

SECCION TECNICA  
CLASIFICACION I. P. C.

7 OCT. 1970  
SECCION TECNICA  
CLASIFICACION I. P. C.  
CLASE G 21  
SUBCLASE C

**CONCEDIDA**  
MEMORIA DESCRIPTIVA

PATENTE DE INVENCION.

PAIS : ESPAÑA.

DURACION : 20 AÑOS.

OBJETO : "METODO PARA CONTROLAR LA REACTIVIDAD DE  
"UN REACTOR NUCLEAR".

A nombre de : CANADIAN GENERAL ELECTRIC COMPANY LIMITED.

Residente en : TORONTO, ONTARIO (Canada)  
214 King Street West.

Nacionalidad : CANADIENSE.

(P. 2.731, A-E).

POOR  
QUALITY

Para obtener control sobre la reactividad, un reactor nuclear que tiene una pluralidad de canales de combustión, conteniendo el material combustible, es provisto con ánu-  
los gaseosos alrededor de los canales individuales, dentro  
5.- de los cuales un gas absorbente de neutrones, tal como hidru-  
ro de boro o criptón es introducido a fin de controlar  
la operación del reactor.

Este invento se refiere a un método para controlar la  
reacción de un reactor nuclear y en particular a un método  
10.- para proporcionar cambios rápidos en el valor de la velo-  
cidad del proceso de fisión de un reactor, y a los apara-  
tos para llevar a cabo tal método.

La operación de un reactor nuclear de una manera sa-  
tisfactoria y sin peligro, depende del control exacto del  
15.- factor multiplicativo de neutrones. Muchos métodos tanto  
caros como complejos han sido suministrados con anteriori-  
dad a reactores para obtener dicho control.

Para efectuar control exacto de un reactor cuando este  
se encuentra en operación, y para controlar la generación  
20.- de potencia, es necesario poder variar el nivel del flujo  
de neutrones moderados o lentos dentro de dicho reactor,  
para poder mantener el proceso de fisión al nivel deseado.  
En casos extremos cuando es necesario parar el reactor o  
cuando en caso de emergencia se efectúa un paro súbito, el  
25.- mismo control del proceso de fisión se lleva a cabo para

controlar el factor multiplicativo del neutrón pero en mayor grado y con medios más rápidos de activación.

- Se reconocerá que debido a la velocidad con que procede la reacción nuclear, el sistema de control debe necesariamente ser de acción rápida y extremadamente seguro. Debido a la inercia de las partes mecánicas del reactor, o a la velocidad con que el moderador de agua pesada puede ser metido o sacado de la región del núcleo, en el caso de reactores moderados con agua pesada, las operaciones requeridas para llevar a cabo ajustes del nivel total de reactividad de un reactor son de mucha importancia. Posiblemente lo que tiene igual importancia, cuando la razón por haberle parado haya sido meramente transitoria, es el tiempo requerido para arrancar de nuevo un reactor y restablecerlo a una condición operativa antes que dicho reactor se intoxique debido a la formación de xenón después de su punto de arranque. En reactores moderados con agua pesada, cuando el moderador ha sido deshechado al parar súbitamente un reactor, se hace necesario subsecuentemente bombearle una cantidad considerable de dicho líquido moderador, lo cual es tardado y debido a eso el reactor no está operando en la línea, y acumula progresivamente materias tóxicas.
- 30.-
- 35.-
- 40.-
- 45.-

- También se reconocerá que en reactores que tienen barras de seguridad operadas mecánicamente para efectuar el paro del reactor, existe la necesidad de introducir tales barras de acero de seguridad y el boro, de una manera rápida, lo cual requiere generalmente un mecanismo de alta velocidad, el cual no es fácilmente adaptable para proporcionar el otro tipo de control requerido, o sea un control para ajustes menores por medio del cual el nivel de reac-
- 50.-
- 55.-

ción se mantiene a un valor predeterminado.

El presente invento subsana las desventajas mencionadas por medio de un absorbente de neutrones gaseosos, que tiene características físicas y químicas que lo hacen compatible con la operación del reactor y los materiales usados, y el cual tiene una sección transversal para capturar neutrones significativamente mayor a esa de los materiales sólidos usados hasta ahora.

Las características que determinan la selección del fluido absorbente de neutrones para uso dentro de un reactor son las siguientes:

(1) Una sección transversal de absorción de neutrones suficientemente alta, que proporcione control en las operaciones de paro y arranque; control de ajustes menores en la generación de potencia del reactor, o control de ajustes menores en los varios segmentos del núcleo de dicho reactor.

(2) Características físicas que permitan su entrada y salida rápida del núcleo del reactor para operaciones de paro y arranque.

(3) Estabilidad química satisfactoria en el ambiente del reactor y compatibilidad química con los componentes de dicho reactor; y

(4) la ausencia en cantidades significantes de subproductos de deshecho después del uso de dicho fluido absorbente dentro del reactor.

Fluidos propios para llevar a cabo el presente invento son los hidruros gaseoso de boro, incluyendo  $B_2H_4$  y  $B_2H_6$ . Este material es un gas incoloro con un punto de fusión de  $165.5^{\circ}C$  y un punto de ebullición de  $92.5^{\circ}C$ . Es ligeramente soluble en agua y prácticamente no tiene acción corrosiva en

aleaciones de aluminio y circonio.

- Las características deseables en un fluido adecuado incluyen características físicas que faciliten su entrada y salida del anillo localizado entre los tubos de presión
- 90.- y los tubos de calandria; también características de magnitud favorable de absorción de neutrones en operaciones de paro y arranque; control de ajustes menores en la generación total de potencia, o control de ajustes menores en sus diferentes zonas; propiedades físicas tales que la di-
- 95.- manación del flujo calorífico a través de la sustancia no sea tal que comprometa o ponga en peligro la seguridad de las estructuras del tubo de la calandria.

- Los gases que pueden usarse como alternativa son helio 3, un isótopo que puede ser separado del helio común, y
- 100.- xenón 135, que es el material conocido hasta ahora como el absorbente de neutrones de mayor magnitud pero que no se encuentra en depósitos naturales. Siendo dicho isótopo subproducto de procesos radioactivos, es en sí radioactivo y su obtención y manejo son caros, requiriendo además ser
- 105.- reemplazado debido a su deterioro radioactivo.

- Considerando los aspectos de seguridad cuando se usa hidruro de boro en un reactor; después de ser expuesto a radiación el boro se descompone en litio y helio dándole libre escape al hidrógeno. Sin embargo, dichas cantidades
- 110.- de gas sólo se cuentan en miligramos al efectuar el paro de una planta mayor. Deuterio y tritio, el cual es tóxico, también se forman pero en muy insignificantes cantidades, y no comprometen significativamente la aplicación o uso de dichas sustancia gaseosa.

- 115.- Comparando la efectividad del hidruro de boro con el

- tipo de barras de control usadas hasta ahora, cuando  $k$ , el factor multiplicativo se toma como "la unidad" durante la operación estable de un reactor, cálculos muestran que una "carga" de 79 mk (milli K) se efectúa en un reactor nuclear
- 120.- si una atmósfera de hidruro de boro se introduce dentro del núcleo del reactor para aislar las zonas reactivas individuales. Es decir,  $k$  - el factor multiplicativo - se reduce de "la unidad" a 0.921 por el hidruro de boro bajo una presión de una atmósfera. Por lo tanto que en un reactor de
- 125.- 300 megavatios que tenga alrededor de 300 zonas, se obtiene una "carga" (la cual es reducción del factor  $k$ , donde  $k$  es el factor multiplicativo), igual a aproximadamente 79 dividido por el número de zonas, o sea aproximadamente 0.267 mk por zona, por atmósfera de hidruro de boro, comparada
- 130.- con una "carga" de aproximadamente 0.075 mk por zona que actualmente se obtiene de una barra de control.

Se reconocerá que la entrada y salida de gas compárase favorablemente con métodos existentes de control de reactividad. El hidruro de boro absorbente de neutrones puede

135.- ser limpiado de un reactor en corto tiempo por medio de un agente limpiador adecuado tal como bióxido de carbono.

Muchos reactores de este tipo teniendo una pluralidad de zonas individuales de material fisionable, pueden ser fácilmente adaptados para la introducción de hidruro de

140.- boro a alguna de sus zonas reactivas, haciéndose posible por lo tanto, el control de la oscilación de la potencia debido a la redistribución de una concentración de xenón a través del reactor, y permitiendo también control de ajustes menores en la reactividad. También se reconocerá

145.- que la eficiencia del gas hidruro de boro es substancial-

mente directamente proporcional a su densidad, siendo una función directa de la presión a temperatura constante por lo que se verá que la finexa a que se puede controlar la re-  
150.- dioactividad usando hidruro de boro es determinada predomi-  
nantemente por la precisión del control de la presión del gas.

Se estima que en lugar de hidruro natural de boro, isó-  
topo de boro 10, puede ser sustituido en las moléculas  $B_2H_4$ ,  
por lo tanto aumentando la "carga" del gas por un factor cin-  
155.- co veces mayor del que se obtiene con boro natural bajo da-  
das condiciones de temperatura y presión.

Lo que se ha obtenido es un método para controlar la  
reactividad de un reactor nuclear teniendo una pluralidad de  
zonas de material fisiónable en mútua relación reactiva, com-  
160.- prendiendo la etapa de introducción de un material substan-  
cialmente inerte químicamente, de relativamente alta magni-  
tud absorbente de neutrones, en relación absorbente de neu-  
trones con cuando menos una de las zonas del reactor, por lo  
que la generación de potencia del reactor puede ser contro-  
165.- lada.

El aparato para llevar a cabo el presente invento en un  
reactor nuclear teniendo una pluralidad de zonas separadas  
de material fisiónable en intercambio mútuo de neutrones,  
comprende medios de conducto permeables a los neutrones que  
170.- se extienden dentro del reactor en proximidad cercana a cier-  
ta porción de las zonas del reactor y conectados con medios  
de abastecimiento de un material gaseoso con capacidad de  
alta absorción de neutrones, por lo que al abastecer el reac-  
tor con el material gaseoso el factor multiplicativo de neu-  
175.- trones es reducido eficazmente controlando la generación de

potencia del reactor.

También se estima que en un reactor de tubo de presión que usa un anulo aislante lleno de gas aislante, tal como el bióxido de carbono, la mezcla del gas absorbente de neutrones con el gas aislante puede proporcionar control modificado de las zonas del reactor.

Ejemplos de reactores nucleares capaces de incorporar el presente invento son descritos haciendo referencia al dibujo adjunto.

185.- La figura 1, es una sección transversal parcial de una zona nuclear típica en un reactor moderado con agua pesada.

La figura 2, muestra diagramáticamente la adaptación de una barra de control instalada en un reactor vertical al presente invento.

190.- Haciendo referencia a la figura 1, ésta muestra una porción de la calandria de un reactor nuclear moderado con agua pesada enfriado con líquido, teniendo tubos a presión horizontal apropiados para reabastecerse de combustible cuando el reactor está en operación o se encuentre en uso.

195.- Aún cuando el dibujo muestra un arreglo de tubos horizontales, la orientación puede también ser vertical. Estructuras de este tipo tienen paredes calandria 21, 22 que sostienen una pluralidad de tubos de presión 23, cada arreglo de tubos comprende un tubo de presión central 24 adaptado para contener el combustible nuclear y el enfriador y un tubo anular circundante 25 proporcionando un anulo aislante en el cual se mantiene gas bióxido de carbono para aislar al líquido moderador circundante, el cual es generalmente agua pesada.

205.- El bióxido de carbono, abastecido de el cilindro 32,

pasa al tubo anular 25 por medio de un conducto de abastecimiento 30; pequeñas cantidades se descargan del reactor por medio del conducto 31, pasando generalmente al tubo de escape para ser descargadas a la atmósfera y así evitar re-  
210.- calentamiento por conducción. El presente invento proporciona un abastecimiento de hidruro de boro, conectado por medio de un regulador de presión 37 y una válvula trifásica de control 34, al tubo conductor de bióxido de carbono 30. Para poder proporcionar el control necesario de presión dentro del conductor 25, el uso de una válvula de escape 40, reguladora de presión, se muestra a la salida de el tubo de escape.

En operación, se puede ver que el gas aislante ( $CO_2$ ) normalmente abastecido al ánulo aislante de una o más zonas reactivas puede ser evacuado o sacado por medio del  
220.- uso de la válvula trifásica 34 para admitir hidruro de boro dentro del tubo anular 25, circundando el tubo 24 de la zona.

Se propone usar un ajuste proporcional para mezclar  
225.- selectivamente los dos gases y así obtener control exacto para ajustes menores.

En la figura 2, el reactor vertical 40', el cual puede ser entre otros un reactor con agua de ebullición lenta utilizando combustible enriquecido o un arreglo como se  
230.- muestra en la figura 1 pero en forma vertical, un tubo de control anteriormente usado para efectuar la entrada de una barra de control impulsada mecánicamente a su destino por medio de un mecanismo de control de alta velocidad, es adaptado para usarse con el presente invento por medio de un  
235.- tubo central 44', conectado con el tubo de abastecimiento

44, al abastecimiento de hidruro de boro 46 y al abastecimiento 47 de gas limpiador y enfriador tal como el bióxido de carbono.

- 240.- Cuando el reactor esta en operación y se hace necesario obtener absorción de neutrones en la zona de control 42, gas de hidruro de boro del abastecimiento 46, es admitido a una presión determinada pasando del conducto de admisión 44, hacia arriba por el conducto vertical de descarga 45, y de ahí al tubo de descarga bajo condiciones de control similares a esas establecidas en la figura 1. Cuando es necesario reducir o remover totalmente la función absorbente de neutrones, la entrada del gas limpiador y enfriador tal como bióxido de carbono del abastecimiento 47, empuja el bióxido de carbono al tubo de descarga, junto con cantidades menores de subproductos asociados como se define con anterioridad.
- 245.-
- 250.-

Se estima que en vista de los pocos cambios proporcionales al hidruro de boro, un aprovisionamiento de circuito cerrado puede ser usado. Sin embargo, razones económicas podrían generalmente impedirlo debido al coste del gas y las cantidades relativamente insignificantes de subproductos ofensivos resultantes después de la irradiación.

255.-

Se podrá apreciar que en el caso de un reactor moderado con agua pesada que tenga un anulo aislante de gas en cada una de sus zonas ya sea de forma horizontal, vertical o de otra configuración; este invento permite que tal reactor sea parado súbitamente en cosa de unos pocos segundos y restituido a su potencia completa más rápidamente que un reactor usando una descarga parcial para efectuar su paro, y por lo tanto el presente invento salva la necesidad de adaptar facilidades para operaciones de descarga del moderador, las

260.-

265.-

cuales son extremadamente caras y hacen que la estructura del reactor sea aún más compleja, y a la vez que haya una probable reducción en la eficiencia y seguridad total del sistema. Es evidente que esta ventaja también se aplica a  
270.- cualquier sistema reactor que dependa de facilidades para descarga del moderador para efectuar su paro.

Además este método es útil en la mayoría de los reactores usándose en lugar de las barras de control y de paro, y por lo tanto, reduciendo el costo de producción del reactor, simplificando su operación e incrementando la precisión de sus sistemas.  
275.-

Además de las sustancias gaseosas mencionadas con anterioridad, se ha encontrado que criptón es particularmente útil y tiene ciertas características ventajosas de operación comparado con los gases de hidruro de boro. Por lo dicho criptón, un gas inerte elemental, es muy estable, mientras que los hidruros de boro, están sujetos a descomposición como se ha hecho notar con anterioridad.  
280.-

El criptón tiene una sección transversal absorbente de neutrones de 24 unidades "barns" comparado con el valor de 750 unidades "barns" de el hidruro de boro, por lo que una presión con variación de 50 a 100 libras por pulgada cuadrada puede ser utilizada comparada con la variación más baja de aproximadamente una atmósfera que se puede utilizar cuando se usa hidruro de boro. Además de proporcionar más libertad de uso, la entrada física del criptón siendo a una presión más alta, es más fácilmente efectuada para proporcionar una reacción más uniforme del reactor.  
285.-  
290.-

La necesidad de diluir el gas absorbente con bióxido de carbono cuando es usado para controlar ajustes menores de un  
295.-

reactor, no se presenta cuando se usa criptón, y por lo tanto se evitan las oscilaciones momentáneas en el reactor.

300.- En lugar del uso acostumbrado de combustible disipado o tóxico en las zonas más activas del reactor, los controles mejorados en las diferentes zonas permiten usar una carga nueva de combustible lo que simplifica grandemente la operación.

**N O T A.-**

\*\*\*\*\*

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

1º.- Método para controlar la reactividad de un reactor nuclear teniendo una pluralidad de zonas de material fisiónable en relación reactiva mútua, comprendiendo la introducción de un material gaseoso substancialmente inerte químicamente, que sea capaz de causar una relación absorbente de neutrones cuando menos con una de dichas zonas dentro del reactor, por medio del cual la generación de potencia del reactor puede ser controlada.

2º.- Método de acuerdo con el punto 1º, que incluye el control de la presión del gas por medio del cual, se controla selectamente la absorción de neutrones por dicho gas.

3º.- Método de acuerdo con el punto 2º, por medio del cual el material gaseoso absorbente de neutrones es seleccionado del grupo comprendiendo hidruro de boro, helio 3, xenón 135 y criptón.

4º.- Método de acuerdo con el punto 3º, por medio del cual la absorción de neutrones es controlada para proporcionar control de los ajustes menores, cuando menos en una

325.-

parte previamente seleccionada de dicho reactor.

52.- Método de acuerdo con el punto 32, por medio del cual la absorción de neutrones es controlada para proveer paro y arranque total del reactor.

330.- 62.- Método de acuerdo con el punto 32, que incluye la limpieza selectiva de dicho material gaseoso del reactor, para promover reactividad en la zona así limpiada.

335.- 72.- Método de acuerdo con el punto 12, por medio del cual el gas absorbente de neutrones, seleccionado del grupo comprendiendo hidruro de boro, helio 3, xenón 135 y criptón, es introducido en una zona central del reactor de alta actividad de neutrones, y por lo tanto una nueva carga de combustible reintoxicado e inagotable, puede ser metida dentro de dicha zona central, para disminuir la actividad de neutrones y mantener la producción de potencia dentro de los límites de seguridad de operación.


340.- 82.- Método de acuerdo con el punto 12, o 32, por medio del cual dicho material gaseoso es introducido selectivamente dentro de las cámaras anulares de gas, cada una de ellas circundando un canal individual de combustible, por lo que dicho material gaseoso se interpone entre el combustible contenido en dicho canal y el fluido moderador circundando el canal.

350.- 92.- Método de acuerdo con la reivindicación 82, por medio del cual dicho material gaseoso absorbente de neutrones es introducido a dicha cámara de gas en relación de expulsión con un gas aislante contenido en la misma durante la operación normal del reactor.

355.- 102.- "MÉTODO PARA CONTROLAR LA REACTIVIDAD DE UN REACTOR NUCLEAR", todo tal y conforme se describe en la presente

Memoria, la cual consta de 357 líneas y a título de ejemplo se representa en el adjunto dibujo.

Madrid, 23 ABO 1967



ESCALA VARIABLE.

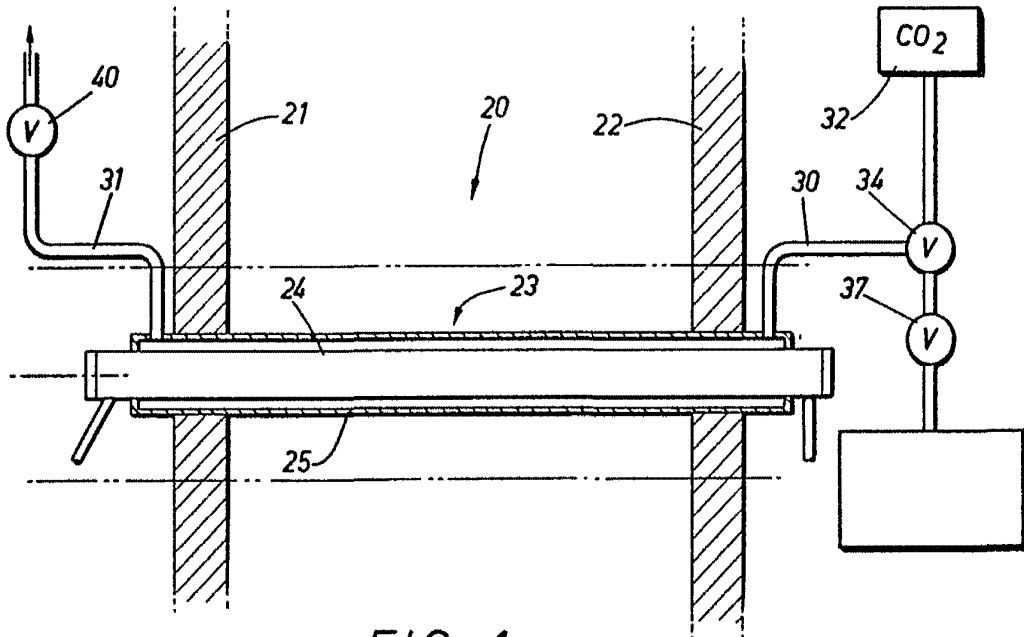


FIG. 1

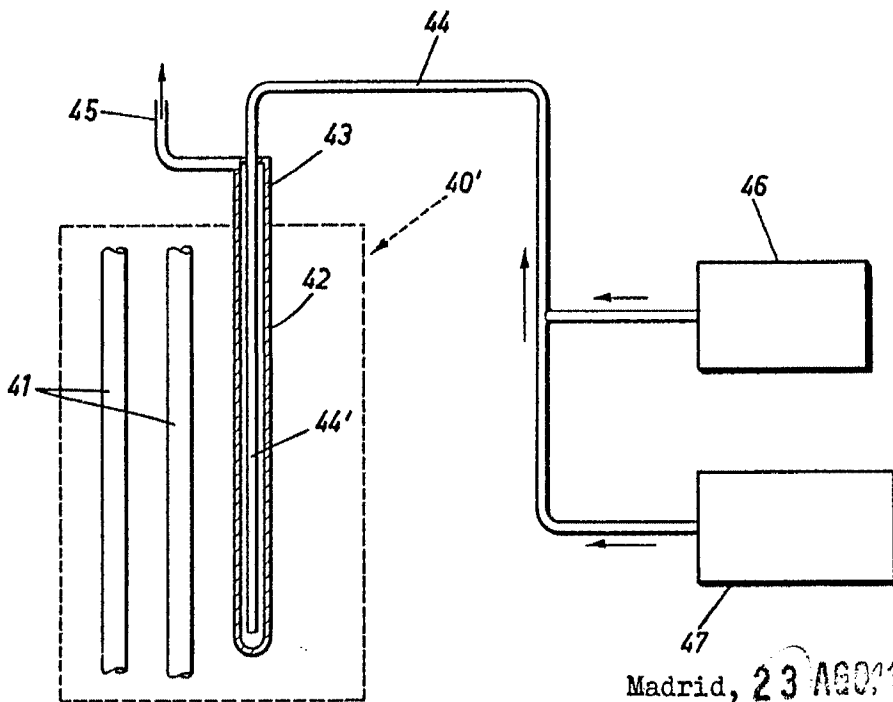


FIG. 2

Madrid, 23 AGO 1967

*Handwritten signature*