dicha disposición puede ser utilizada con un núcleo en el cual no existan zonas de cargas o con otros en los que la razón entre material fisionable y fértil varia radial y axialmente.

565

570

Tambien se encuentran distribuidos en el núcleo un grupo de barras de control movibles en forma cruciforme alargada (48) dispuestas en forma regular y simétrica. Estas barras se pueden colocar en la posición longitudinal adecuada dentro de los canales de flujo (46) de modo que pueden ser sacadas o introducidas independientemente en el núcleo. Las barras de control sirven para mantener en nivel bajo el exceso de reactividad debida a las existencias de combustible impidiendo que el reactor se haga crítico antes del arranque constituyendo un método de apagar el reactor y si se desea pueden emplearse para ajustar o regular el reactor.

575

580

Alrededor del núcleo hay dispuesto un par de blindajes térmicos (50 (52) y una pared (54) del propio reactor. Puesto que en la figura 5 se pretende solo ilustrar la disposición general del material fisionable y del perfil dentro del núcleo y de la manta, no se ha representado ninguna de

266530



las cubiertas o pantallas que normalmente se instalan alrededor del núcleo o como en este caso, alrededor de la manta.

585

Este reactor breeder térmico opera según el sistema mostrado en la figura 1. El refrigerante primario utilizado es una mezcla variable de agua natural y pesada que se introduce en interior y fluye a través del reactor en la forma descrita previamente en el sistema de la figura 1.

590

Las características para dicho reactor son las siguientes:

	Diámetro equivalente del núcleo	99,5 pulgadas
	Altura del núcleo	96, "
	Longitud del combustible activo	88, "
595	Longitud de la manta en cada extremo del elemento combustible	4, "
	Potencia del reactor	1,100 MW
	Material fisionable	U-235 y U-233 en forma de óxidos.
	Material fértil	Torio en forma de óxido
600	Carga de material fisionable	500 Kg. { (450 Kg. de U-233 50 Kg. de U-235
	Carga de material fértil	27.666 Kg.
	Relación metal-agua	1,1
	Espigas por elemento combustible	285
	Diámetro de las espigas	0,420 pulgadas (Diámetro exterior)
605	Espaciado de las espigas	0,525 pulgadas
	Revestimiento del combustible	0,030 pulgadas de Zircaloy-2.
	Moderador y refrigerante inicial	(80% de agua natural (20% de agua pesada
	Zona con carga de material fisionable:	
	Elementos combustibles B	3,24% en peso de material fisionable.



610 Elementos combustibles C 2,30% en peso de material fisio-
nabile.

Como se dijo anteriormente, no es posible conseguir un reactor reproductor utilizando solo U-235, sino que es necesario utilizarlo juntamente con el material fisionable producido

615 En el reactor térmico acabado de describir que utiliza torio como material fértil y produce U-233, no es posible lograr la reproducción a menos que exista presente una cantidad suficiente de U-233 en el comienzo del tiempo de vida del núcleo. Como medio práctico, puesto que el U-233 puede obtenerse

620 únicamente a través de la conversión del torio, se deben producir un cierto número de procesos, en el núcleo hasta que exista una cantidad suficiente de U-233. En el núcleo del reactor aquí descrito e ilustrado en la fig. 5, serán necesarios

625 alrededor de cinco procesos, empezando con U-235 como material fisionable hasta que sea posible tener suficiente U-233 en combinación con U-235 para obtener un reactor reproductor en el sexto ciclo o núcleo. Las cantidades de material fisionable expuestas en la tabla anterior son las que deben estar presentes en un núcleo, cuando existe la suficiente cantidad de U-233 para originar un reactor reproductor.

630 A fin de ilustrar la forma en la que opera un reactor térmico reproductor de la presente invención, se describe a continuación el procedimiento de arranque y de operación de dicho reactor.

635 1)- El núcleo representado en la figura 5, está dispuesto en todas las barras de control en su posición más introducida para mantener subcrítico el reactor en una condición fría y limpia. El sistema refrigerante primario está cargado con una mezcla de $H_2O - D_2O$ en la que las



640

fracciones en volúmen de D_2O está ligeramente en un exceso del 20% que es la cantidad porcentual requerida para controlar la reacción de fisión en cadena cuando el reactor se haga crítico al principio.

645

2)- Se ajusta la proporción entre H_2O y D_2O hasta conseguirse la mezcla adecuada para alcanzar la criticidad del reactor, (80% D_2O -20% H_2O)

3)- Se sacan las barras de control para establecer en el reactor el nivel de potencia que se desea.

650

4)- Se ajusta la relación de H_2O a D_2O de modo que el reactor sea crítico a la temperatura de trabajo y se sacan entonces todas las barras de control del núcleo, con la excepción de una única barra, necesaria para el control fino y para contrarrestar la acción del Xenon.

655

5)- Durante la operación del reactor, además del quemado del combustible, y la conversión de material fértil en fisionable, hay producción de productos de fisión. Estos productos tienden a envenenar o a absorber improductivamente neutrones térmicos aptos para el proceso de fisión. Por tanto, para mantener la reacción en cadena ha

660

de haber un número suficiente de neutrones, tanto para realizar las fisiones como para que sean absorbidos por los productos de fisión. Por ello para aumentar la probabilidad de que haya más neutrones disponibles para provocar fisiones se debe aumentar la relación de H_2O a D_2O , a fin de frenar así más neutrones hasta la energía térmica. El efecto de este proceso consiste en que gradualmente disminuye la cantidad de D_2O y aumenta la de H_2O durante el tiempo de vida del núcleo.

665

6)- Al final de la vida del núcleo la relación



670

de H_2O a D_2O debe estar próxima al 90-95% de H_2O para el 10-5% de D_2O . Teóricamente, el volumen de D_2O se debe reducir a cero al final de la vida del núcleo, pero sin embargo, para proporcionar un adecuado control del reactor, se mantiene una mínima cantidad de D_2O en el sistema moderador-refrigerante.

675

7)- Cuando se desea hacer parar al reactor se introducen las barras de control en el núcleo.

680

La mezcla H_2O-D_2O puede ser utilizada para controlar aproximadamente haciendo un ajuste grosero en la reactividad del reactor y también para regularlo, mediante un ajuste fino de la reactividad.

El balance de neutrones del núcleo es como sigue:

Neutrones de fisión absorbidos:

685

U-233	- 1.000
U-234	- 0.100
U-235	- 0.100
U-236	- 0,020
N_p^{237}	- 0,005
Hidrógeno y estructura	0,045
Xe y Sm	- 0,059
Pa	- 0,020
Otros productos de fisión	0,057
Torio	<u>1.079</u>

690

Total.... 2.485

695

Pérdidas: 0,020

Neutrones de fisión producidos:

700

U-233	2.290
U-235	0,204
Torio	<u>0,011</u>

Total.... 2.505-



6537

Compensando la absorción por el torio por las pérdidas del Pa y suponiendo alrededor de un medio por ciento (0,5%) de mas pérdidas en el proceso químico, la razón de conversión de torio a uranio (U-233) es aproximadamente 1,05.

705

En la figura 6, la razón de conversión del reactor reproductor de torio X se compara con la del reactor T' aquí discutido utilizando ambos el control del moderador. Estas curvas indican el aumento conseguido en la razón de conversión utilizando control del moderador con la combinación de núcleo y manta.

710

Esta combinación de una manta alrededor del núcleo y control del moderador hace posible lograr un reactor reproductor térmico dentro de la gama de tamaños de los reactores actualmente utilizados.

715

El control del moderador es una diferencia con respecto a los métodos de control anteriores en los que se realiza la reproducción aumentando el número de neutrones disponibles para la conversión. Donde antes el control se conseguía por una absorción improductiva el control de la moderación hace que los neutrones (ahora no necesarios en la reacción de fisión) estén disponibles para el proceso de reproducción mediante la regulación de la probabilidad de escape a la resonancia. La manta de material fértil realiza la absorción productiva de neutrones en la gama de la absorción resonante cuando se escapan del núcleo. Por tanto, la combinación de control del moderador y la manta de material fértil permitirá la producción de material fisiónable en su reactor sin aumentar su tamaño.

720

725

730

Aunque la manta ha sido descrita como rodeando los lados y terminales del núcleo, no tiene que estar restringida



a esta disposición y debe ser efectiva aunque solo esté colocada alrededor de los lados del núcleo.

Aunque para esta invención se ha tomado como referencia un reactor de agua a presión también es aplicable a otros tipos.

735

Por ejemplo, un reactor reproductor de neutrones rápidos del tipo descrito en vol. III, páginas 135-144 de "Proceedings of the International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy" puede ser dispuesto de forma que el poder de moderación sea aumentado a medida que se consume combustible para disminuir así la masa crítica. El aumento de la moderación puede ser realizado por barras de grafito o berilio colocados como en el caso en que es necesario mantener la criticidad.

740

Los antiguos reactores pueden ser adaptados para utilizar esta invención simplemente sustituyendo los anteriores sistemas por un moderador variable. He aquí algunos de los moderadores variables que pueden utilizarse por variación de la cantidad de:

750

- 1.- Polvo de Berilio en un lecho fluidizado de grafito
- 2.- Perlas de vidrio en agua natural
- 3.- Polvo de grafito suspendido en agua natural
- 4.- Vapor en barras o en una matriz de grafito.

755

Aunque de acuerdo con lo que mandan los Estatutos, se ha ilustrado y descrito aquí un informe específico del invento, las personas concededoras de la cuestión comprenderán que se pueden realizar cambios en la forma de la pretendida invención y que ciertos aspectos pueden ser utilizados a veces ventajosamente aunque no se utilicen los demás.

760

Descrita suficientemente en lo que precede, la naturaleza del invento, así como los modos de llevarlo ven-



765

tajosamente a la práctica, y demostrado que constituye un positivo adelanto técnico sobre lo hasta ahora conocido y practicado y que su adopción habrá de resultar beneficiosa para la Economía Nacional, se solicita registro de Patente de Invención por veinte años, en España y sus Posesiones, acogiéndose a la prioridad de la solicitud de Patente Norteamericana Serial nº. 22.145, solicitada el 14 de Abril de 1960, y con sujeción a la siguiente

770

NOTA REIVINDICATORIA.

1a.- Un método de controlar un reactor nuclear, que consiste en disponer una cantidad de material fisionable y fértil como masa crítica en un núcleo, basada en un predeterminado poder de moderación, en rodear el núcleo con una manta de material fértil, regulando el reactor durante su operación introduciendo de modo controlado en él un material moderador que tenga un poder de moderación diferente del predeterminado, con lo cual se varia la capacidad de moderación del reactor para mantener así la criticidad.

775

780

2a.- Un método de convertir el material fértil en fisionable en el reactor nuclear que consiste en disponer una cantidad de material fisionable como núcleo para proporcionar una masa crítica basada en una predeterminada moderación, en rodear el núcleo con una manta de material fértil, en introducir un moderador dentro del reactor para proporcionar la cuantía requerida de moderación, en establecer una reacción de fisión en cadena en el reactor y regularlo durante su operación mediante la variación en forma controlada de la cantidad de material

785

266530



- 26 -

790

moderador que existe en el reactor, teniendo ademas este material un poder de moderación diferente de inicial, con lo cual la capacidad del reactor se varia para mantener la criticidad al mismo tiempo que se permite la absorción productiva de neutrones en el reactor para producir asi material fisionable.

795

3a.- Un método para convertir material fértil en fisionable en un reactor nuclear que consiste en distribuir una cantidad de material fisionable y fértil como núcleo para proporcionar una masa crítica basada en una determinada intensidad de la moderación, en rodear el núcleo con una manta de material fértil en colocar un moderador dentro del reactor para proporcionar la intensidad predeterminada de moderación que se necesita, en establecer una reacción de fisión en cadena en el reactor durante su operación mediante la variación controlada de la cantidad de moderador en el reactor que tenga un poder frenante diferente del moderador predeterminado, con lo cual se varia la capacidad de moderación del reactor para mantener la criticidad, al mismo tiempo que se permite la absorción productiva de neutrones produciéndose asi material fisionable.

800

805

810

4a.- Un método de convertir material fértil en fisionable en un reactor nuclear que consiste en disponer una cantidad de material fisionable como núcleo para proporcionar asi una masa crítica basada en una intensidad de moderación predeterminada, en rodear el núcleo con una manta de material fértil, en introducir una combinación de materiales moderadores en el reactor, de modo que cada uno tenga diferente poder de moderación, en ajustar la combinación del material moderador para lograr

815

820



825

la cuantia predeterminada de moderación necesaria para proporcionar una masa crítica en el núcleo estableciéndose una reacción de fisión en cadena en el reactor y regulándolo durante su operación por variación controlada de la relación entre los materiales moderadores en él, con lo cual se modifica la intensidad de la moderación y se mantiene crítico el reactor a la vez que se permite la absorción productiva de neutrones para producir material fisionable.

830

5a.-

Un método de convertir material fértil en fisionable en un reactor nuclear que consiste en disponer una cantidad de material fisionable y fértil como núcleo que proporcione una masa crítica basada en una predeterminada intensidad de moderación, en agrupar los cuerpos de los materiales fisionable y fértil en el núcleo formando por lo menos dos zonas de concentración de combustible dispuestas simétricamente, teniendo cada zona una relación entre los porcentajes en peso del material fisionable y del fértil considerablemente diferente,

835

840

en rodear el núcleo con una manta de material fértil, en introducir una combinación de materiales moderadores en el reactor cada uno con un poder de moderación diferente, en ajustar la combinación de materiales moderadores para lograr la cantidad predeterminada de moderación necesaria que proporcione una masa crítica en el núcleo, en sacar las barras de control de él para establecer una reacción de fisión en cadena y en regular el reactor durante la operación mediante la variación controlada de las proporciones

845

850

de los materiales moderadores variándose así la cuantia de la moderación, con lo cual se mantiene crítico



el reactor permitiéndose simultáneamente la absorción productiva de neutrones, en el reactor para producir material fisionable.

855

6a.- Un método de convertir material fértil en fisionable en un reactor nuclear que comprende la disposición de una cantidad de material fisionable, según un número de cuerpos separados uniformemente que constituyen el núcleo, en introducir barras de control en el núcleo pa-

860

ra mantenerlo en estado subcrítico, en introducir en el núcleo una combinación de materiales moderadores cada uno con diferentes potencias de moderación, en ajustar la combinación de materiales moderadores para lograr la cuantía predeterminada de moderación requere-

865

da para obtener la masa crítica en el núcleo, en sacar las barras de control del núcleo para establecer una reacción de fisión en cadena y en regular el reactor durante su operación modificando controladamente la proporción entre los materiales moderadores en él

870

para variar así la cuantía de la moderación, con lo cual se le mantiene crítico a la vez que se permite la absorción productiva de neutrones en el reactor produciéndose así material fisionable.

875

7a.- Un método de convertir material fértil en fisionable en un reactor nuclear que consiste en disponer una cantidad de material fisionable y fértil en un número de cuerpos uniformemente separados que constituyen el núcleo para suministrar una masa crítica basada en una cuantía de moderación previamente determinada, en agrupar los cuerpos de material fisionable y fértil

880

en un núcleo en el que existan por lo menos dos zonas



885

de concentración del combustible dispuestas simétricamente cada una y teniendo una proporción en peso entre material fisionable y fértil considerablemente diferentes, en rodear el núcleo con una manta de material fértil distribuido en un cierto número de cuerpos separados de forma uniforme, en insertar las barras de control dentro del núcleo para mantenerlo sub-

890

crítico, en introducir en el reactor una combinación de materiales moderadores cada uno con diferente poder de moderación, en ajustar la combinación de materiales moderadores hasta lograr la cuantía de la moderación determinada previamente que se necesita para obtener una masa crítica en el núcleo, en sacar las barras de control de él para establecer una reacción de

895

fisión en cadena y en regular el reactor durante su operación variando controladamente la proporción de los materiales moderadores dentro del reactor para modificar así la cuantía de la moderación en él, con lo cual se le mantiene crítico al mismo tiempo que se permite la absorción productiva de neutrones en el reactor que producirá el material fisionable.

900

8a.- Un método de convertir material fértil en fisionable en un reactor nuclear que consiste en disponer una cantidad de material fisionable como núcleo para originar una masa crítica basada en una cuantía de la moderación previamente determinada, rodeando el núcleo con una cierta cantidad de material fértil que constituirá una manta, en situar un moderador en el reactor constituido por mezcla de agua natural y pesada y ajustando la proporción entre ambas hasta con-

905

910

servar la reacción crítica.



915 seguir una determinada cuantía de la moderación en el reactor, en establecer una reacción de fisión en cadena en él y regularlo durante la operación mediante la variación controlada de la proporción entre agua natural y pesada, con lo cual el reactor se mantiene crítico al mismo tiempo que tiene lugar la absorción productiva de neutrones en el reactor que originará el material fisionable.

920 9a.- Un método de convertir material fértil en fisionable en un reactor nuclear que comprende la disposición de una cantidad de material fisionable y fértil como núcleo para así proporcionar una masa crítica basada en una cuantía de moderación previamente determinada, en agrupar

925 el material fisionable y el fértil en el núcleo, según dos zonas por lo menos de concentración de combustible, teniendo cada una de ellas una proporción en peso entre material fisionable y fértil considerablemente diferente, en rodear el núcleo con una cantidad suficiente de material fisionable para formar una manta en él, en

930 colocar un moderador en el reactor consistente en una mezcla de agua natural, y pesada, en ajustar la proporción entre ellas para obtener una intensidad determinada de moderación en el reactor, en establecer una reacción de fisión en cadena y en regular el reactor durante su operación variando controladamente la relación entre el agua natural y el agua pesada en el moderador, con lo cual se mantiene crítico el reactor y simultáneamente se realiza la absorción productiva de neutrones para producir material fisionable.

935

940

10a.- Un reactor nuclear que contiene una cantidad de material fisionable dispuesto en forma de núcleo que da



945

lugar a una masa crítica basada en una intensidad previamente determinada de la moderación, una cantidad de material fértil dispuesto alrededor del núcleo formando una manta, un moderador constituido por una mezcla de materiales moderadores, cada uno de los cuales posee un poder de moderación diferente y un sistema de regulación que varía la proporción de materiales moderadores, con lo cual se modifica la capacidad de moderación en el reactor para así mantener la criticidad.

950

11a.- Un reactor nuclear que comprende una cantidad de material fisiónable y fértil dispuestos en forma de núcleo y que proporcionan la masa crítica, basada en una cuantía de moderación determinada a priori, una cantidad de material fértil dispuesto alrededor del mencionado núcleo formando una manta, un moderador constituido por una combinación de materiales moderadores cada uno de los cuales posee diferente potencia de moderación y un sistema regulador para variar la proporción entre los materiales moderadores que sirve para modificar la capacidad de moderación en el reactor necesaria para mantener la criticidad.

955

960

12a.- Un reactor nuclear que comprende una cantidad de material fisiónable y fértil dispuesto, según un número de elementos combustibles alargados y uniformemente separados formando un enrejado regular que constituye el núcleo de modo que dichos elementos estén colocados concéntricamente alrededor de una zona interior central en la que se concentra el combustible, teniendo cada zona una proporción uniforme en peso entre material fértil y fisiónable considerablemente diferente, una cantidad de material fértil dispuesto en un número de componentes separados y

965

970

975



980

de forma uniforme que se extienden longitudinalmente y que rodean al núcleo formando una manta, un conjunto de barras de control de forma cruciforme alargadas longitudinalmente y que se sacan individualmente que están dispuestas, según una distribución uniforme dentro del núcleo y con los ejes longitudinales de ellos dispuestos paralelos a los ejes longitudinales de los mencionados elementos combustibles, un moderador constituido por una mezcla de agua pesada y agua natural y un sistema regulador para variar la proporción entre agua pesada y natural en el moderador, para modificar así la capacidad de moderación en el reactor, a fin de mantener la criticidad.

985

13a.-

Un reactor nuclear que comprende una cantidad de material fisionable y fértil dispuesto en un número de elementos combustibles separado uniformemente en forma alargada longitudinalmente, dispuestos según un enrejado regular constituyendo el núcleo, un material fértil localizado en cada extremo de dichos elementos combustibles, para proporcionar así una manta transversalmente dispuesta en los extremos del núcleo, estando colocados dichos elementos combustibles, según una zona interior de concentración de combustible dispuestos centralmente y por lo menos otra zona exterior de concentración de combustible dispuesta concéntrica-mente alrededor de la zona interior, teniendo cada zona una proporción uniforme en peso entre el material fisionable y el fértil considerablemente diferente, una cantidad de material fértil dispuesta, según un número de componentes separados de formas uniformes y longitudinalmente alargados que están rodeando lateral-

990

995

1000

1005



- 33 -

266530

1010

mente al núcleo formando una manta, un conjunto de barras de control que se pueden sacar individualmente, de forma cruciforme y longitudinalmente alargadas, que están distribuidas, según una disposición uniforme dentro del núcleo y teniendo los ejes longitudinalmente colocados paralelos a los ejes longitudinales de los elementos combustibles, un moderador constituido por una mezcla de agua pesada y agua natural y un sistema de regulación para modificar la proporción entre el agua pesada y el agua natural en el moderador para variar así la capacidad de moderación en el reactor, a fin de mantener la criticidad.

1015

1020

14a.- La presente Patente debe recaer sobre:

"PERFECCIONAMIENTOS EN UN REACTOR NUCLEAR Y EN EL METODO DE OPERARIO".

1025

Sean cuales fueren las circunstancias que concurren con la esencialidad de la Patente definida en las anteriores Reivindicaciones.

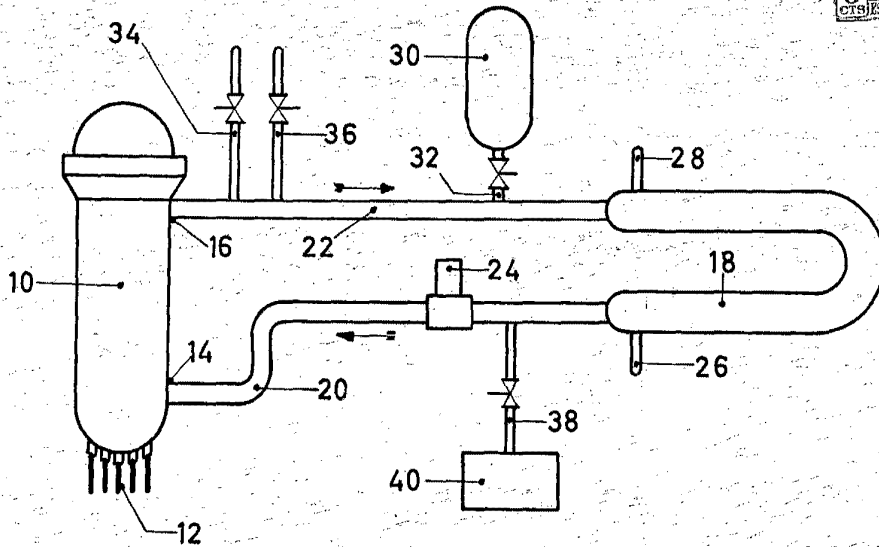
Madrid 12 Abril de 1961.

El Ingeniero-Agente.

Francisco Heloquera

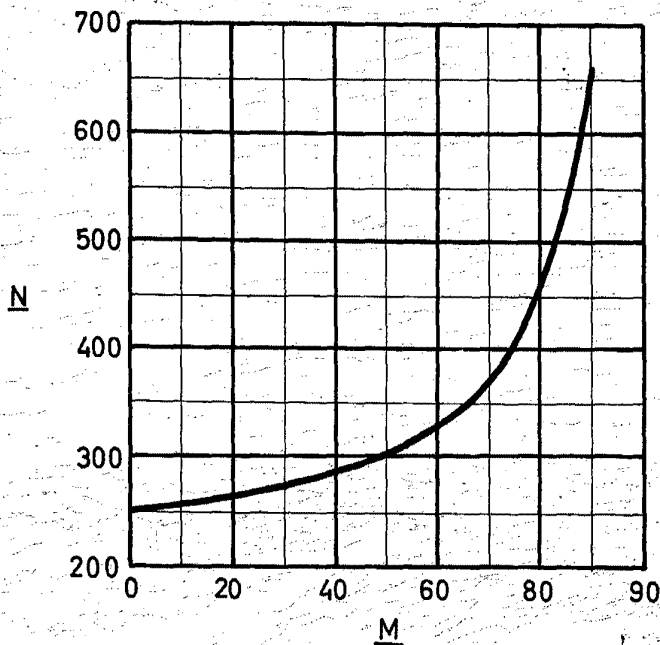


FIG. 1



26653

FIG. 2



Escala variable

Madrid - 13 de Abril de 1911
 El Ing.º Aponte
 V.º Helguera



FIG 3

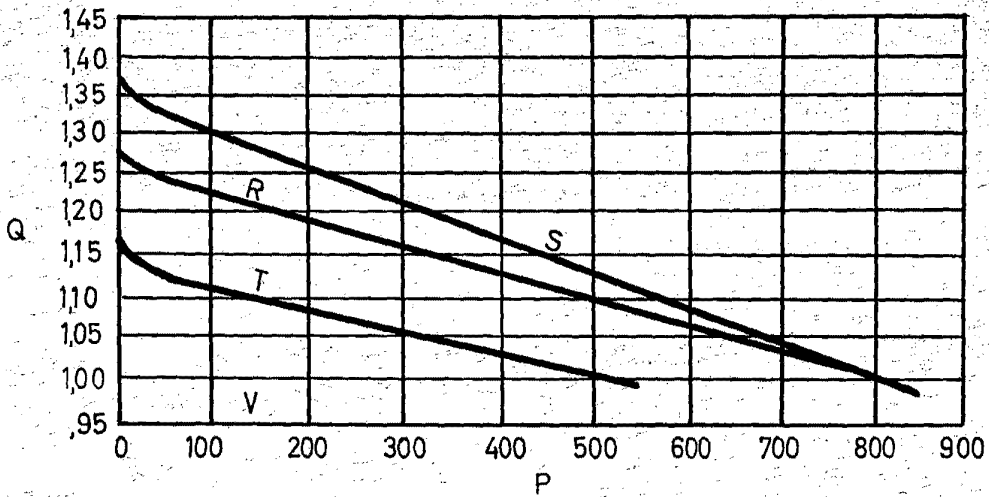
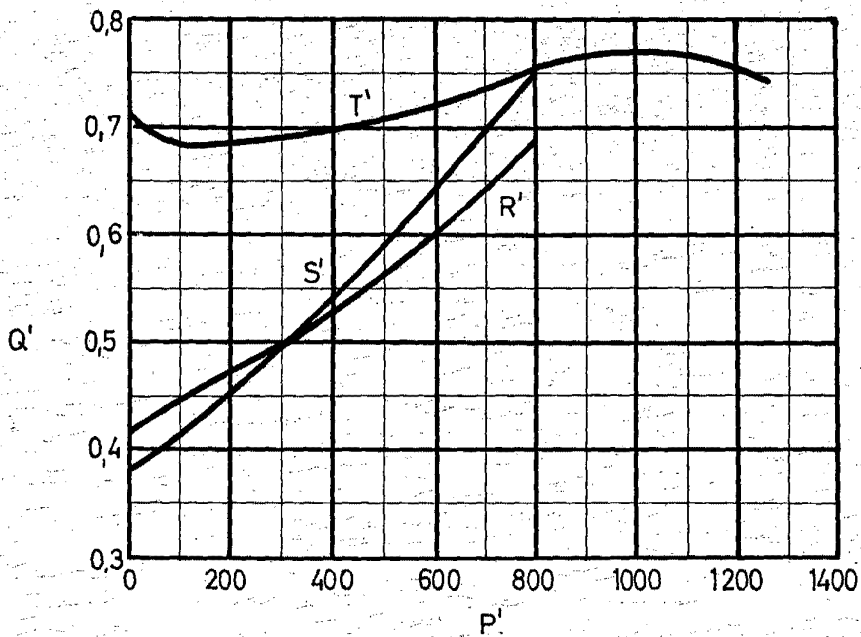


FIG. 4

5530



Escald variable

Mandado 12 de Abril. 1961
al Sr. Agente
Sr. P. P. P. P. P.

FIG. 6

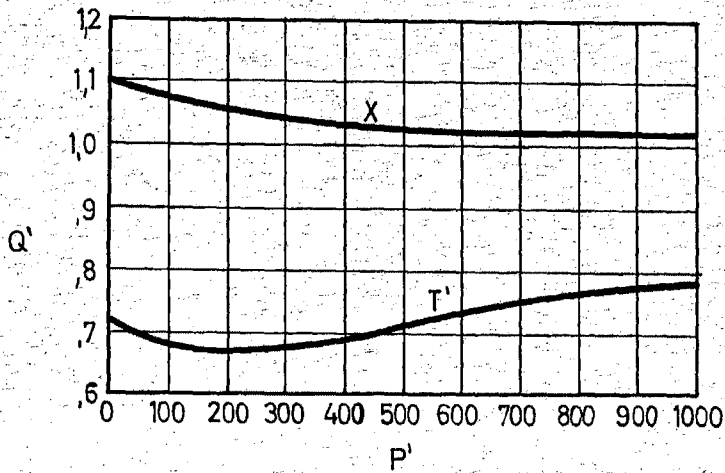
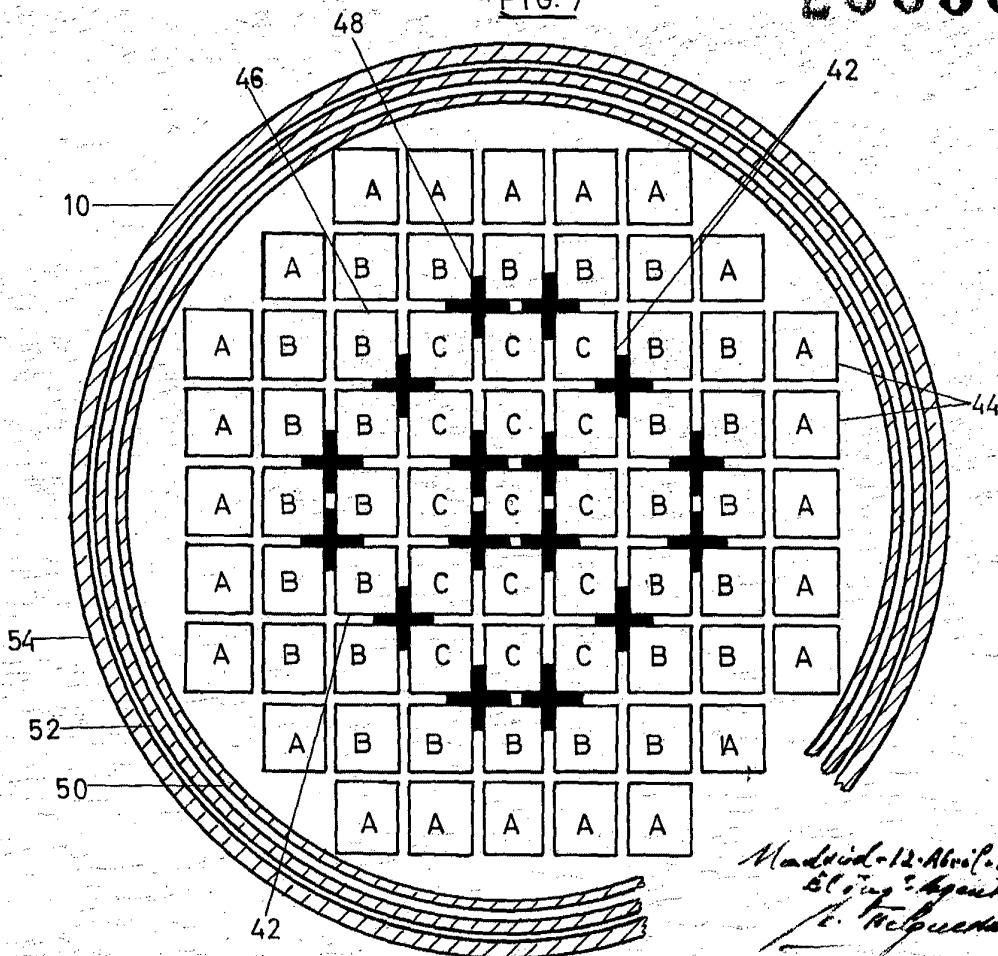


FIG. 7

266530



Madrid - 12. Abril. 1861
El Ing. Agustín
E. Peláez

Escala variable