

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 594 481**

51 Int. Cl.:

**G01N 1/04** (2006.01)  
**G01N 23/225** (2006.01)  
**G21C 17/017** (2006.01)  
**G21C 17/06** (2006.01)  
**G21C 19/00** (2006.01)  
**G01N 1/02** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.07.2010 PCT/US2010/042932**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.01.2011 WO11011622**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.07.2010 E 10802914 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.07.2016 EP 2457235**

54 Título: **Procedimiento y herramienta avanzados de muestreo de CRUD de combustible**

30 Prioridad:

**23.07.2009 US 271598 P**

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

**20.12.2016**

73 Titular/es:

**AREVA INC. (100.0%)  
3315 Old Forest Road  
Lynchburg, VA 24501, US**

72 Inventor/es:

**POP, MIHAI, G.M.;  
PUGH, ANTHONY, A.;  
LAMANNA, LAURENCE, S. y  
WILLSE, JOHN, T.**

74 Agente/Representante:

**PONTI SALES, Adelaida**

ES 2 594 481 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

Procedimiento y herramienta avanzados de muestreo de CRUD de combustible

- 5 **[0001]** La presente invención se refiere, en general, a un procedimiento y una herramienta de análisis de CRUD para reactores nucleares, y más específicamente para barras de combustible nuclear dentro de los conjuntos de combustible nuclear alojados en el núcleo del reactor.

## ANTECEDENTES

10

- [0002]** En los reactores refrigerados por agua, los productos de corrosión y desgaste activados se disuelven en el agua. La solubilidad de estos productos varía con las condiciones del reactor, es decir principalmente la temperatura, el pH a una concentración de  $H_2$  disuelto dada, y la química del refrigerante primario, todas las cuales pueden cambiar a lo largo del circuito de refrigerante y durante el ciclo del combustible. Estas variaciones causan disolución del material metálico en un punto del circuito de refrigerante primario y depósito sobre las superficies del circuito en otro. Los depósitos son generados generalmente mediante reacciones de precipitación y están hechos habitualmente de partículas sólidas, aglomeradas entre sí que pueden unirse fuertemente al sustrato subyacente. El término CRUD, un acrónimo para *Chalk River Unidentified Deposits* (depósitos no identificados de Chalk River), se usa habitualmente para caracterizar estos depósitos. El depósito de CRUD depende de la temperatura y tiende a depositarse más rápidamente en las superficies a la temperatura más elevada exacerbando adicionalmente la condición. En el circuito del reactor nuclear, las superficies a la temperatura más elevada son los encamisados de la barra de combustible nuclear. Dado que las condiciones térmicas e hidráulicas desempeñan un papel fundamental en el depósito, dentro del núcleo del reactor pueden esperarse depósitos en regiones de ebullición nucleada sub-refrigeradas, favoreciendo este mecanismo la concentración de impurezas y la disminución de la solubilidad, en ubicaciones superficiales a temperatura más elevada, en regiones de baja turbulencia, y en ubicaciones a elevada concentración de impurezas en el refrigerante primario. A medida que pasa el tiempo, los materiales se pueden acumular sobre una superficie oxidada exterior de los encamisados de aleación a base de circonio de las barras de combustible nuclear que contienen el material fisionable, tal como dióxido u óxido mixto de uranio enriquecido hechos de dióxido de uranio y dióxido de plutonio. La acumulación de CRUD sobre encamisados de barras de combustible reduce el coeficiente de transferencia de calor desde la superficie de la barra de combustible hasta el refrigerante primario, dando como resultado una temperatura de la barra de combustible más elevada y, por lo tanto, una mayor oxidación del encamisado de circonio. CRUD local más grueso permite precipitación de especies, tales como boro, que, si superan una cantidad dada por unidad de área de barra de combustible, podrían causar fluctuaciones locales de energía nuclear.

35

- [0003]** Para realizar el análisis de CRUD depositado sobre los conjuntos de combustible, se deben tomar muestras cepillando o raspando mecánicamente el exterior de las barras de combustible. Los sistemas usados para realizar este cepillado mecánico consisten en un brazo mecánico que tiene en un extremo un cepillo rotatorio de una configuración y material de las cerdas dados. El cepillo mecánico cepilla la superficie del CRUD, recogiendo, dependiendo de la presión aplicada al brazo y la selección de materiales de las cerdas, parte o todo el depósito de CRUD. Los sistemas para realizar el raspado mecánico incluyen un miembro rígido contra el que es presionada la barra de combustible, cizallando de este modo el CRUD suelto del resto de la barra de combustible nuclear cuando el miembro rígido se mueve sobre la barra de combustible. Otro procedimiento usado para recoger depósitos de CRUD es el procedimiento de raspado con rueda rotatoria donde una rueda de material altamente abrasivo es presionada mientras gira contra la superficie de la barra de combustible. Todos los mecanismos anteriores se materializan en un dispositivo manual o mecánico.

- [0004]** Más específicamente, el CRUD es un material no homogéneo y la porosidad cambia en el grosor del depósito. Habitualmente, los depósitos de poco grosor y el exterior de los depósitos de mayor grosor se caracterizan por una porosidad relativamente alta del orden del 70% al 80%, y mayor, que tiene un aspecto suelto y friable. En caso de depósito grueso, hasta el 60% del grosor del depósito puede ser cohesivo con una porosidad de menos del 50%. La composición del CRUD puede afectar en gran medida a la corrosión del encamisado de la barra de combustible localmente, actuando como un aislante térmico o favoreciendo químicamente el proceso de corrosión. El conocimiento de distribuciones elementales en diversas ubicaciones de la sección transversal del CRUD (Fe, Cr, Ni, Co, Si, Zn, etc.), de la química del cristal individual, del tamaño y la morfología de los cristales es de importancia fundamental para definir un esquema de vigilancia adecuado. Por lo tanto, es necesario un procedimiento que permita una recogida diferenciada de CRUD, que responda mejor a las características de porosidad y densidad del depósito y que también proporcione mejores respuestas sobre qué cantidades y qué tipo de material de CRUD puede ser arrastrado durante la puesta en marcha o durante el intercambio de secuencia (CRUD suelto) y qué

cantidad y tipo de CRUD permanece unido a la superficie de la clavija independientemente de las condiciones operativas.

5 **[0005]** Los dispositivos existentes presentan una desventaja fundamental que limita la eficacia del análisis de CRUD: el CRUD suelto y cohesivo se recogen conjuntamente lo que causa mezcla de muestras y pérdida de información importante necesaria para definir el mejor esquema de vigilancia y el plan de acción asociado para el funcionamiento adicional del reactor nuclear.

10 **[0006]** La patente de Estados Unidos N.º 7.132.651 enseña un procedimiento para recogida y análisis de copos de CRUD.

15 **[0007]** El documento BLOK J et al: "Ultrasonic cleaning of BWR fuel", TECHNICAL UPDATE, EPRI, US, nº 1009578, 6 de diciembre de 2006, describe la recogida de dos muestras de depósito en la misma ubicación de una barra de combustible mediante cepillado para recoger un depósito suelto seguido por raspado para recoger un depósito cohesivo.

#### RESUMEN DE LA INVENCIÓN

20 **[0008]** Existe una necesidad de proporcionar un procedimiento de retirada de CRUD que permita recogida y análisis por separado de CRUD suelto y CRUD cohesivo en un exterior de una barra de combustible nuclear.

25 **[0009]** Existe también una necesidad de proporcionar un procedimiento de retirada de CRUD que permitirá recogida por separado de CRUD suelto y cohesivo en la misma superficie geométrica del exterior de la barra de combustible nuclear.

30 **[0010]** Un objeto de la presente invención es proporcionar un procedimiento de análisis de CRUD que combina una herramienta de cepillado y de raspado para barras de combustible nuclear, para determinar las propiedades físicas del CRUD depositado sobre un exterior de una barra de combustible nuclear permitiendo la separación tanto en la recogida como en el análisis de CRUD suelto y CRUD cohesivo.

35 **[0011]** La presente invención proporciona un procedimiento para realizar un análisis de dos tipos de CRUD en una barra de combustible nuclear tal como se define en la reivindicación 1. Características opcionales se definen en las reivindicaciones 2 a 17.

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

**[0012]** Realizaciones preferidas de la presente invención se describirán con respecto a los dibujos, en los que:

40 La figura 1 muestra una herramienta de cepillado/raspado de acuerdo con una primera realización de la presente invención;

La figura 2 muestra un dispositivo de cepillado de la herramienta aplicado a una barra de combustible de acuerdo con una segunda realización de la invención;

45 La figura 3 muestra un dispositivo de raspado de la herramienta que actúa sobre la barra de combustible de acuerdo con la segunda realización; y

50 La figura 4 muestra la distribución de CRUD por región de la barra de combustible en un BWR (reactor de agua en ebullición), con CRUD suelto y cohesivo separados de acuerdo con la presente invención.

#### DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LOS DIBUJOS

55 **[0013]** La figura 1 muestra una primera realización de una herramienta de cepillado/raspado de CRUD 2 diseñada para realizar muestreo de CRUD de combustible mediante un proceso de dos etapas. La herramienta 2 incluye un cabezal de herramienta 3 que alberga un dispositivo de cepillado 4 y un dispositivo de raspado 8. El dispositivo de raspado 8 tiene una cuchilla 18. El dispositivo de cepillado 4 tiene cerdas de plástico 6 que se extienden desde la cara 19 de la cuchilla 18, de modo que pueda realizarse un procedimiento de cepillado/raspado de dos fases. En la realización ilustrada, el dispositivo de raspado 8 y el dispositivo de cepillado 4 son fijos uno con

respecto al otro. El cabezal de herramienta 3 tiene la capacidad de alojar otras herramientas, tales como una rueda de material abrasivo.

**[0014]** La figura 2 muestra una superficie de una barra de combustible 14 cubierta con una primera capa 10 de CRUD suelto y una segunda capa 12 de CRUD cohesivo. El dispositivo de cepillado 4 se usa para retirar la primera capa 10 de CRUD suelto de una superficie seleccionada 20 de la barra de combustible 14 eliminándola por cepillado, estando el dispositivo de raspado 8 retraído. El dispositivo de cepillado 4 se mueve atrás y adelante tal como se representa mediante las flechas A, moviendo las cerdas 6 en un movimiento hacia atrás y hacia delante sobre la superficie seleccionada 20 de la barra de combustible 14 para obtener una muestra inicial y retirar suelta la primera capa 10 de CRUD suelto sin contacto con la cuchilla. Una fuerza dada F1 se aplica sobre la herramienta 2 para acoplar las cerdas 6 del dispositivo de cepillado 4 sobre la superficie seleccionada 20. La cantidad de presión aplicada se define para permitir una retirada oportuna y exitosa del depósito suelto sin contacto de la cuchilla 18 con la primera capa 10. F1 puede variar entre 13790 Pa (2 psi) y 413685 Pa (60 psi). Las cerdas 6 limpian la primera capa 10 de CRUD suelto de la superficie seleccionada 20 de la barra de combustible 14. Las cerdas 6 del dispositivo de cepillado 4 son preferentemente de nylon, sin embargo una gran variedad de materiales plásticos o materiales blandos son adecuados para esta aplicación. También pueden usarse otras configuraciones de herramienta de cepillado tales como discos rotatorios con cerdas de plástico u otros materiales de cepillado seleccionados. Una vez retirada de la barra de combustible 14, la primera capa 10 de CRUD suelto puede analizarse antes de, en paralelo a o después de la segunda fase del proceso - el raspado. La primera capa 10 de CRUD suelto se analiza individualmente.

**[0015]** La figura 3 muestra el dispositivo de raspado 8 de la herramienta 2 aplicado a la misma superficie seleccionada previamente 20 sobre la barra de combustible 14, estando el dispositivo de cepillado 4 retraído. En la primera realización de la invención, la cuchilla 18 se aplica sobre la superficie seleccionada 20 incrementando la presión de contacto. En la segunda realización ilustrada, el dispositivo de cepillado 4 y el dispositivo de raspado 8 son móviles en la dirección D uno con respecto al otro, en una alternativa, pueden ser móviles en la dirección A o en cualquier otra dirección uno con respecto al otro. En la primera, la segunda y realizaciones alternativas, no es necesario recolocar la herramienta 2 entre las fases de cepillado y raspado. La primera capa 10 de CRUD suelto ya ha sido retirada mediante el dispositivo de cepillado 4. La cuchilla de raspado 18 se aplica después de que se ha producido el cepillado sobre la superficie seleccionada 20 de la barra de combustible 14. La cuchilla 18 se mueve en dirección atrás y adelante tal como se representa en la figura 3 mediante las flechas A. El movimiento atrás y adelante A se produce sobre la misma zona seleccionada 20. El ajuste de presión de la herramienta más elevada, una fuerza dada F2, se aplica a la herramienta 2 para garantizar que la cara de cuchilla 19 de la cuchilla 18 está en contacto completo con la superficie seleccionada 20 de la barra de combustible 14 para conseguir una segunda muestra, siendo la segunda muestra de la segunda capa 12 de CRUD cohesivo, con, posiblemente, una capa de óxido de circonio 16. F2 puede variar entre F1 y 60 psi, y preferentemente entre 103421 Pa (15 psi) y 413685 Pa (60 psi). La cuchilla 18 está hecha preferentemente de material rígido seleccionado para obstaculizar la potencial corrosión, por ejemplo, del acero inoxidable, o preferentemente de aleación de circonio. La recogida de la segunda capa 12 de CRUD cohesivo es analizada a continuación individualmente.

**[0016]** Después del cepillado y raspado de la barra de combustible 14, la superficie seleccionada 20 es inspeccionada visualmente usando videocámaras submarinas. La inspección visual es registrada y a continuación leída por un experto en la materia. Si quedara una segunda capa sustancial 12 de CRUD cohesivo, el cabezal de la herramienta 3 está configurado con un dispositivo de piedra abrasiva tal como una rueda de material abrasivo que está acoplada con el ajuste de presión más elevada F2 para retirar toda la segunda capa 12 de material de CRUD cohesivo. El dispositivo de piedra es re-indexado en la misma ubicación en la que el dispositivo de cepillado y el dispositivo de raspado funcionaron. El dispositivo de piedra se usa hasta que toda la segunda capa 12 de CRUD cohesivo y toda la capa de óxido de circonio 16 es retirada de la superficie de la barra de combustible 14, y el metal de base limpio de la superficie de la barra de combustible 14 es visible. Las secuencias del mecanismo automático de la herramienta 2 permiten un primer despliegue del dispositivo de cepillado 4 y un segundo despliegue del dispositivo de raspado 8 sobre la misma superficie seleccionada geométrica 20 de la barra de combustible 14 con intervalo de tiempo suficiente entre ellos para permitir el cambio de los medios de filtro que recogen las dos muestras diferentes, primera capa 10 de CRUD suelto y segunda capa 12 de CRUD cohesivo, y posiblemente un paso definitivo sobre la misma superficie después del raspado con cuchilla, con un dispositivo de piedra abrasiva. Obtener la información por separado sobre la cantidad y la calidad de la primera capa 10 de CRUD suelto y la segunda capa 12 de CRUD cohesivo proporciona una mejor comprensión de los fenómenos de transporte de CRUD y sus efectos sobre el funcionamiento de la central energética y sobre el nivel de actividad de los diversos componentes de la central nuclear.

**[0017]** Cepillar la primera capa 10 de CRUD suelto con el dispositivo de cepillado 4 y después de esto con un movimiento de raspado con el dispositivo de raspado 8 proporciona una separación entre la recogida de la primera capa 10 de CRUD suelto y la segunda capa 12 de CRUD cohesivo de la misma superficie seleccionada 20 con capacidad de obtener información valiosa sobre el depósito de la capa de CRUD. Dicho procedimiento de cepillado  
5 seguido por raspado es muy valioso en centrales donde una gran parte del depósito es la primera capa 10 de CRUD suelto. Esto es importante para determinar la contribución de especies químicas en la primera capa 10 de CRUD suelto al transporte de especies químicas durante algunas condiciones operativas.

**[0018]** Los copos recogidos de la primera capa 10 de CRUD suelto y la segunda capa 12 de CRUD cohesivo  
10 se clasifican individualmente en fracciones de partículas y se analizan con una serie de herramientas analíticas incluyendo un microscopio electrónico de barrido (SEM), donde la herramienta 2 tiene un dispositivo de cepillado 4 que tiene cerdas con una elasticidad correspondiente al tipo de CRUD y dispositivo de raspado 8 que tiene una cuchilla 18 con una rigidez que es equiparada con una resistencia a cizalladura del depósito de CRUD prevista. Los procedimientos de análisis de CRUD son los mismos que los ensayados en la patente de Estados Unidos N.º  
15 7.132.651. Dichos procedimientos se describen brevemente a continuación pero se describen adicionalmente en la patente de Estados Unidos N.º 7.132.651. Los procedimientos enseñados en la patente mencionada anteriormente se aplican tanto a la primera capa 10 de CRUD suelto como la segunda capa 12 de CRUD cohesivo individualmente.

**[0019]** Un procedimiento de análisis de este tipo para la presente invención incluye proporcionar un aparato  
20 de difracción de electrones por retrodispersión (EBSD) unido a un microscopio electrónico de barrido (SEM); y si no accionar el aparato de SEM para determinar un sistema cristalino, parámetro de entramado de células unitarias y un punto de cristales en grupo que pertenece a una parte in-situ del copo. La invención también proporciona un procedimiento para el análisis de la sección transversal de un copo de CRUD en una barra de combustible nuclear. La invención proporciona las etapas de determinar la morfología de cristales del copo, determinar el tamaño de los  
25 cristales del copo, correlacionar distribuciones elementales del copo en diversas ubicaciones en el copo donde las distribuciones se obtienen con un SEM con espectrómetro de energía dispersiva unido, determinar el agotamiento de enriquecimiento de hierro y un enriquecimiento en otras especies tales como cobre, zinc y silicio en los cristales mediante las distribuciones elementales, y correlacionar el agotamiento de enriquecimiento de hierro y el enriquecimiento en otras especies tales como cobre, zinc y silicio con el tamaño y la morfología de los cristales.

**[0020]** El SEM puede usarse en Microscopio-Espectrómetro de energía dispersiva (SEM/EDS) tal como se describe adicionalmente en la patente de Estados Unidos N.º 7.132.651. Se usa junto con las técnicas en masa disponibles anteriormente (ICP, XRD y espectrometría Gamma) para extrapolar e integrar la información crítica de características de CRUD local en el conjunto de los datos de CRUD. La porosidad de los poros se estima basándose  
35 en una imagen de SEM del copo. Usando el procedimiento, la porosidad de otros copos de CRUD puede estimarse. El CRUD puede ser mucho más denso en regiones defectuosas de barras de combustible nuclear que en regiones no defectuosas.

**[0021]** El procedimiento de dos fases de la presente invención permite una diferenciación entre el contenido y  
40 la cantidad de CRUD suelto entre una primera irradiada y una segunda irradiada barras de combustible, permitiendo una evaluación del nivel de arrastre en la segunda barra de combustible de CRUD suelto depositado originalmente sobre la primera barra de combustible. El procedimiento de dos fases de la presente invención también puede usarse para entender el transporte y el arrastre de CRUD suelto en una tercera barra de combustible irradiada desde las primera y segunda barras de combustible irradiadas. La figura 4 muestra que el uso de un nuevo procedimiento  
45 de muestreo y análisis de la presente invención proporciona respuestas cuantitativas sobre qué CRUD está disponible para arrastre y qué CRUD está adherido estrechamente a las barras de combustible y cuál es la distribución axial de CRUD suelto y cohesivo. El uso de un dispositivo de cepillado 4 seguido por un dispositivo de raspado 8 normalmente retira casi el 100% del depósito de la barra de combustible; incluyendo óxido de circonio cerca del encamisado. En la figura 4, B corresponde a la recogida de CRUD suelto cepillado, S corresponde a la recogida de CRUD cohesivo raspado y T representa el total de los dos. La recogida se realiza en una barra de  
50 combustible irradiada entre dos rejillas espaciadoras adyacentes en el punto medio (MS). En la realización ilustrada, la elevación 1 está entre la primera y la segunda rejillas espaciadoras desde la parte inferior del conjunto de combustible (MS 1-B) y la elevación 7 está entre la séptima y la octava rejillas espaciadoras desde la parte inferior del conjunto de combustible (MS 7-B). El análisis también permite la separación de cantidades totales mediante el  
55 tipo de CRUD disponible para CRUD tanto suelto como cohesivo. El uso del dispositivo de cepillado 4 de la presente invención, seguido por el dispositivo de raspado 8 ha demostrado ser extremadamente útil para descubrir el porcentaje de CRUD suelto y correlacionarlo con el alcance de redistribución de CRUD al comienzo del siguiente ciclo de irradiación. Más redistribución de CRUD puede dar como resultado potencialmente una carga más pesada sobre los conjuntos de combustible frescos.

**[0022]** En la memoria descriptiva anterior, la invención se ha descrito con referencia a realizaciones ejemplares específicas y ejemplos de las mismas. Será, sin embargo, evidente que pueden realizarse diversas modificaciones y cambios en ella sin alejarse del alcance de la invención, tal como se describe en las 5 reivindicaciones a continuación. La memoria descriptiva y los dibujos deben considerarse, por consiguiente, de manera ilustrativa en lugar de en sentido restrictivo.

**REIVINDICACIONES**

1. Un procedimiento para realizar un análisis de dos tipos de CRUD en una barra de combustible nuclear, que comprende:
- 5 proporcionar una barra de combustible nuclear (14) con una primera capa (10) y una segunda capa (12) de CRUD sobre un exterior de la barra de combustible (14);
- cepillar la primera capa (10) de CRUD de la barra de combustible con una herramienta para CRUD (2) en una zona seleccionada (20); donde la herramienta (2) tiene un dispositivo de cepillado (4) que tiene cerdas (6), una fuerza aplicada al dispositivo de cepillado (4) sobre la barra de combustible (14) para retirar la primera capa (10) de CRUD, siendo la fuerza suficiente para realizar dicha retirada;
- 10 recoger la primera capa (10) de CRUD a partir del dispositivo de cepillado (4);
- 15 raspar la segunda capa (12) de CRUD de la barra de combustible (12) en la zona seleccionada (20) con la herramienta (2), donde la herramienta (2) tiene un dispositivo de raspado (8) que tiene una cuchilla (18) y una segunda fuerza se aplica a la herramienta (2) para raspar, teniendo la cuchilla (18) una cara (19) para contactar con la zona seleccionada (20);
- 20 recoger la segunda capa (12) de CRUD a partir del dispositivo de raspado (8); y
- analizar la primera capa (10) y la segunda capa (12) de CRUD por separado con un microscopio electrónico de barrido
- 25 donde las cerdas (6) del dispositivo de cepillado (4) se extienden desde la cara (19) de la cuchilla (18) del dispositivo de raspado (8).
2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, donde el dispositivo de raspado (8) y el dispositivo de cepillado (4) son fijos uno con respecto al otro.
- 30
3. El método de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, donde el dispositivo de raspado (8) y el dispositivo de cepillado (4) son móviles uno con respecto al otro, estando el dispositivo de cepillado (4) y el dispositivo de raspado (8) retraídos cuando el otro está siendo usado.
- 35
4. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, que comprende además inspeccionar visualmente la zona seleccionada en busca de CRUD restante.
5. El método de acuerdo con la reivindicación 4, que comprende además acoplar un dispositivo de piedra después del dispositivo de raspado (8) si algo de la segunda capa (142) de material CRUD queda en la barra de combustible (14) en la zona seleccionada, donde la segunda fuerza de raspado se aplica al dispositivo de piedra.
- 40
6. El método de acuerdo con la reivindicación 5, donde el dispositivo de piedra es una rueda.
7. El método de acuerdo con la reivindicación 6, donde la rueda está hecha de un material abrasivo.
- 45
8. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, donde la cuchilla es de acero inoxidable.
9. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, donde la cuchilla está hecha de aleación de circonio.
- 50
10. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, donde las cerdas son de materiales blandos o plásticos.
- 55
11. El método de acuerdo con la reivindicación 10, donde las cerdas (6) son de nylon.
12. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, donde la segunda fuerza aplicada durante el raspado de la segunda capa (12) es mayor que la fuerza aplicada durante el cepillado de la

primera capa (10).

13. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, que comprende además clasificar la primera capa (10) y la segunda capa (12) de CRUD en fracciones de partículas.

5

14. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, donde la fuerza aplicada al dispositivo de cepillado (4) está entre 13790 Pa (2 psi) y 413685 Pa (60 psi).

15. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14, donde la segunda fuerza  
10 aplicada al dispositivo de raspado (8) está entre 103421 Pa (15 psi) y 413685 Pa (60 psi).

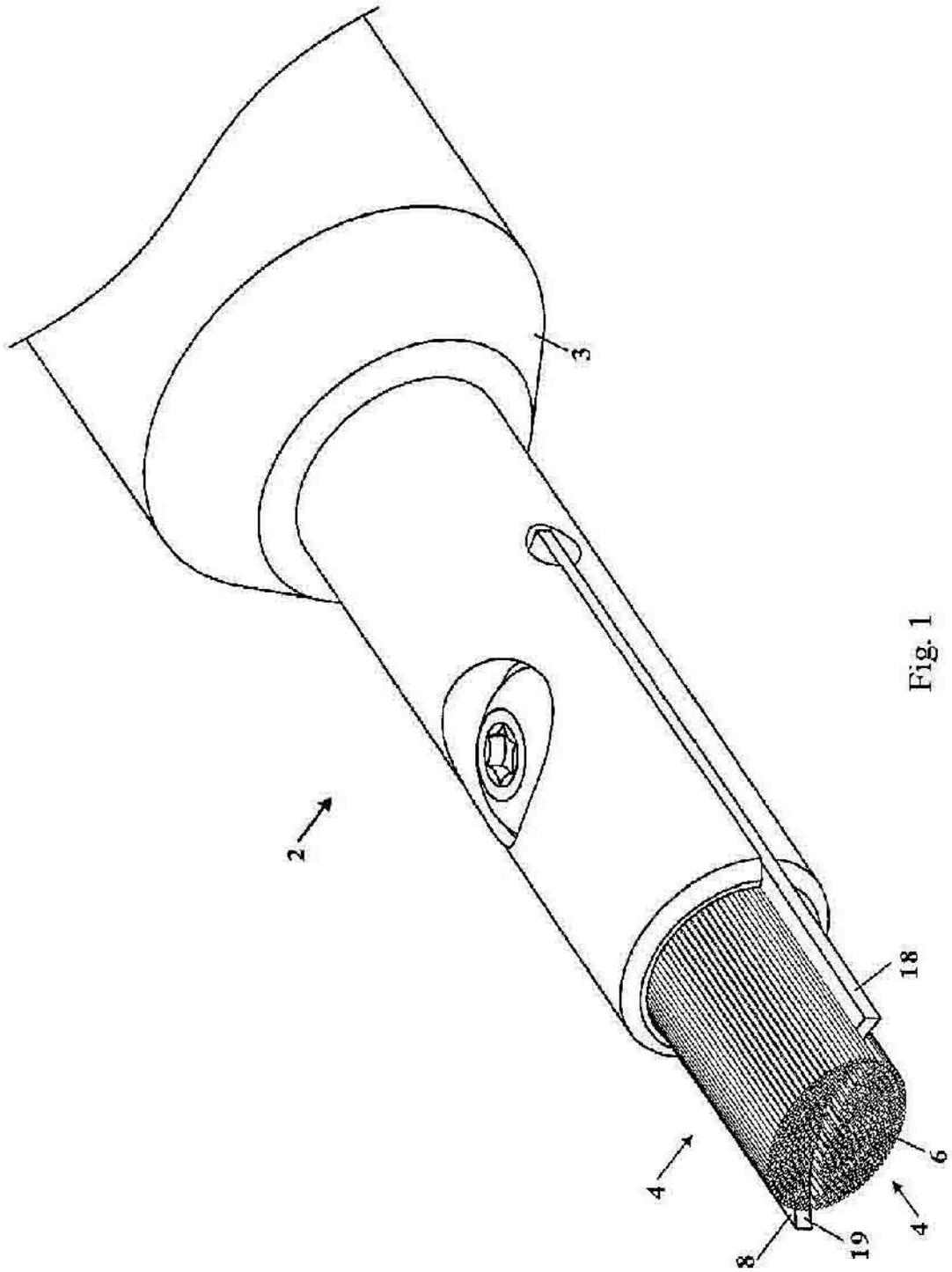


Fig. 1

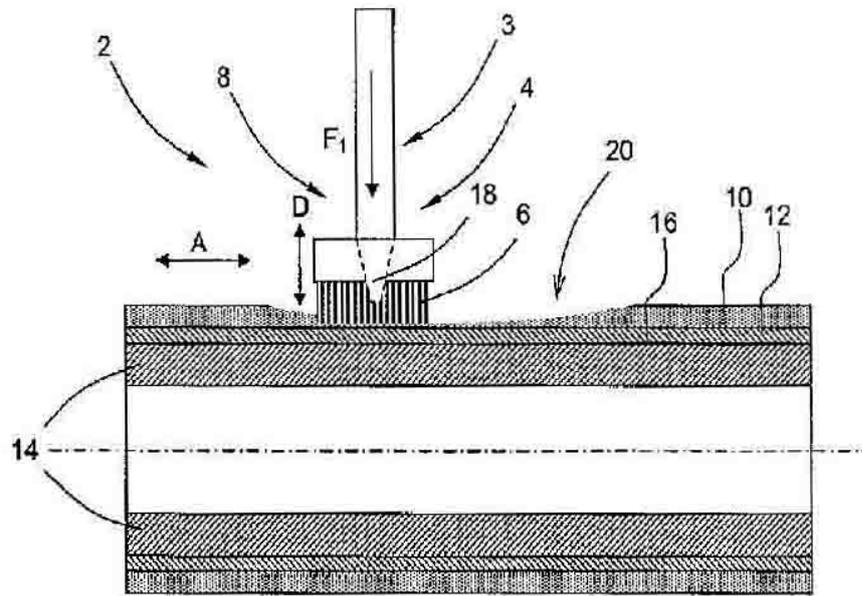


Figura 2

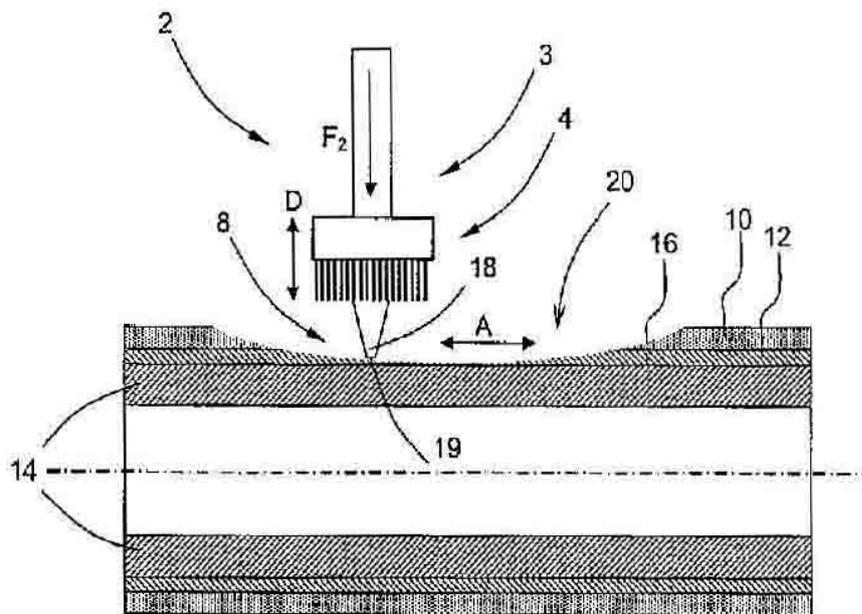


Figura 3

Fig. 4

