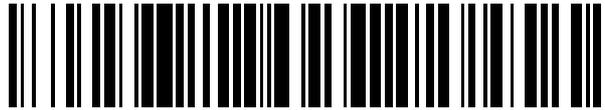


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 392 455**

51 Int. Cl.:

**B24B 57/00** (2006.01)  
**B01D 21/00** (2006.01)  
**B01D 3/00** (2006.01)  
**B01D 21/26** (2006.01)  
**B01J 39/04** (2006.01)  
**B01J 41/04** (2006.01)  
**B24B 55/12** (2006.01)  
**B28D 5/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **06766344 .3**  
96 Fecha de presentación: **16.06.2006**  
97 Número de publicación de la solicitud: **1893385**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **05.03.2008**

54 Título: **Procedimiento y aparato para tratar suspensiones abrasivas agotadas para la recuperación de sus componentes reutilizables**

30 Prioridad:

**24.06.2005 IT RM20050329**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:

**10.12.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:

**10.12.2012**

73 Titular/es:

**SIC PROCESSING AG (100.0%)  
DIENHOF 26  
92242 HIRSCHAU, DE**

72 Inventor/es:

**FRAGIACOMO, GUIDO**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

ES 2 392 455 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 aparato para tratar suspensiones abrasivas agotadas para la recuperación de sus componentes reutilizables

5 La presente invención se refiere a un proceso y al aparato correspondiente para tratar suspensiones agotadas de material abrasivo para la recuperación de sus componentes reutilizables. Más específicamente, la invención se refiere a un proceso, con el equipo necesario para su aplicación, para recuperar los componentes reutilizables contenidos en una suspensión de material abrasivo usada en cortar materiales cristalinos de silicio, cuarzo o cerámica cuando se agota y se enriquece con materia residual no deseada. El proceso permite la recuperación de los granos de material abrasivo todavía reutilizables contenidos en la suspensión agotada, así como la recuperación total del líquido de la suspensión de material abrasivo, con el fin de reutilizar ambos componentes en el proceso de fabricación.

15 Como es sabido, la producción de componentes para aplicaciones en el campo de la energía fotovoltaica y de la electrónica hace uso de delgados discos de silicio ("obleas") obtenidos a partir de lingotes de silicio policristalino o de lingotes de silicio monocristalino al cortar el lingote perpendicularmente a su longitud. Típicamente, esta operación de corte se lleva a cabo por medio de una cortadora o sierra de alambre, en la que se pone en contacto un alambre de metal de longitud considerable y de resistencia mecánica adecuada, enrollado en un sistema de rodillos y bobinas, mientras se mueve con el lingote, perpendicularmente a la longitud del lingote, en los puntos en los que se hace el corte. Al mismo tiempo, una suspensión que contiene partículas o granos de material abrasivo (suspensión de material abrasivo) se alimenta a la zona de contacto entre el alambre cortador y el lingote.

20 Las suspensiones de material abrasivo convencionales usadas para cortar lingotes de silicio, cuarzo u otro material cerámico con una sierra de alambre consisten en un fluido lubricante o de refrigeración de la suspensión, tal como un aceite mineral, o líquidos orgánicos solubles en agua de alto peso molecular (en particular, polietilenglicol, PEG, del inglés polyethylene glycol) en el que están suspendidas las partículas de material abrasivo de dureza adecuada, generalmente de carburo de silicio (SiC).

25 Durante la operación de corte, parte de los granos de material abrasivo pierden su capacidad para ayudar en el proceso de corte, ya que se descomponen en partículas más pequeñas y por lo tanto ya no son adecuados para la operación de corte: esto se muestra por el hecho de que la distribución del tamaño de grano de las partículas de material abrasivo se reduce a valores medios más bajos. Al mismo tiempo, la suspensión de material abrasivo se va enriqueciendo con partículas finas procedentes del lingote de silicio que se corta y también del alambre de corte (principalmente hierro), así como de las tuberías de metal del aparato en sí.

30 A medida que aumenta la cantidad de partículas finas, la suspensión de material abrasivo pierde sus características mecánicas y disminuye la eficiencia de la operación de corte, en la medida en que la suspensión se vuelve ineficaz y ésta se debe desechar y sustituir por suspensión fresca de material abrasivo.

35 La suspensión agotada de material abrasivo que se desecha se puede eliminar por termodestrucción, pero esto implica un inconveniente evidente, no sólo a causa de la pérdida de los componentes reutilizables, sino también en cuanto al impacto medioambiental. En realidad, la termodestrucción es una técnica de eliminación de residuos que no está desprovista de efectos negativos, tanto en lo que se refiere a la contaminación del medio ambiente como de la atmósfera, por la posible presencia de sustancias nocivas en los gases de combustión emitidos o en las cenizas, y en cuanto a la inevitable contribución al efecto invernadero debido a la producción del dióxido de carbono originado por la combustión de sustancias orgánicas.

40 Como alternativa a la incineración, la suspensión de material abrasivo se puede enviar a las plantas de tratamiento de residuos biológicos para residuos municipales o industriales, pero el lodo resultante debe después ir a un vertedero.

45 En ambos casos anteriormente mencionados, aparte del problema ambiental debido a la necesidad de eliminar los productos de desecho, existe el considerable inconveniente económico de perder una cantidad considerable de granos de material abrasivo todavía reutilizables contenidos en la suspensión agotada, es decir, aquellos granos que todavía son del tamaño adecuado para ser usados en una suspensión de material abrasivo. Por otra parte, existe también la pérdida del producto líquido que compone el fluido de la suspensión o de corte. Este último (que puede ser en base a aceite mineral o en base a un líquido orgánico, tal como PEG), si se purifica eficientemente de las partículas finas suspendidas de los residuos de metal y de silicio, así como de los granos de material abrasivo no reutilizables, sería perfectamente reutilizable en el proceso, ya que mantiene sus propias características inalteradas durante el proceso en sí mismo.

50 Puesto que la necesidad de separar y recuperar los componentes de una suspensión agotada de material abrasivo es un problema ampliamente sentido en el campo, se han propuesto varias técnicas con el fin de aplicar esta recuperación, al menos en parte. Tanto en el caso de suspensiones de material abrasivo en base a aceite y en las

suspensiones en base a líquidos orgánicos solubles en agua, todos los métodos propuestos varían en combinar las siguientes operaciones básicas:

- a) reducir preliminarmente la viscosidad de la suspensión agotada, y específicamente, mediante la adición de un disolvente o por calentamiento, con el fin de prepararla para las operaciones posteriores;
- 5 b) separar los granos de material abrasivo mediante clasificación por tamaño en húmedo, tales como por centrifugación o haciendo pasar la suspensión a través de un hidrociclón (un separador estático de partículas sólidas arrastradas por un líquido, que aprovecha la acción de la fuerza centrífuga);
- c) filtrar las fases líquidas resultantes de la separación del grano abrasivo;
- d) destilar las mezclas líquidas del disolvente y del fluido de refrigeración que componen el filtrado;
- 10 e) secar los granos reutilizables de material abrasivo.

Las tecnologías conocidas hasta ahora, como se hará más claro a continuación con referencia a algunos ejemplos de la técnica anterior, presentan varios inconvenientes en un mayor o menor grado, incluyendo una calidad insuficiente de los granos reutilizables de material abrasivo en términos de tamaño o en términos de la presencia de partículas finas de silicio y/o de metal, una excesiva complejidad del proceso o un alto número de operaciones necesarias, un consumo considerable de disolvente que se añade para la separación, o largos tiempos necesarios para el tratamiento, y/o bajos rendimientos de los diversos componentes.

La Solicitud de Documento de Patente Europea de número EP-A-786.317 (Shin-Etsu Handotai Co.) describe un sistema para reutilizar una suspensión agotada de material abrasivo del tipo en base a aceite en donde primero se añade agua a la suspensión agotada con el fin de reducir su viscosidad, y después la mezcla resultante se alimenta a un hidrociclón para separar los granos reutilizables de material abrasivo. Como es sabido, en un hidrociclón el alimento a tratar se alimenta desde la parte superior a alta velocidad y tangencialmente al aparato, de modo que la fuerza centrífuga empuja a las partículas más pesadas hacia los lados del recipiente. Al moverse en una manera espiral, las partículas más pesadas se recogen después en la parte inferior cónica del recipiente (flujo inferior), mientras que el líquido clarificado sale por la parte superior a través de un conducto central (flujo superior). En la solución propuesta en el documento antes mencionado, el flujo superior del hidrociclón, que contiene el fluido de corte aceitoso, agua y todas aquellas partículas que no han sido clasificadas al pasar a través del hidrociclón, se fracciona después en tres fases por centrifugación. Esta operación produce una fase aceitosa que se reutiliza en el proceso de corte, el agua que se reutiliza en la fase preliminar de dilución de la suspensión agotada, y una suspensión de residuos que contiene los sólidos a ser eliminados, que se envía a la planta de tratamiento de residuos.

Es obvio que el proceso descrito no permite obtener una alta calidad de la fracción de los granos recuperados de material abrasivo del hidrociclón, aunque sólo sea porque esta fracción contiene una cierta cantidad de partículas sólidas más finas, que incluyen una cantidad de polvos de silicio y polvos de metal (principalmente hierro) que se recogen en la suspensión agotada como residuos de la operación de corte. Los polvos finos no deseados tienden a acumularse en la suspensión de material abrasivo, a medida que ésta se recupera y se reutiliza según el proceso descrito en el documento antes mencionado. Lo mismo se aplica para la suspensión aceitosa recuperada de la operación de centrifugación, que inevitablemente contiene trazas de partículas finas sólidas que se devuelven al proceso de corte y se acumulan en el sistema.

Un proceso muy similar al mencionado anteriormente se describe en la Solicitud de Documento de Patente Internacional de número WO 01/43933 (Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V.), que describe un método destinado a ser una mejora del descrito anteriormente. Las etapas de funcionamiento son prácticamente las mismas que las descritas en el Documento de Patente de número EP-A-786.317, pero el fluido de proceso auxiliar que se añade en la fase preliminar con el fin de reducir la viscosidad de la suspensión agotada (que era agua en el caso anterior de la suspensión de material abrasivo en base a aceite) se selecciona en este caso de modo que sea miscible con el líquido de la suspensión de la suspensión de material abrasivo. Por lo tanto, en el caso de suspensiones de material abrasivo en base a aceite, el fluido de dilución se selecciona de entre los disolventes lipófilos (tales como hexano o heptano), mientras que en el caso de suspensiones en base a disolventes solubles en agua se usan disolventes anfífilicos (tal como, acetona). Esto permite crear una suspensión estable de las partículas finas a eliminar, y mejorar la separación de los granos de material abrasivo, que se recuperan en la primera fase del tratamiento de clasificación por tamaño en húmedo.

La suspensión obtenida después de separar los granos reutilizables de material abrasivo se debe tratar por destilación, después de la necesaria filtración de los sólidos finos en suspensión, dado que en este caso el líquido añadido es miscible con el fluido de la suspensión.

5 En este caso también, los granos recuperados de material abrasivo no están completamente libres de granos no reutilizables y de trazas de partículas finas de silicio y de metal (hasta 2 %), con una reducción evidente de la calidad del material abrasivo que se va a recuperar y reutilizar en el proceso de corte. Además, aquí también, parte de los metales permanecen en disolución en el fluido de la suspensión que se reutiliza en el proceso, y se acumulan gradualmente.

10 El Documento de Patente Europea de número EP 0.791.385 (Shin-Etsu Handotai Co. et al.) describe un método para la separación y reutilización de las suspensiones agotadas de material abrasivo similar a los dos métodos descritos anteriormente, pero este método está principalmente diseñado para su uso en el caso de suspensiones en base a líquidos solubles en agua. Aquí, también, la primera operación consiste en diluir la suspensión con agua con el fin de reducir su viscosidad. A continuación, la mezcla se trata mediante clasificación por tamaño en húmedo para separar los granos reutilizables de material abrasivo; aquí, también, el aparato preferente es un hidrociclón.

15 La parte del proceso que más difiere de los dos sistemas antes mencionados se refiere al tratamiento de separación y recuperación de la suspensión líquida obtenida del flujo superior del hidrociclón. Se añade un agente coagulante a esta suspensión líquida con el fin de favorecer la separación de los sólidos suspendidos, y luego todo el conjunto se somete a destilación, de la que se recupera el agua, como la fracción más ligera, que se reutiliza para la dilución inicial de la suspensión agotada.

20 La mezcla de suspensión soluble en agua, sólidos suspendidos y agente coagulante se somete a tratamiento de separación sólido-líquido, preferentemente por centrifugación, para obtener, por un lado, un residuo sólido que se debe desechar y, por otro, la suspensión soluble en agua. Esta se puede reutilizar en el proceso de corte después de tratamientos adicionales, entre los cuales está la adición de un agente de dispersión para ajustar la viscosidad de la suspensión.

Tanto en cuanto a la calidad de los granos recuperados de material abrasivo como con respecto a la pureza de la suspensión que se alimenta de nuevo en el proceso de corte, se mantienen las mismas consideraciones que las realizadas para los dos procesos previos mencionados anteriormente.

25 El Documento de Patente de los EE.UU. de número 6.010.010 (Elektroschmelzwerk Kempten) propone un proceso completamente diferente para tratar suspensiones agotadas de material abrasivo que los métodos considerados hasta ahora. En este caso, en la primera fase se seca la totalidad del componente sólido, tal como por evaporación a vacío o mediante secado por pulverización, lo que implica calentar la suspensión agotada en cierta medida. Después, las partículas reutilizables de material abrasivo se separan del material de desecho más fino por métodos convencionales de clasificación por tamaño en seco. El líquido evaporado, que consiste en gran medida en el fluido de suspensión de la suspensión de material abrasivo, se condensa y se puede reutilizar en el proceso de corte.

30 La propuesta tecnológica de secar totalmente los sólidos suspendidos en la suspensión agotada, y luego de forma cíclica evaporar y recondensar el fluido de suspensión, no es evidentemente conveniente respecto al consumo de energía, y también expone al líquido de la suspensión a tensiones por calor que pueden favorecer su degradación. Si el líquido de la suspensión es aceite, la estructura del condensado puede ser diferente de la del aceite nuevo, mientras que si el líquido es polietilenglicol (PEG), el proceso no funcionaría ya que el PEG, con un peso molecular elevado, no se puede evaporar sin dañar su estructura debido a la elevada temperatura necesaria para su evaporación. Además, el proceso de evaporación a elevada temperatura crea aglomerados de hierro-silicato que no son separables, y que permanecen con el abrasivo.

40 Además, la separación del sólido seco con cualquier método de clasificación en seco (cribado, tamizado, clasificación neumática a través de ciclón) ofrece un rendimiento pobre en términos de partículas recuperadas y reutilizables de material abrasivo y, también en este caso, no evita la contaminación por polvos finos de silicio y de metal.

45 El Documento de Patente Europea de número EP 0968801 (MEMC Electronic Materials and Garbo Servizi) describe un método destinado a regenerar una suspensión agotada de material abrasivo del tipo en base a soluble en agua, en donde el material abrasivo agotado se calienta en primer lugar para reducir su viscosidad y después se somete a una separación inicial mediante filtración. Esto produce un líquido clarificado compuesto en gran parte de fluido de corte con restos de polvos finos, y un aglomerado de polvos húmedos que contienen, junto con una pequeña cantidad de líquido de corte, casi todos los sólidos suspendidos en la suspensión agotada. Los polvos húmedos después se diluyen con agua y se separan usando un hidrociclón, que produce una fracción de granos de mayor tamaño (flujo inferior) que contiene esencialmente los granos reutilizables de material abrasivo, y una fracción del "flujo superior" compuesta de las partículas finas (material abrasivo no reutilizable, polvo de silicio y polvos de metal) suspendidas en agua, mezcladas con una cantidad más pequeña de fluido de suspensión. La fracción que contiene los granos de material abrasivo se seca en un horno, mientras que la fracción del flujo superior procedente de la parte superior del hidrociclón se filtra, recuperando el fluido acuoso que sirve para diluir los polvos húmedos antes del proceso de separación en el hidrociclón, y se obtiene un residuo sólido compuesto esencialmente de polvo de silicio y metales.

El líquido de la suspensión, que se recupera de la primera filtración de la suspensión caliente agotada, se libera de restos adicionales de polvos por medio de una operación adicional de filtración, después de la cual se envía al proceso de corte.

5 En cuanto a la calidad de los granos recuperados de material abrasivo, ni si quiera el proceso descrito en el Documento de Patente de número EP 0968801 permite obtener una eliminación prácticamente completa de las partículas finas, que se mantienen en una cantidad de aproximadamente 2 % en los granos de material abrasivo, enviados de vuelta al proceso de corte. Otro inconveniente no despreciable en el proceso objeto de examen, además de la necesidad de calentar la suspensión agotada de antemano con el fin de reducir su viscosidad, es la necesidad de añadir cantidades considerables de agua a los polvos húmedos obtenidos a partir del primer filtrado con el fin de llevar a cabo el proceso de separación en el hidrociclón. Finalmente, también se debe tener en cuenta que se pierde una cantidad pequeña de fluido de corte porque se queda en el sólido después de la primera filtración.

10 Otro proceso propuesto para tratar las suspensiones agotadas de material abrasivo que tienen una base líquida soluble en agua (y, específicamente, polietilenglicol, PEG) se describe en la Solicitud de Documento de Patente Internacional de número WO 02/096611 (MEMC Electronic Materials and Garbo Servizi), en donde la suspensión agotada se divide en primer lugar en una fracción sólida y en una fracción líquida en gran parte desprovista de sólidos, por medio de filtración. Los sólidos separados, que incluyen granos reutilizables de material abrasivo, granos no reutilizables y polvos finos de silicio y metal, así como una cantidad menor de líquido de la suspensión, se lavan en agua y después se tratan con una disolución de hidróxido de sodio (agente de lixiviación alcalino) con el fin de efectuar la disolución de las partículas finas de silicio y eliminarlas. El filtrado obtenido de la operación mencionada anteriormente se trata después con un agente de lixiviación ácido (tal como una disolución de ácido sulfúrico) con el fin de efectuar la disolución de los polvos de metal y eliminarlos, obteniendo así una mezcla de sólo granos reutilizables y material abrasivo no reutilizable después de lavar la fracción sólida. Esta fracción sólida, libre de contaminantes finos por ataque químico, se puede separar según el tamaño de grano en granos reutilizables y granos agotados - a través del tratamiento en un hidrociclón, obviamente, en una dilución adecuada con agua.

20 En resumen, a diferencia de los otros métodos descritos anteriormente, esta serie compleja de operaciones permite la completa eliminación de las partículas finas no deseadas que normalmente permanecen en los granos recuperados de material abrasivo procedentes de la suspensión agotada y que se alimenten de nuevo en el proceso.

25 Hay que señalar que después de cada una de las ya mencionadas operaciones de ataque químico, lavado y filtrado, se debe recoger el residuo sólido del equipo de filtración y alimentarlo a la siguiente fase, algo que también tiene el inconveniente de causar un desgaste adicional de los granos de material abrasivo a recuperar.

30 En cuanto a la recuperación de la fracción líquida inicialmente separada por filtración de la suspensión agotada, la Solicitud de Documento de Patente de número WO 02/096611 informa que dicha fracción se puede reutilizar directamente en el proceso de corte como un fluido de corte. Esta fracción se mezcla con una cantidad pequeña del líquido recuperado por el lavado de la torta de la primera filtración, por lo que se puede considerar que la recuperación de la suspensión soluble en agua es prácticamente del 100 %.

35 Un gran inconveniente con el proceso descrito anteriormente, además de la complejidad de la serie de operaciones necesarias para recuperar y purificar la fracción sólida, es el elevado consumo de agentes químicos en disolución necesarios para la etapa de lixiviación.

40 Sobre la base de esta técnica anterior, un objeto de la presente invención es por tanto proporcionar un método para tratar las suspensiones agotadas de material abrasivo, del tipo usado para cortar obleas de silicio por medio de máquinas de sierra de alambre, con el fin de recuperar los componentes reutilizables, método que permita una recuperación virtualmente completa de los granos de material abrasivo todavía reutilizables y del líquido de la suspensión, por medio de un proceso económicamente conveniente de gestión no complejo. El método también debe garantizar la completa eliminación - del material recuperado y reutilizable - de los componentes no deseados de polvo fino procedente del proceso de corte y de la rotura, y agotamiento del material abrasivo.

45 A partir de los procesos conocidos e ilustrados anteriormente, y concretamente a partir de los métodos que se prevén, como la primera operación en la separación de la suspensión agotada, la recuperación de los granos reutilizables de material abrasivo procedentes del resto de la suspensión por medio de la clasificación por tamaño en húmedo en un hidrociclón, según la presente invención se ha ideado un sistema en donde esta clasificación en húmedo se lleva a cabo de una manera óptima no en un hidrociclón sino - después de una primera separación por centrifugación de la mayor parte del líquido de corte junto con parte de los sólidos más finos - en una batería de hidrociclones adecuadamente conectados en serie. Los hidrociclones, que también se pueden sustituir por una batería similar de centrifugadoras conectadas en serie, se alimentan a contra-corriente con una suspensión líquida clarificada reciclada de una de las fases posteriores de tratamiento del líquido de la suspensión y calentada adecuadamente. En la batería de hidrociclones propuesta, la suspensión enriquecida de granos de material abrasivo obtenida como flujo inferior (UF, del inglés underflow) procedente de la parte inferior de un hidrociclón se alimenta al siguiente hidrociclón de la serie, y desde el flujo inferior del último de ellos se obtiene una suspensión de partículas

- de material abrasivo de tamaño granular optimizado. La suspensión agotada que se alimenta a la centrifugadora separador inicial sólido-líquido no necesita tratamiento preliminar alguno de dilución o de calefacción, y la cantidad de fluido disolvente introducido en el proceso (típicamente agua, en el caso de una suspensión en base a líquido soluble en agua) únicamente se corresponde con el disolvente necesario para sustituir la, aunque insignificante, cantidad que se pierde aguas abajo.
- Según otro aspecto innovador de la invención, la suspensión UF recuperada de la batería de hidrociclones se trata adicionalmente con el fin de recuperar de ella la cantidad residual de líquido de la suspensión y de disolvente contenidos en la misma, y para purificar aún más los granos de material abrasivo, llevando a cabo todas las operaciones necesarias dentro de un único aparato multifuncional de filtración sin tener que transferir el sólido entre una operación y la siguiente. En esta fase de filtración y de tratamiento de los granos recuperados de material abrasivo, la suspensión procedente de la batería de hidrociclones se filtra y la torta de filtración se somete a las operaciones posteriores de lavado en caliente, lixiviación por ataque químico - ambas ácida y alcalina - de las partículas finas todavía contenidas en el aglomerado sólido y, después el lavado y secado adicional de los granos así purificados, sin necesidad de sacar el material sólido del aparato. Esto conduce a un considerable ahorro de tiempo y de costes de procesamiento, y a una mejor calidad de los granos de material abrasivo obtenidos. Obviamente, como este tipo de aparato funciona con un ciclo discontinuo, éste debe estar desconectado de los anteriores tratamientos en continuo de clasificación por tamaño en húmedo. Para este fin, el proceso contempla un tanque de compensación para la UF de la batería de hidrociclones, de donde se toma la suspensión para su tratamiento adicional en el aparato de filtración multifuncional.
- Por lo tanto, la presente invención proporciona específicamente un proceso según la reivindicación 1.
- El separador centrífugo líquido-sólido que lleva a cabo el primer tratamiento sobre la suspensión agotada de material abrasivo la separa en dos suspensiones, una rica en sólidos que contiene un promedio de 10-30 % del líquido de la suspensión y las partículas sólidas de más de 2  $\mu\text{m}$  en tamaño, y la otra que es una suspensión esencialmente líquida que contiene 70-90 % del líquido de la suspensión y las partículas sólidas más pequeñas y finas.
- A diferencia de los sistemas conocidos de la técnica anterior, la suspensión agotada se alimenta directamente a la sección de clasificación por tamaño en húmedo, sin añadir líquido alguno, con el fin de recuperar la fracción que contiene los granos reutilizables de material abrasivo. La cantidad de disolvente líquido que se añade al sistema, en otra sección del aparato, sólo sirve para sustituir la, aunque insignificante, cantidad de disolvente perdido del sistema.
- Realizaciones adicionales del proceso según la invención se definen en las reivindicaciones dependientes.
- De lo anterior, parece que el proceso según la presente invención se puede subdividir de forma ideal en tres secciones. La primera sección consiste en un separador centrífugo sólido-líquido (centrifugadora) y una batería de hidrociclones o de centrifugadoras, mientras que la segunda sección completa el tratamiento de recuperación de los granos de material abrasivo con las diversas operaciones llevadas a cabo con dos filtros y con un recipiente adicional en donde se llevan a cabo las reacciones químicas, o, mejor, en el aparato multifuncional específico. La tercera sección consiste en la serie de operaciones llevadas a cabo sobre el flujo superior procedente de la batería de hidrociclones o de centrifugadoras integrados con la fracción líquida separada por el separador centrífugo sólido-líquido inicial, con el fin de eliminar las partículas finas no deseadas y para poder volver a utilizar el líquido de la suspensión en el proceso de corte.
- Hay que señalar que el proceso según la presente invención se puede aplicar tanto para tratar las suspensiones de material abrasivo en base a aceite como para tratar suspensiones de material abrasivo en base al líquido soluble en agua, que son actualmente las más extendidas. En este último caso, el líquido de la suspensión preferente es polietilenglicol (PEG) y el disolvente líquido es agua.
- Según un aspecto adicional de la misma, la presente invención proporciona un aparato según la reivindicación 20.
- Realizaciones adicionales del aparato según la invención se definen en las reivindicaciones dependientes. Preferentemente, como, ya se ha señalado, el ya citado aparato multifuncional de filtración y de tratamiento de los granos de material abrasivo es un aparato que opera por lotes consistente en un recipiente a presión que contiene un dispositivo de filtro sobre el cual se alojan los granos de material abrasivo durante la filtración y todas las fases posteriores de lavado, lixiviación y secado.
- Las características específicas de la presente invención, así como sus ventajas y modalidades relativas de funcionamiento, serán más evidentes con referencia a la siguiente descripción detallada, presentada meramente para propósitos de ejemplificación. Las mismas se ilustran en los dibujos adjuntos, en donde:

La Figura 1 muestra un diagrama de bloques general de un primer proceso para tratar suspensiones agotadas de material abrasivo según la presente invención;

La Figura 2 muestra un diagrama de bloques general de un segundo proceso para tratar suspensiones agotadas de material abrasivo según la presente invención;

5 La Figura 3 muestra una disposición simplificada de un aparato de una batería de hidrociclones conectados en serie que, junto con el separador centrífugo líquido-sólido, representan la primera sección del aparato, así como la primera operación de la tercera sección del aparato, que lleva a cabo la recuperación del líquido de la suspensión;

La Figura 4 muestra una disposición simplificada de un aparato de una batería de centrifugadoras como una alternativa a la batería de hidrociclones de la Figura 3.

10 Como se muestra en el diagrama de bloques de la Figura 1, el proceso según la presente invención, y el aparato especialmente diseñado para su aplicación, se componen esencialmente de tres secciones interconectadas, de las cuales las dos primeras (representadas por la columna de la izquierda del diagrama) se dedican a la recuperación y purificación de los granos reutilizables de material abrasivo, mientras que la tercera sección (columna de la derecha) se dedica al tratamiento y recuperación del líquido de la suspensión.

15 La suspensión agotada procedente de la sección de corte de los lingotes de silicio tiene un contenido en sólidos de 50-55 % en peso y, en el caso descrito en la presente invención para propósitos de ejemplificación, contiene:

granos reutilizables de material abrasivo de carburo de silicio que, para una suspensión de material abrasivo de tamaño de grano grande (del tipo F500), tienen tamaños entre 4 y 35  $\mu\text{m}$ , y para una suspensión de tamaño de grano más fino (del tipo JS 1500 ó JS 2000) tienen tamaños entre 4 y 25  $\mu\text{m}$ ; en el caso que nos ocupa, estos representan el 34-39 % en peso de la suspensión agotada;

20 granos no reutilizables de material abrasivo, que representan aproximadamente el 7 % en peso de la suspensión, con un tamaño de grano inferior a 4  $\mu\text{m}$ ;

25 partículas finas de silicio, que se originan como polvos a partir del proceso de corte de los lingotes de silicio, que representan aproximadamente el 7% en peso de la suspensión y tienen tamaños no superiores a 4  $\mu\text{m}$  - estos valores son valores medios ya que el tamaño y la cantidad de partículas finas de silicio dependen de las condiciones de corte, del estado de agotamiento de la suspensión, del diámetro del lingote de silicio que se corta, y así sucesivamente;

partículas finas de metal, en particular de hierro, procedentes del alambre de metal de la cortadora y de otras partes del mismo aparato, que representan aproximadamente el 2 % en peso de la suspensión agotada - aquí, también, la cantidad puede variar según las condiciones del proceso de corte;

30 líquido de la suspensión (fluido de corte), que puede ser de base soluble en agua, tal como PEG, o de base aceite; en el ejemplo que se recoge en la presente invención, la suspensión de material abrasivo es en base a PEG.

35 La suspensión agotada antes mencionada se envía a un separador centrífugo sólido-líquido (centrifugadora) que alimenta la suspensión (a) rica en sólidos obtenidos del mismo, que contiene aproximadamente el 30 % de PEG junto con los granos de tamaño  $> 2 \mu\text{m}$ , a una batería de hidrociclones mostrada sólo como un único bloque en la Figura 1. La ya mencionada batería, en el ejemplo mostrado en más detalle en la Figura 3, incluye cinco hidrociclones conectados en serie además de un hidrociclón de seguridad.

40 Como se muestra en la Figura 3, la batería de hidrociclones recibe la suspensión agotada en el primer hidrociclón, mientras que el último hidrociclón de la batería recibe a contracorriente una porción (aproximadamente 40-90 %, y preferentemente 70-80 %) del líquido clarificado obtenido de la primera operación (filtración) del tratamiento del flujo superior de la batería de hidrociclones para la recuperación del PEG. A este líquido que se somete a filtración, aquí también se le añade la fracción del líquido recuperado de la filtración de los granos de material abrasivo y del posterior lavado en caliente llevado a cabo en la sección para el tratamiento de los granos de material abrasivo (ver Figura 1). Al líquido reciclado clarificado se añade algo de agua de relleno que, en el caso ilustrado, es aproximadamente 5 % de toda la cantidad de agua que circula en el sistema, y es cuantitativamente igual a la pérdida de agua como humedad en la fase final de secado de los granos recuperados de material abrasivo (ver Figura 1).

50 Como ya se ha señalado, la UF de cada hidrociclón se alimenta al siguiente hidrociclón, suplementada con el flujo superior procedente del siguiente pero único hidrociclón. La distribución de tamaño de partícula de la suspensión de granos de material abrasivo se restringe progresivamente al pasar de un hidrociclón al siguiente hasta que, se obtiene una suspensión del flujo inferior del último hidrociclón, que está virtualmente libre de partículas finas de carburo de silicio y que contiene como sólidos no deseados sólo una parte (aproximadamente 2-5 %) de las partículas finas de silicio y de metal. Como se muestra en la Figura 3, antes de ser enviado a la sección de filtración,

el flujo superior del primer hidrociclón se hace pasar a otro, hidrociclón de seguridad, que protege al sistema frente a la saturación del primer hidrociclón. El flujo superior del hidrociclón de seguridad va a filtración en la que, como ya se ha indicado, representa la primera operación de la tercera sección del proceso, con el fin de recuperar el PEG, mientras que su flujo inferior se combina con el flujo inferior del primer hidrociclón.

5 Como se muestra en la Figura 1, el flujo rico en granos de material abrasivo obtenido a partir de la batería de hidrociclones se alimenta al tanque de compensación, el cual desconecta el proceso continuo llevado a cabo en la batería de hidrociclones del que se lleva a cabo de forma discontinua en el aparato multifuncional de filtración y de tratamiento de los granos recuperados de material abrasivo.

10 Según una solución alternativa de la primera sección del proceso, la misma serie de tratamientos de clasificación por tamaño en húmedo llevada a cabo en la batería de hidrociclones de la Figura 3 se puede llevar a cabo de una manera similar en una batería de centrifugadoras del tipo ilustrada en la Figura 4, con un esquema de conexión similar de los diversos aparatos.

15 Volviendo a la Figura 1, la suspensión de granos reutilizables de material abrasivo se recoge después del depósito de compensación para ser tratada en el aparato multifuncional según la presente invención, donde primero se filtra por presión, produciendo una fracción sólida que contiene esencialmente los granos reutilizables de material abrasivo, que permanecen en el aparato, y una fracción líquida que contiene esencialmente agua, PEG y partículas finas de carburo de silicio. Esta fracción se alimenta de nuevo a la sección de filtración del líquido de la suspensión obtenido como flujo superior de la batería de hidrociclones.

20 Cabe señalar que en la Figura 1 todos los bloques correspondientes a las operaciones llevadas a cabo sin transferir el sólido dentro del aparato multifuncional de la presente invención se destacan en gris.

25 Después de filtrar, la masa de granos de material abrasivo se lava en agua caliente procedente de la tercera sección del sistema, recuperada por destilación de la mezcla con el PEG y después de condensar el vapor obtenido. También el líquido obtenido del lavado se alimenta de nuevo a la sección de filtración del PEG. Los granos de material abrasivo que permanecen en el interior del aparato multifuncional se tratan a continuación, en dos fases consecutivas, con una disolución acuosa de sosa cáustica o potasa cáustica con el fin de obtener el ataque químico de las partículas de silicio, y después se lavan con agua procedente de un circuito externo. A continuación, se tratan en una disolución ácida de ácido oxálico (o ácido nítrico, clorhídrico, sulfúrico o tartárico) con el fin de obtener el ataque químico de las partículas de metal todavía adsorbidas en los granos, y después se lavan con agua procedentes de un circuito externo. Las corrientes de líquido obtenidas a partir de estas operaciones de ataque cáustico y ácido se mezclan y se descargan como residuo salino, mientras que la corriente líquida obtenida del lavado después del ataque cáustico se mezcla con una disolución fresca de hidróxido de sodio o de potasio, y se usa para el ataque cáustico. Del mismo modo, la corriente líquida obtenida del lavado después del ataque ácido se mezcla con una disolución fresca de ácido oxálico suplementado con ácido sulfúrico / clorhídrico y se usa para el ataque ácido.

35 La última fase de recuperación de los granos reutilizables de material abrasivo, llevada a cabo incluso en el mismo aparato, consiste en secar los granos purificados - una operación que se puede llevar a cabo forzando a pasar aire caliente sobre el lecho de granos. El contenido máximo de humedad de los granos recuperados no es superior a 0,05 %, mientras que el rendimiento total de los granos recuperables de material abrasivo en el proceso está en el intervalo de 85-95 %.

40 Además de la ventaja ya señalada de no requerir transferencia alguna del material granular de un aparato a otro para llevar a cabo los diversos tratamientos requeridos, el aparato multifuncional propuesto según la presente invención también tiene la ventaja - al trabajar a presión - de permitir la adopción de incluso elevadas temperaturas de trabajo (hasta 180 °C) sin dar lugar a problemas de ebullición del líquido que se somete a tratamiento. Además de tener un consumo de agua que es aproximadamente 1/10 del consumo de un filtro en continuo convencional, también se puede usar incluso para partículas muy finas de material abrasivo sin riesgo de obstrucción de la torta del filtro, y, finalmente, requiere operaciones de limpieza del filtro que son muy simples en comparación con las que se tendrían que usar si las mismas operaciones se llevasen a cabo en varios equipos.

50 Todavía con referencia a la Figura 1, la tercera sección del proceso, dedicada a recuperar el líquido de la suspensión y el disolvente, incluye - como ya se ha dicho y según la solución alternativa que se ilustra en esta figura - la filtración del flujo superior procedente de la batería de hidrociclones (es decir, procedente de la parte superior del hidrociclón seguridad de la batería). Esta suspensión, en el ejemplo ilustrado, contiene partículas finas de carburo de silicio, así como 95-98 % de las partículas finas de metal y de silicio, en una mezcla de PEG y agua. La relación entre agua y PEG está en el intervalo (1-5):1, y preferentemente es igual a aproximadamente 3:1. Como ya se ha señalado, esta suspensión adicionada también con algunas porciones de suspensión se alimenta de nuevo al sistema desde las primeras fases de la sección del tratamiento de los granos de abrasivo.

55

Una cantidad de aproximadamente 40-90 % (preferentemente 70-80 %) del líquido obtenido de la filtración se alimenta de nuevo - mientras se añade algo de agua de relleno - a la batería de hidrociclones, después del adecuado calentamiento, mientras que el líquido restante se envía a las siguientes fases de recuperación de agua y PEG.

- 5 El líquido, que se une con la fracción líquida, que contiene 70-90 % del PEG presente en la suspensión agotada, separado por el separador centrífugo inicial, se adiciona en primer lugar con una disolución de hidróxido de sodio con el fin de alcalinizar el filtrado a un pH entre 9 y 10, y después se somete a microfiltración. Esto elimina las partículas finas de hidróxido de hierro precipitado. A continuación, la suspensión se neutraliza con ácido clorhídrico o sulfúrico y se somete a destilación. De esta operación, se puede recuperar el agua evaporada mediante
- 10 condensación con el fin de ser reutilizada en el lavado en caliente de los granos recuperados de material abrasivo en la segunda sección del aparato.

El componente de alto punto de ebullición que queda como un residuo de la destilación se compone de PEG anhidro, que se debe filtrar para eliminar la sal (cloruro / sulfato de sodio) formada en la operación de neutralización.

- 15 Un esquema del proceso alternativo para la tercera sección del proceso según la presente invención, es decir, la sección de recuperación del PEG, se muestra en la Figura 2. Esta señala fases similares a las mostradas en la Figura 1 para las dos primeras secciones, y sólo difiere en la tercera sección. En este caso, la corriente líquida procedente de la microfiltración, a la que se añade la fracción líquida del separador centrífugo inicial, no se alcaliniza, sino que se somete directamente a una microfiltración que elimina las partículas finas de metal (esencialmente hierro). Las trazas adicionales de metales disueltos y de otras impurezas se eliminan haciendo pasar
- 20 la corriente líquida sobre lechos de resinas de intercambio iónico. Preferentemente, en lugar de usar lechos mixtos, el flujo de líquido se hace pasar primero a través de un lecho de resinas catiónicas y después sobre un lecho de resinas aniónicas.

- Al final de este tratamiento, el flujo de líquido únicamente consiste en una mezcla binaria de PEG y agua, del cual se puede recuperar el agua por evaporación, dejando el PEG purificado y totalmente libre de sólidos. Éste se puede
- 25 alimentar directamente al proceso de corte. El rendimiento total del líquido de la suspensión, que significa la relación entre el PEG obtenido como un producto final de la tercera sección del proceso descrito y el que entra con la suspensión agotada de material abrasivo, está en el intervalo de 85-95 %.

- La presente invención se ha descrito con referencia particular a algunas realizaciones específicas de la misma, pero debe entenderse que se pueden realizar modificaciones y cambios por personas habitadas con la técnica sin
- 30 apartarse del alcance de la invención tal como se define en las reivindicaciones adjuntas.

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Un proceso para tratar suspensiones agotadas de material abrasivo que incluyen un líquido de la suspensión, granos reutilizables de material abrasivo, granos finos de material abrasivo, partículas finas de silicio y partículas finas de metal, que comprende las siguientes etapas:
- 10 separar la suspensión agotada de material abrasivo por tratamiento de clasificación por tamaño en húmedo en una centrifugadora en una primera suspensión líquida que contiene parte del líquido de la suspensión y los granos reutilizables de material abrasivo, y en
- 10 una segunda suspensión líquida que contiene la parte restante del líquido de la suspensión y los granos finos abrasivos, así como las partículas finas de silicio y las partículas finas de metal;
- 15 proporcionar una batería de al menos dos separadores en serie, siendo los separadores bien hidrociclones o centrifugadoras, respectivamente, en donde el flujo inferior del respectivo separador previo se alimenta al siguiente respectivo separador, y el flujo superior del siguiente respectivo separador se alimenta al respectivo separador previo,
- 15 la primera suspensión líquida se alimenta al primer separador de la batería,
- una tercera suspensión líquida se obtiene a partir del flujo superior del primer separador de la batería,
- someter a la tercera suspensión líquida a filtración para obtener una cuarta suspensión líquida y unir una primera porción de la cuarta suspensión líquida a la segunda suspensión líquida para proporcionar una quinta suspensión líquida;
- 20 un líquido que comprende la porción restante de la cuarta suspensión líquida a la que se añade un disolvente, se alimenta al último separador de la batería, obteniendo del flujo inferior del último separador de la batería una sexta suspensión líquida que contiene los granos reutilizables de material abrasivo y que están substancialmente libres de granos finos de material abrasivo,
- 25 la sexta suspensión líquida se trata de forma adicional con el fin de obtener los granos de material abrasivo en estado seco purificados de trazas de granos finos y partículas, en un aparato multifuncional que implementa las siguientes etapas consecutivas sin transferencia alguna de material: filtrar la sexta suspensión líquida, lavar los granos resultantes y lixiviar de los mismos, por ataque químico, cualesquiera partículas finas de silicio y metal y, finalmente, secar los granos de material abrasivo purificado,
- 30 recuperar el líquido de la suspensión de la quinta suspensión líquida por medio de tratamientos de reparación líquido-sólido combinados con una destilación de disolvente líquido.
2. Un proceso según la reivindicación 1, en donde la batería de separadores se compone de 3-6 hidrociclones o centrifugadoras conectadas en serie.
3. Un proceso según la reivindicación 2, en donde los detalles de las operaciones consecutivas llevadas a cabo en el aparato multifuncional son los siguientes:
- 35 A) filtrar la sexta suspensión líquida que contiene los granos reutilizables de material abrasivo obtenidos del flujo inferior del último separador de la batería;
- B) lavar la fracción sólida resultante de la operación A), usando el disolvente líquido;
- 40 C) lixiviar, por ataque químico, las partículas finas de silicio y de metal de la fracción sólida resultante de la operación B), con la producción de disoluciones de silicatos y disoluciones de sales de impurezas metálicas, disueltas en un líquido residual;
- D) lavar la fracción sólida que resulta de la operación C), usando un disolvente líquido;
- E) secar los granos de material abrasivo que componen la fracción sólida resultante de la operación D).
4. Un proceso según la reivindicación 3, en donde en la operación C) de lixiviación por ataque químico se lleva a cabo en las siguientes dos etapas consecutivas:
- 45 C1) ataque cáustico de las partículas finas de silicio por tratamiento de la fracción sólida resultante de la operación B) con una disolución de un agente alcalino;
- C2) ataque ácido de las partículas finas de metal por tratamiento de la fracción sólida resultante de la operación C1) con una disolución de agente ácido.

5. Un proceso según la reivindicación 4, en donde el agente de lixiviación ácido se selecciona del grupo que consiste en ácido nítrico, ácido clorhídrico, ácido oxálico, ácido sulfúrico, ácido cítrico y ácido tartárico o sus mezclas, y el ya mencionado agente de lixiviación alcalino se selecciona del grupo que consiste en sosa cáustica o hidróxido de potasio.
- 5 6. Un proceso según la reivindicación 3, en donde el líquido obtenido de la operación A) y el líquido obtenido de la operación B) se incluyen en la tercera suspensión líquida.
7. Un proceso según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la tercera suspensión líquida se trata en un hidrociclón o centrifugadora de seguridad, y la suspensión obtenida del flujo superior del hidrociclón o centrífuga de seguridad se somete a filtración.
- 10 8. Un proceso según la reivindicación 7, en donde la porción restante de la cuarta suspensión líquida es mayor que la primera porción de la cuarta suspensión líquida.
9. Un proceso según la reivindicación 8, en donde la porción restante de la cuarta suspensión líquida constituye 40-90 % de la cuarta suspensión líquida.
- 15 10. Un proceso según las reivindicaciones 8 ó 9, en donde la porción restante de la cuarta suspensión líquida se calienta antes de ser alimentada a la batería de separadores.
11. Un proceso según la reivindicación 8, en donde la quinta suspensión líquida se alcaliniza a pH 9-10 mediante la adición de una disolución alcalina.
12. Un proceso según la reivindicación 11, en donde la fracción líquida alcalinizada se somete a microfiltración para eliminar el hidróxido de hierro que se forma por la alcalinización.
- 20 13. Un proceso según la reivindicación 12, en donde el líquido clarificado de la microfiltración se neutraliza por la adición de una disolución ácida y se somete a destilación con el fin de separar dicho disolvente del líquido de la suspensión por evaporación.
14. Un proceso según la reivindicación 13, en donde el líquido de la suspensión se purifica adicionalmente mediante filtración, con el fin de eliminar la sal que se forma por la neutralización.
- 25 15. Un proceso según la reivindicación 8, en donde la quinta suspensión líquida se somete a microfiltración para eliminar la mayor parte de las partículas finas de metal para obtener un líquido clarificado.
16. Un proceso según la reivindicación 15, en donde el líquido clarificado obtenido de la microfiltración se somete a un tratamiento adicional sobre resinas de intercambio iónico para eliminar las trazas de metales y otras impurezas del ya mencionado líquido clarificado, que comprende un primer tratamiento sobre resinas catiónicas y un segundo tratamiento sobre resinas aniónicas.
- 30 17. Un proceso según la reivindicación 16, en donde el líquido clarificado obtenido a partir del tratamiento con resinas de intercambio iónico se somete a destilación para separar, por evaporación, el ya mencionado disolvente del líquido de la suspensión.
18. Un proceso según las reivindicaciones 13 ó 17, en donde el disolvente se condensa y después se reutiliza en las fases de lavado B) y/o D) de los granos de material abrasivo en el ya mencionado aparato multifuncional.
- 35 19. Un proceso según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el líquido de la suspensión de la suspensión de material abrasivo es polietilenglicol (PEG) y el disolvente líquido es agua.
20. Un aparato para tratar suspensiones agotadas de material abrasivo según el proceso tal como se define en la reivindicación 1, que incluye los siguientes elementos interconectados:
- 40 - una primera centrifugadora,  
- una batería de al menos dos separadores que bien son al menos dos hidrociclones o al menos dos centrifugadoras conectadas en serie en donde el flujo inferior del respectivo separador previo se alimenta al respectivo siguiente separador y el flujo superior del respectivo siguiente separador se alimenta al respectivo separador previo,
- 45 - un filtro,  
- un aparato multifuncional para filtrar y tratar los granos de material abrasivo, y  
- una sección de tratamiento para recuperar el líquido de la suspensión, comprendiendo la sección de tratamiento los medios para los tratamientos de separación sólido-líquido y los medios para la destilación del disolvente líquido;

- 5 en donde el flujo inferior de la primera centrifugadora se conecta a la entrada del primer separador de la batería, el flujo superior de la primera centrifuga se conecta a la sección de tratamiento, el flujo superior del primer separador de la batería se conecta al filtro, la salida del líquido del filtro se conecta a la entrada del último separador de la batería y a la sección de tratamiento, y el flujo inferior del último separador de la batería se conecta a la entrada del aparato multifuncional que se diseña para llevar a cabo las siguientes etapas consecutivas sin transferencia alguna de material: filtración de los granos de material abrasivo que contiene el flujo inferior del último separador de la batería, posterior lavado de los granos resultantes y lixiviado de los mismos, por ataque químico, de las partículas finas de silicio y de metal y, finalmente, secado de los granos purificados de material abrasivo.
- 10 21. Un aparato según la reivindicación 20, en donde un hidrociclón o centrifugadora de seguridad se conecta al flujo superior del primer separador de la ya mencionada batería, y el flujo superior del hidrociclón o centrifugadora de seguridad se conecta al filtro.
- 15 22. Un aparato según la reivindicación 21, en donde el aparato multifuncional para filtrar y tratar los granos de material abrasivo es un aparato que opera por lotes que consiste en un tanque a presión que contiene un dispositivo de filtro en donde se alojan los granos de material abrasivo durante la filtración y todas las fases posteriores de lavado, lixiviación y secado.
- 20 23. Un aparato según la reivindicación 22, en donde se proporciona un tanque de compensación entre el flujo inferior del último separador de la batería y el aparato multifuncional.
24. Un aparato según la reivindicación 23, en donde la sección de tratamiento incluye un dispositivo de microfiltración y un evaporador apto para separar el disolvente en la forma de vapor formado a partir del líquido de la suspensión.
25. Un aparato según la reivindicación 24, en donde la sección de tratamiento incluye un dispositivo de filtro para eliminar los residuos salinos procedentes del líquido de la suspensión que sale de la ya mencionada destilación.
- 25 26. Un aparato según la reivindicación 25, en donde la sección de tratamiento incluye también uno o más dispositivos para el tratamiento por resinas de intercambio iónico.

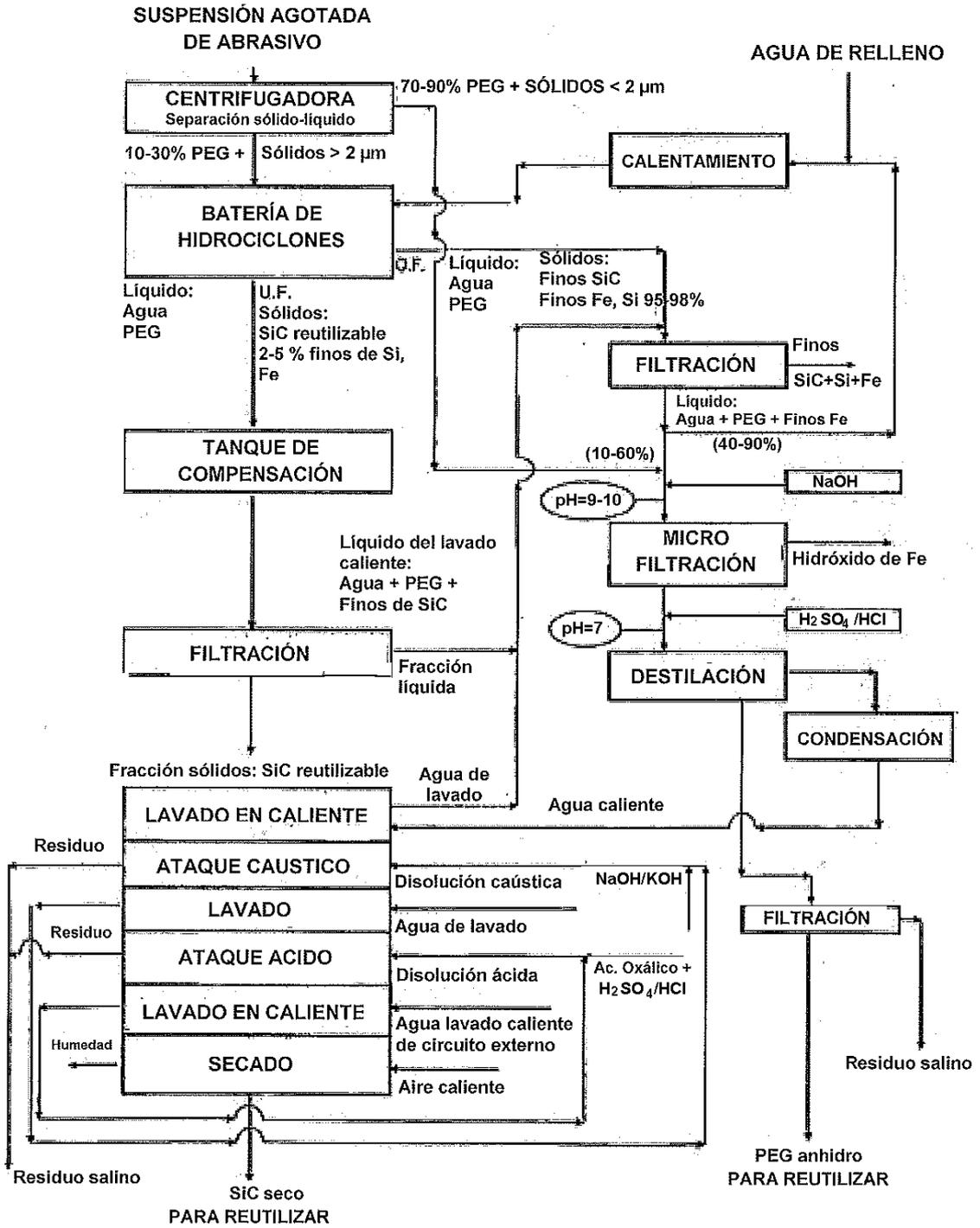


FIG. 1

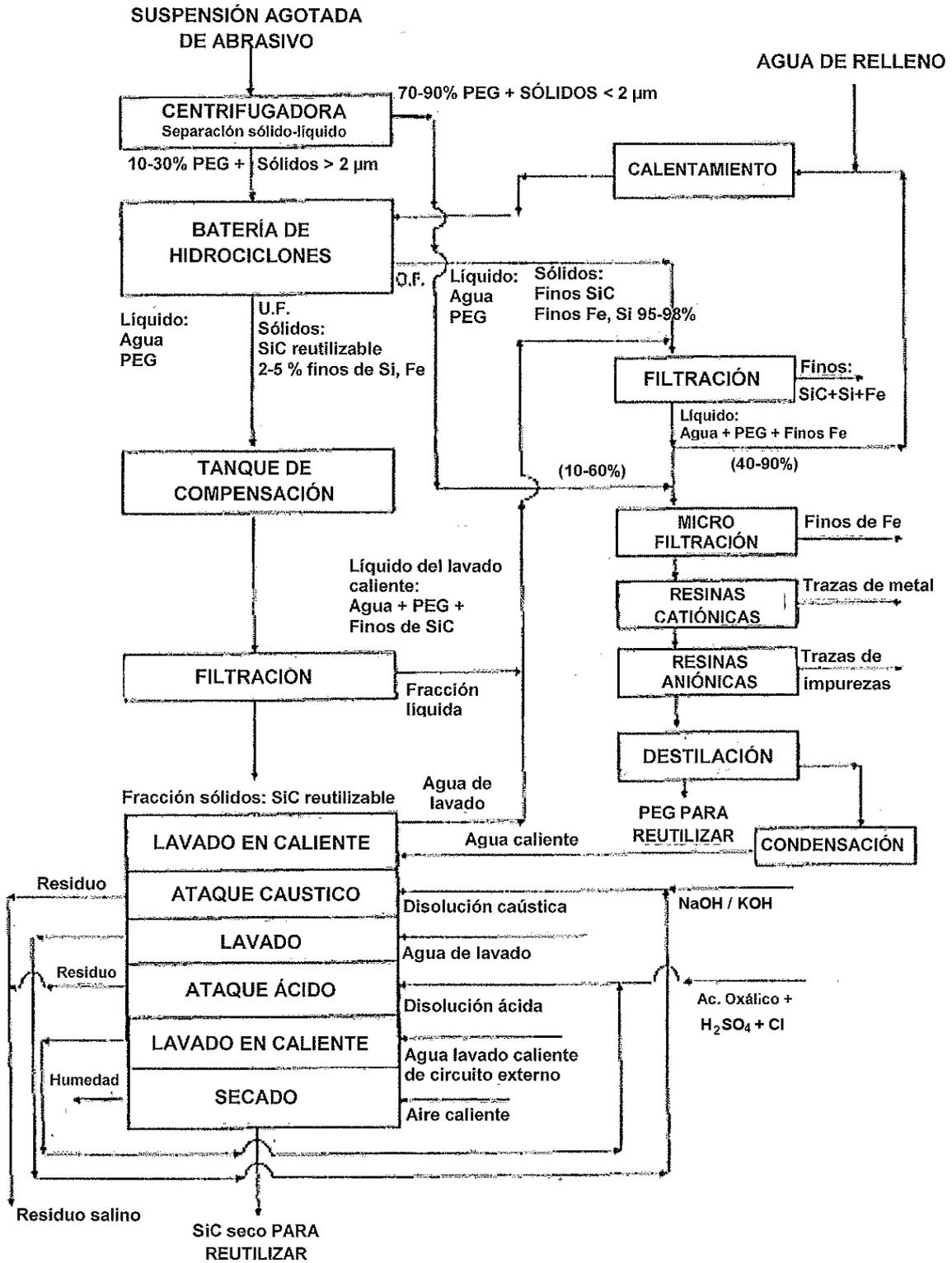


FIG. 2

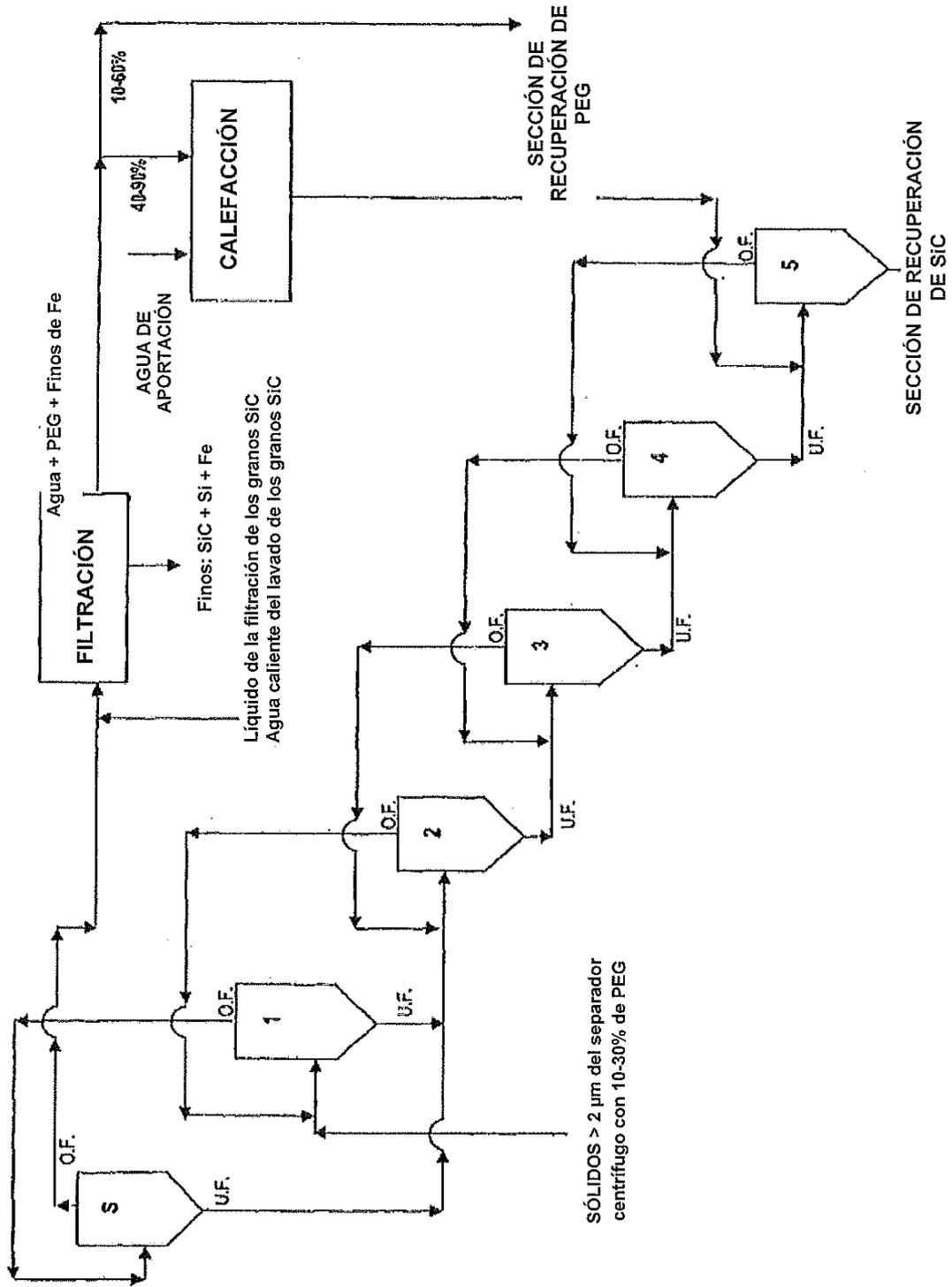


FIG. 3

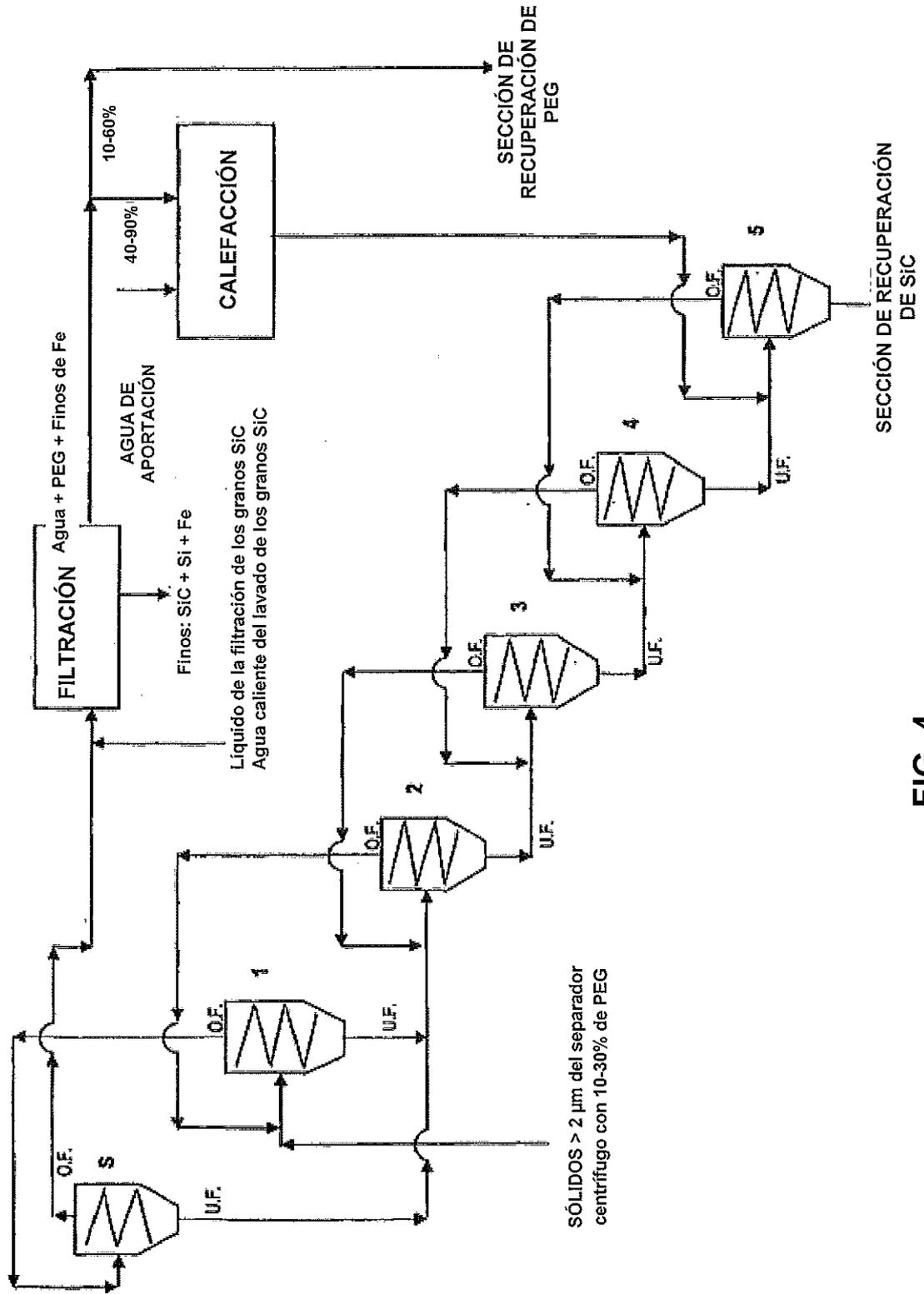


FIG. 4