

346858

7 NOV. 1958



PATENTE DE INVENCION

B. 2146.3.

Memoria Descriptiva

sobre:

"PROCEDIMIENTO PARA REDUCIR LA CORROSION DEL GRAFITO Y REACTOR
NUCLEAR QUE COMPRENDE LA APLICACION DEL PROCEDIMIENTO".-

Solicitante: COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE, entidad francesa,
residente en 29, rue de la Fédération, París 15e,
Francia.

El presente invento tiene por objeto un procedimiento para reducir la corrosión del grafito en los reactores nucleares del tipo moderado al grafito y refrigerado por circulación de anhídrido carbónico a presión, así como los reactores que utilizan este

5.



procedimiento.

- En los reactores de tipo anteriormente descrito, se observa una corrosión del grafito por los productos de la radiolisis del anhídrido carbónico. Esta corrosión, que se traduce por una pérdida del moderador, interviene tanto en la superficie de los bloques de grafito moderador como en los poros de éste. La cinética de la reacción parece estar ligada sobre todo a la potencia volúmica del reactor (relación de la potencia térmica al volumen del núcleo), a la presión del anhídrido carbónico y a la intensidad de la radiación, ligada a la potencia volúmica.
- 5.
- 10.

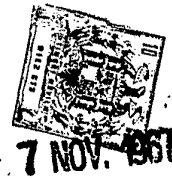
- La corrosión del grafito en los reactores actualmente en servicio es suficientemente débil para no asentar un problema grave ya que las potencias volúmicas puestas en juego son, en cualesquiera proporciones observadas, relativamente poco elevadas. Por el contrario el aumento de la presión y de la potencia prevista para los reactores futuros exige que se tomen medidas para disminuir esta corrosión.
- 15.
- 20.

- Entre las soluciones que han sido examinadas para inhibir o al menos disminuir la corrosión, la que parece actualmente más interesante consiste en la adición de inhibidores gaseosos en anhídrido carbónico para constituir el refrigerante del reactor. Entre los inhibidores propuestos se pueden citar el óxido de carbono, el hidrógeno, los hidrocarburos saturados ligeros (metano especialmente) y los derivados oxigenados de los hidrocarburos como la acetona.
- 25.

30. Hasta el momento, se pensaba que era suficiente



- mantener por encima de un valor determinado la relación en inhibidor del anhídrido carbónico para disminuir la corrosión en el conjunto del reactor. Pero las experiencias hechas por los inventores han revelado que esta solución presentaba un inconveniente que hacía la disminución de la corrosión insuficiente cuando el grafito se presenta en masas importantes. Cuando la corriente de anhídrido carbónico cargado en inhibidor barre la superficie de un bloque de grafito sin penetrar de otro modo que por difusión lenta, la eficacia del inhibidor en el seno mismo de la masa es fuértemente reducido; de este modo se ha encontrado que, en el anhídrido carbónico a 350°C, a una presión de 40 bares y comprendiendo 1.000 vpm de metano (relación generalmente considerada como satisfactoria), la corrosión bajo una intensidad de energía $\sqrt{\text{absorbida}}$ por el anhídrido carbónico de 0,3 W/g varía en una relación de 10 cuando se pasa de una muestra cilíndrica de 10mm, de diámetro a una muestra de 99mm de diámetro.
- 5
- 10.
- 15.
20. De esta observación se puede anticipar la interpretación siguiente:
25. Cuando el grafito se sitúa en una atmósfera de una mezcla gaseosa constituida de anhídrido carbónico que presenta una relación dada en inhibidor, esta mezcla penetra por difusión en el conjunto de poros. Mientras que a continuación el grafito, siempre en la misma atmósfera, es sometido a una irradiación, los productos de radiolisis del anhídrido carbónico contenidos en los poros atacan preferentemente al inhibidor que se agota rápidamente, mientras que la concentración en anhídrido
- 30.



carbónico en el seno del grafito desciende muy poco. Ahora bien la renovación del inhibidor, por difusión lenta de la mezcla a través de los poros, es insuficiente para restablecer y mantener el porcentaje de inhibidor en el anhídrido carbónico en el seno de la masa por encima del valor por el cual la inhibición es verdaderamente efectiva.

5.

Sea lo que fuere del mecanismo del fenómeno, la atenuación de la eficacia del inhibidor cuando se aumentan los espesores de los bloques de grafito a proteger, es muy alarmante si se tiene en cuenta que la tendencia actual en los reactores grafito-gas es de aumentar notablemente las dimensiones transversales de los bloques para aumentar correlativamente el paso y el diámetro de los canales.

10.

15.

Luego la solución que consiste en aumentar la relación en inhibidor del anhídrido carbónico en el conjunto del circuito de refrigeración del reactor, es en efecto inaplicable, por diversas razones y más particularmente por la formación de depósitos.

20.

El presente invento se dirige a la concepción de un procedimiento que palía los inconvenientes anteriores, permitiendo especialmente mantener la relación en inhibidor del anhídrido carbónico en el seno mismo de los bloques de grafito a un valor suficiente, y esto, sin aumentar la relación de conjunto del refrigerante en inhibidor.

25.

Con tal fin la invención propone un procedimiento para la reducción de la corrosión del grafito en un reactor nuclear refrigerado por circulación de anhí-

30.



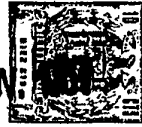
7 NOV 1967

5. drido carbónico que contiene un inhibidor y moderado al grafito, procedimiento que consiste en hacer circular un reducido caudal de anhídrido carbónico contentivo del inhibidor, en el interior mismo de las masas de grafito a proteger contra la corrosión.

10. El invento propone igualmente un reactor nuclear para la puesta en práctica del procedimiento anteriormente descrito. En una forma de realización el reactor, del tipo que comprende un apilamiento moderador constituido de bloques de grafito y en el que se disponen canales de recepción de los cartuchos de combustible, comprende conductos derivados dispuestos en el núcleo paralelamente a los canales y separados de éstos por los bloques de grafito, comprendiendo los
15. citados conductos derivados en su extremo posterior, un órgano que crea una pérdida de carga localizada igual a una fracción notable de la diferencia de presión entre la entrada y salida de los canales.

20. El invento consiste igualmente en otras disposiciones ventajosamente utilizables en unión con los anteriores, pero pueden serlo independientemente. Estas disposiciones aparecerán mejor en la descripción que sigue de un reactor nuclear que constituye una forma de realización del invento, dado a título de ejemplo no limitativo. La descripción que sigue está hecha
25. con relación al dibujo adjunto, en el que:

30. La figura 1, es una vista muy esquematizada de una porción del apilamiento moderador del reactor nuclear, representada en sección vertical según la línea I-I de la figura 2;



la figura 2, es una vista esquemática, en sección según la línea II-II de la figura 1;

las figuras 3 y 4, muestran las curvas representativas de la variación de presión en los canales y en los conductos derivados, cuya presión va desde P_0 a la entrada de núcleo hasta la presión P_1 a la salida.

El canal 4, representado en las figuras 1 y 2, está dispuesto en una masa de moderador, constituida por un apilamiento de bloques 6, de grafito agrupados en columnas, unidas por clavijas y separadas holgadamente. El canal 4 desemboca en su parte inferior en un colector de residuos o "cubo de desperdicios" 10, provisto de aberturas tales como 12, para el paso del anhídrido carbónico que circula a lo largo del canal siguiendo las flechas f. El apilamiento descansa sobre un pavimento 14 sostenido a su vez por pilastras no representadas.

El canal vertical 4 está ocupado por un tren de cartuchos de combustible 16, que comprende cada uno una cubierta 18 en grafito y un elemento combustible própiamente dicho 20. Este elemento se constituye por una barra tubular de uranio débilmente aleado, revestido en sus superficies interna y externa de una envoltura de estanquidad de metal o aleación de débil sección de captura. El elemento combustible 20 es retenido en la cubierta 18 por una plancha de apoyo anular 22, acoplada a la cubierta por alambres de retención. Unos tabiques de centrado 24 mantienen al elemento combustible centrado en la cubierta 18,



5. al que evitan que se combe cuando es llevado a su temperatura de funcionamiento. En la forma de realización representada en las figuras 1 y 2, las cubiertas presentan un diámetro externo tal que puedan ajustarse con un pequeño huelgo en el canal 4, y que la casi totalidad del gas carbónico refrigerante que recorre el canal, pasa entre la cubierta y la envoltura.

10. Cuando el canal 4 está completamente lleno, la repartición de las presiones a lo largo del canal es la indicada por la curva en trazo continuo en la figura 3: el canal es recorrido por un caudal de refrigerante tal que produce una pérdida de carga fija y determinada $P_0 - P_1$ entre los extremos del canal 4, incluyendo el cubo de desperdicios 10. La pérdida de carga localizada $\int P$ debida a éste (figura 3) es elegida para evitar la aparición de esfuerzos excesivos sobre los elementos combustibles durante la descarga de un canal.

20. Según el invento, los conductos derivados dispuestos en el apilamiento de grafito moderador paralelamente a los canales 4, presentan en su extremo posterior una pérdida de carga localizada ΔP , notablemente superior a $\int P$ (figura 3). En una forma de realización de las figuras 1 y 2, cada conducto 26 delimitado por los bloques adyacentes de grafito desemboca a

25. la salida del núcleo por un diafragma 28 que proporciona la pérdida de carga ΔP .

30. Si ahora se hace referencia a la figura 3, se comprueba que a un nivel vertical dado existe entre el conducto 26 y el canal 4 una diferencia de presión



- que provoca un flujo de pequeño caudal de anhídrido carbónico cargado en inhibidor, a través de la masa de los bloques de grafito 6, siguiendo las flechas f' (figura 1). Este flujo tiende permanentemente a restablecer la relación en inhibidor de anhídrido carbónico, que ocupa los poros del grafito, a un valor próximo al que existe en el conjunto del circuito de refrigeración: los juegos entre columnas permiten a este flujo centrípeto que pueda realizarse desde el conjunto de la periferia de los bloques.
- 5.
 - 10.

Para que este flujo se produzca es evidentemente necesario que se cumplan dos condiciones:

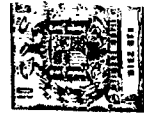
- 1^a).- El grafito debe presentar una porosidad abierta suficiente para autorizar un caudal de fuga a través de los bloques del conducto 26 hacia el canal 4. Los grafitos de calidad nuclear actualmente utilizados en los reactores de la línea "grafito-gas" cumplen esta condición satisfactoriamente.
- 15.

- 2^a).- Las fugas a la altura de las juntas 30 entre los bloques de grafito 6 de una misma columna, deben reducirse suficientemente para no corto-circuitar el flujo según las flechas f'. De un modo más preciso, las fugas deben ser reducidas a un nivel especialmente inferior al que se tolera en los reactores grafito-gas actuales. En la forma de realización de las figuras 1 y 2, los bloques 6 incluyen una prolongación tubular 32 superior que se ajusta en un machihembrado de forma correspondiente del bloque situado por encima. Evidentemente pueden adoptarse otras soluciones en lugar de la anterior o además de ésta.
- 20.
 - 25.
 - 30.



La diferencia de presión entre el conducto derivado 26 y el canal 4 va en aumento desde la entrada hasta la salida, y, la protección mejorada asegurada por la invención, es poco sensible en la posición terminal alta del apilamiento. Fero en esta zona la corrosión es igualmente poco importante ya que el flujo neutrónico es deprimido, sobre todo cuando las barras de control y de compensación son introducidas desde la parte superior, que es el caso más frecuente.

La disposición representada en la figura 1, asegura la circulación de un caudal de refrigerante en el seno de la masa de los bloques de moderador 6, e igualmente a través de las cubiertas 18: ya que no es necesario generalmente proteger a éstas contra la corrosión por el procedimiento según el invento, pues éstas son delgadas y permanecen un tiempo limitado en el reactor; igualmente puede ser necesario reducir su corrosión. Para efectuar esto se podría prevér entre las cubiertas y la pared del canal 4 un intervalo y unir éste a la salida del núcleo por un órgano 34 que proporcione una pérdida de carga localizada $\Delta P'$ de valor intermedio entre ΔP y $\int P$; esta solución exigiría evidentemente una estanquidad satisfactoria, a la altura de los contactos entre cubiertas sucesivas. En la figura 4 se ha representado con trazo continuo la repartición de las presiones a lo largo del canal 4, con trazo discontinuo la repartición de las presiones en el conducto 26, y, con trazo mixto la repartición de las presiones en el intervalo entre las cubiertas y los bloques.



7 NOV. 1954

- La descripción anterior muestra que la realización del procedimiento según la invención, con vistas a asegurar una protección efectiva del moderador, no necesita más que simples disposiciones, sin
5. incidencia notable en la potencia de inyección requerida para la circulación del refrigerante y sobre los cambios de calor entre éste y los cartuchos: se puede, en efecto, mantener el caudal de fuga siguiendo las flechas f' , f'' y f''' de la figura 1, a un valor del orden de $1/100$, o incluso menos, del caudal que recorre los canales.
- 10.

Innecesario es decir, que la invención es aplicable a otros tipos de reactores además de los que utilizan como combustible el uranio metálico no enriquecido.

15. En particular puede ser ventajosamente puesto en práctica en los reactores que utilizan cartuchos de combustible que comprenden un haz de barras de combustible de pequeño diámetro de óxido de uranio enriquecido, refrigerado por gas carbónico a elevada temperatura.
- 20.

La mejora obtenida mediante la realización del procedimiento, ha sido evidenciada por experiencias efectuadas en un bucle de ensayo situado en la piscina de reactor FEGASE.

25. En la sección de ensayo de este bucle, recorrido por anhídrido carbónico a 350°C . y a $26\text{kg}/\text{cm}^2$ han sido situadas conjuntamente:
- una muestra cilíndrica de grafito nuclear de 125 mm. de altura y 90 mm de diámetro, dispuesta para ser simplemente barrida por anhídrido carbónico.
- 30.



5. - una muestra troncocónica del mismo grafito (altura: 30mm.; diámetro: 57,5 y 36mm.), dispuesta en los obturadores que estrangulaban el caudal de refrigerante para crear entre las dos bases circulares una diferencia de presión de 0,1Kg./cm².

Después de una irradiación de 33 días en anhídrido carbónico que contiene 1000 ppm de CH₄, 100 ppm de H₂, 20 ppm de vapor de agua y 0,5-0,8 % de CO, las variaciones en peso han sido las siguientes:

	MUESTRAS	
	cilíndrica	: troncocónica
Flujo medio	0,49 W/g	: 0,45 W/g
Peso inicial	1353,0 g	: 85,2446 g
Peso final	1352,0 g	: 85,3560 g
Variación de peso	-1,0 g	: +0,1114
Variación relativa	-0,07 %	: +0,13 %

20. Se observa que la protección del grafito es completa para la muestra troncocónica cuyos poros están ocupados por CO₂ cuya proporción en CH₄ es muy próxima a la de la muestra.

N O T A

25. Descrita suficientemente la naturaleza del invento, así como la manera de realizarlo en la práctica, debe hacerse constar que las disposiciones anteriormente indicadas son susceptibles de modificaciones de detalle en cuanto no alteren su principio fundamental. También se hace constar que el invento corresponde a una Solicitud de Patente presentada en Francia con fecha y número siguientes: 7 de noviembre de 1966, nº PV.82.815;
30. acogiéndose por lo tanto a los beneficios que conceden



los Convenios Internacionales en vigor. Siendo **7 NOV.** constituye la esencia del referido invento y por lo que se solicita Patente de Invención por 20 años en España sobre: PROCEDIMIENTO PARA REDUCIR LA CORROSION

5. DEL GRAFITO Y REACTOR NUCLEAR QUE COMPRENDE LA APLICACION DEL PROCEDIMIENTO; caracterizándose por lo siguiente:

10. 1.- Procedimiento para reducir la corrosión del grafito, del tipo moderado al grafito y refrigerado mediante circulación de anhídrido carbónico a presión, caracterizado porque se hace circular un pequeño caudal de refrigerante, constituido por anhídrido carbónico que contiene un inhibidor de corrosión, a través de los poros en el seno mismo de las masas de grafito a proteger contra la corrosión.

15. 2.- Procedimiento según la reivindicación 1ª, caracterizado porque se mantiene, en los conductos dispuestos en el moderador paralelamente a los canales ocupados por los cartuchos de combustible y recorridos por el refrigerante, una presión de refrigerante que a un nivel dado a lo largo del sentido de circulación es superior al que reina en el canal.

20. 3.- Reactor nuclear para la realización del procedimiento según las reivindicaciones 1ª y 2ª, que comprende un apilamiento moderador constituido de bloques de grafito y en el que se disponen canales de recepción de los cartuchos de combustible, caracterizado porque incluye conductos derivados dispuestos en el núcleo paralelamente a los canales y separados de éstos por bloques de grafito, comprendiendo los citados

25.

30.



conductos derivados en su porción extrema posterior un órgano que crea una pérdida de carga localizada igual a una fracción notable de la diferencia de presión entre la entrada y salida de los canales.

5. 4.- Reactor nuclear según la reivindicación 3ª, caracterizado porque cuando los cartuchos comprenden cubiertas en grafito se prevé en la porción extrema posterior del intervalo anular entre las cubiertas y los bloques un órgano que proporciona una pérdida de carga localizada.

10. 5.- Procedimiento para reducir la corrosión del grafito y reactor nuclear que comprende la aplicación del procedimiento; tal y como queda descrito sustancialmente en la presente Memoria e ilustrado en los dibujos adjuntos.

15.

Esta Memoria consta de trece hojas escritas a máquina por una sola cara.

Madrid,

7 NOV. 1967

COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE

J. GOMEZ ACEBO Y MODEI
p. p. Firmador: F. Hernández Ruiz

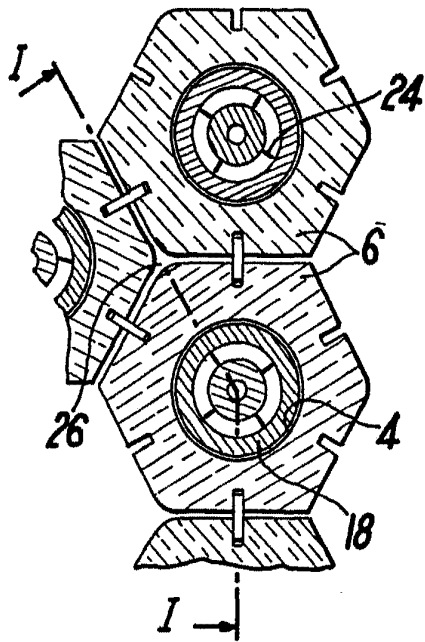


FIG. 2

VALIDE

FIG. 3

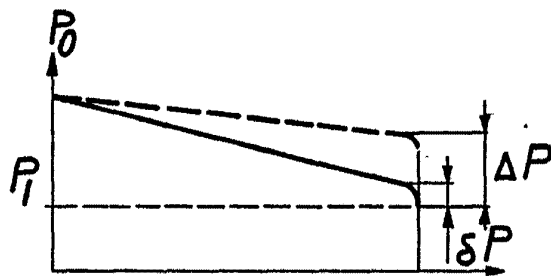
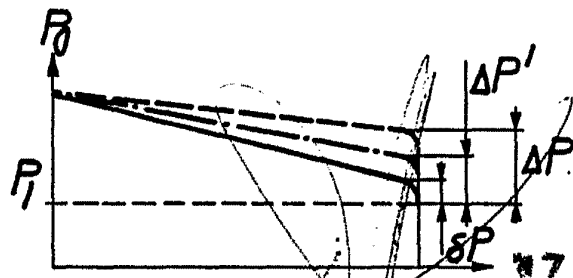


FIG. 4



7 NOV. 1957

