

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 668 905**

51 Int. Cl.:

**G21D 3/00** (2006.01)

**G21D 3/04** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.03.2013 PCT/US2013/031116**

87 Fecha y número de publicación internacional: **05.12.2013 WO13180806**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.03.2013 E 13798220 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.03.2018 EP 2826040**

54 Título: **Procedimientos de protección de reactores nucleares de la inestabilidad termo hidráulica/neutrónica del núcleo**

30 Prioridad:

**16.03.2012 US 201261611618 P**  
**13.03.2013 US 201313798418**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**23.05.2018**

73 Titular/es:

**WESTINGHOUSE ELECTRIC COMPANY LLC**  
**(100.0%)**  
**1000 Westinghouse Drive**  
**Cranberry Township, Pennsylvania 16066, US**

72 Inventor/es:

**BLAISDELL, JOHN, A.;**  
**CHU, EDWARD, M.;**  
**ROTANDER, CAMILLA, S. y**  
**KUMAR, GURIKAR, V.**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

ES 2 668 905 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

Procedimientos de protección de reactores nucleares de la inestabilidad termo hidráulica/neutrónica del núcleo

**Referencia cruzada a solicitudes relacionadas**

5 La presente solicitud reivindica la prioridad bajo 35 USC Sección 119 (e) de la Solicitud Provisional 61/611.618, titulada " Alternate Stability Solution - for MELLLA+" presentada el 16 de marzo de 2012.

**Campo de la invención**

10 La invención se refiere en general a procedimientos de operación de reactores de energía nuclear, tales como reactores de agua en ebullición, para proteger a los reactores de la inestabilidad termo hidráulica/neutrónica del núcleo en condiciones prolongadas de flujo energético de operación y, en particular, cuando se implementa un aumento de potencia extendida.

**Antecedentes**

15 En general, los reactores de agua en ebullición (BWR) tienen una relación característica entre el flujo de núcleo y la generación de potencia. Para una cantidad fija de extracción de la varilla de control del núcleo, se pueden establecer líneas de varillas constantes (también llamadas líneas de control de flujo y líneas de carga, por ejemplo, Análisis de Límite de Línea de Carga Extendida Máxima (MELLLA) y MELLLA+). Aumentar lentamente el flujo del núcleo aumentará la potencia a lo largo de estas líneas de varillas constantes al reducir los vacíos en el moderador y su retroalimentación de reactividad vacía. Los límites de la línea de carga se establecen para satisfacer diversos límites de seguridad, incluidos los límites térmicos del combustible.

20 A medida que se implementan aumentos de potencia (por ejemplo, hasta 120 % de la potencia con licencia original), los límites de la línea de carga se elevan para realizar el incremento de la generación de potencia en un límite de flujo del núcleo de diseño (máximo). Sin embargo, la estabilidad termo hidráulica del núcleo se agrava por los aumentos de potencia y cambia el mapa operativo de potencia/flujo en una dirección que provoca una propensión a encontrar inestabilidad en la esquina superior izquierda del mapa de potencia/flujo (es decir, alta potencia/flujo de núcleo bajo condiciones), como se muestra en la figura 1. La operación inestable del núcleo del reactor puede dar como resultado una generación divergente de flujo de neutrones (y flujo de calor) debido a la resonancia que se produce entre la retroalimentación de la reactividad de vacío y la generación de flujo de calor que afecta a la creación de vacío. Las oscilaciones de potencia divergentes pueden dar lugar a un secado y una humectación alternativos del revestimiento del combustible y, finalmente, a provocar fallos en el revestimiento. Por lo tanto, es muy conveniente evitar el funcionamiento del núcleo en esta región del mapa de potencia/flujo (esquina superior izquierda).

35 Las soluciones de estabilidad a largo plazo del grupo de propietarios el agua del reactor de ebullición de agua (BWROG) están diseñadas para la detección y la supresión de las inestabilidades que pueden comprometer la integridad de combustible. Existen diferentes enfoques que son adecuados para varios tipos y tamaños de reactor, dependiendo de las propiedades específicas de estabilidad de la planta. Un enfoque ampliamente aplicado es la solución Opción III que, aparte de las regiones de exclusión de estabilidad administrativa basadas en análisis de estabilidad fuera de línea, protección de estabilidad de respaldo (BSP), incluye sistemas de hardware y software del monitor de rango de potencia de oscilación (OPRM) que implementan tres algoritmos de detección de oscilación. El sistema OPRM utiliza agrupaciones de las señales del detector de rango de potencia local (LPRM) como entrada.

40 La protección de estabilidad de respaldo es una parte de la metodología de la opción III, aplicada cuando el sistema OPRM no es operable. Se basa en cálculos de estabilidad para los modos de oscilación hidráulica global, regional y térmica. La "región de parada de emergencia" es el límite que representa el límite de estabilidad para el modo menos estable. La "región de entrada controlada" es un límite establecido con un margen apropiado para la "región de parada de emergencia".

45 Como se muestra en la figura 1, un sistema OPRM está "armado" (habilitado para activación) en un dominio operativo definido por la región izquierda y puntos superiores MFG, región 1. Si se excede el punto de ajuste del sistema OPRM, que indica la presencia de oscilaciones de potencia inestables (crecientes), se inicia un bloqueo automático o una inserción de varilla seleccionada para suprimir la operación inestable antes de que las oscilaciones tengan el potencial de causar daño del combustible. El punto de ajuste del sistema OPRM está determinado por el análisis de estabilidad prescrito por la relación delta relación de potencia crítica (CPR) sobre la metodología de CPR mínima inicial (IMCPR) frente a la magnitud de oscilación (DIVOM). La metodología DIVOM relaciona la magnitud de oscilación de secado con la magnitud de oscilación de canal caliente (HCOM). El punto de ajuste del sistema OPRM se determina luego por una tabla donde el HCOM está relacionado con la amplitud de

oscilación OPRM. El HCOM limitante se determina a partir de los cálculos en una curva 3 de circulación natural (mostrada en la figura 1) en la condición de quemado límite durante el ciclo. Los cálculos se realizan para el modo de oscilación regional, ya que esto es limitante con respecto a la relación entre las oscilaciones de potencia del canal de secado y de canal caliente.

5 La existencia de oscilaciones de potencia inestables divergentes puede impugnar la relación de potencia crítica mínima de límite de seguridad (SLMCPR). Las oscilaciones de potencia implican que el flujo de calor y el flujo de refrigerante oscilan y, posteriormente, el MCPR. La metodología DIVOM establece un punto de ajuste OPRM que asegura que el SLMCPR no se viole debido a la presencia de oscilaciones crecientes resultantes de eventos de inestabilidad anticipados. Como se muestra en la figura 1, esta opción ha sido aprobada para operar hasta una línea 5 de varillas de control MELLLA según lo define BC'.

10 Cuando se implementan los aumentos de potencia, es altamente deseable para permitir el funcionamiento por encima de la línea 5 de varilla de control MELLLA hasta una línea 7 de varilla superior (que se muestra en la figura 1) designado MELLLA+ que se define por DE'. El punto de estado de análisis para la metodología DIVOM, estableciendo el punto establecido OPRM, se define en la línea de varilla más alta en la curva 3 de circulación natural, o el punto de estado alcanzado después de una doble activación de bomba, es decir, E' en la figura 1.

15 Alternativamente, como se muestra en la figura 1, operación en un dominio 9 MELLLA+, cuando la ventana de flujo se incrementa a la izquierda a máxima potencia, significa que una doble activación de bombeo desde D terminará a una potencia mayor en la curva 3 de circulación natural que para un dominio MELLLA, es decir, terminará en E' en lugar de en C'. Este punto de estado (E') es menos estable que el punto de estado original (MELLLA) (C'), y los canales de combustible individuales pueden estar cerca o superar el límite de estabilidad termo hidráulica. Esto podría conducir a oscilaciones de canales calientes caóticas o divergentes rápidamente que implican el fracaso de la metodología DIVOM.

20 La metodología DIVOM calcula una relación entre las oscilaciones en seco fuera y oscilaciones de potencia de canal caliente para los canales de limitación y, por tanto, si la estabilidad termo hidráulica se deteriora, las pequeñas oscilaciones de potencia pueden causar grandes oscilaciones de flujo de canal y en consecuencia grandes oscilaciones en seco. La relación DIVOM se hace más pronunciada, y el HCOM aceptable se vuelve más pequeño. En consecuencia, el punto de referencia para el sistema OPRM disminuye. El punto de ajuste para el sistema OPRM refleja la magnitud de oscilación LPRM relativa. Si el punto de ajuste es demasiado bajo, el sistema OPRM puede evitar oscilaciones que estén en el rango del nivel de ruido del reactor. Sin embargo, si el punto de ajuste es demasiado alto, el reactor puede continuar operando durante condiciones de inestabilidad (canal) termo hidráulica.

25 Otra solución conocida de estabilidad opción 1-D utiliza el sistema de protección del reactor existente (RPS) para proporcionar una función de detectar y suprimir automática suficiente. Como se muestra en la figura 1, un límite de seguridad MCPR está protegido por una activación 4 de flujo sesgado APRM (sin establecer hacia abajo) para una oscilación del modo ancho del núcleo anticipada. Las plantas de opción 1-D tienen orificios de entrada ajustados y un tamaño de núcleo pequeño que hace que la probabilidad de oscilaciones regionales sea muy baja. La metodología DIVOM para esta opción se basa en las oscilaciones globales. Las preocupaciones con respecto a la aplicabilidad de la metodología DIVOM para la opción III son igualmente aplicables a la opción 1-D.

30 Para la opción 1-D, el fallo de la metodología DIVOM significa que la inestabilidad termo hidráulica se produce por debajo de la línea 4 de activación de sesgo de flujo APRM. Por lo tanto, la metodología DIVOM no es suficientemente robusta y, por lo tanto, no es aplicable en el límite de inestabilidad termo hidráulica.

35 Una solución conocida de "confirmación de densidad" se ha propuesto como una solución a este problema. La confirmación de densidad utiliza el hardware OPRM e implementa un nuevo algoritmo para detectar el inicio de oscilaciones de potencia de pequeña amplitud en áreas locales del núcleo. Cuando un número suficiente de celdas OPRM confirma la existencia de oscilaciones típicas de la inestabilidad del núcleo, se generan alarmas y señales de bloqueo y se reactiva el reactor (o SRI activado) antes de que exista riesgo de daño al combustible debido a oscilaciones que alcanzan amplitudes grandes. La implementación de esta solución tiene desventajas, sin embargo, incluyendo que es complicado con respecto tanto al hardware como a las licencias, y la detección de oscilaciones a niveles de ruido del reactor puede conducir potencialmente a paradas de emergencia espurias.

40 Se ha propuesto otro procedimiento conocido relacionado para proteger el núcleo de las oscilaciones termo hidráulicas/neutrónicas inestables, no acopladas, (las denominadas ondas de densidad). Este procedimiento se basa en el análisis de las señales del detector LPRM para el comportamiento acoplado (neutrón/térmico hidráulico). Si no se detectan oscilaciones acopladas, se realiza un cálculo (en línea o fuera de línea) para examinar si se ingresa una región de parada de emergencia determinada analíticamente. Esta región de parada de emergencia define el límite de estabilidad termo hidráulica. La implementación de este procedimiento requiere un

algoritmo en línea para la determinación del riesgo de oscilaciones de ondas de densidad desacopladas y otras lógicas para conectarse a las acciones correctivas automáticas, manuales o de otro tipo.

5 Por lo tanto, hay una necesidad en la técnica para desarrollar una solución más fiable para evitar fallos de revestimiento de combustible debido a la inestabilidad del núcleo hidráulico/neutrónico térmico mediante la prevención de la operación del reactor nuclear en las regiones vulnerables del mapa de potencia/flujo. Además, existe la necesidad de que la solución sea relativamente simple, amigable para el operador, fácil de licenciar y fácil de implementar (hardware y software).

### **Sumario de la invención**

10 La presente invención consiste en un procedimiento de acuerdo con la materia objeto de la reivindicación 1. Se proporciona un procedimiento para proteger un núcleo de reactor nuclear del daño de combustible debido a la inestabilidad termo hidráulica en un dominio operativo extendido. El procedimiento incluye calcular un límite hidráulico térmico, identificar una región de operación inestable en un mapa de potencia/flujo, modificar el sistema de activación basado en APRM para establecer la línea de anulación de flujo sesgado APRM cuando el flujo del núcleo es menor que el nivel de flujo del núcleo predeterminado, impidiendo que el núcleo nuclear entre en la  
15 región inestable de operación causando un parada de emergencia de APRM o una inserción de varilla seleccionada cuando se excede la línea establecida de parada de emergencia por flujo sesgado APRM, e identificando un nivel de flujo de núcleo predeterminado.

El punto de ajuste para el conjunto hacia abajo de la línea de parada de emergencia de flujo sesgado APRM se puede determinar mediante el empleo del análisis del núcleo 3D del límite de estabilidad termo hidráulica.

20 El funcionamiento del reactor nuclear puede llevar a cabo más allá de una línea de control de varillas MELLLA a una línea de control MELLLA+ varilla por encima del nivel de flujo del núcleo predeterminado.

La instrumentación OPRM existente puede ser operable para detectar y suprimir el funcionamiento inestable global y local en un MELLLA+ región.

25 El nivel de flujo del núcleo predeterminada puede ser definido por el límite de estabilidad hidráulico térmico (puede ser 55 % de flujo del núcleo nominal).

### **Breve descripción de los dibujos**

Una comprensión adicional de la invención se puede obtener a partir de la siguiente descripción de las realizaciones preferidas cuando se lee conjuntamente con los dibujos adjuntos, en los que:

30 La figura 1 muestra un mapa de potencia/flujo en el que la potencia térmica del núcleo se representa frente al flujo del núcleo y se identifica una activación de flujo sesgado APRM correspondiente sin disminución, de acuerdo con la técnica anterior (esta opción no requiere un cambio en la pendiente de las líneas de activación APRM);

35 La figura 2 muestra un mapa de potencia/flujo en el que la potencia térmica del núcleo se representa frente al flujo del núcleo y se identifica un desplazamiento de flujo sesgado APRM correspondiente con sedimentación, de acuerdo con ciertas realizaciones de la invención (esta opción implica tanto un asentamiento como un cambio de la pendiente de la línea de activación APRM por debajo del punto o nivel de flujo del núcleo); y

La figura 3 muestra un mapa de potencia/flujo con límites de estabilidad, de acuerdo con ciertas realizaciones de la invención.

### **Descripción detallada de las realizaciones preferidas**

40 La invención proporciona procedimientos para la protección contra el daño de combustible y fallos de encamisado de combustible en los núcleos de reactor de agua (BWR) en ebullición debido a la inestabilidad del núcleo anticipado acoplado térmico hidráulico/neutrónico. Se pueden incluir modos globales y regionales, así como inestabilidad termo hidráulica en dominios operativos extendidos (EOD). Esta protección es altamente deseable cuando el dominio de operación se extiende como resultado de la implementación de aumentos de potencia  
45 extendidos (EPU).

Se puede incluir una solución de estabilidad Westinghouse para BWR que operan en dominios de operación ampliados de regiones de potencia/ flujo de núcleo (WEOD-S).

50 Es un objeto de la invención emplear metodologías de estabilidad licencia existentes en un EOD. Esto se logra introduciendo un conjunto de la línea de barrido desviada por flujo de APRM por debajo de un determinado punto o nivel de flujo de núcleo predeterminado (por ejemplo, preseleccionado o predeterminado). El punto establecido para la línea de parada de emergencia por flujo sesgado APRM se determina empleando el análisis de núcleo 3D

del límite de estabilidad termo hidráulica. El procedimiento de acuerdo con la invención proporciona una o más de las siguientes características: (i) no requiere confirmación de oscilación, (ii) solo requiere modificaciones simples o menores a la solución de hardware actual, y (iii) demuestra diversidad de diseño cuando opera con OPRM.

5 Sin pretender estar ligado por ninguna teoría particular, se contempla que el procedimiento de la invención anticipa oscilaciones neutrónicas hidráulicos térmicos acoplados y, de forma proactiva y automáticamente impide el funcionamiento en las regiones vulnerables de estabilidad de un mapa de potencia/flujo.

10 La invención introduce una restricción para el funcionamiento del núcleo del reactor en la región EOD. De acuerdo con ciertas realizaciones de la invención, el funcionamiento en regiones vulnerables del mapa de potencia/flujo se evita de la siguiente manera. Se emplea un sistema de activación basado en el monitor de rango de potencia promedio (APRM) para proporcionar una reducción de potencia anticipada. La activación de APRM se acciona cuando la potencia del núcleo aumenta y el flujo del núcleo disminuye. Esto se logra estableciendo la parada de emergencia sesgado de flujo de neutrones de APRM, de modo que la metodología de estabilidad con licencia se puede aplicar aún dentro del dominio delimitado por la línea de parada de emergencia. La base para la cantidad de  
15 parada de emergencia requerida es el establecimiento del límite de estabilidad termo hidráulica del núcleo. Esta solución impide el uso de algoritmos complicados y nuevas interfaces de operador que típicamente se requieren en soluciones conocidas. Por lo tanto, se anticipa que estas características de la invención contribuirán a un proceso de licenciamiento más fácil.

20 La metodología conocida en la técnica existente (véase, por ejemplo, el documento US2005/117685) permite la operación del reactor de energía nuclear en una región particular, es decir, hasta una línea de varilla de control MELLLA. La instrumentación OPRM se usa para iniciar las alarmas asociadas y las inserciones automáticas de parada de emergencia o varilla seleccionada para suprimir el funcionamiento inestable en esta región para las plantas de la opción III. La parada de emergencia de flujo sesgado APRM protege la integridad del combustible para las plantas de opción 1-D. Como resultado de la implementación de aumentos de potencia extendidos, se desea operar más allá de la línea de varillas de control MELLLA y hasta una línea de varillas más alta, es decir, la  
25 región MELLLA+. Sin embargo, la metodología existente no proporciona una protección adecuada para suprimir la operación inestable esperada en las regiones de bajo flujo de núcleo de este dominio extendido. Por lo tanto, los procedimientos de la invención proporcionan el establecimiento de un nuevo nivel predeterminado definido por los límites de estabilidad termo hidráulica para el funcionamiento protegido del núcleo del reactor nuclear. El nuevo nivel predeterminado permite operar más allá de la línea de varillas de control MELLLA y dentro de la región  
30 MELLLA+. La instrumentación OPRM existente sigue siendo operable (en las plantas de la opción III) y aplicable para detectar y suprimir la operación inestable en esta región extendida al iniciar las alarmas asociadas y de parada de emergencia automática o inserciones de varilla automática.

35 Se ha observado en el análisis que la metodología DIVOM falla en el límite de inestabilidad hidráulico térmico, ya sea debido a la curva DIVOM empinada dar puntos de implantación baja OPRM o debido al comportamiento caótico de las oscilaciones divergentes (en situaciones cuando no lineal las propiedades son prominentes). Los procedimientos de la invención evitan que la operación del reactor se inmiscuya en puntos de estado (intencionalmente o no) en los que la metodología DIVOM falla, es decir, se vuelve inaplicable. Los procedimientos de la invención anticipan y definen de manera conservadora un dominio en el que la metodología DIVOM establecida y autorizada y el hardware OPRM siguen siendo aplicables para el funcionamiento más allá de la línea  
40 de varillas de control MELLA. Dichas señales anticipadas de activación para suprimir las oscilaciones se confirman como operacionalmente aceptables y reducen o minimizan el impacto sobre la disponibilidad de la planta debido a la baja probabilidad de transitorios e incursiones del operador en la región de parada de emergencia.

45 De acuerdo con la invención, la solución basada en OPRM opción III existente se retiene mediante la restricción del dominio operativo a su área de aplicación (es decir, la aplicabilidad de la metodología DIVOM). La solución basada en OPRM opción III se retiene para la mayor parte del dominio operativo. Para esa región donde el punto de referencia OPRM puede no prevenir daños al combustible, el sistema de activación existente basado en APRM se utiliza para prevenir automáticamente la entrada a la región donde la metodología DIVOM no es aplicable, es decir, cerca del límite de estabilidad termo hidráulica, proporcionando una función anticipatoria de parada de emergencia o reducción de potencia (a través de la inserción de la varilla seleccionada).

50 El sistema de activación a base de APRM de sesgo de flujo existente se modifica mínimamente (por ejemplo, disminuye) para proporcionar una parada de emergencia anticipatoria automática o activación de inserción de varillas seleccionadas para realizar una función de reducción de potencia necesaria. Este sistema se activa cuando la potencia del núcleo es más alta y el flujo del núcleo es menor que un punto de ajuste o nivel predeterminado definido por el límite de estabilidad termo hidráulica que se basa en cálculos dinámicos de núcleo 3D avanzados.

55 La figura 2 es un mapa de potencia/flujo que muestra un gráfico de la solución de estabilidad alternativa EOD para la activación APRM. La figura 2 incluye la región 1, la curva 3 de circulación natural, la activación de flujo sesgado

APRM sin disminución 4, la línea 5 de varillas de control MELLLA, la línea 7 de varillas más alta (MELLLA+) y el dominio 9 de MELLLA+, como se muestra en la figura 1. Además, la figura 2 incluye un nivel predeterminado X que está definido por un nuevo límite 14 de estabilidad termo hidráulica que está representado por HJ. Este límite está determinado por un simulador de código térmico hidráulico. Los códigos adecuados para su uso en la invención incluyen aquellos que son conocidos en la técnica y están disponibles comercialmente, tales como POLCA-T, entre otros. En general, los datos específicos de la planta se ingresan en el código para su uso en la determinación del límite de estabilidad termo hidráulica. Los datos pueden incluir, pero no se limitan a, características de análisis de agotamiento del diseño central del núcleo como una función del tiempo desde el principio hasta el final de un ciclo. La línea limitante térmica más limitada se calcula a diferentes tasas de flujo para encontrar el nivel de potencia que alcanza el límite de estabilidad térmica.

Las investigaciones han demostrado que encontrar inestabilidades locales en la región de flujo del núcleo superior a la derecha de la línea de activación de parada de emergencia es altamente improbable. Este anticipo preventivo (o reducción de potencia a través de la inserción de varilla seleccionado) se inicia sin depender de ninguna acción del operador o detección de inestabilidad. Las posibles oscilaciones termo hidráulicas no estables que podrían haber ocurrido en el EOD se evitan de ese modo, y las oscilaciones regionales y globales se pueden suprimir de manera confiable y rápida antes de violar el SLMCPR.

Además, en la figura 2, una disminución por activación controlada por flujo APRM 16 se basa en el análisis del límite de estabilidad termo hidráulica. Es decir, la cantidad de reducción (de la activación 4 de parada de emergencia por flujo sesgado APRM original) es necesaria para garantizar que la operación en una región inestable esté bloqueada.

La figura 3 es un mapa de potencia/flujo que muestra un diagrama de un ejemplo de los límites de estabilidad hidráulica global, regional y térmica. Esto representa resultados típicos para las propiedades de estabilidad del reactor iniciadas por la dinámica del reactor: el límite 28 de estabilidad del núcleo (global) se alcanza en primer lugar. Siguen el límite 30 de inestabilidad regional y el límite 32 de inestabilidad termo hidráulica, respectivamente. Las líneas de límite de estabilidad son más inclinadas que la línea de varilla (reactividad constante). Esta característica permite que el siguiente enfoque defina la disminución de activación de parada de emergencia de flujo sesgado APRM:

- En la circulación natural, o un punto de estado (ST) determinado por la intersección de dos tangentes de la línea de parada de emergencia de flujo sesgado de APRM, la línea de inestabilidad termo hidráulica se determina mediante una serie de análisis de dominio de tiempo de puntos de estado con potencia creciente hasta que se encuentra la inestabilidad;

- La metodología de incertidumbre apropiada se aplica para determinar el punto de estado de inestabilidad termo hidráulica como límite sobre bases genéricas y específicas de planta, y en ciertas realizaciones, sobre una base específica de ciclo;

- Se tiene en cuenta el hecho de que la línea de la varilla es siempre menos inclinada que la línea de inestabilidad termo hidráulica en función del flujo del núcleo y, por lo tanto, el punto de referencia establecido APRM se define como la diferencia entre la inestabilidad termo hidráulica potencia (incluidas las incertidumbres) y la potencia en la línea de varilla más alta en circulación natural;

- El límite derecho, "X" (por ejemplo, 55 % de flujo en la figura 1), se determina que está a la derecha de la línea extrapolada de "entrada controlada" de protección de estabilidad de respaldo; y

- Se mantienen la opción III de OPRM y la opción 1-D de flujo sesgado APRM que brindan protección adecuada cuando se opera en o debajo de la línea MELLLA. La opción III es un procedimiento aprobado y autorizado que se basa en OPRM detectando inestabilidad (regional o central) y alarmando al operador cuando la operación entra en la zona de parada de emergencia (MFG) y eventualmente arrastra la planta si las amplitudes de oscilación son excesivas. La parada de emergencia de flujo sesgado de APRM establecido en función del límite de estabilidad termo hidráulica también conserva la metodología con licencia de la opción 1-D. Además, cuando se opera en la región MELLLA+, para cualquier flujo de disminución de flujo (iniciado por el operador, mal funcionamiento del control o activaciones de la bomba), se inicia un bloqueo automático (o inserto de varilla seleccionado) antes de que la disminución del flujo ingrese a la región inestable (como definido por el lado izquierdo de la curva de límite de estabilidad). Esto se logra mediante cualquiera de las siguientes funciones de iniciación parada de emergencia mediante las opciones de instrumentación del sistema de monitorización de neutrones (NMS):

1. Cuando el flujo del núcleo se reduce por debajo de "X", las activaciones de parada de emergencia de flujo sesgado existentes se establecen automáticamente desde su nivel normal en una cantidad que proporciona bloqueo antes de que el estado de flujo/potencia entre en el lado izquierdo de la línea límite de estabilidad; o

2. Se proporciona y arma una línea personalizada de curva que sigue justo a la derecha de la línea límite de estabilidad cuando el flujo está por debajo de "X" que proporcionaría suficiente margen al límite de límite de estabilidad (basado en la línea de entrada controlada BSP como se describe arriba).

5 La invención incluye, pero no se limita a, al menos uno de los siguientes beneficios. El enfoque de la invención reduce considerablemente las incertidumbres de las licencias para la implementación de MELLA+ y reduce/simplifica en gran medida las entradas y acciones del operador. La invención es mucho más simple de implementar y operar a la vez que proporciona una protección más robusta y altamente confiable contra el potencial daño al revestimiento del combustible debido a oscilaciones de potencia del núcleo inestables. Además, la invención no afecta materialmente a la disponibilidad de la planta debido a una probabilidad extremadamente baja de entrar en una operación inadvertida en la región de parada de emergencia vulnerable a la estabilidad y reduce la probabilidad de parada de emergencias inadvertidos probablemente inherentes a las soluciones conocidas.

15 Aunque realizaciones específicas de la invención se han descrito en detalle, se apreciará por parte de los expertos en la técnica que diversas modificaciones y alternativas a esos detalles podrían desarrollarse a la luz de las enseñanzas globales de la divulgación. De acuerdo con ello, las realizaciones particulares divulgadas pretenden ser solo ilustrativas y no limitativas en cuanto al alcance de la invención, al que se le ha de dar la amplitud completa de las reivindicaciones adjuntas.

**REIVINDICACIONES**

1. Un procedimiento de protección del núcleo de un reactor nuclear del daño en el combustible debido a la inestabilidad termo hidráulica en un dominio de operación extendido para un aumento de potencia extendido, que comprende:

5       generar un mapa operativo de flujo - potencia, que comprende:

establecer una curva de circulación natural;

establecer una línea de varilla de control de análisis de límite de línea de carga extendida máxima (MELLLA); y

10       establecer una línea de varilla de control MELLLA+ más alta posicionada sobre la línea de la varilla de control MELLLA;

formar un dominio MELLLA+ sobre la línea de la varilla de control MELLLA, hasta la línea superior de la varilla de control MELLLA+; permitiendo la operación en el dominio MELLLA+ y **caracterizado por** calcular mediante un simulador de código termo hidráulico un límite de estabilidad termo hidráulica;

15       determinar un nivel de potencia que corresponde al límite de estabilidad termo hidráulica a diferentes tasas de flujo del núcleo;

proporcionar una línea de parada de emergencia de flujo sesgado del monitor de rango de potencia promedio (APRM);

bajar la línea de parada de emergencia de flujo sesgado APRM por debajo del límite de estabilidad termo hidráulica; y

20       accionar un sistema de activación basado en APRM cuando disminuye el flujo del núcleo como resultado de un flujo transitorio decreciente y la potencia aumenta por encima del nivel de potencia para proporcionar una parada de emergencia preventiva automática o una activación de inserción de varilla seleccionada para causar una reducción de potencia.

25





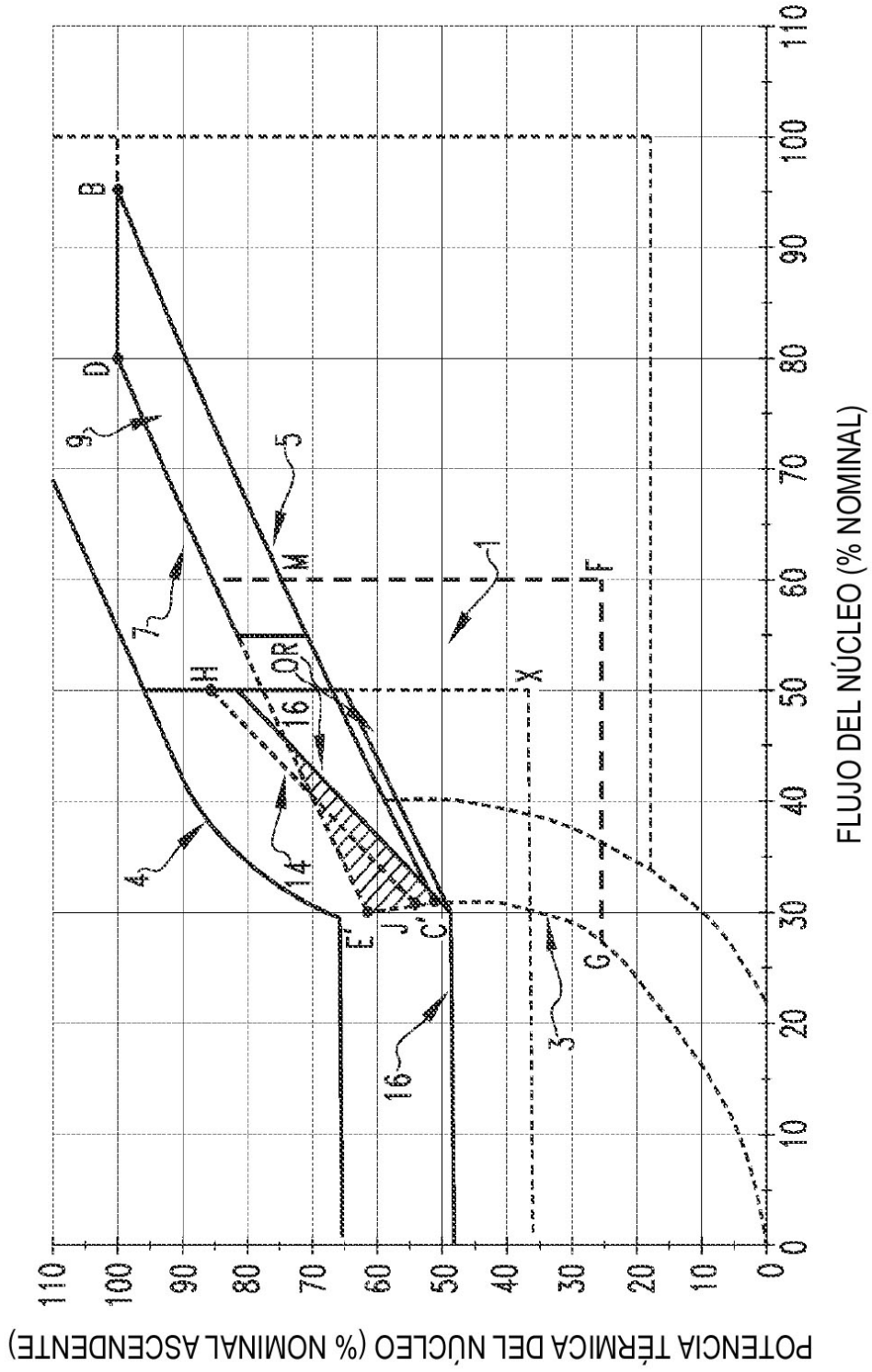


FIG.2

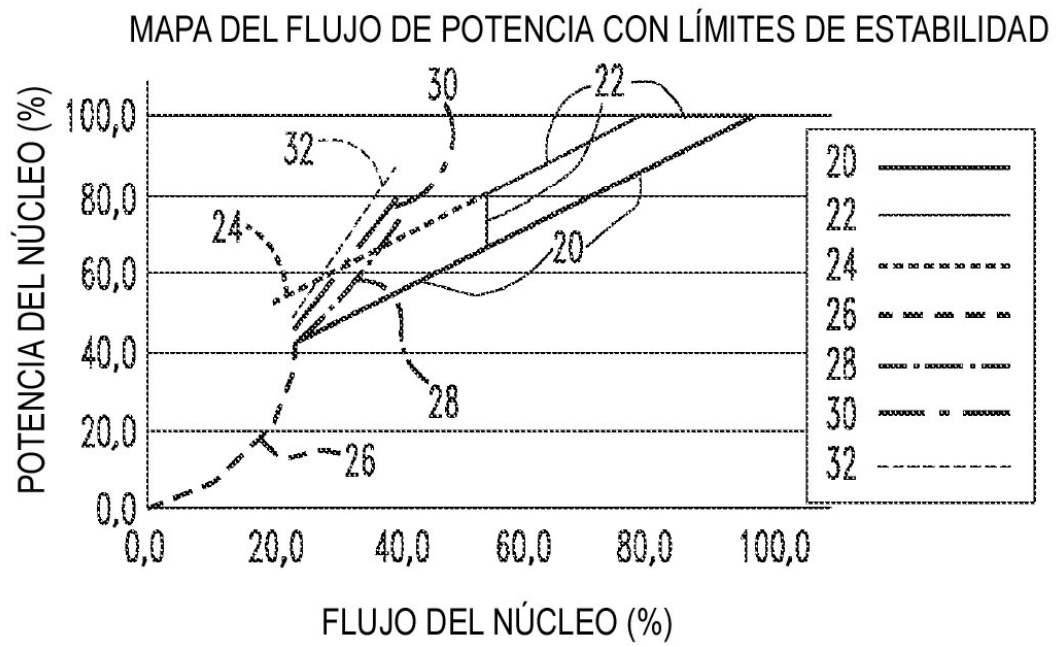


FIG. 3