

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 435 716**

51 Int. Cl.:

G21C 17/022 (2006.01)

G21C 19/307 (2006.01)

G21D 3/08 (2006.01)

C23F 11/12 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.09.2008 E 08869404 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.05.2013 EP 2193524**

54 Título: **Planta de energía nuclear de reactor de agua en ebullición con inyección de alcohol**

30 Prioridad:

28.09.2007 US 904657

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

23.12.2013

73 Titular/es:

**AREVA NP INC. (100.0%)
3315 OLD FOREST ROAD MAIL CODE OF-13
LYNCHBURG, VA 24501, US**

72 Inventor/es:

**STELLWAG, BERNHARD y
POP, MIHAI, G.M.**

74 Agente/Representante:

CURELL AGUILÁ, Mireia

ES 2 435 716 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Planta de energía nuclear de reactor de agua en ebullición con inyección de alcohol.

- 5 La invención se refiere en general a las plantas de energía nuclear y, más particularmente a las plantas de energía nuclear con reactores de agua en ebullición (BWR).

Antecedentes

- 10 La oxidación causada por oxidantes tales como el oxígeno y peróxido de hidrógeno en el agua de refrigeración de los BWR puede causar corrosión bajo tensión (SCC) en los componentes del reactor, y producir corrosión de la vaina de aleación de circonio de las varillas de combustible. Las estrategias de reducción de SCC conocidas para los componentes del reactor tal como los componentes internos del recipiente a presión del reactor (RPV) de los BWR incluyen la química de adición de metales nobles (NMCA) y la química de agua hidrógeno (HWC). Estas estrategias de reducción de SCC pueden reducir la SCC de los componentes internos, pero pueden aumentar la corrosión de la vaina de las varillas de combustible.

- 15 Los procedimientos NMCA se describen por ejemplo en las patentes US n° 5.818.893, n° 5.904.991 y n° 6.793.883, y como se define en la presente memoria NMCA pueden incluir tanto la adición *off-line* u *on-line* de metales nobles.

- 20 La HWC utilizada con NMCA se describe en el apartado de antecedentes de la publicación de la solicitud de patente US 2005/0018805, que a continuación también describe la aplicación de un compuesto reductor de nitrógeno tal como hidrazina en combinación con hidrógeno. También se da a conocer la aplicación de un alcohol tal como metanol con hidrazina. El documento DE 100 30 726 describe la aplicación de sustancias fotocatalíticas para depositarlas en componentes internos de reactor, y menciona la inyección de hidrógeno o metanol.

- 25 La aplicación de metanol para reducir los efectos oxidantes se describe en la publicación de la solicitud de patente US 2005/0135542, así como en la publicación titulada "Study of the Methanol Injection in Reactor Water in Reactor Water of BWR Plants" por Saneshige *et al.* presentado en el Proc. Symp. on Water Chemistry and Corrosion of Nuclear Power Plants in Asia, 11 a 13 octubre 2005, Gyeongju, Corea.

- 30 Parada y puesta en marcha de los BWR puede ocurrir a intervalos regulares, por ejemplo, cada uno a tres años, y presentan químicas del agua muy diferentes que durante la operación normal. Como se ha expuesto, por ejemplo, en la publicación "The First Application of Hydrogen Water Chemistry during Start-up for Mitigation of SCC initiation in Tokai-2 BWR" por Takiguchi y Otoha, la concentración de oxidante en el agua del reactor es alta durante la puesta en marcha. La publicación describe la adición de HWC durante la puesta en marcha mediante un sistema de inyección de hidrógeno adicional.

- 35 La publicación de patente US 2005/0018805 describe también la adición de hidrógeno y un compuesto de nitrógeno reductor durante la puesta en marcha y la parada.

Sumario de la invención

- 40 Mientras que se conoce la utilización de la HWS durante la puesta en marcha, este procedimiento tiene varios inconvenientes. El contacto del hidrógeno con bolsas de aire que pueden estar presentes durante las necesidades de puesta en marcha debe evitarse para impedir la posibilidad de una reacción explosiva. Además, la utilización de la HWC durante la puesta en marcha tiene otros inconvenientes que figuran en la publicación "The First Application of Hydrogen Water Chemistry during Start-up for Mitigation of SCC initiation in Tokai-2 BWR" tales como no ser capaz de mantener un concentración objetivo adecuada durante determinadas condiciones de operación de puesta en marcha. Las condiciones variables tanto durante la puesta en marcha como en la parada, tal como una cantidad variable de refrigerante que circula a través del reactor y las temperaturas variables del reactor, hacen apropiada por lo tanto la dosis de hidrógeno gaseoso sumamente difícil. Por otra parte, la inyección de hidrógeno puede no ser posible en otros momentos, por ejemplo durante la reparación o el mal funcionamiento.

- 45 Los metales nobles a menudo también comienzan a tener un efecto reducido como catalizadores durante determinados períodos, por ejemplo, cuando se hace funcionar a temperaturas de 250 grados Celsius o inferior y cuando la inyección de hidrógeno no está disponible. Durante la puesta en marcha y la parada, las temperaturas descienden por debajo de estos niveles y la inyección de hidrógeno es compleja.

- 50 Un objetivo de la invención es el de reducir la oxidación y reducir la corrosión en los componentes del núcleo del reactor y vainas de combustible durante los períodos en los que la HWC no está disponible o es deseable, por ejemplo, durante el mal funcionamiento del sistema de inyección de la HWC o la puesta en marcha y la parada del reactor. Otro objetivo alternativo o adicional de la presente invención es proporcionar seguridad, menos costes y/o menos reducción de la oxidación del complejo.

- 55 La presente invención proporciona una planta de energía nuclear que incluye un BWR, un sistema de refrigeración

del reactor que enfría la BWR, un sistema de inyección de hidrógeno HWC conectado al sistema de refrigeración del reactor, y un sistema de inyección de alcohol conectado al sistema de refrigeración del reactor según la reivindicación 1.

5 Al proporcionar un sistema de inyección de alcohol aparte además del sistema de inyección de hidrógeno, la utilización de hidrógeno o alcohol para diferentes regímenes de operación, por ejemplo, durante la puesta en marcha y parada a diferencia de las condiciones normales de funcionamiento, de forma favorable se puede controlar. El alcohol así de forma favorable se puede proporcionar como un sistema de inyección de seguridad en momentos en que el sistema de inyección de hidrógeno es inoperable o de otro modo no está disponible. La utilización de alcohol, que se puede proporcionar en forma líquida y no explota al entrar en contacto con las bolsas de aire, que también mejora favorablemente la seguridad, necesita un seguimiento menos minucioso y necesita menos equipo de suministro menos complejo.

15 Los componentes adicionales, tales como un sistema de inyección de compuesto de nitrógeno reductor, y el sistema de inyección NMCA favorablemente se pueden proporcionar también.

La presente invención también proporciona un procedimiento para hacer funcionar una planta de energía nuclear que incluye proporcionar un alcohol para un BWR durante la puesta en marcha o la operación de parada según la reivindicación 17.

20 Alcohol no ha sido considerado adecuado normalmente para la puesta en marcha o la parada, ya que, tal como se describe en la publicación de patente US 2005/0018805, los niveles de radiación durante la puesta en marcha y parada fueron a intensidades inferiores y los alcoholes se consideraban generalmente útiles cuando estaba presente la radiación gamma. Sin embargo, la presente invención reconoce que la utilización de alcohol en lugar de HWC durante la puesta en marcha o la parada permite favorablemente alguna reducción de oxidación, mientras que se reducen los riesgos relacionados con las explosiones se simplifican los requisitos de los equipos. El sistema adicional de inyección de alcohol se puede añadir a las plantas de energía nuclear BWR existentes o proporcionarse a nuevas plantas de energía, y puede conectarse al refrigerante principal en el reactor a través de, por ejemplo, el sistema de limpieza de agua del reactor (CUW), el sistema de emergencia de refrigeración del núcleo (ECCS), sistema principal de recirculación del bucle (PLR), o el control del sistema de refrigeración que acciona la varilla de control (CLD).

35 Favorablemente, se puede proporcionar al circuito de refrigeración principal BWR hidrazina u otro compuesto de nitrógeno reductor al mismo tiempo que alcohol e hidrógeno para mejorar el rendimiento global de la reducción de la oxidación de los aditivos.

La presente invención también proporciona un procedimiento para hacer funcionar una planta de energía nuclear, incluyendo el proporcionar tanto hidrógeno como un alcohol a un circuito de refrigeración principal BWR durante la operación normal de la planta de energía según la reivindicación 20.

40 En el pasado, el metanol se vio como una alternativa al hidrógeno. Al proporcionar tanto hidrógeno como metanol, la mezcla de hidrógeno y metanol puede alterarse como se desee para proporcionar una reducción de la oxidación adecuada. Pueden conseguirse valores moderados del potencial electroquímico negativo (ligeramente inferiores a -240 mV), mientras que todavía se proporcionan especies reductoras de oxígeno de ambos tipos. Por otra parte, la protección de la seguridad por lo tanto se puede proporcionar, por ejemplo, cuando la cantidad de hidrógeno almacenado para la HWC se está agotando, o la inyección de hidrógeno no se produce, el metanol puede dosificarse con el hidrógeno para reducir la cantidad de hidrógeno que se utiliza.

Breve descripción de los dibujos

50 Una forma de realización preferida la presente invención se describirá con respecto a los dibujos en los que:

La figura 1 muestra una forma de realización de una planta de energía nuclear según la presente invención;

55 La figura 2 muestra más detalles de los inyectores de hidrazina y metanol de la forma de realización de la figura 1;

60 La figura 3 muestra las cantidades de hidrógeno y metanol para proporcionar un efecto equivalente a 1,2 ppm de hidrógeno en un núcleo de un reactor BWR de 900 MWe; y

La figura 4 muestra el efecto de la polarización sobre la oxidación y el repunte de hidrógeno (HPU) de circonio en agua a 315-350°C.

Descripción detallada de una forma de realización preferida

65 La figura 1 muestra esquemáticamente una forma de realización preferida de una planta de energía nuclear BWR 10 según la presente invención. La planta de energía nuclear 10 tiene un BWR 20 que tiene un núcleo 22 con

numerosas varillas de combustible que tienen, por ejemplo, combustible de dióxido de uranio en tubos de aleación de circonio, un tubo de bajada 26 y un tubo ascendente 28, mostrados esquemáticamente. El tubo de bajada 26 está conectado a una entrada del refrigerante principal 24, el cual recibe agua desde una tubería del refrigerante principal 30. El núcleo 22 calienta agua de la tubería de refrigerante principal 30, que tiene una rama caliente 32 que proporciona vapor a una turbina 40 que acciona un generador 42. Un condensador 44 condensa el vapor dentro del agua, que sale del condensador en una rama fría 34 de la tubería refrigerante 30, y se bombea de nuevo a la entrada 24 y el tubo de bajada 26.

Un sistema de refrigeración de accionamiento de las varillas de control (CLD) 50 se puede proporcionar para enfriar un accionamiento para controlar las varillas insertadas en el núcleo 22. Un inyector de hidrógeno 60 al HWC puede inyectar hidrógeno en la rama fría 34, y un inyector para la NMCA 62 puede proporcionar un metal noble, por ejemplo, platino, en rama fría 34 también, de modo que el reactor 20 experimenta HWC y NMCA durante los periodos normales de operación.

Se puede proporcionar también un ECCS 70, PLR 80 y CUW 90, todos mostrados esquemáticamente.

La forma de realización específica de la figura 1 proporciona un inyector de metanol 100 y un inyector de hidrazina 110, que están conectados a CUW 90 por ejemplo, corriente abajo de una bomba de CUW. El metanol y la hidrazina por lo tanto se pueden inyectar en agua que entra en rama fría 34 de la línea de refrigeración primaria 30 por CUW 90, y pueden circular a través del reactor 20. También se pueden utilizar líneas de muestra CUW refrigeradas para recibir fluidos inyectores 100, 110. Los inyectores 100, 110 también pueden estar situados en los ECCS 70, PLR 80 o CLD 50. Alternativamente, un inyector existente, tal como el utilizado para la inyección de sodio-24 y conectado a CUW 90, también podría modificarse para utilizar como un inyector 100 o 110. El lugar preferido es más allá de algunos lechos de resina.

La cantidad de metanol e hidrazina inyectada puede controlarse mediante un controlador 120, que puede recibir una entrada procedente de uno o más detectores 130, por ejemplo, que controlan la concentración de metanol, hidracina o hidrógeno en el tubo de bajada 26. Se pueden inyectar cantidades de metanol preestablecidos considerando, por ejemplo, los valores de hidrógeno en el tubo de bajada 26. Los detectores 130 también pueden medir un potencial electroquímico (ECP) de uno o más componentes de reactor 20 o núcleo 22, por ejemplo la vaina de las varillas de combustible.

La figura 2 muestra una forma de realización de inyector de metanol 100 e inyector de hidrazina 110, que puede incluir los tanques 104, 114, respectivamente, conectados a la tubería de CUW 90. Las bombas dosificadoras 102, 112 pueden descargar, respectivamente, metanol y/o hidrazina en CUW 90, y se pueden controlar cada una mediante el controlador 120. El controlador 120 puede ser el mismo controlador que controla las operaciones de puesta en marcha y parada de la instalación o un controlador independiente. Alternativamente, en una forma de realización del inyector asistido por gravedad, la cantidad de metanol o hidrazina proporcionado puede controlarse abriendo y cerrando las válvulas, con los tanques suspendidos por encima de la tubería.

Aunque se prefiere el metanol, otros alcoholes pueden enviarse, incluyendo el etanol y propanol, que también se prefieren. Sin embargo, el ácido fórmico, el formaldehído y el acetaldehído son otros ejemplos de alcoholes adecuados.

Mientras que la hidrazina es el compuesto de nitrógeno reductor preferido, otros compuestos tales como el amoníaco (NH_3) son también posibles.

En un procedimiento de la presente invención, el alcohol se inyecta en el refrigerante principal para establecer una concentración de alcohol de 0,1 a 300 $\mu\text{mol/kg}$ (\approx 0,0032 a 9,6 ppm para metanol) en el tubo de bajada 26 durante la puesta en marcha o parada o en otro momento cuando HWC 60 no está funcionando, por ejemplo, cuando HWC no funciona correctamente. Aún más preferentemente, la concentración de alcohol es inferior a 10 $\mu\text{mol/kg}$.

La hidrazina también se proporciona preferentemente durante la parada y puesta en marcha en el refrigerante principal para establecer una concentración máxima de hidrazina de 300 $\mu\text{mol/kg}$ en el tubo de bajada 26.

En otro procedimiento de la presente invención, resulta ventajoso utilizar tanto inyección de hidrógeno como de metanol durante la operación normal. También es posible utilizar todos los inyectores de productos químicos que contienen hidrógeno, tales como para el hidrógeno, metanol e hidrazina, al mismo tiempo. Los diversos inyectores químicos que contienen hidrógeno pueden estar sincronizados o no debido a las diversas fases de la operación. Preferentemente, debe añadirse la combinación de los productos químicos que contienen hidrógeno, estequiométricamente equivalente con respecto al hidrógeno, mantenerse alrededor o por debajo del equivalente de 10 $\mu\text{mol/kg}$ de metanol. La dosificación de hidrógeno, alcohol o hidrazina, después de exceder de un determinado límite puede dar lugar a varios resultados desfavorables, y por lo tanto el límite de todos los productos químicos que contienen hidrógeno inyectado no excede el equivalente de 300 $\mu\text{mol/kg}$ de metanol.

La figura 3 presenta las cantidades de metanol que deben inyectarse en el agua de alimentación de un BWR

eléctrico convencional de 900 MW durante el funcionamiento normal, de modo que el efecto en el núcleo del reactor sería el proporcionado por una inyección en el agua de alimentación de 1,2 ppm de hidrógeno. Es una ilustración de los cálculos estequiométricos que implican sólo dos componentes: metanol e hidrógeno. La difusión de hidrógeno en el tubo de bajada y el arrastre de hidrógeno con vapor se consideran en los cálculos de la figura 3. La columna 1 es por lo tanto la concentración FC en el agua de alimentación del hidrógeno proporcionado por HWC 60, la columna 2 la concentración RC prevista en el tubo de bajada durante el funcionamiento normal, y la columna 3 la concentración CC de hidrógeno prevista en el núcleo durante el funcionamiento normal. La columna 4 muestra el hidrógeno diferencial predicho a medida que desaparece del núcleo a medida que la concentración de hidrógeno en el agua de alimentación disminuye y la columna 5 el metanol equivalente que se debe proporcionar para compensar. Las columnas 6, 7 y 8 a continuación muestran las concentraciones de metanol deseadas en el agua de alimentación, el tubo de bajada y el núcleo, respectivamente, para compensar estequímicamente la inyección de hidrógeno reducida por HWC 60. Cálculos similares se pueden realizar cuando se trata de tres o más componentes y uno está reemplazando al otro en etapas sucesivas (cuando uno disminuye otro aumenta).

Además, el metanol es más eficaz que el hidrógeno en la reducción de concentraciones de peróxido de hidrógeno y en la producción de valores negativos de ECP, como se expone, por ejemplo, en la publicación "Reasons and Criteria for Selection of Methanol as an Alternative to Hydrogen for BWR Plants" presentada en el 5th International Workshop on LWR Coolant Water Radiolysis and Electrochemistry, San Francisco, octubre de 2004 por Bernhard Stellweg y Wilfried Ruehle. Los datos experimentales en el campo de radiación demuestran que el peróxido de hidrógeno es de aproximadamente menos del doble con metanol que con hidrógeno a las mismas relaciones molales de oxígeno. Además, el metanol es aproximadamente tres veces más eficaz que el hidrógeno para alcanzar el mismo ECP en función de la relación molal de oxígeno.

Podrían proporcionarse detectores 130 para asegurar concentraciones RC exactas en el tubo de bajada mediante seguimiento de las concentraciones de hidrógeno y de metanol en el tubo de bajada 26.

Ejemplos de uso mixto preferido, con tres inyectoros 100, 110, 60 incluyen:

- A. inyección de metanol a un nivel constante, mientras que aumenta la inyección de hidrazina y disminuye la inyección de hidrógeno (parada);
- B. tanto la inyección de metanol como la de hidrazina aumentando mientras no hay inyección de hidrógeno (comienzo de puesta en marcha);
- C. metanol inyectado a un nivel constante con hidrazina aumentando todavía y sin inyección de hidrógeno (fin de puesta en marcha);
- D. inyección de metanol constante con hidrazina disminuyendo y aumentando hidrógeno (comienzo del funcionamiento normal de HWC o NMCA);
- E. inyección de metanol aumentando o disminuyendo para compensar la pérdida de la inyección de hidrógeno durante el funcionamiento normal; y
- F. inyección de metanol aumentando o disminuyendo para compensar los efectos sobre ECP durante la inyección de NMCA en línea.

En la figura 4, se resume una gran cantidad de investigación demostrando que la captación de hidrógeno (HPU) en circonio o la fracción de captación de hidrógeno (HPUF) y la oxidación aumenta drásticamente, si el ECP de la varilla de combustible se vuelve catódico (negativo) y se vuelve inferior a -300 mV. Se prefieren por lo tanto niveles de ECP de -300 mV o superior en cuanto se refiere a la operación de combustible. La concentración en el agua de alimentación de las combinaciones de todos los agentes reductores (hidrógeno + metanol + hidrazina) aplicada a un BWR puede ser tal que proporcione un medio reductor caracterizado por un potencial ECP frente al electrodo de referencia de Pt (platino), alrededor o mayor de -300 mV (por ejemplo, -260 mV). Para proteger tanto a los componentes internos de reactor BWR como también para mantener un margen de aumento de operación de combustible, el potencial ECP frente al electrodo de referencia de Pt (platino) alrededor de o superior a -300 mV (por ejemplo, -260 mV), preferentemente se debe mantener, en lugar de -500 mV impuestos generalmente por los operadores para reducir al mínimo el SCC de los componentes internos.

En la presente invención, es preferible utilizar metanol. Alternativamente, se pueden utilizar otros alcoholes adecuados incluyendo, por ejemplo, etanol o propanol, o una mezcla de cualquiera de éstos.

En la memoria anterior, la invención se ha descrito haciendo referencia a formas de realización ilustrativas específicas y ejemplos de las mismas. Será evidente, sin embargo, que se pueden hacer varias modificaciones y cambios a las mismas sin apartarse del alcance de la invención como se establece en las reivindicaciones siguientes. La memoria y los dibujos deben considerarse en consecuencia de una manera ilustrativa en lugar de en sentido restrictivo.

REIVINDICACIONES

1. Planta de energía nuclear que comprende:
- 5 un reactor de agua en ebullición;
- un sistema de refrigeración del reactor que enfría el reactor de agua en ebullición;
- 10 un sistema de inyección de hidrógeno de la química de agua hidrógeno conectado al sistema de refrigeración del reactor;
- caracterizado porque la planta de energía nuclear comprende además:
- 15 un sistema de inyección de alcohol (100) conectado al sistema de refrigeración del reactor (30); y
- un controlador conectado al sistema de inyección de alcohol, controlando el controlador la inyección mediante el sistema de inyección de alcohol, de manera que una reducción en la inyección de hidrógeno en el reactor de agua en ebullición se compense inyectando una cantidad de alcohol estequiométricamente equivalente a la inyección de hidrógeno reducida.
- 20 2. Planta de energía nuclear según la reivindicación 1, en la que el alcohol es metanol.
3. Planta de energía nuclear según la reivindicación 1, en la que el alcohol incluye por lo menos uno seleccionado de entre un grupo que incluye metanol, etanol y propanol.
- 25 4. Planta de energía nuclear según la reivindicación 1, en la que el reactor de agua en ebullición incluye un tubo de bajada, el sistema de inyección de alcohol capaz de proporcionar alcohol al tubo de bajada y el sistema de inyección de hidrógeno (60) de la química de hidrógeno agua capaz de proporcionar hidrógeno al tubo de bajada.
- 30 5. Planta de energía nuclear según la reivindicación 1, que comprende además un sistema de limpieza del agua del reactor conectado al reactor de agua en ebullición.
6. Planta de energía nuclear según la reivindicación 5, en la que el sistema de inyección de alcohol tiene una entrada en el sistema de limpieza del agua del reactor.
- 35 7. Planta de energía nuclear según la reivindicación 1, que comprende además un inyector de adición de la química de metales nobles conectado al sistema de refrigeración.
8. Planta de energía nuclear según la reivindicación 7, en la que el inyector de adición de la química de metales nobles inyecta platino en el sistema de refrigeración.
- 40 9. Planta de energía nuclear según la reivindicación 1, que comprende además unos detectores que detectan una concentración de alcohol o hidrógeno, estando los detectores conectados al controlador.
- 45 10. Planta de energía nuclear según la reivindicación 1, en la que el controlador controla el sistema de inyección de alcohol para inyectar alcohol dentro del reactor de agua en ebullición durante la puesta en marcha y la parada del reactor de agua en ebullición.
- 50 11. Planta de energía nuclear según la reivindicación 1, en la que el reactor de agua en ebullición incluye un tubo de bajada, controlando el controlador el sistema de inyección de alcohol para inyectar alcohol dentro del reactor de agua en ebullición, de manera que el tubo de bajada tenga una concentración de alcohol comprendida entre aproximadamente 0,1 y 300 $\mu\text{mol/kg}$.
- 55 12. Planta de energía nuclear según la reivindicación 11, en la que el controlador controla el sistema de inyección de alcohol para inyectar alcohol dentro del reactor de agua en ebullición, de manera que el tubo de bajada tenga una concentración de alcohol inferior a 10 $\mu\text{mol/kg}$.
- 60 13. Planta de energía nuclear según la reivindicación 1, que comprende además un inyector de compuesto de nitrógeno reductor conectado al sistema de refrigeración.
- 65 14. Planta de energía nuclear según la reivindicación 13, en la que el controlador controla la inyección mediante el inyector de compuesto de nitrógeno reductor, de manera que el inyector del compuesto de nitrógeno reductor proporcione hidrazina u otro compuesto de nitrógeno reductor al reactor de agua en ebullición al mismo tiempo que el alcohol y/o el hidrógeno.
15. Planta de energía nuclear según la reivindicación 13, en la que el controlador controla la inyección mediante el

sistema de inyección de alcohol y el inyector de compuesto de nitrógeno reductor, de manera que la concentración combinada de alcohol, hidrógeno y compuesto de nitrógeno reductor sea inferior a 10 $\mu\text{mol/kg}$.

5 16. Planta de energía nuclear según la reivindicación 1, en la que el controlador controla la inyección mediante el sistema de inyección de alcohol, de manera que una vaina del combustible en el reactor de agua en ebullición tenga un nivel de potencial electroquímico superior a -300 mV.

10 17. Procedimiento para hacer funcionar una planta de energía nuclear, comprendiendo dicha planta de energía nuclear un reactor de agua en ebullición que incluye un tubo de bajada; un sistema de refrigeración del reactor que enfría el reactor de agua en ebullición; un sistema de inyección de hidrógeno de la química agua hidrógeno conectado al sistema de refrigeración del reactor y un sistema de inyección de alcohol conectado al sistema de refrigeración del reactor, que comprende: inyectar un alcohol procedente del sistema de inyección de alcohol al reactor de agua en ebullición durante la operación de puesta en marcha para establecer una concentración de alcohol de 0,1 y 300 $\mu\text{mol/kg}$ en el tubo de bajada durante la puesta en marcha, no funcionando el sistema de inyección de hidrógeno de la química agua hidrógeno durante la inyección de alcohol.

15 18. Procedimiento según la reivindicación 17, en el que el alcohol es metanol.

20 19. Procedimiento según la reivindicación 17, en el que el alcohol incluye por lo menos uno seleccionado de entre un grupo que incluye metanol, etanol y propanol.

25 20. Procedimiento para hacer funcionar una planta de energía nuclear, que incluye un reactor de agua en ebullición, un sistema de refrigeración del reactor, un inyector de hidrógeno para inyectar hidrógeno en el sistema de refrigeración del reactor y un inyector de alcohol para inyectar un alcohol en el sistema de refrigeración del reactor, comprendiendo el procedimiento:

30 inyectar hidrógeno procedente del inyector de hidrógeno en el sistema de refrigeración del reactor e inyectar el alcohol procedente del inyector de alcohol en el sistema de refrigeración del reactor durante el funcionamiento normal de la planta de energía, y

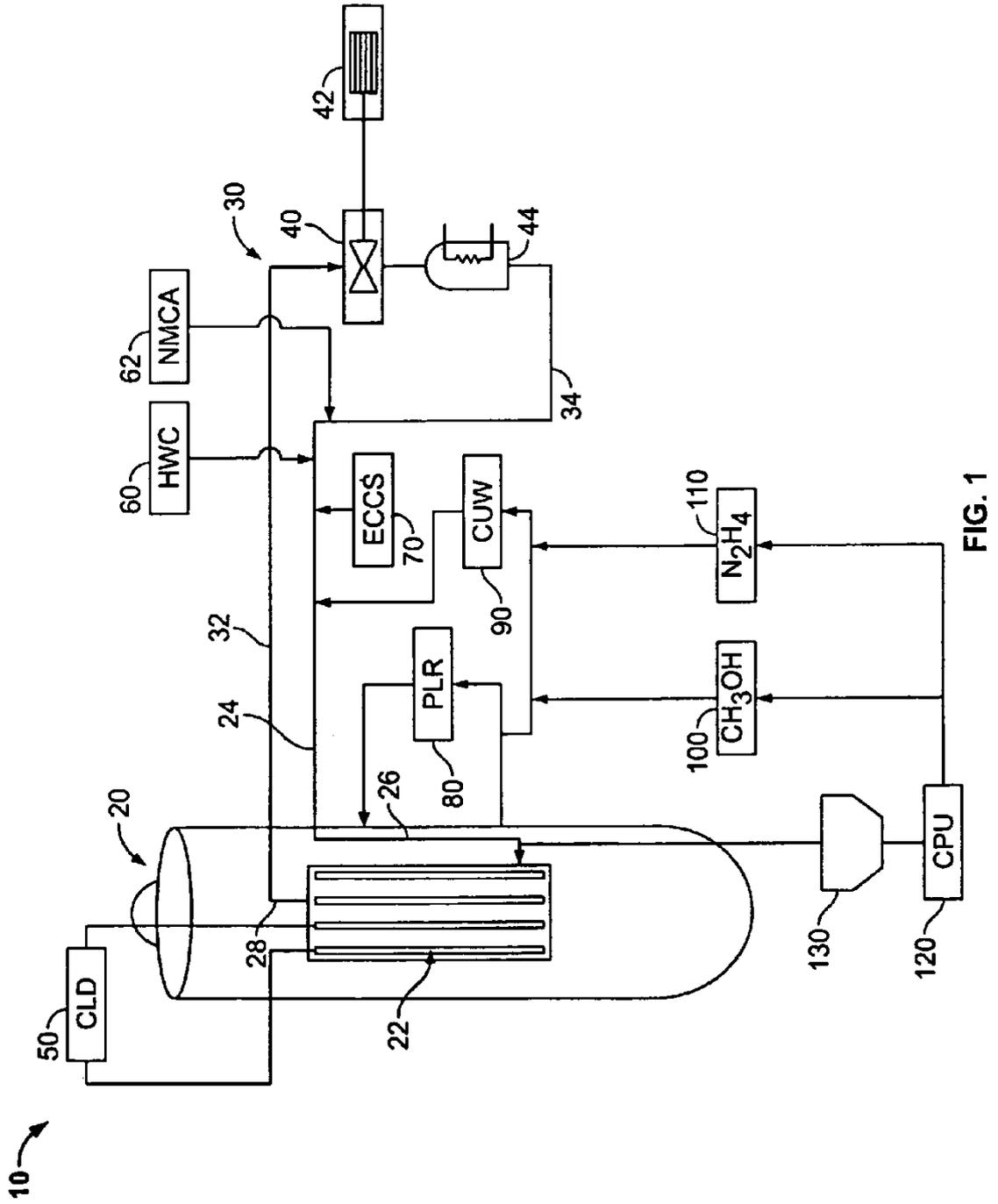
compensar una inyección de hidrógeno reducida en el reactor de agua en ebullición inyectando una cantidad de alcohol estequiométricamente equivalente a la inyección de hidrógeno reducida.

35 21. Procedimiento según la reivindicación 20, en el que el alcohol es metanol.

22. Procedimiento según la reivindicación 20, en el que el alcohol incluye por lo menos uno seleccionado de entre un grupo que incluye metanol, etanol y propanol.

40 23. Procedimiento según la reivindicación 20, en el que el alcohol y el hidrógeno se inyectan a un mismo tiempo durante el funcionamiento normal.

24. Procedimiento según la reivindicación 20, que comprende además proporcionar un compuesto de nitrógeno reductor al BWR.



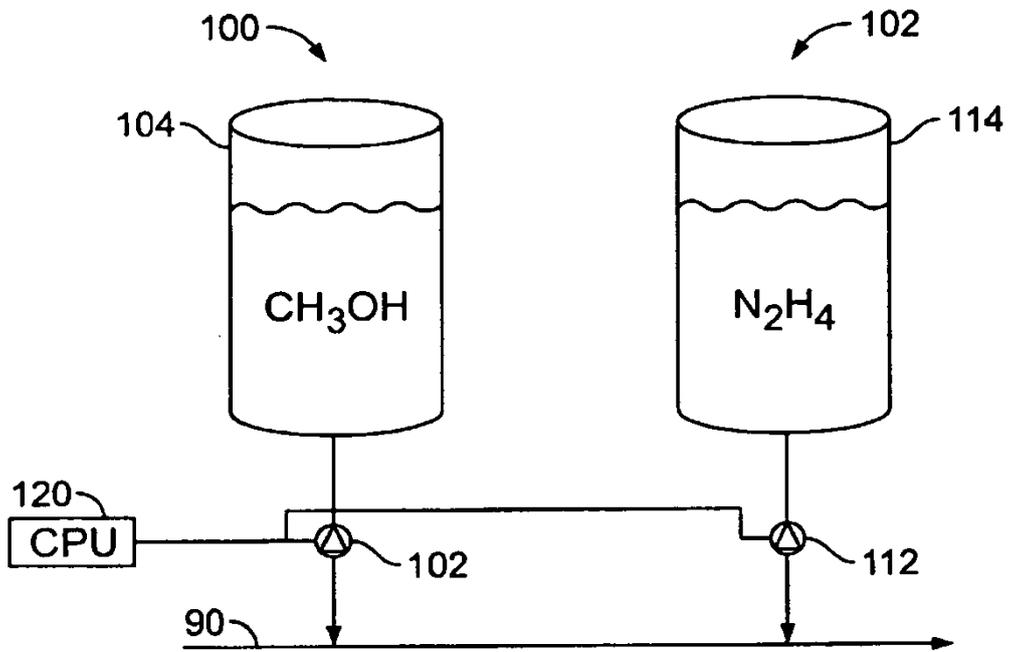


FIG. 2

Cantidades de hidrógeno y metanol para proporcionar el efecto de 1,2 ppm de hidrógeno en el núcleo del reactor BWR de 900 Mwe

| | Hidrógeno mg/kg | Hidrógeno mg/kg | Hidrógeno mg/kg | H2 dif. mg/kg | Equivalente Metanol | Metanol | Metanol | Metanol |
|-----|--------------------|--------------------|--------------------|------------------|------------------------|---------|---------|---------|
| | FC | RC | CC | dCC | dCC | FC | RC | CC |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 0,0 | 1,20 | 0,0067 | 0,1772 | 0,0000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 0,1 | 1,10 | 0,0062 | 0,1624 | 0,0148 | 0,078 | 0,146 | 0,066 | 0,078 |
| 0,2 | 1,00 | 0,0056 | 0,1477 | 0,0295 | 0,156 | 0,293 | 0,133 | 0,156 |
| 0,3 | 0,90 | 0,0051 | 0,1329 | 0,0443 | 0,235 | 0,442 | 0,201 | 0,235 |
| 0,4 | 0,80 | 0,0045 | 0,1181 | 0,0591 | 0,313 | 0,588 | 0,267 | 0,313 |
| 0,5 | 0,70 | 0,0039 | 0,1034 | 0,0738 | 0,391 | 0,735 | 0,334 | 0,391 |
| 0,6 | 0,60 | 0,0034 | 0,0886 | 0,0886 | 0,469 | 0,881 | 0,400 | 0,469 |
| 0,7 | 0,50 | 0,0028 | 0,0738 | 0,1034 | 0,548 | 1,029 | 0,468 | 0,548 |
| 0,8 | 0,40 | 0,0022 | 0,0591 | 0,1181 | 0,626 | 1,175 | 0,534 | 0,626 |
| 0,9 | 0,30 | 0,0017 | 0,0443 | 0,1329 | 0,704 | 1,322 | 0,601 | 0,704 |
| 1,0 | 0,20 | 0,0011 | 0,0295 | 0,1477 | 0,782 | 1,469 | 0,668 | 0,782 |
| 1,1 | 0,10 | 0,0006 | 0,0148 | 0,1624 | 0,861 | 1,617 | 0,735 | 0,861 |
| 1,2 | 0,00 | 0,0000 | 0,0000 | 0,1772 | 0,939 | 1,763 | 0,801 | 0,939 |

FIG. 3

Efecto de la polarización sobre la oxidación y HPU del circonio en agua a 315-350°C [3]

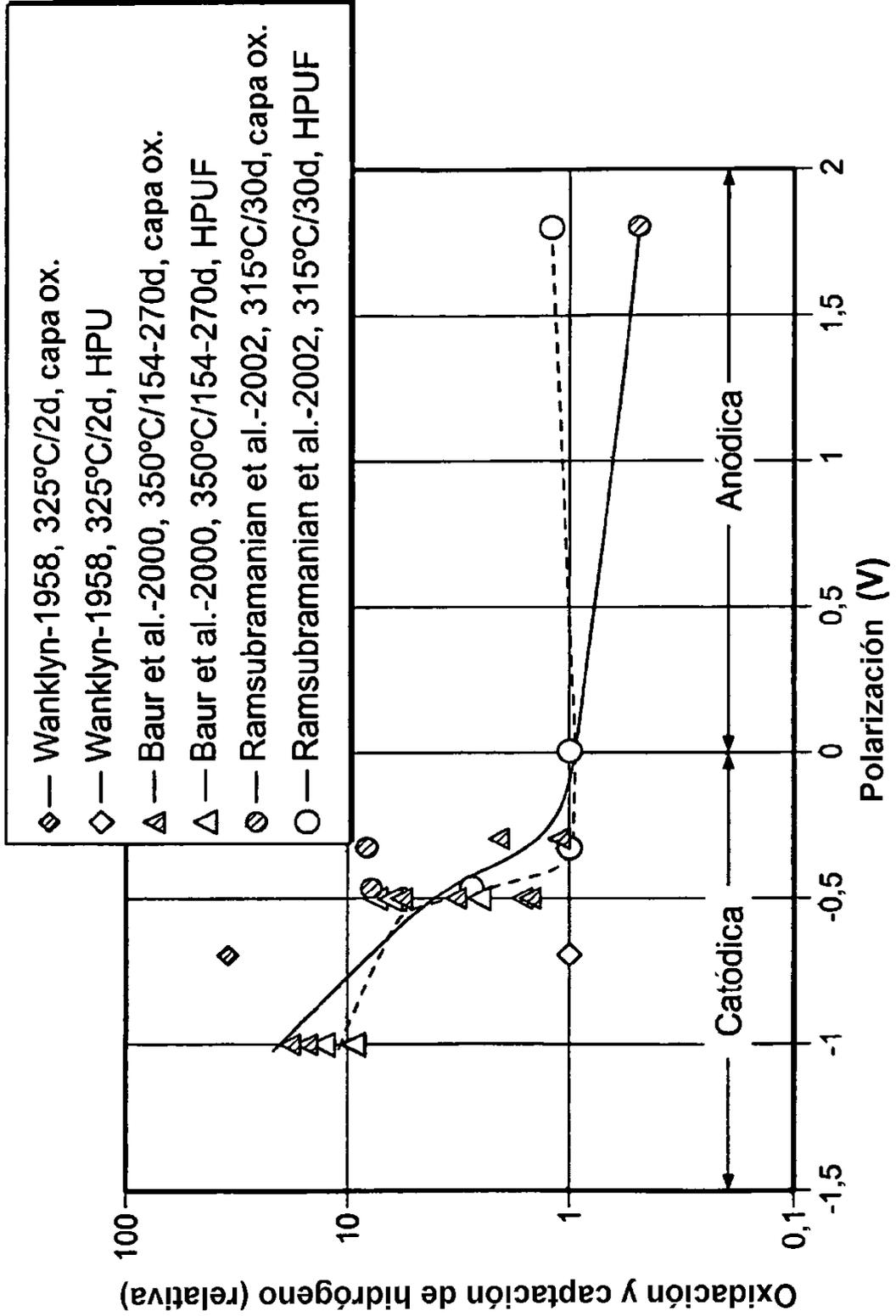


FIG. 4