

MP/.

3612171



361211

memoria descriptiva

SECCION TECNICA
CLASIFICACION I. P. C.
CLASE <u>G-21</u>
SUBCLASE <u>e</u>

CLASE DE REGISTRO

una Patente de Invención, por veinte años en España,

NOMBRE Y NACIONALIDAD DEL SOLICITANTE

General Electric Company
(sociedad norteamericana)

RESIDENCIA Y DOMICILIO

New York, 10016 N.Y. (USA)
159 Madison Avenue

OBJETO

"DISPOSICION DE ELEMENTO DE COMBUSTIBLE NUCLEAR".

INVENTOR:

Russell Lee Crowther, de nacionalidad norteamericana.

PRIORIDAD:

Solicitud Patente USA Serial nº 691.044 del día 15 de Diciembre de 1967.



[7 DIC 1955]

361211

1
5
10
15
20
25
30

La liberación de grandes cantidades de energía a través de reacciones de fisión nuclear ahora es bien conocida. En general, un átomo fisil (fisionable) tal como U-233, U-235, - Pu-239 ó Pu-241 absorbe un neutrón termal o epitermal en su núcleo y experimenta una desintegración nuclear o fisión. Esto produce, como promedio, dos productos de fisión de menor peso atómico con gran energía cinética y también varios neutrones de fisión de elevada energía.

La energía cinética de los productos de fisión se disipa como calor en los elementos de combustible del reactor. Si por lo menos existe un neutrón neto restante como promedio de cada acontecimiento de fisión y si este neutrón induce un subsiguiente acontecimiento de fisión, la reacción de fisión se convierte en auto-sostenida y así la generación de calor es continua. El calor es separado para ejecutar trabajo útil haciendo pasar un medio de trabajo o refrigerante, tal como agua, en relación de intercambio térmico con los elementos de combustible.

Según continua la reacción sostenida, se consumen gradualmente los átomos fisionables. Algunos de los productos de fisión producidos, son absorbentes de neutrones (tóxicos de producto de fisión) que por su captura de neutrones disminuyen el número de neutrones disponibles para causar fisión. Esto disminuye la reactividad de fisión y por ello el calor producido.

En un tipo conocido de reactor nuclear, el núcleo del reactor es del tipo heterogéneo. Es decir, que el combustible nuclear está en la forma de barras alargadas, revestidas. Estas barras de combustible o elementos de combustible están agrupa-



361211

1 dos entre sí a distancias fijas mutuamente en un canal o región
de flujo de refrigerante, como conjunto o haz de combustible -
desmontable separadamente. Un número suficiente de conjuntos de
5 combustible se dispone en una matriz para formar el núcleo del
reactor nuclear capaz de la reacción de fisión auto-sostenida,
mencionada arriba. Así, desde el punto de vista de proveer de
combustible o de repostar de combustible el núcleo del reactor,
el conjunto de combustible desmontable (o haz de barras de com-
10 bustible) es la subdivisión reemplazable básica de combustible
nuclear.

Para procurar un periodo razonable de ciclo de com-
bustible el núcleo de combustible inicial se diseña con prede-
terminado exceso de reactividad, controlándose la reactividad
15 por un sistema de materiales absorbentes o tóxicos de neutro-
nes. Los materiales de control pueden adoptar varias formas,
incluyendo tóxicos combustibles, cortinas temporales, tóxicos
solubles en el refrigerante y control mecánico en la forma de
una pluralidad de barras de control, accionable selectivamente
20 que pueden insertarse y retirarse del núcleo. Cuando, a causa
del agotamiento por combustión del combustible y de la acumu-
lación de tóxico, el núcleo ya no puede mantener la criticali-
dad, tienen que reemplazarse algunos o todos los conjuntos de
combustible. De acuerdo con esquemas conocidos para reponer -
25 combustible, sólo una fracción, por ejemplo, 20-30 por ciento
de los conjuntos de combustible se reemplazan en cada reposi-
ción para restaurar el requerido exceso de reactividad del nú-
cleo.

En combustible de reactor de energía nuclear comun-



361211

- 3 -

1 mente usado están incluidos materiales fértiles, tales como -
U-238 en adición a los arriba citados átomos fisiónables. Por
ejemplo, un combustible comunmente usado consiste en dióxido de
5 uranio (UO_2) en que aproximadamente 2% de los átomos de uranio
son U-235 que son fisiónables en un flujo de neutrones terma-
les, mientras que el restante 98% de los átomos de uranio son
el isótopo fértil U-238, que no son significativamente fisiona-
bles en un flujo de neutrones termales. En el curso del funcio-
10 namiento del reactor, los átomos fisiónables (U-235) son consu-
midos gradualmente y una parte de los átomos fértiles (U-238)
es convertida en un isótopo fisiónable (Pu-239). La concentra-
ción de Pu-239 aumenta gradualmente y se acerca a un valor de
equilibrio. Puesto que los átomos de Pu-239 son fisiónables por
15 neutrones termales, contribuyen al mantenimiento de la reacción
de fisión en cadena.

Normalmente, en un reactor termal (un reactor, en que
la mayoría de las fisiones son causadas por neutrones termales)
el régimen de producción de átomos fisiónables es menor que el
20 régimen de consumo de átomos fisiónables. También, como se ha
indicado arriba, algunos de los productos de fisión producidos
son absorbentes o tóxicos de neutrones. Así la reactividad po-
tencial de la carga de combustible disminuye con el tiempo, y
si debe mantenerse el nivel de energía diseñado, el reactor -
25 eventualmente tiene que ser repostado de combustible por rem-
plazamiento de algunos o de todos los conjuntos o haces de com-
bustible irradiado, como se ha mencionado anteriormente.

El combustible gastado o irradiado, separado del reac

361211

- 4 -

1 tor, contiene, además de una valiosa cantidad del material fi-
sionable original, una considerable cantidad de plutonio inclu-
yendo Pu-239 y Pu-241 fisionables y Pu-240 fertil. Tal combus-
5 tible gastado o irradiado puede elaborarse de nuevo para sepa-
rar y recuperar el uranio y plutonio para nuevo uso.

10 Cuando el coste del combustible de plutonio recupera-
ble se hace comparable con el coste del combustible de uranio,
entonces resulta deseable, por razones económicas, el utilizar
tal combustible de plutonio para repostar el combustible de -
reactor y/o para la provisión inicial de combustible de un reac-
tor.

15 Las características nucleares de combustible de plu-
tonio son dependientes del contenido isotópico del plutonio,-
es decir, las cantidades relativas de Pu-239, Pu-240, Pu-241 y
Pu-242. La cantidad relativa de Pu-240, en particular, es im-
portante a causa de su gran resonancia de captura de neutrones
aproximadamente a 1 electrón voltio. Las capturas de neutrones
en Pu-240 producen Pu-241, que es fisionable por neutrones ter-
males de baja energía.

20 El uso de combustible de plutonio en un reactor ori-
ginalmente destinado al uso de combustible de uranio requiere
la consideración de diferencias en el rendimiento del reactor
a causa de las diferencias en las características nucleares de
25 los dos combustibles. Entre las diferencias significativas, per-
tinentes al rendimiento del reactor están las siguientes:

30 1.- La captura termal de neutrones y las secciones -
transversales de fisión de los isótopos fisibles, Pu-239 y -
Pu-241 son mayores que aquellos del isótopo de uranio fisil -
U-235. Cuando se reemplaza combustible de plutonio en un conjun-



361211

1 to de combustible, que también contiene un material fértil, tal
como U-238, el plutonio compite más fuertemente con U-238 por
neutrones, de lo que haría el U-235. El combustible de plutonio
así reduce la producción de nuevo Pu-239 desde el fértil U-238.
5 Sin embargo, si existe una cantidad apreciable del fértil Pu-
240 en el combustible de plutonio, la producción de Pu-241 fi-
síl a partir del mismo puede más que compensar la disminución
en la conversión de U-238 en Pu-239. A causa de la gran despro-
visión inicial de material fisible en un elemento de combusti-
10 ble, conteniendo combustible de plutonio, la sección transver-
sal media de fisión del conjunto de combustible tiende a dismi-
nuir más rápidamente con irradiación de combustible que la sec-
ción media transversal de fisión de un conjunto de combustible,
conteniendo solamente combustible de uranio enriquecido. Sin -
15 embargo, si el combustible de plutonio contiene suficiente Pu-
240 fértil (como por ejemplo el plutonio de la composición iso-
tópica típica del combustible de uranio de reactor de energía
gastado) la producción de nuevo Pu-241 fisil a partir del Pu-
240 puede causar la proporción media de conjunto de combustible
20 de fisiones de neutrones termales respecto a absorciones de neu-
trones termales (fisiones más capturas) para que varíe menos -
rápidamente con irradiación de combustible, que en el caso de
un conjunto de combustible conteniendo sólo combustible de ura-
nio enriquecido.

25 2. El exceso de reactividad caliente se reduce a cau-
sa de las capturas de neutrones en el isótopo fértil Pu-240 de
alta sección transversal. Concurrentemente el combustible de plu-
tonio sufre menos variación en reactividad con la exposición.

361211



1 3. La fracción retrasada de neutrones del combustible de plutonio es menor que la del combustible de uranio.

4. El valor de la barra de control se reduce a causa de la mayor competencia para neutrones, procurada por el combustible de plutonio, en comparación con el combustible de uranio.

5 5. Perteneciendo a un reactor de agua hirviente, el combustible de plutonio tiene un mayor coeficiente de vacío negativo de reactividad que el combustible de uranio (para la misma proporción de agua a combustible), debido principalmente a la dependencia de densidad de moderador de la absorción de resonancia en Pu-240.

10 El plutonio, recuperado de un combustible gastado o irradiado de un reactor termal, es una mezcla de varios isótopos del plutonio incluyendo Pu-239 y Pu-241 fisionables, Pu-240 y Pu-242 fértiles que en un reactor termal es un parásito o tóxico. Una composición isotópica de plutonio, típica de combustible de uranio gastado, procedente de un reactor de agua hirviente, es como sigue:

<u>Isótopo</u>	<u>Fracción de átomo</u>
Pu-239	0.590
Pu-240	0.257
Pu-241	0.121
Pu-242	0.032

25 Es deseable evitar el coste de separar estos isótopos de plutonio químicamente similares.

30 Así, otro objeto del invento es procurar un conjunto de combustible nuclear, utilizando combustible de plutonio, teniendo una composición isotópica de plutonio, típica del pluto-

361211

17



- 7 -

1 nio recuperado de combustible nuclear irradiado.

5 Estos y otros objetos del invento se consiguen procurando un conjunto de elementos de combustible, conteniendo una combinación de combustible de plutonio y uranio, en que la concentración de combustible de plutonio es no uniforme o distribuida por zonas entre los elementos de combustible a través del conjunto de combustible.

10 De acuerdo con una primera ejecución del invento, el combustible de plutonio es concentrado en elementos de combustible exteriores o periféricos del conjunto, cerca de las regiones o zonas de más alta moderación de neutrones, es decir, cerca de zonas de más baja energía termal de neutrones. Esta disposición procura el grado óptimo de costes de ciclos de combustible y de seguridad de combustible.

15 De acuerdo con una segunda ejecución del invento, el combustible de plutonio es concentrado en los elementos internos de combustible del conjunto de combustible. Esta disposición procura el grado óptimo de potencia y de conformación de flujo de calor crítico aprovechando el coeficiente de vacío negativo incrementado de reactividad de combustible de plutonio de la única capacidad de flujo de calor más alto de los elementos centrales de combustible de un conjunto de combustible de reactor de agua hirviente.

20 Otras características y ventajas del invento se presentan en la siguiente descripción, más específica, con referencia al adjunto dibujo, en que:

25 La figura 1 es un diagrama esquemático de una típica instalación de energía de reactor nuclear;

30

361211



- 8 -

1 la figura 2 es una vista en planta de la estructura de núcleo de combustible nuclear;

la figura 3 es una vista en perspectiva (parcialmente separada) de un típico conjunto de combustible nuclear;

5 la figura 4 es un diagrama de vista en planta esquemática de un conjunto de combustible nuclear, ilustrando grupos de barras de combustible centrales, intermedios y periféricos;

la figura 5 es un diagrama esquemático de vista en planta de un conjunto de combustible nuclear, ilustrando diferentes posiciones de barra de combustible;

10 las figuras 6 y 7 ilustran curvas de factor local de pico respecto a exposición de combustible de contenido dado de plutonio y uranio y con una distribución de acuerdo con una primera ejecución del invento;

15 la figura 8 ilustra el factor de punta radial respecto a la exposición de un típico núcleo de reactor de energía nuclear;

la figura 9 ilustra el flujo de calor crítico y las tendencias de energía de barra de combustible de acuerdo con una segunda ejecución del invento; y

20 las figuras 10 y 11 ilustran curvas de factores de pico locales respecto a exposición de contenido dado de plutonio y uranio, y con una distribución de acuerdo con la segunda ejecución del invento.

25 En los gráficos (figs. 6 a 11) las letras tienen el siguiente significado: L = factor de pico local; M = exposición (1000 MWD/T); N = factor de pico radial; O = exposición de combustible (1000 MWD/T); P = flujo de calor relativo crítico; -

30



17 DIC

361211

- 9 -

1 a = barra interna CHF; b = barra exterior CHF; c = potencia de barra interna (Pu); d = potencia de barra externa (U).

5 Aunque no está limitada a ella, la utilización del combustible del plutonio de acuerdo con el presente invento, se describe aquí en conexión con un reactor de agua hirviente, un ejemplo del cual se ilustra esquemáticamente en la figura 1.

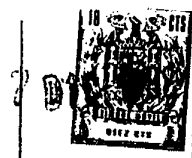
10 Tal sistema de reactor incluye un recipiente 10 de presión, dentro del cual está dispuesto un núcleo 11 de reactor nuclear en cadena, sumergido en un refrigerante moderador, tal como agua ligera. El núcleo 11 incluye una pluralidad de conjunto espaciados de combustible nuclear, cada uno de los cuales comprende una pluralidad de elementos de combustible colocados en relación espaciada dentro de un canal de flujo de refrigerante.

15 Una pluralidad de barras de control 12, (mostrada en líneas - punteadas) de forma de cruz y conteniendo material absorbente de electrones, son selectivamente insertables dentro de los espacios, entre los conjuntos de combustible por medios de impulsión 13, para controlar mecánicamente la reactividad del núcleo nuclear.

20 Una bomba 14 hace circular el refrigerante a través del núcleo 11, separando el refrigerante calor desde los elementos de combustible nuclear, por lo que una parte del agua refrigerante se convierte en vapor. El vapor así producido es aplicado a una turbina 16 que impulsa, por ejemplo, un generador eléctrico 17. El vapor de escape es condensado y retornado al depósito 10 por una bomba 18 de agua de alimentación.

25 Una vista en planta del núcleo 11 se ilustra en la figura 2. El núcleo 11 está formado por una pluralidad de con-

30



361211

1 juntos de combustibles 19 agrupados conjuntamente en grupos de
cuatro rodeando cada barra de control 13. Estrechos espacios o
brechas (N) están previstos entre los grupos de conjuntos de
combustible, mientras que se requieren espacios o brechas más
5 anchos (W) entre los conjuntos de combustible de cada grupo pa-
ra recibir las barras de control de configuración cruciforme.
Los dos lados de cada conjunto de combustible están adyacentes
a superficies de hoja de barra de control, mientras que los -
10 otros dos lados están adyacentes a estrechos espacios de refri-
gerante o intersticios de agua (excepto alrededor del contorno
del núcleo). Cada uno de los conjuntos de combustible 19 es se-
paradamente desmontable desde el núcleo 11. En una típica ope-
ración de repostar combustible, se reemplaza aproximadamente una
15 cuarta parte de los conjuntos de combustible. Por ejemplo, un
conjunto de combustible de cada uno de los grupos de conjuntos
de combustible.

La figura 3 es una vista en perspectiva de un típico
conjunto 19 de combustible desmontable separadamente, compren-
diendo un canal 20 de flujo tubular de extremos abiertos y una
20 pluralidad de elementos o barras 21 de combustible alargados,
soportados entre una placa 22 inferior de sujeción y una placa
superior 23 de sujeción. Las barras de combustible 21 pasan a
través de una pluralidad de espaciadores 24 de barra de combus-
25 tible, que procuran soportes intermediarios. Una abertura 26
inferior recibe el flujo de agua refrigerante hacia arriba pa-
sando por las barras de combustible. Por varias razones, inclu-
yendo la impedancia de espaciador y la fricción del refrigeran-
te a lo largo de las paredes internas del canal de flujo 20, el

30

17 DIC. 1950



- 11 -

361211

1 flujo de refrigerante alcanza un máximo a través de la porción central (pasadas las barras de combustible interiores) del conjunto.

5 Se ilustra esquemáticamente en vista de planta en la figura 4 un conjunto típico de combustible. Aunque el invento no está limitado a ello, el conjunto ilustrado comprende una -
10 disposición de cuarenta y nueve barras de combustible, colocadas en una disposición de 7 x 7. Las barras de combustible están además dispuestas en una pluralidad de grupos colocados en esencia concéntricamente, en que las barras de cada grupo pueden contener cantidades y clases diferentes de material fisil.
15 A título de ejemplo, el conjunto, de combustible de la figura 4, comprende tres grupos de barras de combustible, incluyendo un grupo central de barras de combustible designado con C, un grupo intermedio de barras de combustible designado con I y un grupo exterior o periférico de barras de combustible designado con P. De acuerdo con el invento, las barras de combustible de cada grupo contienen una cantidad diferente (incluyendo cero)
20 de plutonio, por lo que el enriquecimiento de combustible de plutonio es radialmente variado o graduado a través del conjunto del combustible.

25 Para reducir al mínimo los costes de fabricación de combustible, es deseable concentrar el combustible de plutonio en un número mínimo de las barras de combustible del conjunto, porque el coste de fabricación por gramo del plutonio radiactivo y biológicamente tóxico disminuye según se va cargando más plutonio en una barra de combustible. También el régimen de captura de neutrones en Pu-240 es disminuido en mayores concentra-



361211

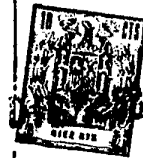
1 ciones de plutonio.

De acuerdo con una primera ejecución del invento el contenido de plutonio de las barras de combustible es el mínimo en las barras de combustible internas y máximo en las barras -
5 de combustible periféricas o exteriores del conjunto. Por ejemplo, las barras de combustible periférica del grupo P (fig. 4) pueden contener plutonio fisil de 1-2 átomos por ciento mezclados con uranio desprovisto o natural de 0,25 - 0,71 átomo por
10 ciento, mientras que las barras de combustible de los grupos C e I pueden contener combustible de uranio de alrededor de 3 átomos por ciento de uranio fisil. Esta disposición tiende a rebajar el coste del ciclo de combustible e incrementar la seguridad de combustible en la utilización de combustible de plutonio. Más específicamente, esta disposición producirá las siguientes
15 ventajas:

Colocación del combustible de plutonio cerca de los espacios de moderador en las zonas de más baja energía termal de neutrones, reduce la proporción de captura a fisión de neutrones para aumentar al máximo así la economía de neutrones. El
20 espectro de energía de neutrones termal no es uniforme a través del núcleo de combustible a causa de los espacios de moderador o intersticio de agua, entre los conjuntos de combustible. La energía de neutrones media es la mínima alrededor de los contornos de los conjuntos a causa del efecto de moderación del agua
25 en los intersticios N y W. La proporción de captura a fisión de los neutrones de plutonio en un reactor termal es una función sensible del espectro de energía termal de neutrones, a que se expone el plutonio. Esto es a causa de las resonancias de Pu-

30

361211



- 13 -

1 239 y Pu-241 a alrededor de 0,3 electrón voltios, que exhiben
grandes proporciones de captura a fisión. Puesto que el flujo
de neutrones termales de baja energía alcanza su pico cerca de
5 los intersticios de agua, cuando se coloca plutonio en las ba-
rras periféricas de los conjuntos de combustible, el peso del
flujo espacial de neutrones termales es mucho mayor sobre las
secciones transversales de neutrones de baja energía de Pu-239
y Pu-241 que dejan una proporción menor de captura a fisión.

10 Así, la concentración del combustible de plutonio en las barras
de combustible exteriores o periféricas del conjunto en zonas
de energía más baja de neutrones, reduce al mínimo la propor-
ción de captura a fisión de los neutrones y mejora la eficacia
de la reacción nuclear.

15 También a causa de los intersticios de agua, el flu-
jo de neutrones termales es el más alto en estas zonas. El com-
bustible de plutonio tiene una más alta absorción de neutrones
termales que el combustible de uranio. Así, el incrementar la
concentración del combustible de plutonio hacia el contorno del
20 conjunto de combustible, reduce los picos de flujo de neutro-
nes localmente.

Además, concentrando el combustible de plutonio en
las barras periféricas de combustible del conjunto de combusti-
ble en las zonas de flujo alto de neutrones, el uranio en estas
25 barras de combustible puede ser limitado a uranio natural o -
desprovisto (tal como se recupera del combustible irradiado)
para reducir así al mínimo los costes de combustible de uranio.

El uso de combustible de plutonio, distribuido como
se muestra en la figura 4, mejora la seguridad de combustible.

30



361211

1 En general, el flujo tolerable de calor de las barras de combus-
tible disminuye con la irradiación de combustible a causa de pe-
lículas de óxido en aumento y depósitos y gases de fisión acu-
mulados, que incrementan la resistencia termal y por ello la -
5 temperatura del revestimiento de barra. También, en una barra
de combustible no ventilada, la presión interna aumenta a causa
de la hinchazón del combustible y del establecimiento de gas de
fisión. El uso de combustible de plutonio de la manera mostrada
10 en la figura 4 procura un flujo decreciente de calor de pico-a-
promedio con irradiación, que así deseablemente sigue la tenden-
cia del flujo de calor tolerable de las barras de combustible.
El flujo decreciente de calor de pico-a-promedio del combusti-
ble de plutonio, es ilustrado en las figuras 5, 6, y 7.

15 La fig. 5 es una vista en planta de un conjunto del
combustible ilustrando cinco posiciones de barra de combustible
D, E, F, G y H de barras de combustible 21. Las barras de com-
bustible de estas posiciones operan en diferentes condiciones
debido a sus posiciones en el conjunto de combustible respecto
20 a otras barras de combustible y en relación con los intersti-
cios de agua W y N y respecto a la barra de control 13. Las fi-
guras 6 y 7 muestran curvas de factor local de pico (energía de
barra de pico-a-promedio) frente a exposición (o irradiación)
en millares de megavatios toneladas por día, que ilustra las dis-
25 tribuciones de energía de exposición (o irradiación) dependien-
tes del tiempo en las barras de combustible en estas posiciones.
Las curvas de la figura 6 corresponden a una distribución de -
combustible, en que las barras periféricas de combustible en las
posiciones F, G y H contienen alrededor de 1 átomo por ciento -

30

361211

17 DIO 1968



- 15 -

1 de plutonio fisil mezclado con uranio natural de alrededor de
0,7 átomo por ciento, mientras que las barras de combustible -
centrales en las posiciones D y E contienen uranio enriquecido
5 a alrededor de tres átomos por ciento. En la fig. 7 la distri-
bución de combustible es similar, excepto que el plutonio está
mezclado con uranio desprovisto de alrededor de 0,3 átomos por
ciento. En ambos casos se observa que la potencia relativa de
las barras de combustible de plutonio (posiciones F, G y H) dis-
minuye con la exposición, siguiendo así la tendencia del flujo
10 del calor permisible de las barras de combustible.

La propiedad del combustible de plutonio de potencia
de pico-a-promedio rápidamente decreciente, relativamente, du-
rante una parte temprana de su tiempo de duración de exposición
15 puede usarse con ventaja para incrementar la capacidad térmica
del núcleo de reactor. En cualquier tiempo dado la capacidad -
térmica de un reactor está limitada por la capacidad térmica -
del punto más caliente del mismo. Este hecho puede expresarse
en términos de proporciones de potencia de pico-a-promedio o
factores de pico como sigue:

$$20 \quad \text{Total (pico de reactor)} = (\text{pico local}) \times (\text{pico radial}) \\ \times (\text{pico axial}) \text{ donde,}$$

el factor local de pico o potencia local de pico/promedio es la
potencia de la barra en el punto más caliente en un conjunto de
combustible dividido por la potencia media de las barras de -
25 aquel conjunto de combustible en el plano de aquel punto, el -
factor de pico radial o potencia de conjunto de pico/promedio
es la potencia del conjunto más caliente de combustible dividi-
do por el promedio de potencia de combustible de conjunto, y el

30



17

361211

1 factor de pico axial o potencia axial de pico/promedio es la potencia del plano de potencia de pico de un conjunto dividido por la potencia del plano medio del conjunto.

5 El típico pico radial de núcleo de reactor se ilustra en la figura 8. Típicamente el factor de pico radial alcanza un máximo cerca del final de un ciclo de combustible, cuando todas las barras de control están sustancialmente retiradas y, por lo tanto, ya no están disponibles para aplanar la potencia. Un pico intermedio es también típico (como se ilustra en la figura 8 en alrededor de 2500 megavatios días/tonelada) dependiendo el tiempo de exposición de la ocurrencia y la magnitud del mismo, de la elección de la barra de control y de las disposiciones de carga de combustible y de tóxicos susceptibles de ser quemados.

15 En la fig. 6 para el caso de plutonio mezclado con uranio natural, el pico local cae rápidamente con exposición a un mínimo alrededor de 4800 megavatios días/tonelada, más allá de lo cual el pico local se traslada a las barras centrales de combustible (cargadas de uranio), otro mínimo en los picos locales ocurre en el caso de exposición prolongada. Para el caso del uranio agotado, mezclado con el combustible de plutonio, como se ilustra en la figura 7, las tendencias en la formación de picos locales son las mismas. Sin embargo, un mínimo en los picos locales ocurre antes, a alrededor de 2500 megavatios días/tonelada. Así resulta aparente según las figuras 6 y 7, que el tiempo de exposición de ocurrencia del mínimo de picos locales puede ajustarse selectivamente por variación del enriquecimiento del uranio, que se está usando en las barras -

30

361211



- 17 -

1 cargadas de combustible de plutonio. La ocurrencia de tiempo de
exposición del mínimo en picos locales también puede ajustarse
por variación del enriquecimiento de plutonio y/o del enrique-
5 cimiento de las barras cargadas de uranio en las posiciones D y
E. La posición del tipo radial intermedio puede ajustarse por
selección de la barra de control o de disposiciones de carga de
combustible o por la manera, en que se incorporan en el combus-
tible los tóxicos susceptibles de quemarse. En todo caso, el
10 uso de combustible de plutonio procura una característica de
factor de pico local, que puede variarse de modo que la ocurren-
cia de tiempo del pico local mínimo coincide en tiempo de expo-
sición con los picos radiales máximos. En el ejemplo ilustrado
por la figura 7 (plutonio con uranio agotado en las barras pe-
15 riféricas y uranio enriquecido en las barras centrales) el mí-
nimo de factor de pico local a 2500 megavatios días/toneladas
coincide cercanamente con la ocurrencia de tiempo del primer pi-
co en el factor de picos radiales, como se ilustra en la fig.
8. Este incrementa la capacidad térmica del reactor procurando
una reducción en el total de los picos del reactor, como es evi-
20 dente de la relación para los picos del reactor arriba expues-
tos.

Como se ilustra en las figuras 6 y 7 y según se ha
mencionado anteriormente, a la derecha del mínimo en los picos
de potencia local, la potencia local se traslada a las barras
25 de combustible interiores del conjunto. En un reactor de agua
hirviente, la distribución local detallada del refrigerante de
capa limitrofe y las oquedades de vapor cerca de las barras de
combustible internas del conjunto de combustible permite que

30

361211



- 18 -

1 las barras de combustible internas sostengan de 20 a 50% mayo-
res flujos de calor que las barras de combustible periféricas.
Por lo tanto, la formación de picos en las barras de combusti-
ble internas, en general, no será una limitación sobre la capa-
5 cidad térmica de tal reactor.

Adicionalmente, la variación en los picos locales en-
tre las posiciones de barra de combustible, puesta como ejemplo
por las figuras 6 y 7, puede reducirse al mínimo por ulteriores
graduaciones en el enriquecimiento del combustible de plutonio
10 y uranio. Por ejemplo, la curva de picos locales de la barra de
combustible en la posición D puede rebajarse usando uranio de
enriquecimiento menor en esta barra, y la curva de picos loca-
les de las barras de combustible en las posiciones H puede au-
mentarse usando plutonio y/o uranio de más alto enriquecimien-
15 to en estas barras de combustible.

De acuerdo con una segunda ejecución del invento, el
plutonio es graduado a través del conjunto de combustible, de
tal modo que el contenido de plutonio es el máximo en las ba-
rras de combustible internas y el mínimo en las barras de com-
20 bustible exteriores o periféricas. Por ejemplo, las barras de
combustible centrales e intermedias de los grupos C e I (fig.4)
pueden contener plutonio fisil de 1-2 átomos por ciento, mezcla
do con uranio de 0,3 - 2 átomos por ciento, mientras que las
barras de combustible periféricas del grupo P pueden contener
25 2 - 3 átomos por ciento de uranio fisil. Esta disposición pro-
cura capacidad térmica incrementada. Esta disposición es espe-
cialmente ventajosa para el uso en un reactor de agua hirvien-
te.

30

17



36 12 11

1
5
10
15
20
25
30

En un reactor de agua hirviente, las burbujas de vapor constituyen oquedades o vacíos en el moderador a lo largo de las barras de combustible. Cuando la potencia del reactor es aumentada, se incrementa el contenido de vacíos del moderador. La sección transversal de fisión del combustible de uranio aumenta según crecen los vacíos, mientras que la sección transversal de fisión del combustible de plutonio no cambia sustancialmente con los vacíos. Por lo tanto, la proporción de la potencia en las barras internas cargadas de plutonio respecto a la potencia en las barras exteriores cargadas de uranio aumenta con los vacíos incrementados resultantes de la potencia incrementada del reactor.

Como se ha mencionado anteriormente, las barras de combustible internas de un conjunto tienen mayor capacidad de flujo de calor que las barras de combustible exteriores o periféricas por causa del mayor régimen de flujo del refrigerante a través de la porción central del conjunto. El límite operativo del flujo de calor de barra de combustible se designa como el flujo de calor crítico (abreviado CHF). (El flujo de calor crítico es el punto en el que existe un gran incremento de temperatura del revestimiento de barra de combustible para un ulterior pequeño incremento en el flujo de calor. En un reactor de agua hirviente éste es el punto de cambio desde ebullición nucleada a ebullición de película.).

Con el combustible de plutonio concentrado en las barras de combustible internas, de acuerdo con la segunda ejecución del invento, la tendencia dependiente de los vacíos de la proporción de potencia de barra interna (Pu)/potencia de barra



1 exterior (U) es en la misma dirección que la tendencia depen-
diente de vacíos de la proporción de barra interna -CHF/barra
externa-CHF. Estas tendencias en potencia y flujo de calor crí-
tico se ilustran en la figura 9, en que el contenido de vacío
5 del refrigerante se expresa en términos de calidad local de va-
por. Por lo tanto, cuando el contenido de vacíos (y calidad de
vapor) aumenta con potencia de reactor creciente, la potencia
de las barras de combustible internas cargadas de plutonio, cre-
ce de un modo relativamente más rápido que la potencia en las
10 barras de combustible externas, cargadas de uranio. Este mayor
aumento en la potencia de las barras centrales cargadas de plu-
tonio puede acomodarse por el más alto flujo de calor crítico
de las barras centrales de combustible, por lo que se incremen-
ta la capacidad térmica del reactor.

15 Las figs. 10 y 11 (tomadas con la fig. 5) ilustran
ejemplos de distribuciones de potencia dependientes del tiempo
de exposición (o irradiación) en las barras de combustible para
una distribución de combustible de acuerdo con la segunda eje-
cución. Las curvas del factor local de pico, respecto a la expo-
20 sición de la figura 10, corresponden a una distribución de com-
bustible, en que las barras centrales de combustible en las po-
siciones D y E contienen alrededor de 1 átomo por ciento de plu-
tonio fisil mezclado con uranio enriquecido a alrededor de 2
átomos por ciento, mientras que las barras de combustible peri-
25 féricas en las posiciones F, G y H contienen uranio de alrede-
dor de 2 átomos por ciento de enriquecimiento. Las curvas de
factor local de pico respecto a exposición de la figura 11 co-
rresponde a una distribución de combustible, en que las barras

30



361211

1 de combustible centrales las posiciones D y E contienen combus-
tible de plutonio fisil a alrededor de 1, 4 átomos por ciento
mezclado con uranio enriquecido a alrededor de 2 átomos por cien-
to, mientras que las barras de combustible periféricas en las
5 posiciones F, G y H contienen uranio de alrededor de 3 átomos
por ciento de enriquecimiento.

Las figs. 10 y 11 ilustran que, como en la primera
ejecución, los enriquecimientos de los combustibles de plutonio
y uranio pueden ser variados para trasladar el tiempo de ocu-
10 rrencia del mínimo en picos locales, de modo que este mínimo
puede hacerse coincidir en el tiempo con el máximo de picos ra-
diales (fig. 8) para capacidad térmica incrementada del reac-
tor. También, como en la primera ejecución, el factor de pico
local decreciente mejora la seguridad del combustible. Adicio-
15 nalmente, la variación en los picos locales entre las posicio-
nes de barra de combustible, dadas como ejemplo por las figs.
10 y 11, puede reducirse al mínimo por ulteriores graduaciones
en el enriquecimiento del combustible de plutonio y uranio, por
ejemplo, los picos en la barra D pueden disminuirse usando plu-
20 tonio de enriquecimiento inferior en esta barra.

El combustible de uranio, en adición al U-235 fisil,
contiene U-238 fertil, que es convertido en Pu-239 fisil duran-
te la operación del reactor. Si se mezcla combustible de pluto-
nio uniformemente en todas las barras de combustible, la sec-
25 ción transversal relativamente grande de fisión y captura del
plutonio deprime la conversión de U-238 por competencia de neu-
trones. Así, una ulterior ventaja de concentrar el combustible
de plutonio en las barras de combustible internas es que la



361211

1 conversión de U-238 permanece alta en las barras exteriores o
periféricas, que se sitúan cerca de los intersticios de agua en
regiones de elevado flujo de neutrones.

5 N O T A

=====

La presente patente de invención, comprende las si-
guientes reivindicaciones:

10 1.- Disposición de elemento de combustible nuclear,
comprendiendo una pluralidad de elementos de combustible, estan-
do dispuestos dichos elementos de combustible en una pluralidad
de grupos, incluyendo un grupo interno y por lo menos un grupo
externo de elementos de combustible, dispuestos en sustancia -
concéntricamente alrededor de dicho grupo interno, caracteriza-
15 da porque en los elementos de combustible de por lo menos un -
grupo, conteniendo plutonio fisil de enriquecimiento inicial -
predeterminado, el contenido inicial de plutonio del combusti-
ble de los elementos de combustible de un grupo difiere sustan-
cialmente del contenido inicial de plutonio del combustible de
20 los elementos de combustible de cualquier otro grupo.

2.- Disposición según la reivindicación 1, caracteri-
zada porque el contenido de plutonio de los elementos de combus-
tible de dichos grupos es graduado desde el más alto contenido
de plutonio en los elementos de combustible de dicho grupo in-
25 terno hasta el contenido de plutonio más bajo en los elementos
de combustible del grupo más exterior.

3.- Disposición según la reivindicación 2, caracteri-
zada porque los elementos de combustible de dicho grupo interno

30



▲7 DIC

361211

- 23 -

1

comprende plutonio mezclado con uranio natural.

4.- Disposición según la reivindicación 2, caracterizada porque los elementos de combustible de dicho grupo interno contienen plutonio mezclado con uranio agotado.

5

5.- Disposición según la reivindicación 2, caracterizada porque los elementos de combustible del grupo más exterior de elementos de combustible contienen uranio enriquecido sin plutonio inicial significativo.

10

6.- Disposición según la reivindicación 1, caracterizada porque el contenido de plutonio de dichos grupos está graduado desde el contenido de plutonio más alto en los elementos de combustible del grupo más exterior hasta el contenido de plutonio más bajo en los elementos de combustible de dicho grupo interior.

15

7.- Disposición según la reivindicación 6, caracterizada porque los elementos de combustible de dicho grupo más exterior contienen plutonio mezclado con uranio natural.

20

8.- Disposición según la reivindicación 6, caracterizada porque los elementos de combustible de dicho grupo más exterior contienen plutonio mezclado con uranio agotado.

25

9.- Disposición según la reivindicación 6, caracterizada porque los elementos de combustible de dicho grupo interno contienen uranio enriquecido sin plutonio inicial significativo.

30

10.- Disposición según la reivindicación 1, caracterizada porque el contenido inicial de plutonio de dichos elementos de combustible es variado entre dichos grupos para reducir al mínimo la potencia de pico a promedio de dicho conjunto de

361211

17 DIC



1

combustible.

5

11.- Disposición según la reivindicación 1, caracterizada porque menos que todos los grupos citados de elementos de combustible inicialmente contienen combustible de plutonio significativo y porque el contenido total de combustible fisil de los elementos del combustible de dichos grupos está graduado desde el máximo contenido de combustible fisil total inicial en los elementos de combustible de dicho grupo interior hasta el contenido más bajo de combustible fisil inicial total en los elementos de combustible del grupo más exterior.

10

15

12.- Disposición según la reivindicación 1, adaptada para uso con otros conjuntos de combustible y un moderador de neutrones en un núcleo de combustible capaz de reacción de fisión nuclear en cadena inducida por neutrones, térmica auto-sostenida, comprendiendo dicho conjunto de combustible una pluralidad de elementos de combustible nuclear alargados, espaciados a distancia unos de otros en relación espacial predeterminada, caracterizada porque por lo menos en un tercio de los elementos de combustible de dicho conjunto del combustible conteniendo plutonio fisil, la variación radial a través de dicho conjunto de enriquecimiento inicial de combustible de plutonio de dichos elementos de combustible es por lo menos de 1,5 átomos por ciento.

20

25

13.- Disposición de elemento de combustible nuclear.

Según se describe y reivindica en esta memoria descriptiva.

30

Y se ilustra con los dibujos que a la misma se acom-

7 D



361211

- 25 -

1

pañan.

Consta dicha memoria de veinticinco hojas foliadas y escritas a máquina por una sola de sus caras.

5

Madrid, 7 DIC. 1968

CARLOS ROEMER

10

15

20

25

30

361211

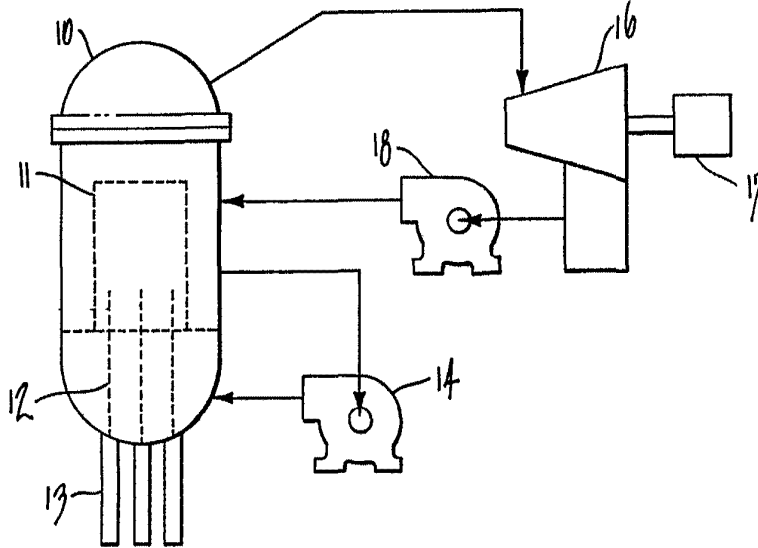


Fig 1

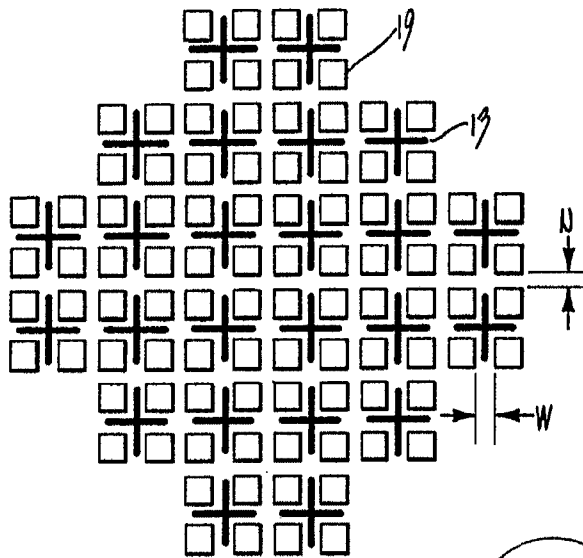


Fig 2

ESCALA VARIABLE

CARLOS ROEB
P.S.

35211

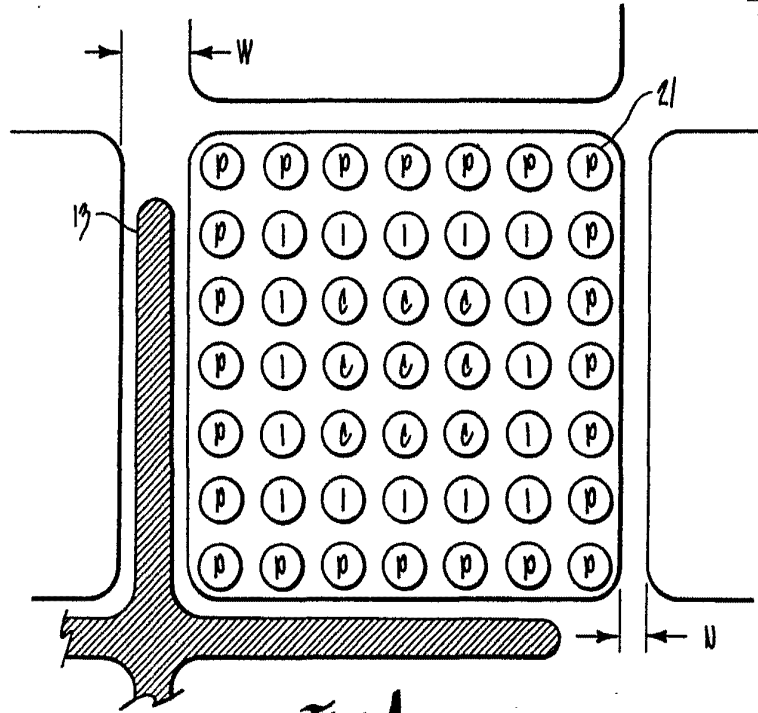


Fig 4

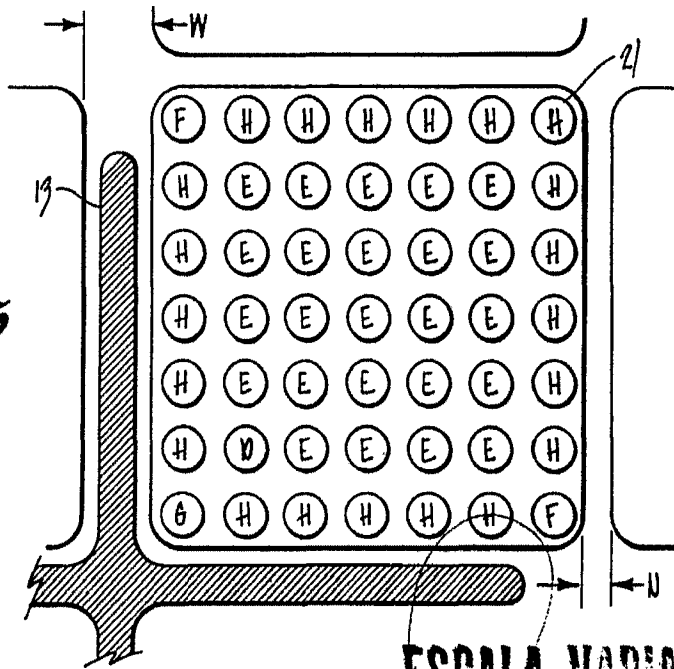


Fig 5

ESCALA VARIABLE
CARLOS ROES

[Handwritten signature]

7 DIC 1958

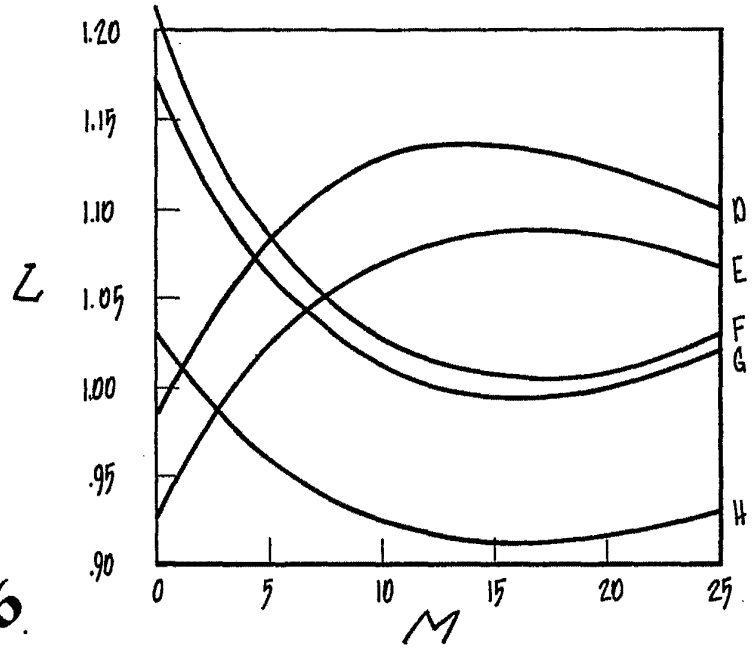


Fig 6

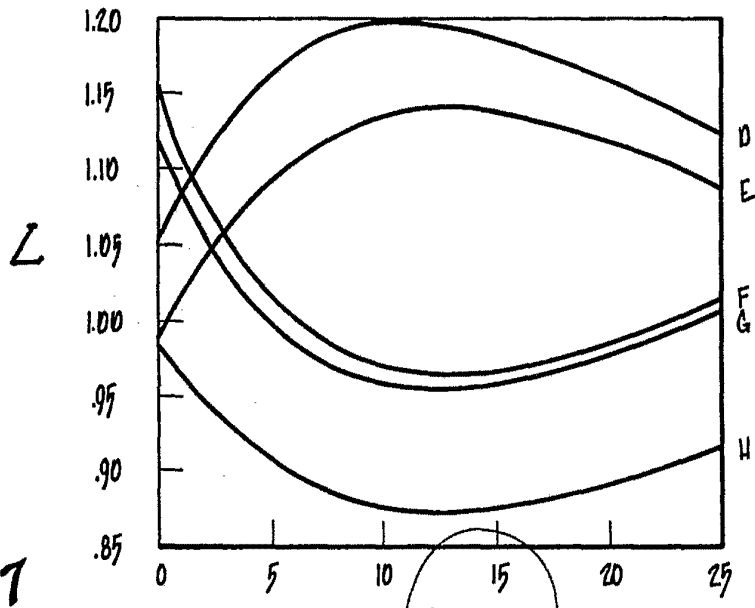


Fig 7

ESCALA VARIABLE

GABLOS ROZAS

M

301211 F7



Fig 8

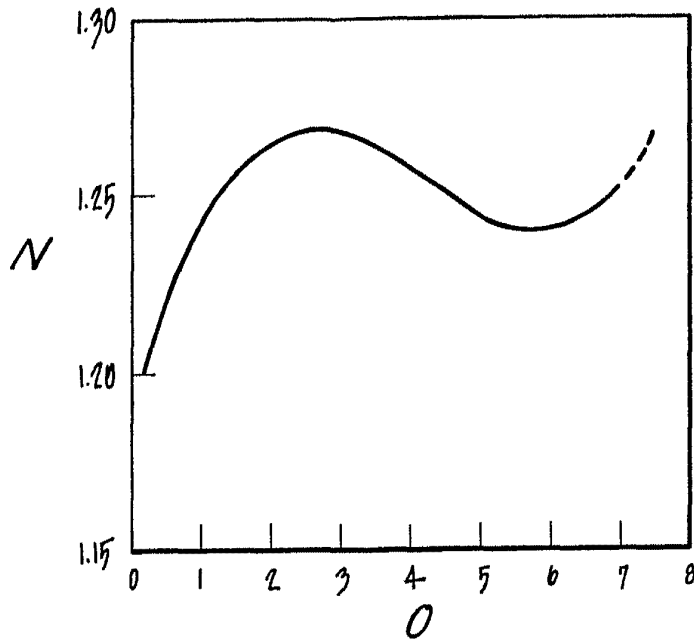
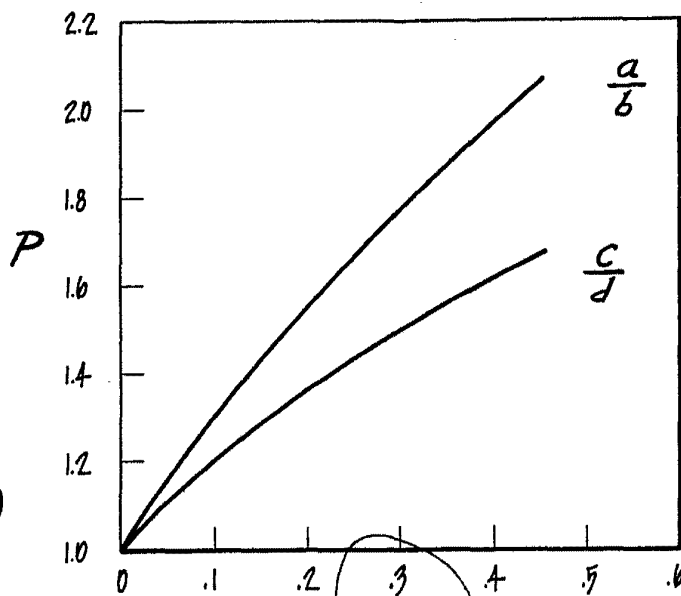


Fig 9



Q
ESCALA VARIABLE

CARLOS ROSS

RE

334211

782

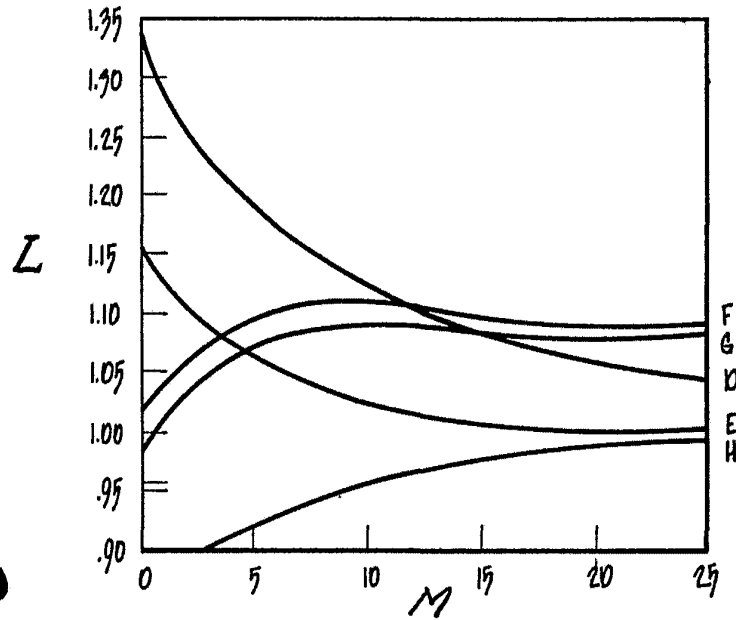


Fig 10

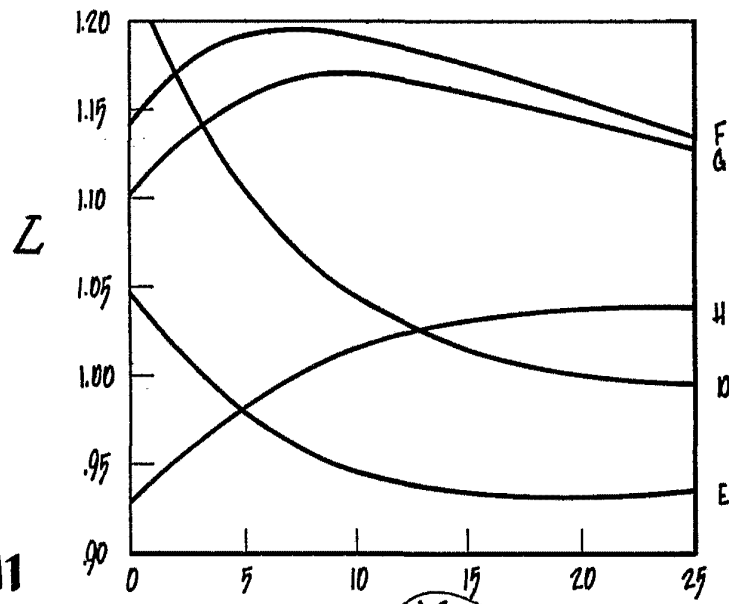


Fig 11

ESCALA VARIABLE

CARLOS ROED
R.P.