

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 542 527**

51 Int. Cl.:

**G01K 17/00** (2006.01)

**G01N 23/225** (2006.01)

**G21C 17/00** (2006.01)

**G21C 17/06** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.05.2007 E 07867115 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.04.2015 EP 2027455**

54 Título: **Método para determinar la transferencia de potencia de un componente nuclear con una capa de material situada en una superficie calentadora del componente**

30 Prioridad:

**09.06.2006 US 450702**

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

**06.08.2015**

73 Titular/es:

**AREVA INC. (100.0%)  
3315 Old Forest Road  
Lynchburg, VA 24506, US**

72 Inventor/es:

**POP, MIHAI G.M.;  
GRIFFITH, JOHN CARROLL;  
ALLMON, WILLIAM EDWARD y  
LOCKAMON, BRIAN GLENN**

74 Agente/Representante:

**PONTI SALES, Adelaida**

ES 2 542 527 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

Método para determinar la transferencia de potencia de un componente nuclear con una capa de material situada en una superficie calentadora del componente

5

## CAMPO DE LA INVENCION

**[0001]** La presente invención se refiere a un proceso para medir una salida de potencia de un componente nuclear que tiene revestimientos y/o materiales acumulados en las superficies de transferencia de calor obtenidos a partir del depósito de materiales en refrigerantes líquidos en las superficies. Más específicamente, la presente invención proporciona un método para medir las características de transferencia de potencia a través de depósitos no identificados del río Chulk (CRUD, Chalk River Unidentified Deposits) depositados en los componentes, por ejemplo, barras de combustible de un conjunto de combustible de un reactor de agua ligera.

## 15 INFORMACIÓN DE ANTECEDENTES

**[0002]** La medición de la salida de potencia de un conjunto de combustible nuclear es una tarea crítica realizada periódicamente en las plantas de energía nuclear en todo el mundo. La salida de potencia de los conjuntos de combustible se mide en base puntual y continua para asegurar que el núcleo del reactor nuclear se comporta como se espera y está diseñado con diversos métodos, normalmente detectores en el núcleo que controlan características específicas de la radiación nuclear. Además, se requieren específicamente operarios de energía nuclear para manipular el reactor nuclear dentro de ciertos límites de rendimiento para garantizar la seguridad del reactor y los componentes. Si se producen transitorios inesperados y las regiones del núcleo del reactor nuclear se someten a niveles inesperados de actividad nuclear, los conjuntos de combustible (barras) en esa región específica pueden agotarse demasiado rápido volviendo ese área del núcleo nuclear en menos viable para una operación continua. Como resultado del conjunto de combustible agotado, los conjuntos de combustible en esta región tendrán que someterse a medidas correctivas para minimizar el agotamiento inesperado. Los conjuntos de combustible agotado pueden reemplazarse por conjuntos de combustible fresco y el núcleo modificado (es decir, los conjuntos de combustible se trasladan a diferentes posiciones en el núcleo). En otros casos, la potencia local de los conjuntos de combustible puede ser menor de la diseñada debido a los conjuntos agotados, requiriendo así barras de control que se van a retirar o, como alternativa, reguladores químicos extraídos del refrigerante para aumentar la reactividad en el núcleo. La operación de un reactor nuclear en un modo de baja potencia o de sobrepotencia afecta negativamente a la economía de la instalación.

**[0003]** La barra de combustible localmente sobrepotenciada tiene pequeñas porciones donde la potencia evacuada excede la potencia media de la barra. Si el CRUD depositada tiene las condiciones de madurez, (densidad más alta para una composición dada), la temperatura local de la barra de combustible, en dichos lugares, puede exceder los límites de un funcionamiento seguro, lo que conduce a un fallo de combustible.

**[0004]** Esto afecta también negativamente a la economía de la operación de la planta de energía.

**[0005]** El análisis del depósito en dichos lugares, normalmente también revela pequeñas regiones donde la deposición de CRUD se ha reconfigurado para evacuar más energía que los límites de diseño. Esta reconfiguración puede identificarse durante el análisis del CRUD posterior al fallo de garantía. Por lo tanto, los operarios de la instalación se esfuerzan por identificar situaciones de núcleo con potencia insuficiente y remediar rápidamente estas condiciones.

**[0006]** Con el fin de evitar una infracción de los márgenes de seguridad operativa y rendimiento, los operarios inician medidas de seguridad, tanto físicas como procedurales, para asegurar un funcionamiento seguro de la planta. Entre las medidas de seguridad físicas implementadas, por ejemplo, en un reactor de agua en ebullición, se colocan monitores de potencia local dentro del núcleo para medir la cantidad de energía que se genera en posiciones especificadas en el núcleo. Estas medidas proporcionan a los operarios una instantánea del núcleo en estas ubicaciones de medición. Sin embargo, no se ponen monitores para el núcleo en todas las ubicaciones del núcleo ya que es poco práctico el instalar el equipo de medición en todas las ubicaciones de un núcleo del reactor. En consecuencia, unas zonas del núcleo están sin control sin sacrificar la seguridad de la operación. Después de la operación del núcleo, se hacen entonces suposiciones en cuanto a la cantidad de vida útil restante para cada uno de estos conjuntos no medidos. La colocación de estos conjuntos no medidos de vuelta al núcleo implica supuestos conservadores para la vida restante del conjunto. Puesto que se hacen supuestos conservadores, el combustible nuclear puede descargarse desde el núcleo como supuestamente "agotado", cuando, de hecho, queda suficiente

combustible en el conjunto de combustible para una operación adicional. La operación del núcleo de una manera ineficiente puede afectar negativamente a los aspectos económicos de la instalación nuclear.

5 **[0007]** Los conjuntos de combustible cambian la reactividad nuclear durante el tiempo de exposición al núcleo, complicando de esta manera la identificación de la vida restante de cada conjunto de combustible. Materiales no identificados, conocidos como CRUD, pueden cubrir o depositarse en el exterior de las barras y conjuntos de combustible. Todos afectan a la capacidad de transferencia de calor de los componentes del reactor. También se pueden formar depósitos en otras superficies de transferencia de calor, tales como los tubos del generador de vapor. A medida que aumenta el espesor de la capa de depósito, se produce un efecto aislante para el componente  
10 nuclear, por ejemplo, dificultando la transferencia de calor y la salida de potencia del núcleo.

**[0008]** Los CRUD pueden afectar significativamente la vida restante de cada conjunto de combustible en el núcleo. En la operación del reactor, sin embargo, los depósitos CRUD difieren en cada ubicación en el reactor. Por lo tanto, las diferentes cantidades/esesores de depósitos CRUD, dificultan a los ingenieros del reactor la determinación de la  
15 cantidad de vida útil que queda en un conjunto de combustible nuclear porque algunos conjuntos de combustible tienen una cantidad significativa de CRUD aislante mientras que otros conjuntos de combustible no.

**[0009]** El documento WO2005/101997 desvela un método para realizar un análisis de CRUD en una barra de combustible nuclear.  
20

**[0010]** BLONDEL y col. "Modelling of solute concentration into CRUD deposits under subcooled boiling conditions", EXCERPT OF THE COMSOL MULTIPHYSICS USER'S CONFERENCE, Paris, 2005, XP008132492 desvela una investigación de la modelización de la incorporación de solutos no volátiles del refrigerante líquido en el CRUD poroso depositado sobre una superficie calentadora en condiciones de ebullición subenfriada.  
25

**[0011]** Por lo tanto, existe la necesidad de proporcionar un método para determinar las características de transferencia de potencia de un conjunto de combustible nuclear que ha acumulado depósitos CRUD en las barras nucleares de combustible.

30 **[0012]** Además, existe la necesidad de proporcionar un método para determinar las características de transferencia de potencia de los conjuntos de combustible que tienen un tiempo de residencia en el núcleo, pero sin embargo no se controlaron físicamente durante la exposición del núcleo.

**[0013]** También existe la necesidad de proporcionar un método que determinará las características de transferencia de potencia de los componentes del núcleo, tales como generadores de vapor que tienen un depósito acumulado sobre su superficie de entubado.  
35

## RESUMEN

40 **[0014]** Por lo tanto, un objetivo de la presente invención es proporcionar un método para determinar las características de transferencia de potencia de un componente nuclear, que tiene depósitos acumulados en su superficie. Más específicamente, es un objetivo de la presente invención proporcionar un método para determinar las características de transferencia de potencia de un conjunto de combustible de un reactor nuclear que tiene depósitos CRUD acumulados en las barras de combustible nuclear.

45 **[0015]** También es un objetivo de la presente invención proporcionar un método para determinar las características de potencia de los conjuntos de combustible que tienen un tiempo de residencia en el núcleo pero, sin embargo, no se controlaron físicamente de forma directa durante la exposición al núcleo.

50 **[0016]** Los objetivos de la presente invención se consiguen como se ilustra y se describe. La presente invención proporciona un método para caracterizar las características de transferencia de potencia de un componente calentador. El método incluye las etapas de obtener una muestra de una capa de depósito en un lado de un componente calentador nuclear, obtener una imagen de una superficie de la muestra, es decir, la superficie de la muestra en contacto con el componente calentador, obtener una imagen de otra superficie de la muestra, es decir, la  
55 superficie de la muestra en contacto con el fluido, analizar las imágenes por microscopio electrónico de barrido de la superficie y la otra superficie de la muestra para verificar la presencia de capilares y chimeneas de vapor, determinar un número de capilares y chimeneas de vapor de ambas superficies de la muestra, y calcular la transferencia de potencia del componente calentador en base a un número de chimeneas de vapor en la capa de depósito.

**[0017]** El método también puede realizarse de tal forma que la etapa de analizar las imágenes por microscopio electrónico de barrido de las superficies externa e interna de la muestra para verificar la presencia de capilares y chimeneas de vapor incluye determinar un número total de aberturas en la superficie interna y la superficie externa de la muestra, crear un gráfico del tamaño relativo de las aberturas, determinar un punto de umbral en el gráfico entre los capilares y las chimeneas de vapor, calcular un número de capilares en el gráfico en base al punto de umbral y calcular un número de chimeneas de vapor en el gráfico en base al punto de umbral.

**[0018]** El método también puede realizarse de tal forma que la etapa de obtener una muestra de una capa de depósito en el lado de los componentes calentadores nucleares, por ejemplo, un elemento de combustible, incluye el raspado de un lado del componente calentador, por ejemplo, un elemento de combustible nuclear, para obtener una escama.

**[0019]** El método también puede realizarse de tal forma que la etapa de determinar el punto de umbral en el gráfico entre los capilares y las chimeneas de vapor se basa en un tamaño de una burbuja de vapor. El método también puede realizarse de tal forma que la etapa de calcular el número de capilares en el gráfico en base al punto de umbral comprende identificar un número de capilares por unidad de superficie. Adicionalmente, la etapa de calcular el número de chimeneas de vapor en base al punto de umbral puede comprender la etapa de identificar un número de chimeneas de vapor por unidad de superficie.

**[0020]** El método puede realizarse adicionalmente de tal forma que la etapa de obtener una muestra de una capa de depósito en el lado del componente incluye el raspado del lado del componente para obtener una escama comprende adicionalmente identificar una superficie interna de la escama y una superficie externa de la escama. El tamaño de los capilares de vapor y/o las chimeneas de vapor puede determinarse por el tamaño medio de una burbuja de vapor en el fluido de refrigeración: El método puede aplicarse igualmente a las barras de combustible, los tubos del generador de vapor y otro aparato de los reactores de agua en ebullición y los reactores de agua a presión.

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

**[0021]** La figura 1 es un gráfico de distribución de las chimeneas de vapor y los capilares de vapor en una escama de muestra ejemplar.

#### DESCRIPCIÓN DETALLADA

**[0022]** La presente invención proporciona análisis de los elementos de combustible del reactor de agua ligera (LWR, Light Water Reactor) que se han expuesto a las condiciones operativas del reactor. Los elementos de combustible del LWR que se han expuesto a un reactor y las condiciones operativas del reactor pueden experimentar deposición de material procedente de los elementos disueltos presentes en el refrigerante del reactor. Los elementos disueltos, tales como hierro y minerales, forman una placa sobre la superficie exterior de las barras de combustible y forman un recubrimiento de costra. El recubrimiento es no homogéneo y están presentes por todo el recubrimiento diversos orificios, definidos como capilares (orificios pequeños a inexistentes en la superficie exterior) y las chimeneas de vapor (agujeros más grandes mejor definidos en la superficie exterior). Los capilares transportan agua a las chimeneas de vapor, donde se evapora, enfriando la superficie de la barra de combustible.

**[0023]** El análisis de las configuraciones y condiciones de los capilares y las chimeneas de vapor de escamas del reactor de agua ligera también es esencial para la comprensión de la transferencia de calor del elemento de combustible del LWR y los fallos del elemento de combustible particularmente para los elementos de combustible del BWR. Sin embargo, el procesamiento visual de las imágenes de escamas de CRUD puede ser prohibitivamente laborioso, subjetivo y propenso a errores.

**[0024]** Sin embargo, mediante el uso de herramientas de procesamiento de imagen y algoritmos matemáticos, se simplifica la evaluación de los capilares y chimeneas de vapor (así como la capacidad asociada para calcular las características de transferencia de calor de la barra de combustible incrustada). La presente invención proporciona un método, que puede realizarse en un ordenador, por ejemplo, para proporcionar un análisis coherente y más detallado de la densidad de los capilares y chimeneas de vapor presentes en las barras de combustible. Por lo tanto, la presente invención proporciona un recuento detallado de las densidades y poblaciones de los capilares y chimeneas de vapor.

**[0025]** Con el método asociado de la presente invención, la comprensión de los mecanismos de transferencia de

calor de CRUD del LWR se refina a un grado nunca antes alcanzado. Adicionalmente, a través de la presente invención, se consigue una correlación entre un flujo de neutrones localizado y el calor producido/extraído del combustible en la misma ubicación a través de la capa de CRUD depositada.

5 **[0026]** El método implica etapas específicas descritas en el presente documento. La primera etapa en la metodología es obtener imágenes tanto de una superficie opuesta hacia el interior de una escama de muestra como de una superficie opuesta hacia el exterior de la misma escama de muestra. La escama de muestra se elimina de una superficie, por ejemplo, de una barra de combustible nuclear. Las imágenes resultantes obtenidas a partir de la escama de muestra pueden obtenerse, por ejemplo, a partir de un microscopio electrónico de barrido. Las imágenes  
10 por microscopio electrónico de barrido pueden ser imágenes digitales guardadas en una memoria de ordenador, por ejemplo. Después, se introduce un factor de escala por parte del usuario para cada uno de los archivos de imagen obtenidos para el análisis de manera que pueda calcularse el tamaño aproximado de las características de la escama. El usuario introduce manualmente el valor de escala a partir del cual se obtuvieron las imágenes. Después, el usuario puede determinar manualmente las ubicaciones de píxeles inicial y final para la barra de escala  
15 seleccionada.

**[0027]** El valor de escala escogido por el usuario se divide por la longitud del píxel de la barra para determinar un factor de escala de píxeles para la imagen en cuestión. Después, la imagen digital que se va a evaluar se separa de cualquier información que no sea necesario evaluar. Se elimina de la imagen información, tal como texto, bordes  
20 definidos, etc. Después, el área útil de la fotografía individual se ecualiza para normalizar los valores de píxel para evitar discontinuidades.

**[0028]** Todos los valores de iluminación de los píxeles, por ejemplo, por debajo de un valor de umbral definido por el usuario (por ejemplo, un valor de 20), se ajustan a 0 para proporcionar un valor inicial para su evaluación.  
25 Después, la imagen digital se invierte haciendo que estos píxeles ajustados previamente a 0, se ajusten a un valor ejemplar de 255. La etapa siguiente en el método implica seleccionar píxeles con un valor de 255, por ejemplo, y designar estos píxeles como orificios de la superficie. Después, se define un grupo conectado por el usuario (es decir, los píxeles con valores de 255 que se conectan o se posicionan uno al lado del otro). La extensión del grupo conectado depende de los valores obtenidos de la imagen digital y los defectos inherentes en la superficie bajo  
30 evaluación. Después, al grupo conectado se le asigna un valor único o indicador para el grupo conectado. La numeración o designación designa cada región de interés para las etapas de procesamiento posteriores. Los componentes conectados se superponen a una copia de la imagen original para permitir al usuario comprobar los resultados obtenidos y determinar si no hay más o menos agujeros en la superficie que los proporcionados originalmente en la superficie del material bajo estudio. Después, los píxeles se cuentan para cada componente  
35 conectado para determinar el área de píxel para cada orificio superficial. Las áreas de píxeles para cada orificio superficial se multiplican por el factor de escala (cuadrado) para convertir el área de píxeles en una unidad de medida cuadrada, permitiendo así un cálculo total del área superficial para cada defecto en la superficie. En la realización ejemplar proporcionada, se proporciona el área en milímetros cuadrados. El área de los orificios de la superficie se ordena para ordenar las áreas de defectos de los altos valores de área superficial a los bajos valores  
40 de área superficial. La información del área ordenada se muestra gráficamente y en formato de tabla para su revisión. Se determina automática o manualmente un valor de umbral para la separación de las chimeneas de vapor de los capilares. A partir de la experiencia experimental, el valor de umbral puede fijarse, por ejemplo, en  $3 \mu\text{m}^2$ .

**[0029]** A través del procesamiento digital, el sistema, por ejemplo un ordenador, cuenta el número de chimeneas  
45 de vapor por encima del valor de umbral y suma el área combinada de las chimeneas. Se usa el recuento de chimeneas de vapor para determinar la densidad de las chimeneas de vapor en la imagen objeto. La selección de una superficie umbral se realiza en base a la información recibida del procesamiento digital. Por ejemplo, en la figura 1, se observa que cada diámetro por encima de  $1,5 \mu\text{m}$  pertenece a una chimenea de vapor. A través de realizaciones experimentales, se ha determinado que hay un cambio precipitado en el número de áreas circulares  
50 contadas en la superficie OD del CRUD cuando las áreas cambian de los capilares a las chimeneas de vapor. El diámetro de los capilares es mucho menor, lo que las hace mucho más numerosas en cualquier superficie determinada.

**[0030]** Cada superficie circular por encima de la superficie mínima obtenida con el diámetro de umbral se cuenta  
55 como una chimenea de vapor. El resto de las áreas circulares con un diámetro más pequeño se consideran capilares. En base a escala superficial, después se calcula la densidad de la chimenea de vapor para cada muestra ( $\text{N}^{\circ}/\text{mm}^2$ ).

**[0031]** Entonces, el método implica contar el número de áreas de orificios que se cuentan por debajo del valor de

umbral de las chimeneas de vapor como tubos capilares y posteriormente determina la densidad de los capilares por área cuadrada.

- 5 **[0032]** La relación entre las densidades de los capilares y las chimeneas de vapor se analizan como una indicación de qué tan bien se alimentaron las chimeneas de vapor por los capilares en una región determinada del CRUD. Los valores ejemplares del análisis se proporcionan en la Tabla 1. La Tabla 1 proporciona un ejemplo de los resultados de la determinación del número de chimeneas y capilares y sus diámetros medios obtenidos de mirar un número de imágenes de las superficies internas y externas de cada escama. El promedio combina los números para las superficies internas y externas. El número de capilares está entre uno a dos órdenes de magnitud superiores al número de chimeneas de vapor. En la realización ejemplar proporcionada, la Escama A tiene un número de capilares muy bajo, ilustrando la obstrucción y la inanición de fluido posterior del CRUD como una solicitud previa para el recubrimiento de vapor de la barra. Ninguna de las otras escamas en la realización ejemplar muestra tal pequeño número de capilares a partir del análisis.
- 10
- 15 **[0033]** El diámetro medio de las chimeneas de vapor es de 2,76-3,02  $\mu\text{m}$  y el de los capilares es 0,41-0,79  $\mu\text{m}$ . Cabe apreciar que la escama A tiene el mayor diámetro capilar medio que, de hecho, muestra que aún no están obstruidos únicamente los mayores capilares.

**Tabla 1. Población de Chimeneas y Capilares de Crud en una planta BWR**

20

	Unidades	Escama					
		A	B	C	D	Nº 15	Nº 13
Población de Chimeneas Media	1/mm <sup>2</sup>	4023	4448	4640	3662	4168	5611
Diámetro de las Chimeneas Medio	10 <sup>-3</sup> mm	3,01	2,76	3,02	2,58	2,83	2,85
Población de Capilares Media	1/mm <sup>2</sup>	64227	172755	161700	184920	234166	211173
Diámetro de los Capilares Medio	10 <sup>-3</sup> mm	0,79	0,41	0,38	0,51	0,66	0,55
Potencia Medida Máxima (por Ciclo)	W/cm <sup>2</sup>	106	103	99	99	103	104
Potencia Medida Media (por 6 meses)	W/cm <sup>2</sup>	100	95	94	91	96	95
6 Meses de Potencia Calculada (de las Características del Crud)	W/cm <sup>2</sup>	111	127	134	95	116	182

- 25 **[0034]** La potencia de la barra se suministra como kW/pies y se conoce a partir de la reactividad de potencia original proporcionada por el fabricante. Para convertir un flujo de calor en W/cm<sup>2</sup>, la potencia se divide por el área de la superficie de la barra en un pie lineal. La potencia de las barras se calcula tanto con el máximo como para los promedios de 6 meses iniciales como se obtuvo a partir de las mediciones del flujo de neutrones de los detectores en el núcleo como ejemplo. La ubicación de los detectores en el núcleo permite únicamente mediciones del flujo medio sobre un volumen del núcleo determinado, sin embargo, el nivel de potencia real soportado por el CRUD en una ubicación dada puede ser sustancialmente diferente a la indicación de potencia dada a través de los detectores del núcleo.

30

- [0035]** También se realizan cálculos adicionales del nivel de potencia soportado por la densidad de las chimeneas de vapor en base a la cantidad de aberturas proporcionadas a partir de la evaluación de la superficie. Como ejemplo, pueden asumirse valores medios para la transferencia de calor a través de áreas sin defectos. También pueden determinarse los valores de disipación de calor/potencia para áreas con defectos en base al área superficial y si la superficie de depósito de ebullición se alimenta adecuadamente o está privada. Si una chimenea de vapor se calcula como privada, entonces se produce una menor cantidad de disipación de calor/potencia en la chimenea ya que no hay una trayectoria clara para la disipación de calor/potencia. Si la chimenea de vapor no tiene las capacidades de alimentación apropiadas, la zona de chimenea de vapor puede considerarse abierta con calor/energía que fluye libremente a través de la abertura. Como una parte adicional opcional del método, una subrutina puede calcular el flujo de calor que sería soportado por el recuento medido real de chimeneas de vapor usando una relación entre la población de chimeneas de vapor y el flujo de calor local. Después, el valor del flujo de calor se compara con la potencia disponible medida producida localmente según, por ejemplo, las mediciones de los detectores de neutrones del núcleo. La relación entre el número de chimeneas de vapor existentes en cualquier lugar en un depósito, tal como con CRUD, y el flujo de calor localizado es una relación entre los sitios de ebullición nucleada en una superficie limpia y el flujo de calor:
- 35
- 40
- 45

$$N_v = a x(q_0)^b \quad (1)$$

donde:

$N_v$  es el número de sitios de ebullición nucleada (o chimeneas de vapor) por  $\text{mm}^2$ ;

5 a y b son dos constantes, y

$q_o$  es el flujo de calor en  $\text{vatios}/\text{cm}^2$ .

10 **[0036]** Como se proporciona en la Tabla 1, la potencia calculada usando el número real de chimeneas de vapor  
existentes en cada escama es diferente de la potencia obtenida a partir del valor disponible medido de los detectores  
de neutrones. La potencia calculada se etiquetó en la Tabla 1 como "6 Meses de Potencia Calculada" para designar  
que los cálculos de la tabla consideraron 6 meses como el marco de tiempo máximo necesario para formar el CRUD  
completamente desarrollado. Esta energía expulsada a través del CRUD fue de cinco de las seis escamas de crud  
de acuerdo con, pero ligeramente mayor que las registradas a través de los detectores de flujo de neutrones, con  
15 una excepción. La única excepción, la Escama D indicó que la potencia expulsada fue inferior a la potencia máxima  
registrada a través de los monitores del flujo de neutrones. Para la sexta muestra, la Escama N° 13, que procede de  
una barra de combustible cerca de un álabe del moderador de control, la potencia que se evacuó potencialmente de  
las chimeneas de vapor existentes a 35 pulgadas (aproximadamente 89 cm) de la parte inferior de la espiga es casi  
20 el doble de la potencia máxima registrada como se computó a partir de la indicación de los detectores del flujo de  
neutrones correspondiente a esa espiga en esa posición específica.

**[0037]** Entonces, la metodología puede proporcionar la imagen final de la superficie interna o externa examinada  
de la escama de CRUD junto con un resumen de la información de las chimeneas de vapor y los capilares, así como  
la información de salida de potencia.

25

**[0038]** La presente invención proporciona muchas ventajas sobre los métodos de evaluación que se han usado  
previamente. La presente invención proporciona una metodología objetiva, rentable y precisa para medir la cantidad  
de capilares de vapor y chimeneas de vapor y en una capa de depósito encima de una barra de combustible nuclear.  
Previamente a la presente invención, no había ningún método conocido para calcular la capacidad de evacuación de  
30 calor de una barra de combustible nuclear de CRUD en un lugar específico y relacionar esto con la capacidad de  
evacuación de calor de la barra de combustible nuclear y el volumen circundante en base a las características de la  
deposición.

**[0039]** Adicionalmente, la presente invención proporciona una metodología que verifica los datos obtenidos a  
35 través de los detectores de neutrones durante el funcionamiento del núcleo.

**[0040]** En la memoria descriptiva anterior, la invención se ha descrito con referencia a realizaciones ejemplares  
específicas de la misma. Sin embargo, será evidente que pueden hacerse diversas modificaciones y cambios en la  
misma sin apartarse del alcance de la invención como se expone en las reivindicaciones adjuntas. Por consiguiente,  
40 la memoria descriptiva y los dibujos se consideran en un sentido ilustrativo en lugar de en un sentido restrictivo.

**REIVINDICACIONES**

1. Un método para caracterizar una transferencia de potencia de una superficie calentadora de un componente calentador nuclear con una capa de depósito de material situada en un lado del componente, que  
5 comprende:
- obtener una muestra de la capa de depósito en el lado del componente calentador;
- obtener una imagen de una superficie interna opuesta al interior de la muestra;  
10 obtener una imagen de una superficie externa opuesta al exterior de la muestra;
- analizar las imágenes de la superficie interna y la superficie externa de la muestra para verificar la presencia de capilares y chimeneas de vapor;  
15 determinar un número de capilares y chimeneas de vapor para la superficie interna y la superficie externa;
- determinar un diámetro de los capilares y chimeneas de vapor para la superficie interna y la superficie externa; y  
20 calcular la transferencia de potencia del componente calentador en base al número de chimeneas de vapor en la capa de depósito.
2. Método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la etapa de obtener una muestra de la capa de depósito incluye el raspado de un lado del componente para obtener una escama.  
25
3. Método de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que la etapa de determinar el número de capilares y chimeneas de vapor para la superficie interna y la superficie externa comprende adicionalmente preparar un gráfico de diámetro frente al número de aberturas en la superficie interna y la superficie externa; y  
30 establecer un punto de umbral en el gráfico separando un número de capilares de un número de chimeneas de vapor, en base a una comparación de una representación del diámetro frente al número para cada una de las superficies examinadas.
4. Método de acuerdo con la reivindicación 3, en el que el punto de umbral en el gráfico entre los  
35 capilares y las chimeneas de vapor se basa en un tamaño de una burbuja de vapor.
5. Método de acuerdo con la reivindicación 3 o 4, en el que la etapa de determinar el número de capilares y chimeneas de vapor para la superficie interna y la superficie externa se realiza de tal forma que el número de chimeneas de vapor y los capilares se realice en una base por unidad de superficie.  
40
6. Método de acuerdo con la reivindicación 4, en el que la etapa de obtener una muestra de una capa de depósito en el lado del componente incluye identificar la superficie interna de la escama y la superficie externa de la escama.  
45
7. Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa de calcular la transferencia de potencia del componente en base a un número de chimeneas de vapor en la capa de depósito se realiza por una ecuación  $N_v = ax(q_0)^b$  donde:  
50  $N_v$  es el número de sitios de ebullición nucleada (o chimeneas de vapor) por  $mm^2$ ;
- a y b son dos constantes; y
- $q_0$  es el flujo de calor en vatios/cm<sup>2</sup>.  
55
8. Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la superficie calentadora del componente calentador es una superficie de una barra de combustible de un reactor de agua ligera.
9. Método de acuerdo con la reivindicación 8, en el que la barra de combustible procede de uno de un

reactor de agua en ebullición y un reactor de agua a presión.

10. Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la capa de depósito de material situada en el lado del componente son depósitos no identificados del río Chalk (CRUD, Chalk 5 River Unidentified Deposits).
11. Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la capa de depósito de material en la superficie calentadora se obtiene a partir de uno de los sólidos y sustancias disueltas en un fluido de refrigeración.
- 10 12. Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa de calcular la transferencia de potencia del componente en base al número de chimeneas de vapor en la capa de depósito calcula la transferencia de potencia media durante un intervalo de tiempo determinado.
- 15 13. Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa de calcular la transferencia de potencia del componente en base al número de chimeneas de vapor en la capa de depósito calcula adicionalmente una transferencia de potencia media del componente para un ciclo de combustible nuclear.
- 20 14. Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el componente calentador nuclear es un elemento de combustible nuclear, comprendiendo el método adicionalmente: comparar lecturas de densidad de potencia local de los monitores en el núcleo con respecto a la transferencia de potencia calculada después de la etapa de calcular la transferencia de potencia del elemento de combustible en base al número de chimeneas de vapor en la capa de depósito.
- 25 15. Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la imagen de la superficie interna es una imagen por microscopio electrónico de barrido.
16. Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la imagen de la 30 superficie externa es una imagen por microscopio electrónico de barrido.

DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE LOS CAPILARES Y LAS CHIMENEAS EN CRUD

DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE LOS CAPILARES  
Y LAS CHIMENEAS DE LA ESCAMA B DE RIVER BEND  
PARA UN ÁREA CUADRADA TOTAL DE  $2,453E-9 \text{ M}^2$

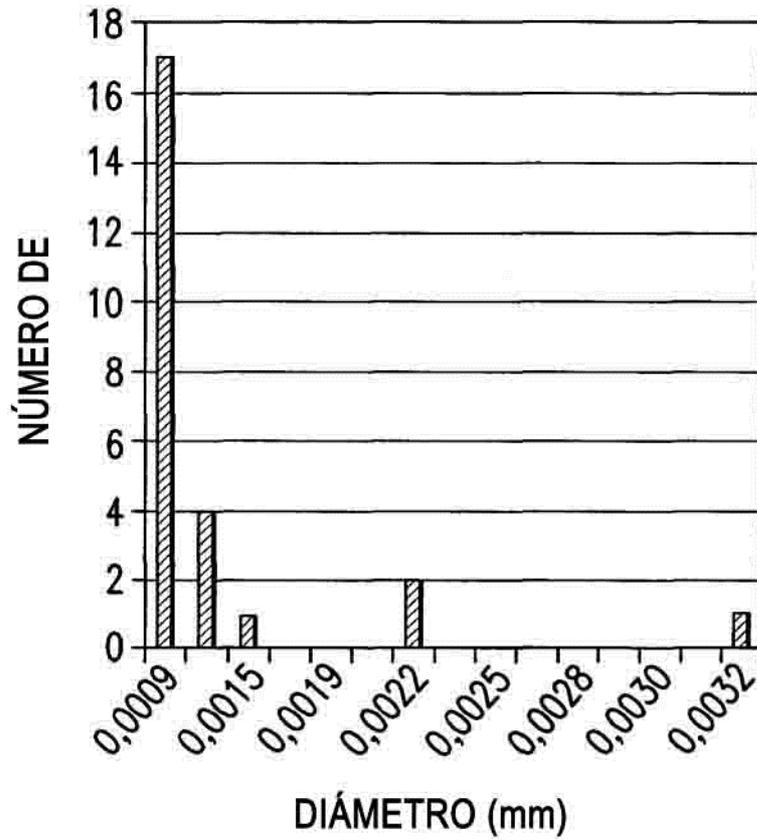


FIG. 1