

436.553

Int. No. G.21C
----------------

MEMORIA DESCRIPTIVA

correspondiente a la solicitud de una

PATENTE DE INVENCION

Solicitante: GENERAL ELECTRIC COMPANY.

Domicilio: 1 River Road, SCHENECTADY, New York  
12305, ESTADOS UNIDOS.

Enunciado: UN METODO DE PREPARACION DE ELEMENTOS  
DE COMBUSTIBLE.

Prioridad: de la solicitud de patente estadounidense  
Nº 460.298 del 12 abril 1.974

EXTRACTO DE LA DESCRIPCION

Se describe un método para preparar el combustible de la región activa de un reactor nuclear con el objeto de reducir al mínimo los fallos del encamisado del combustible que consiste en aumentar la potencia de la barra de combustible hasta un nivel de energía máximo deseado inferior a un grado crítico que produciría desperfectos en el encamisado. Dicha preparación permite libres cambios de energía  
5  
10  
15  
20  
25  
30  
ulteriores por debajo y por encima de dicho nivel de potencia máxima con un riesgo mínimo de desperfectos en el encamisado.

ANTECEDENTES DEL INVENTO

En los reactores nucleares de uso comercial, la región activa del reactor es del tipo heterogéneo, es decir que el combustible nuclear tiene la forma de barras alargadas encamisadas. Estas barras o elementos se unen conjuntamente y se sujetan entre unas placas de unión superior e inferior para formar conjuntos o haces de barras de combustible que pueden ser retirados separadamente. Un número suficiente de dichos conjuntos de combustible están dispuestos en una matriz, aproximadamente un cilindro circular recto, para formar la región activa del reactor nuclear capaz de auto-alimentar una reacción de fisión. La región activa se sumerge en un fluido tal como agua ligera que sirve a la vez como refrigerante y como moderador de neutrones. Una pluralidad de barras de control, que contienen un material capaz de absorber los neutrones, pueden ser introducidos selectivamente en los conjuntos de combustible para controlar la reactividad y por tanto el nivel de potencia del funcionamiento de la región activa. En algunos reactores,

por ejemplo los del tipo de agua hirviente, el nivel de potencia puede ser ajustado también cambiando el caudal de circulación del refrigerante a través de la región activa nuclear.

5                   Típicamente, las barras o elementos de combustible mencionados más arriba están constituidos por un tubo herméticamente cerrado hecho de un metal adecuado tal como una aleación de circonio, que contiene una pluralidad de pastillas sinterizadas de un óxido de un combustible adecuado  
10 tal como el óxido de uranio, según se indica por ejemplo en la Patente de los Estados Unidos nº 3.365.371 a nombre de J. L. Lass y Socios. El tubo herméticamente cerrado por unos obturadores de extremidad, sirve como camisa para aislar el combustible nuclear del refrigerante-moderador y para impedir la liberación de productos de fisión.  
15

                  El encamisado tubular de las barras de combustible, que puede tener un espesor del orden de 0,81 mm (0,032 pulgada) está sometido a un servicio duro en razón de la elevada presión, de la elevada temperatura y de las radiaciones nucleares presentes en el ambiente de la región activa del reactor nuclear. Los elementos de combustible del tipo descrito tienen en general un funcionamiento fiable. Sin embargo, se han producido por diversos motivos algunos fallos de los elementos de combustible.  
20

25                   (El término "fallo" significa aquí que en la camisa de las barras de combustible se han formado uno o varios orificios, grietas o agujeros que permiten la salida de productos de fisión a partir del elemento de combustible en el refrigerante que lo rodea).

30                   Un tipo de fallo que ha sido observado se caracte

teriza por rajas o grietas longitudinales que se producen en la camisa generalmente en una posición adyacente a las superficies de separación de las pastillas de combustible o cerca de las grietas formadas en las pastillas. Se cree actualmente que dichos fallos son debidos principalmente a la interacción mecánica entre las pastillas de combustible y la camisa durante ciertas condiciones de utilización del combustible. Por consiguiente, este tipo de fallo se llama fallo por interacción pastillas-camisa. Más precisamente y según se entiende actualmente, las circunstancias probables de formación del fallo por interacción pastilla-camisa son de manera resumida las siguientes: durante la exposición en el combustible (combustión másica nuclear), las pastillas de combustible se dilatan o se hinchan. Igualmente, la forma de las pastillas puede cambiar. En particular, las pastillas tienden a tomar la forma de "reloj de arena" en lugar de conservar su forma cilíndrica original. En otras palabras, la pastilla tiende a dilatarse más en sus extremos que en su centro. Además, las superficies terminales de las pastillas tienden a tomar una forma convexa haciendo que los bordes adyacentes de las pastillas se desplacen alejándose el uno del otro. La irradiación disminuye también la ductilidad de la camisa.

Por tanto, un cambio importante brusco en el nivel de potencia del combustible irradiado puede dar lugar a un hinchamiento rápido de las pastillas de combustible contra la camisa. Si los bordes de separación de las pastillas adyacentes que se dilatan (o los bordes adyacentes de una grieta formada en una pastilla) se bloquean contra el encañado, la fuerza localizada resultante puede rebasar la re-

sistencia máxima de la camisa más quebradiza dando lugar a la formación de grietas que determinan un fallo por interacción pastilla-camisa.

5 Por tanto, es evidente que es muy conveniente eliminar o por lo menos reducir a un mínimo la producción de dichos fallos por interacción pastilla-camisa.

#### RESUMEN DEL INVENTO

10 Un objeto del invento consiste en proporcionar un método para preparar el combustible de la región activa de un reactor para que pueda funcionar a un nivel de potencia máxima predeterminado de tal manera que puedan realizarse cambios ulteriores relativamente rápidos del nivel de la potencia (particularmente incrementos de potencia) por debajo y por encima de dicho nivel de potencia máxima, con un riesgo 15 mínimo de que se produzcan fallos en la barra de combustible por interacción pastilla-camisa.

Este objeto así como otros objetos se obtienen aprovechando el descubrimiento de que el combustible del reactor puede ser preparado para soportar ulteriores cambios 20 de nivel de funcionamiento a gran potencia utilizando un método que aumenta sistemáticamente la potencia local del combustible en la gama de altas potencias (es decir dentro de la gama de potencia que da lugar a la interacción pastilla-camisa del combustible), al nivel crítico o bajo el nivel crítico descubierta. Se ha comprobado que dicho incremento de 25 potencia, en el nivel crítico descubierta o por debajo de este, proporciona una adaptación progresiva a largo plazo entre el encamisado y las pastillas de combustible, en respuesta a las fuerzas creadas por la dilatación de las pastillas de combustible, sin que se produzcan fallos en la camisa. 30

El término "largo plazo" significa que la adaptación perdura un periodo de tiempo importante aunque no indefinido según las condiciones de funcionamiento, por lo menos durante un periodo de tiempo suficiente para la utilización práctica del método de preparación en el funcionamiento de la región activa de los reactores nucleares comerciales.

#### DESCRIPCION DE LOS DIBUJOS

El invento se describe más detalladamente en lo que sigue con referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales:

La figura 1 es una ilustración esquemática de un sistema de reactor nuclear del tipo de agua hirviente;

La figura 2 es una vista en alzado o vista longitudinal, parcialmente en sección transversal, de una barra o elemento de combustible típico;

La figura 3 es una vista en sección transversal longitudinal de una parte de una barra de combustible que ilustra la interacción pastilla de combustible-camisa; y

Las figuras 4-10 son curvas de potencia en función del tiempo obtenidas durante pruebas de irradiación de barras de combustible que demuestran la determinación del grado de preparación y la eficacia del método de preparación del invento.

#### DESCRIPCION GENERAL DEL INVENTO

Aunque no se limite a esta aplicación, el invento se describe aquí en su utilización en un reactor nuclear del tipo de agua hirviente. Una central típica que utiliza un reactor de agua hirviente del tipo de ciclo directo se ilustra esquemáticamente en la figura 1. Una cuba de seguridad resistente a la presión 100 contiene una región ac-

tiva de combustible nuclear 101 y un aparato de separación de vapor y de secado 102. (La cuba de seguridad resistente a la presión está normalmente contenida en un orificio con paredes gruesas, no representado). Una pluralidad de barras de control 103 pueden ser desplazadas con un movimiento de vaivén por unos dispositivos de accionamiento 104 de modo que puedan ser introducidas y retiradas de la región activa 101 para controlar la reactividad de la misma. Un sistema de selección y control de barras 105 controla el funcionamiento de los dispositivos de accionamiento de barras de control 104.

La cuba de seguridad 100 está llena de un refrigerante (por ejemplo agua ligera) hasta un nivel algo superior al de la región activa 101. El refrigerante circula a través de la región activa 101 gracias a una bomba de circulación 106 que recibe el refrigerante a partir de un espacio anular de bajada 107 y lo introduce a presión en una cámara de pleno 108 a partir del cual el refrigerante sube a través de los conjuntos de combustible de la región activa del reactor. El calor producido por los elementos de combustible es así transferido al agua y se produce una presión de vapor en la porción superior de la cuba de seguridad. El vapor se aplica a una turbina 109, la cual arrastra un generador eléctrico 110. La turbina descarga el vapor en un condensador 111 y el líquido condensado resultante vuelve bajo la forma de agua de alimentación a la cuba de seguridad 100 por una bomba de alimentación de agua 112.

Se utiliza un motor a velocidad variable u otro medio de accionamiento 113 para accionar la bomba de circulación 106. Esto proporciona un medio, además de las barras de control 103, para hacer variar la reactividad de la

región activa 101 en una gama limitada. Más específicamente, una reducción del caudal de circulación del refrigerante produce un incremento de los espacios vacíos y una reducción de la densidad del refrigerante-moderador con la consiguiente reducción de la moderación de los neutrones y por tanto una reducción de la reactividad de la región activa. Inversamente, un incremento del caudal de circulación del refrigerante aumenta la densidad del moderador y por tanto la reactividad de la región activa.

10 En los reactores nucleares del tipo descrito, los elementos de combustible tienen adecuadamente la forma de barras alargadas constituidas por un material resistente a la corrosión, no reactivo y que contiene un combustible nuclear adecuado. Los elementos de combustible se agrupan conjuntamente, con distancias fijas entre ellos en un canal de circulación de refrigerante bajo la forma de un conjunto o manojo de barras de combustible. Se sitúa un número suficiente de conjuntos de combustible en una configuración separada para formar la región activa de un reactor nuclear capaz de auto-alimentar la reacción de fisión.

15 Un conjunto de combustible típico está formado por ejemplo por una configuración de 7 x 7 barras de combustible separadas, teniendo las barras de combustible varias decenas de cm de largo (varios pies) aproximadamente 12,7 mm de diámetro (1/2 pulgada) y están separadas las unas de las otras por algunos milímetros (una fracción de pulgada). Las barras de combustible están contenidas en un canal de circulación tubular con extremidades abiertas entre placas de unión adecuadas. Un conjunto de combustible típico de este tipo se ilustra por ejemplo en la Patente de los E. U. número

3.689.358 a nombre de B. A. Smith y Socios.

Un elemento o barra de combustible típico 115 se ilustra en la figura 2. Incluye un tubo de encamisado de forma alargada 116 que contiene una columna de pastillas de combustible 117 y un espacio o cámara de pleno 118 para acumular los gases de los productos de fisión. El tubo de encamisado 116 está obturado herméticamente por un obturador extremo superior 119 y un obturador extremo inferior 121 y la columna de pastillas está mantenida en su posición por un muelle 122 que se extiende a través de la cámara de pleno 118, a partir de la parte superior de la columna de pastillas de combustible 117 hasta el obturador de extremidad superior 119.

El tubo de encamisado 116 y los obturadores extremos 119 y 121 están hechos de un material adecuado para ser utilizado en un reactor, por ejemplo una aleación de circonio. Las pastillas 117 están hechas preferentemente de óxido de un combustible adecuado tal como uranio o plutonio, y el diámetro de las pastillas 117 es un poco inferior al diámetro interno del tubo de encamisado 116 para facilitar una holgura o intervalo circunferencial inicial 123.

Para el tipo de reactor en cuestión, las pastillas de combustible 117 tienen una longitud típica de aproximadamente 1,2 - 20,3 mm (0,05 - 0,8 pulgada) y un diámetro de aproximadamente 10,41 mm (0,49 pulgada). El tubo de encamisado 116 tiene un diámetro exterior típico de aproximadamente 14,37 mm (0,564 pulgada) con un espesor de pared de aproximadamente 0,81 mm (0,032 pulgada). Se obtiene así un intervalo radial inicial 123 de aproximadamente 0,127 mm (0,005 pulgada) (intervalo diametral de aproximadamente 0,254 mm -

0,010 pulgada).

Se representa en la figura 3 una parte del elemento de combustible 115, parcialmente abierto, para ilustrar la interacción pastilla-camisa. Cuando las pastillas de combustible 117 producen una mayor cantidad de energía (calor) las pastillas de combustible se dilatan de tal manera que tomen la forma de un "reloj de arena" o carrete, con extremidades dilatadas y curvas 126 y 127, según se representa en la figura 3. Puede ocurrir que la holgura inicial 123 sea absorbida y que los bordes 128 y 129 de las pastillas entren en contacto con la superficie interna del tubo de encamisado 116 y en este caso se produce la interacción pastilla-camisa. Una dilatación suplementaria de las pastilla de combustible da lugar a la aplicación de una fuerza circunferencial al tubo de encamisado 116 en los puntos de interacción pastilla-camisa. Igualmente, las extremidades 128 y 129 de las pastillas tienden a bloquearse contra el tubo de encamisado. Por tanto, un encorvamiento suplementario de las extremidades 126 y 127 da lugar a un desplazamiento longitudinal de las extremidades 128 y 129 de las pastillas que tienden a separarse produciendo una fuerza longitudinal resultante en el tubo de encamisado. Además, las pastillas 117 generan grietas longitudinales 131. Los bordes vivos de estas grietas pueden producir puntos de altas fuerzas localizadas en el encamisado.

Para el tipo de elemento de combustible en cuestión, la potencia de cresta de funcionamiento máxima (o grado de generación lineal de calor) es del orden de 52,8 - 59,4 kw/m (16 - 18 kw/pie) y se ha comprobado que la interacción pastilla-camisa se produce en la gama de potencia de 19,8 - 33 kw/m

(6 - 10 kw/pie) y más alta. Se ha comprobado que si se producen grandes cambios rápidos de nivel de potencia en la gama de interacción pastilla-camisa, se obtiene un incremento rápido de fuerzas localizadas aplicadas al encamisado, más allá de su límite aparente de elasticidad, y el encamisado puede fallar en razón de la formación de grietas tales como la grieta característica 132. La probabilidad de fallos por interacción pastilla-camisa aumenta con la vida del combustible de un reactor en razón de la reducción de ductilidad del encamisado con la irradiación.

De acuerdo con el invento, se ha descubierto un método para preparar este combustible de modo que unos rápidos cambios ulteriores del nivel de potencia en la envoltura preparada (es decir hasta el nivel de potencia máximo para el cual el combustible ha sido preparado) puedan realizarse con un mínimo peligro de desperfectos en el encamisado (es decir por fallos por interacción pastilla-camisa).

El método de preparación de combustible según el invento se ilustra en la figura 4. Consiste en aumentar inicialmente la potencia del combustible por encima de la gama de interacción pastilla-camisa hasta el nivel de potencia máximo deseado en un grado inferior a un grado crítico capaz de producir desperfectos en el encamisado. El grado máximo de este incremento inicial de potencia, según se ha comprobado, se sitúa aproximadamente en 0,33 kw/m/hora (0,1 kw/pie/hora) de potencia de cresta para el tipo de elementos de combustible en cuestión.

Hasta donde se entiende actualmente, se cree que la resistencia del encamisado irradiado a las grietas que se forman cuando se someten a un estiramiento, depende

mucho de la velocidad con la cual se estira. Por tanto, el incremento de potencia inicial relativamente lento que se describe permite al encamisado deformarse plásticamente en respuesta a las fuerzas creadas por las pastillas de combustible que se dilatan. Se cree igualmente que las fuerzas aplicadas al encamisado son aliviadas por una lenta deformación plástica o movimiento plástico de las pastillas de combustible debido a las fuerzas de reacción desarrolladas por el encamisado al cual se aplican las fuerzas. Este es particularmente el caso a los niveles de potencia más altos cuando las pastillas de óxido de combustible se hacen más plásticas. En cualquier caso, se ha comprobado que el combustible que se energiza con la velocidad de preparación descubierta no falla y además que pueden realizarse rápidos cambios ulteriores de nivel de potencia del combustible (por ejemplo 15% de la potencia nominal por minuto), por ejemplo cuando es necesario realizar una adaptación a la carga, según se ilustra en la figura 4, con un peligro mínimo de fallo por interacción pastillas de combustible-camisa.

Aunque en la figura 4 se ha ilustrado un incremento continuo de la potencia inicial, en la práctica se ha comprobado que es más conveniente aumentar la potencia en una serie de etapas. Se ha comprobado que el método de preparación de combustible según el invento puede realizarse paso a paso si los pasos o escalones de energía individuales son suficientemente pequeños. Por ejemplo, se ha comprobado que es práctico utilizar pasos de potencia de cresta de aproximadamente 0,33 kw/m (0,1 kw/pie), mientras que unos pasos de 1,65 kw/m (0,5 kw/pie), de cresta, parecen ser los pasos máximos permisibles.

Aunque el método de preparación de combustible que se describe aquí permita rápidos cambios ulteriores de potencia, se ha comprobado además que los beneficios de esta preparación pueden perderse si se utiliza a continuación el combustible a niveles de potencia inferiores o próximos al límite inferior de interacción pastilla-camisa durante un largo periodo de tiempo. Esta pérdida de los beneficios de la preparación utilizando el combustible a niveles de potencia bajos parece ser el resultado de una relajación del combustible, de una curación de las grietas de las pastillas de combustible y de una relajación y de una contracción del encamisado. De este modo, después de un largo periodo de funcionamiento del combustible a baja potencia se ha comprobado que es necesario preparar de nuevo el combustible para su funcionamiento a niveles de potencia elevados si se desea evitar los fallos debidos a la interacción pastilla-camisa.

El tiempo y las condiciones de pérdida de la preparación no han sido completamente determinados y parecen depender de un cierto número de factores que incluyen el historial de funcionamiento a potencia elevada anterior. En cualquier caso, como se indica en lo que sigue, la preparación según el invento ha demostrado ser eficaz durante un periodo de tiempo suficiente para permitir una utilización práctica de acuerdo con las necesidades de seguimiento de carga diárias y semanales.

El invento se ilustrará más claramente por medio de los ejemplos que siguen:

Ejemplo 1

Se ha comprobado una barra de combustible que había funcionado en un reactor con una potencia del orden de

9.000 - 12.000 megawatios/días por tonelada. Durante los últimos meses de este funcionamiento la potencia de cresta en esta barra de combustible había sido inferior a 33 kw/m (10 kw/pie). Esta barra de combustible se situó en un reactor de prueba y la potencia se elevó rápidamente desde 33 kw/m (10 kw/pie) hasta 46,2 kw/m (14 kw/pie). Esta barra de combustible falló debido a la interacción pastilla-camisa.

#### Ejemplo 2

Se comprobaron cinco barras de combustible con historiales de funcionamiento similares a los de la barra de combustible del Ejemplo 1, según se representa en la figura 5, incrementando la potencia desde 33 kw/m (10kw/pie) en una serie de pasos de 6,6 kw/m (2 kw/pie) con periodos constantes de 10 horas entre los pasos. Todas estas barras de combustible fallaron antes de alcanzar los 52,8 kw/m (16 kw/pie).

#### Ejemplo 3

Se comprobó una barra de combustible con un historial de funcionamiento similar al de la barra de combustible del Ejemplo 1, según se representa en la figura 6, aumentando la potencia desde 33 kw/m (10 kw/pie) en una serie de pasos de 3,3 kw/m (1 kw/pie) con periodos constantes de 5 horas entre pasos. Esta barra de combustible falló antes de alcanzar los 52,8 kw/m (16 kw/pie).

#### Ejemplo 4

Se comprobaron dos barras de combustible con historiales de funcionamiento similares al de la barra de combustible del Ejemplo 1, según se representa en la figura 7, incrementando la potencia que se le aplica desde aproximadamente 19,8 kw/m (6 kw/pie) en una serie de etapas de 0,412 kw/m (0,125 kw/pie) con periodos de mantenimiento de una hora entre

dichos pasos. Estas barras de combustible fallaron.

Ejemplo 5

Se comprobaron cinco barras de combustible con historiales de funcionamiento similares al de la barra de combustible del Ejemplo 1, según se representa en la figura 8, de la siguiente manera:

En una barra de combustible F-1 se aumentó la potencia aplicada hasta aproximadamente 26,4 kw/m (8 kw/pie) a razón de aproximadamente 52,8 kw/m/hora (16 kw/pie/hora). A continuación se aumentó la potencia en una serie de etapas de 0,264 kw/m (0,08 kw/pie) con periodos de mantenimiento de una hora entre los pasos hasta un nivel de potencia de 51,15 kw/m (15,5 kw/pie).

En las barras de combustible F-2, F-3 y F-4, se aumentó la potencia a razón de 52,8 kw/m/hora (16 kw/pie/hora) hasta un nivel de potencia de aproximadamente 23,10 kw/m (7 kw/pie). Entonces se aumentó la potencia en una serie de etapas de 0,264 kw/m (0,08 kw/pie) con periodos de mantenimiento de una hora entre etapas hasta un nivel de potencia de 53,46 kw/m (16,2 kw/pie) en el caso de la barra F-2, de 51,15 kw/m (15,5 kw/pie) en el caso de la barra F-3, y de 44,55 kw/m (13,5 kw/pie) en el caso de la barra F-4.

En la barra de combustible F-5 se aumentó la potencia hasta aproximadamente 19,8 kw/m (6 kw/pie) a razón de aproximadamente 52,8 kw/m/hora (16 kw/pie/hora). Entonces se aumentó la potencia en esta barra a razón de 0,26 kw/m/hora (0,08 kw/pie/hora) en etapas de una hora, hasta un nivel de potencia de 37,95 kw/m (11,5 kw/pie).

Después de realizar las pruebas antedichas se examinaron cuidadosamente éstas cinco barras de combustible F-1

a F-5. Ninguna de estas barras de combustible había fallado ni presentaba indicaciones de principio de fallo.

Ejemplo 6

5 Se comprobó una barra de combustible con un historial de funcionamiento similar al de la barra de combustible del Ejemplo 1, en la gama de potencia de 23,10 kw/m (7 kw/pie) a 52,8 kw/m (16 kw/pie) aproximadamente, aumentando la potencia en una serie de etapas de 0,297 kw/m (0,09 kw/pie) con periodos de mantenimiento de una hora entre los pasos. Al ser examinada, esta barra no indicaba evidencia de fallo.

Ejemplo 7

15 Se sometió a prueba una barra de combustible con un historial de funcionamiento similar al de la barra de combustible del Ejemplo 1, según se representa en la figura 9, aumentando la potencia desde aproximadamente 23,10 kw/m (7 kw/pie) hasta aproximadamente 52,8 kw/m (16 kw/pie) en una serie de pasos de aproximadamente 0,33 kw/m (0,1 kw/pie) con periodos de mantenimiento de una hora entre los pasos. A continuación, se redujo y aumentó cíclicamente la potencia de esta barra de combustible a una velocidad relativamente rápida y con periodos de mantenimiento sustancialmente idénticos a los que se representan en la figura 9. Un examen ulterior de esta barra de combustible no indicó indicios de fallo. Por tanto, esta prueba demuestra la capacidad del método según el invento para preparar el combustible para que pueda ser sometido ul-  
20 teriormente a cambios de potencia importantes y rápidos, como puede ser necesario para seguir las necesidades de carga.

Ejemplo 8

30 Se comprobaron varias barras de combustible con historiales de funcionamiento similares al de la barra de

combustible del Ejemplo 1, según se ilustra en la figura 10, en primer lugar preparando las barras de acuerdo con el método del invento y a continuación reduciendo y aumentando cíclicamente la energía a la cual está sometida a una frecuencia relativamente rápida con varios tiempos de mantenimiento a los niveles de potencia más bajos, incluyendo tiempos de mantenimiento de hasta 480 horas. Ninguna de estas barras falló. Esta prueba demuestra que la preparación del combustible perdura por lo menos en 480 horas de funcionamiento con potencia reducida, período más que suficiente para seguir las variaciones de carga por ejemplo en un largo final de semana de vacaciones o parecido.

Además de los Ejemplos que anteceden, la utilidad y el éxito del invento han sido confirmados por la utilización del método según el invento en varios reactores de central eléctrica comerciales desde mayo de 1973 aproximadamente. Las informaciones obtenidas a partir de estos reactores indican que la utilización del método de preparación según el invento ha permitido realizar cambios ulteriores importantes y rápidos del nivel de potencia con una reducción notable de fallos de las barras de combustible.

Aunque la potencia de las barras de combustible (cantidad de calor generada por unidad de longitud) de las barras de combustible haya sido expresada aquí en kw/m (kw/pie) pueden utilizarse otros términos equivalentes. Por ejemplo, la potencia de las barras de combustible podría en variante expresarse en porcentaje de la potencia nominal. Por ejemplo, si una barra de combustible tiene una potencia nominal máxima de 52,8 kw/m (16 kw/pie), un porcentaje de cambio de potencia de 0,6% de la potencia nominal por cada hora corres-

ponde a 0,3168 kw/m/hora (0,096 kw/pie/hora),

Aunque el método del invento haya sido descrito aquí en su aplicación a barras de combustible con pastillas de combustible de un diámetro del orden de 10,41 mm (0,49 pulgada), el invento se aplica también a barras de combustible de otro diámetro. Ya que a la cantidad de calor generada por unidad de longitud dada y al estado de tensión al cual está sometido el combustible, la deformación del combustible es sustancialmente inversamente proporcional al cuadrado del diámetro de la pastilla de combustible, el grado de preparación (grado de incremento del calor generado por unidad de longitud) es también inversamente proporcional al cuadrado del diámetro de la pastilla de combustible. Igualmente, el grado de preparación es directamente proporcional al nivel de la fuerza y por tanto a la relación entre el espesor y el diámetro del tubo de encamisado. Por consiguiente, el grado de preparación puede ser representado simplemente de la manera general siguiente:

$$C_r = C_1 \frac{D_1^3}{D_n^3} \frac{T_n}{T_1}$$

en esta fórmula:

$C_r$  es el grado de preparación de la barra de combustible en cuestión,

$C_1$  es el grado de preparación conocido que corresponde a una barra de combustible conocida que contiene pastillas de combustible de diámetro conocido  $D_1$ .

$D_1$  es el diámetro de las pastillas de combustible de la barra de combustible conocida,

$D_n$  es el diámetro de las pastillas de combustible

de la barra de combustible en cuestión.

$T_1$  es el espesor de encamisado de la barra de combustible conocida, y

5

$T_n$  es el espesor de encamisado de la barra de combustible en cuestión.

10

Como se indica más arriba, en el caso de una barra de combustible que tiene un espesor de encamisado de aproximadamente 0,81 mm (0,032 pulgada) y que contiene pastillas de combustible de un diámetro de 10,41 mm (0,49 pulgada) aproximadamente, el grado de preparación máximo es de aproximadamente 0,33 kw/m/hora (0,1 kw/pie/hora) y el grado crítico (que es susceptible de dar lugar a un fallo del encamisado) es aproximadamente de 0,4125 kw/m/hora (0,125 kw/pie/hora). Por tanto, el grado de preparación máximo o permisible  $C_{rm}$  que

15

corresponde a una barra de combustible con un espesor de encamisado  $T_n$  y que contiene pastillas de combustible de un diámetro  $D_n$  es:

$$(2) \quad C_{rm} = 0,33 \frac{(10,41)^3}{D_n^3} \frac{T_n}{0,81}$$

20

Por ejemplo, si se reduce a la mitad el diámetro de la pastilla conservando el mismo espesor de encamisado, el grado de preparación permisible es multiplicado por 8. Si no se divide por la mitad el espesor del encamisado, el grado de preparación permisible se multiplica solamente por 4.

25

Se observará que el comienzo de la interacción pastilla-camisa (el cual según se ha indicado más arriba se produce en la gama de potencia de aproximadamente 19,8 - 33 kw/m (6 - 10 kw/pie) para un combustible de aproximadamente 10,41 mm de diámetro y un encamisado de 0,81 mm de espesor) es sustancialmente independiente del diámetro de las pastillas de

30

combustible y del espesor del encamisado.

TRADUCCION DE LAS INSCRIPCIONES DE LOS DIBUJOS

Figura 4

	Fuel power (kw/ft.)	(A) Potencia del combustible (kw/pie)
5	Pellet-cladding interaction range	Gama de interacción pastilla-cápsula.
	15% of rated power per minute	(B) 15% de potencia nominal por minuto.
	Fuel conditioning	(C) Preparación del combustible
10	Subsequent rapid power change	(D) Ulterior cambio de potencia rápido.
	Time (hours)	(E) tiempo (horas)

Figura 5

	Fuel power (kw/ft.)	(A) Potencia del combustible (kw/pie)
	Example 2	(B) Ejemplo 2
15	Time (hours)	(C) Tiempo (horas)

Figura 6

	Fuel power (kw/ft.)	(A) Potencia del combustible (kw/pie)
	Example 3	(B) Ejemplo 3
20	Time (hours)	(C) Tiempo (horas)

Figura 7

	Fuel Power (kw/ft.)	(A) Potencia del combustible (kw/pie)
	Example 4	(B) Ejemplo 4
	Time (hours)	(C) Tiempo (horas)
	0,125 kw/ft. Steps	(D) Pasos de 0,125 kw/pie.

Figura 8

25	Fuel Power (kw.ft.)	(A) Potencia del combustible (kw/pie)
	Example 5	(B) Ejemplo 5
	Time (hours)	(C) Tiempo (horas)
	0,08 kw/ft. Steps	(D) Pasos de 0,08 kw/pie
30	16 kw/ft./hr	(E) 16 kw/pie/hora

Figura 9

	Fuel power kw/ft.	(A) Potencia del combustible (kw/pie)
	Example 7	(B) Ejemplo 7
	Time (days)	(C) Tiempo (días)
5	0,1 kw/ft./hr	(D) 0,1 kw/pie/h
	6 hours	(E) 6 horas

Figura 10

	Fuel power kw/ft.	(A) Potencia del combustible (kw/pie)
	Example 8	(B) Ejemplo 8
10	Time (hours)	(C) Tiempo (horas)
	0,09 kw/ft./hr	(D) 0,09 kw/pie/h
	Cycles With Hold Periods of 10-20 Hrs	(E) Ciclos con periodos de manteni- miento de 10-20 horas.
15	Rate of power change ~ 15% rated power per minute	(F) Grado de cambio de energía ~ 15% de la potencia nominal por minuto

En resumen, la presente Patente de Invención que se solicita deberá recaer en las siguientes

REIVINDICACIONES

1.- Un método de preparación de elementos de combustible para que puedan soportar ulteriores cambios de potencia rápidos sin fallo del encamisado en la región activa de combustible de un reactor nuclear en el cual dicho combustible consiste en una pluralidad de postillos cilíndricos contenidos en una pluralidad de elementos de combustibles tubulares de forma alargada y encamisados, cuyo método consiste en: aumentar la potencia producida por dichos elementos de combustible a través de una gama de energía que corresponde a la interacción pastilla de combustible-camisa hasta un nivel de potencia máxima deseada con un grado de incremento de energía inferior a un grado crítico

que produce los desperfectos en el encamisado debido a dicha interacción pastilla de combustible-camisa.

5 2.- Método según la reivindicación 1, caracterizado porque dicho grado crítico es de aproximadamente 0,4125 kw/m/h (0,125 kw/pie/hora) en el caso de pastillas de combustible de un diámetro de aproximadamente 10,41 mm (0,49 pulgada).

10 3.- Método según la reivindicación 2, caracterizado porque los incrementos de potencia hacia dicho nivel de potencia máxima se hacen en un grado no superior a aproximadamente 0,33 kw/m/hora (0,1 kw/pie/hora).

4.- Método según la reivindicación 2, caracterizado porque los incrementos de energía hacia dicho nivel de potencia máxima se hacen a razón de 0,26 kw/m/hora - 0,33 kw/m/hora (0,08 - 0,1 kw/pie/hora).

15 5.- Método según la reivindicación 2, caracterizado porque los incrementos de potencia hacia dicho nivel de potencia máxima se hacen bajo la forma de una serie de incrementos progresivos de potencia y porque cada incremento no es superior a aproximadamente 1,65 kw/m (0,5 kw/pie).

20 6.- Método según la reivindicación 2, caracterizado porque los incrementos de potencia hacia dicho nivel de potencia máxima se hacen bajo la forma de una serie de incrementos de potencia y porque cada uno de dichos incrementos no es superior a aproximadamente 0,33 kw/m (0,1 kw/pie) con un intervalo de tiempo no inferior a una hora entre dichos incrementos de potencia.

25 7.- Método según la reivindicación 1, caracterizado porque dicho grado crítico es igual aproximadamente a  $0,4125 \cdot (10,41)^3 / D_n^3$  multiplicado por  $T_n / 0,81$  kw/m/hora (0,125  $(0,49)^3 / D_n^3$  multiplicado por  $T_n / 0,032$  kw/pie/hora), siendo  $D_n$

30

el diámetro de las pastillas de combustible y  $T_n$  el espesor del encamisado.

5 8.- Método según la reivindicación 7, caracterizado porque los incrementos de potencia hacia dicho nivel de potencia máxima se hacen en un grado no superior a  $0,33 (10,41)^3 / D_n^3$  multiplicado por  $T_n / 0,81 \text{ kw/m/hora}$  ( $0,1 (0,49)^3 / D_n^3$  multiplicado por  $T_n / 0,032 \text{ kw/pie/hora}$ ).

10 9.- Método según la reivindicación 7, caracterizado porque los incrementos de potencia hacia dicho nivel de potencia máxima se hacen en un grado de  $(0,264 \text{ a } 0,33) (10,41)^3 / D_n^3$  multiplicado por  $T_n / 0,81 \text{ kw/m/hora}$  ( $0,08 \text{ a } 0,1 (0,49)^3 / D_n^3$  multiplicado por  $T_n / 0,032 \text{ kw/pie/hora}$ ).

15 10. Método según la reivindicación 7, caracterizado porque los incrementos de potencia hacia dicho nivel de potencia máxima se hacen bajo la forma de una serie de incrementos progresivos de la potencia y porque cada incremento no es superior a aproximadamente  $1,65 (10,41)^3 / D_n^3$  multiplicado por  $T_n / 0,81 \text{ kw/m}$  ( $0,5 (0,49)^3 / D_n^3$  multiplicado por  $T_n / 0,032 \text{ kw/pie}$ ).

20 11.- Método según la reivindicación 7, caracterizado porque los incrementos de potencia hacia dicho nivel de potencia máximo se hacen bajo la forma de una serie de incrementos progresivos de la potencia y porque cada incremento de potencia no es superior a aproximadamente  $0,33 (10,41)^3 / D_n^3$  multiplicado por  $T_n / 0,81 \text{ kw/m}$  ( $0,1 (0,49)^3 / D_n^3$  multiplicado por  $T_n / 0,032 \text{ kw/pie}$ ) con un intervalo de tiempo no inferior a una hora entre dichos incrementos de potencia.

12.- Se reivindica por último como objeto sobre el que ha de recaer la patente de invención que se solicita: UN METODO DE PREPARACION DE ELEMENTOS DE COMBUSTIBLE.

Todo conforme queda descrito y reivindicado en la presente memoria descriptiva que consta de veinticuatro páginas mecanografiadas y dibujos que se acompañan.

Madrid, 11 abril 1.975

BERNARDO UNGRIA

P.P.



10

15

20

25

30

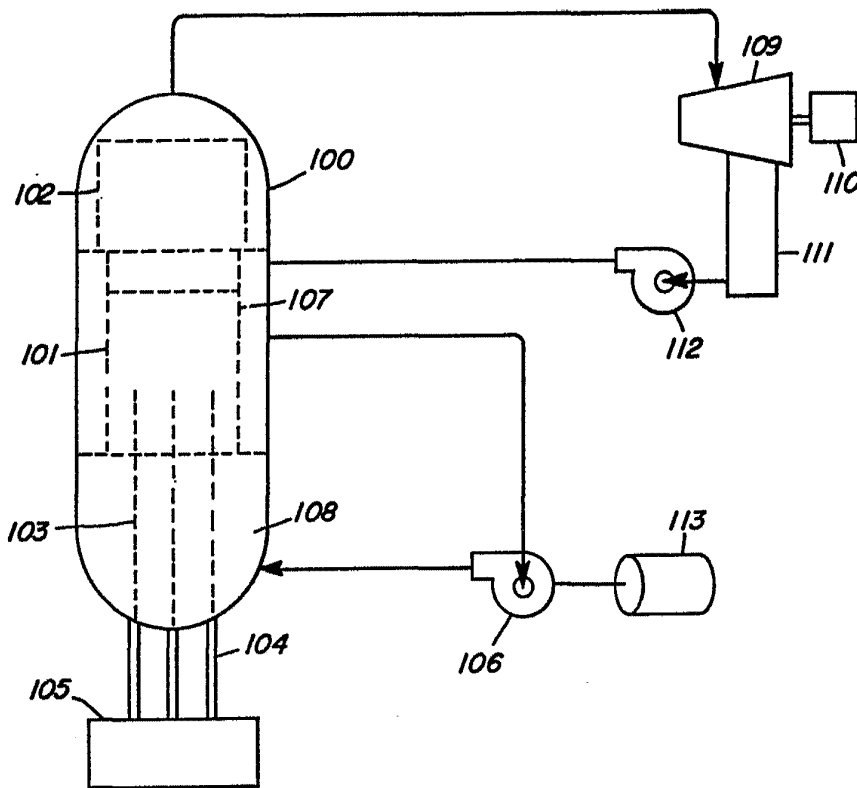


Fig. 1

ESCALA VARIABLE  
Madrid, 11 abril 1.975  
BERNARDO UNGRIA

P.F.

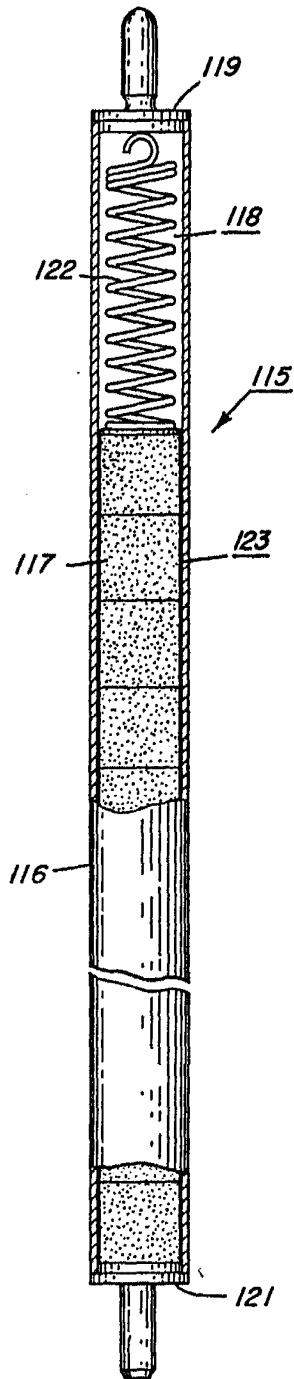


Fig. 2

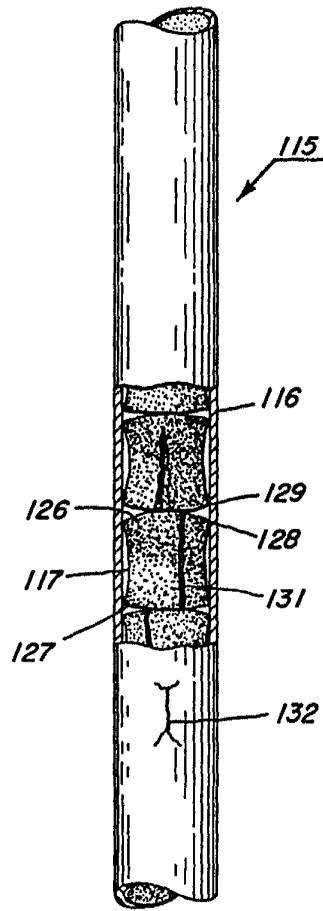
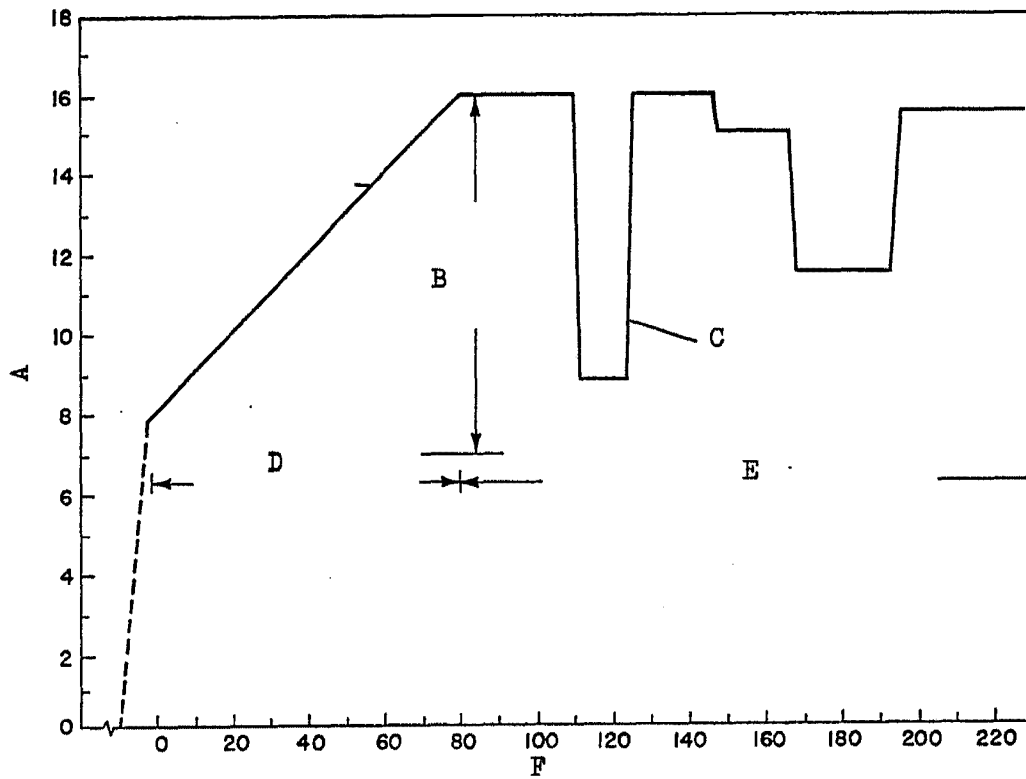


Fig. 3

ESCALA VARIABLE  
Madrid, 11 abril 1.975  
BERNARDO UNGRIA

P. P.

Fig. 4



ESCALA VARIABLE  
Madrid, 11 abril 1.975  
BERNARDO UNGRIA  
P.F.

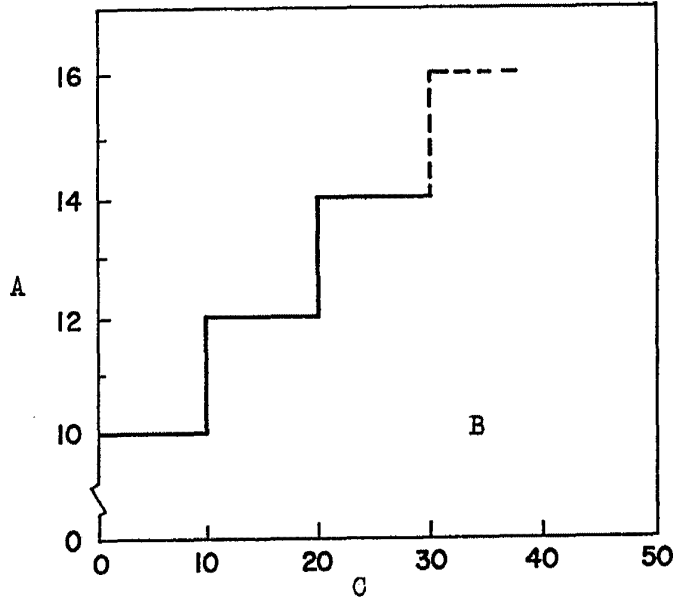


Fig. 5

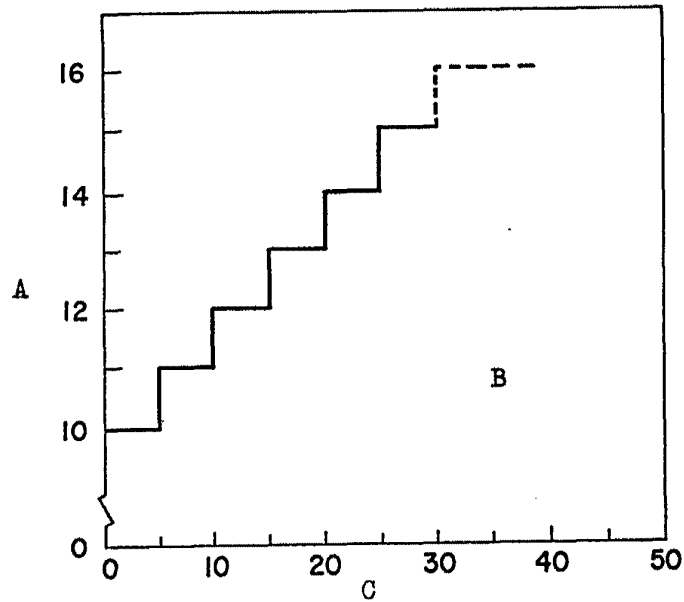


Fig. 6

ESCALA VARIABLE  
Madrid, 11 abril 1.975  
BERNARDO UNGRIA

P.P.

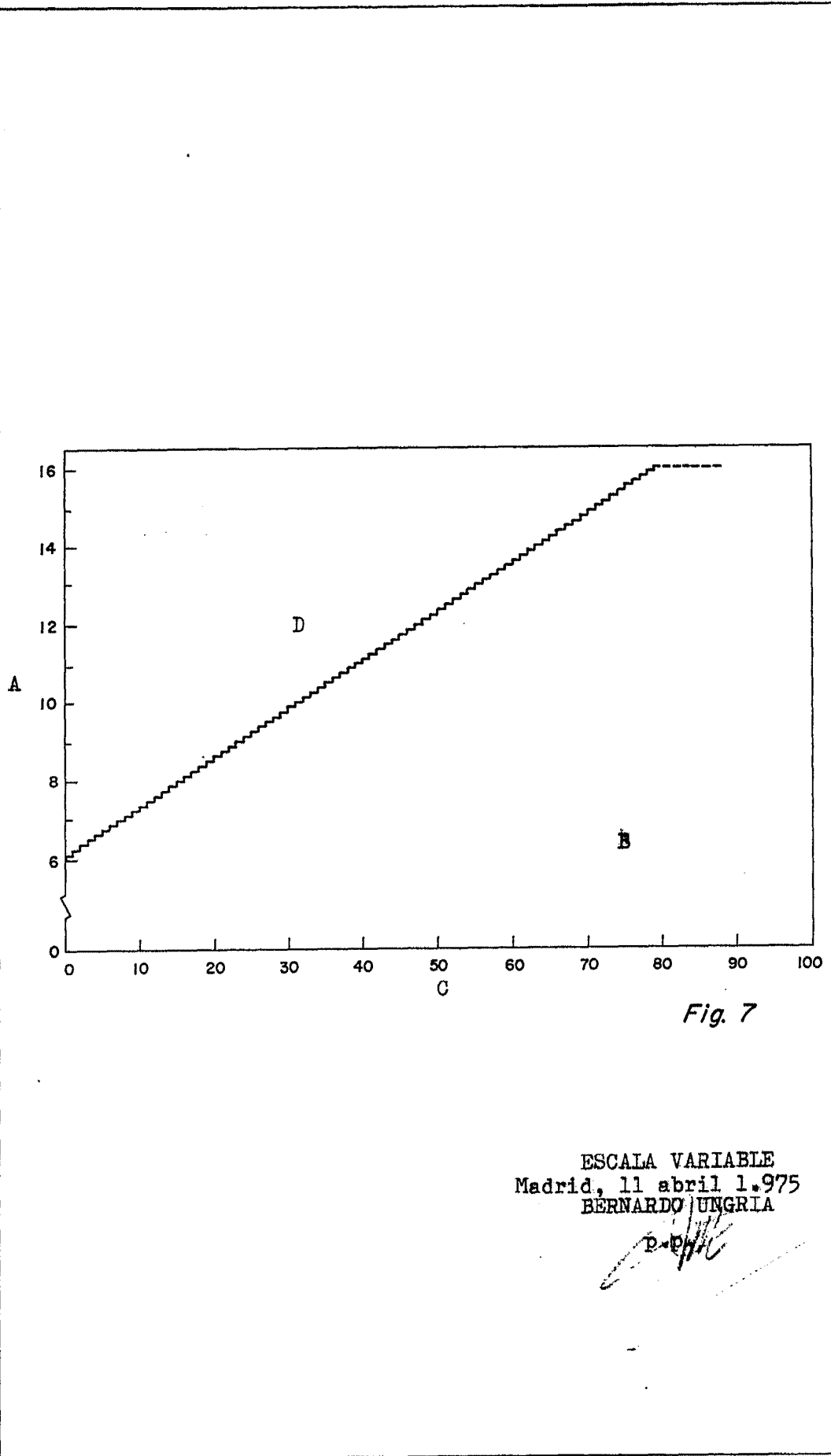


Fig. 7

ESCALA VARIABLE  
Madrid, 11 abril 1.975  
BERNARDO UNGRIA

*[Handwritten signature]*

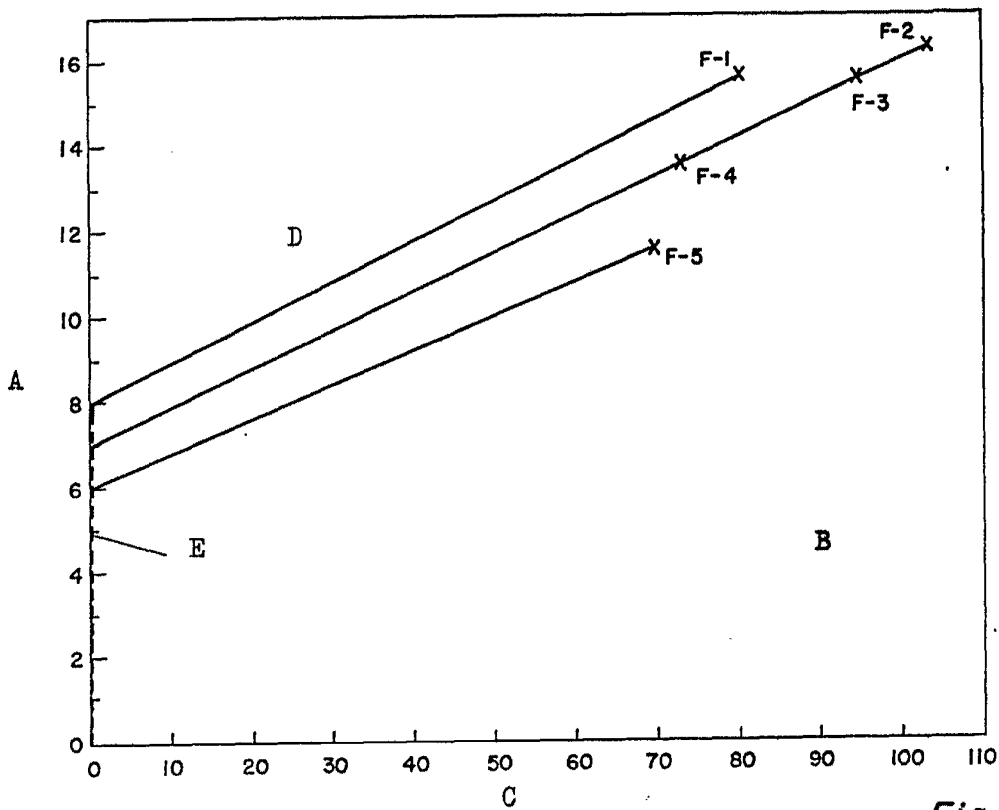


Fig. 8

ESCALA VARIABLE  
Madrid, 11 abril 1.975  
BERNARDO HNGRIA

P.P. *[Signature]*

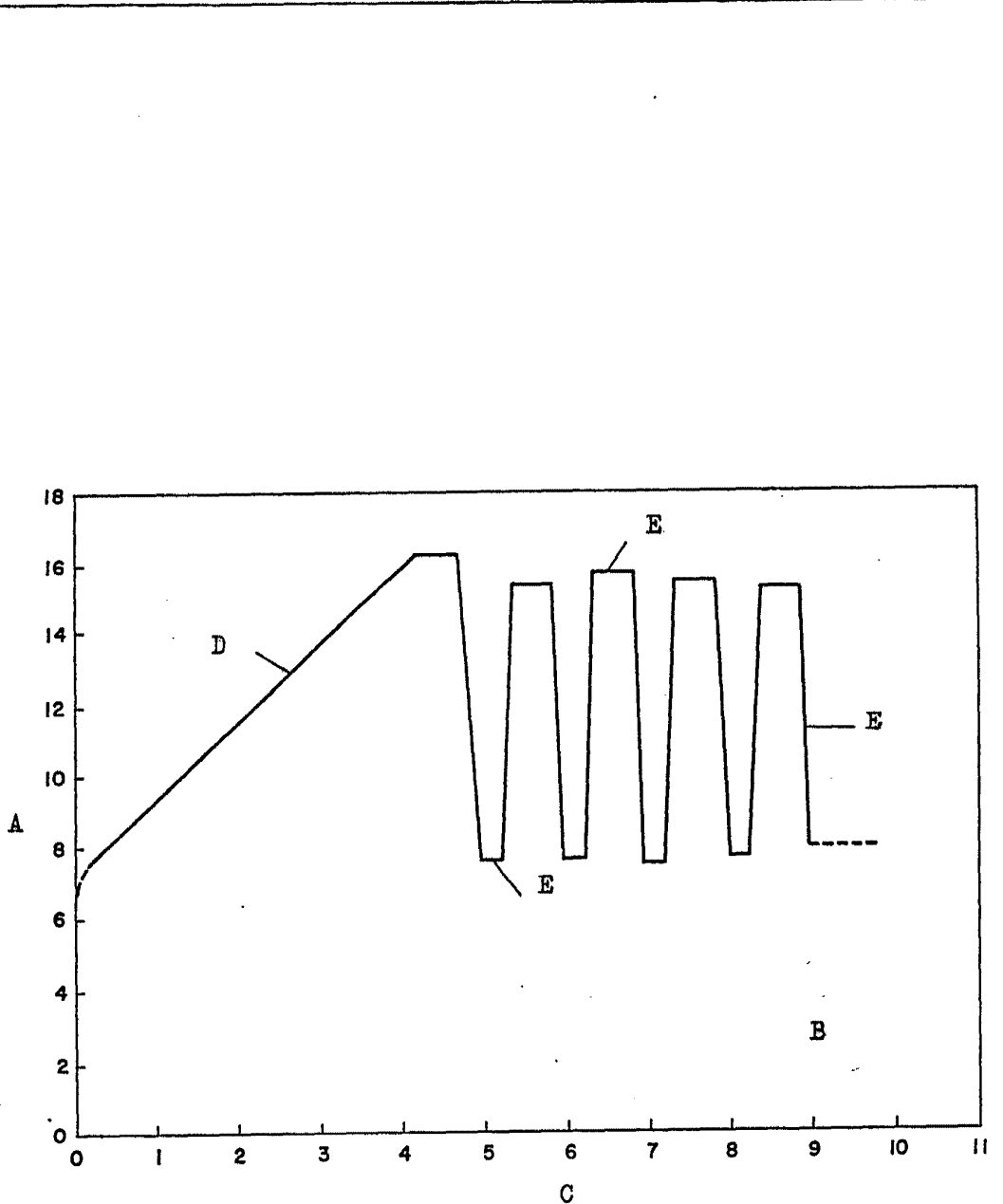


Fig. 9

ESCALA VARIABLE  
Madrid, 11 abril 1.975  
BERNARDO UNGRIA  
p.p.

