

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 688 937**

51 Int. Cl.:

G01N 17/00 (2006.01)

G01N 25/18 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.05.2006 PCT/FR2006/050424**

87 Fecha y número de publicación internacional: **11.01.2007 WO07003801**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.05.2006 E 06794409 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.07.2018 EP 1886116**

54 Título: **Método y sistema de medición y estudio de la suciedad de un reactor**

30 Prioridad:

10.05.2005 FR 0551209

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

07.11.2018

73 Titular/es:

**INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE
AGRONOMIQUE (INRA) (100.0%)
147, rue de l'Université
75341 Paris Cedex 07, FR**

72 Inventor/es:

**FILLAUDEAU, LUC;
CARDENAS, RENÉ;
DEBREYNE, PASCAL y
KOROLZUCK, JOSEF**

74 Agente/Representante:

LINAGE GONZÁLEZ, Rafael

ES 2 688 937 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 y sistema de medición y estudio de la suciedad de un reactor

5 **Resumen**

La presente invención se refiere al campo de la medición de suciedad en un intercambiador de calor o tubo de retención de calor (mantenimiento de temperatura) o un conducto que constituye un elemento en un procedimiento continuo, tal como una línea de producción de un producto en la industria agroalimentaria.

10

Antecedentes de la técnica

En los procedimientos continuos, se recurre a sistemas de tratamiento que comprenden uno o varios reactores en serie en los que se realizan las sucesivas etapas de tratamiento, tales como las operaciones de estabilización, conservación, cocción, enfriamiento y calentamiento. Los reactores están conectados o se ponen en comunicación fluida, los unos con los otros, mediante unos medios adecuados, en general, unos conductos tubulares.

15

Sean cuales sean el procedimiento de tratamiento y el fluido considerados, las paredes de los reactores son un foco de fenómenos de ensuciamiento. La suciedad aumenta con la duración de uso, lo que conlleva al menos una reducción del rendimiento del procedimiento y en algunos casos incluso resulta en que la instalación se vuelva ineficaz, siendo necesario pararla para limpiarla. En concreto, el fenómeno de ensuciamiento reduce drásticamente el rendimiento de los reactores, tal como los intercambiadores de calor o las zonas de retención.

20

El fenómeno de ensuciamiento se encuentra en el curso de todo tipo de tratamientos de fluidos, en concreto, en el campo del tratamiento del agua, del tratamiento de los hidrocarburos o bien en el de la fabricación de productos de interés agroalimentario, incluidos los procedimientos de fabricación de productos agroalimentarios que incluyen una o varias etapas de cocción. Solo difieren la cinética, la intensidad, la estructura y la naturaleza de la suciedad.

25

La suciedad es un fenómeno local que varía con las condiciones operativas y la naturaleza del producto a tratar, el tiempo de tratamiento del producto en un reactor o un conducto tubular, así como de la distribución espacial.

30

Un seguimiento de la evolución de la suciedad de los reactores y/o de los tubos de comunicación de fluidos es esencial durante la implementación de procedimientos continuos de tratamiento de fluidos, con el fin de permitir la determinación del momento en el que la instalación de tratamiento debe detenerse para su limpieza, con el fin de restaurar los rendimientos de tratamiento del fluido considerado.

35

Para realizar tal seguimiento, se pueden contemplar diferentes tipos de métodos o de sensores: mediciones locales o globales, evaluación del potencial de ensuciamiento de un producto, mediciones intrusivas o no intrusivas, mediciones directas o indirectas, mediciones *in situ* durante el procedimiento (medición en línea) o posoperativa, es decir fuera de línea.

40

Ya se conocen diversos sistemas de seguimiento del estado de suciedad de los reactores, principalmente de tipo intercambiador de calor.

45

Se han descrito sistemas ópticos de medición de la suciedad. La solicitud de PCT n.º WO 00/60633 describe un sistema de este tipo, que comprende una fuente luminosa que envía un haz que atraviesa el eje radial del reactor y un sensor situado enfrente de la fuente, la transmisión de la luz se mide en el transcurso del tiempo. El valor de transmisión de la luz es inversamente proporcional al nivel de suciedad del reactor probado.

50

También se ha descrito, para reactores de tipo intercambiador de calor, un sistema que comprende una malla de conductores eléctricos distribuidos sobre la superficie de la pared del reactor por los que se hace pasar una corriente eléctrica, estando la malla de conductores eléctricos conectada a un medio de medición de la resistencia local de los conductores. Se hace un seguimiento de la evolución del estado de suciedad del reactor mediante el cálculo de las características eléctricas de la malla de conductores, tales como los valores de voltaje o de resistencia (Solicitud de PCT n.º WO 01/94876).

55

También se han propuesto diversos sistemas de seguimiento de la suciedad de un reactor midiendo la evolución de las temperaturas en diferentes puntos del sistema.

60

Por ejemplo, la solicitud de patente de los Estados Unidos n.º US 2002/0108911 describe un sistema de medición de la suciedad de una instalación de tratamiento de agua que comprende dos sensores de temperatura, respectivamente (i) un primer sensor de temperatura situado sobre el circuito de fluido principal y (ii) un segundo sensor de temperatura situado sobre una derivación del circuito de fluido principal, limpiándose este segundo sensor regularmente. El seguimiento de la suciedad se realiza midiendo la diferencia de temperatura entre el primer sensor, que se deja que se ensucie con el tiempo y el segundo sensor, que se limpia regularmente y, por tanto, nunca está sucio.

65

5 En la patente de los Estados Unidos n.º US 5.590.706, se describe un sistema de seguimiento de la suciedad de un reactor de tipo intercambiador de calor que combina, a la vez, en la entrada y en la salida del reactor, un sensor de volumen de flujo del fluido tratado con un sensor de temperatura. El nivel de suciedad del intercambiador de calor se determina mediante el cálculo diferencial de la combinación de volumen de flujo/temperatura, en la entrada y en la salida del reactor, respectivamente.

10 La solicitud de patente europea n.º EP 0 155 826 divulga un sistema de seguimiento de la suciedad de un reactor de tipo intercambiador de calor, que está constituido por tres sensores de temperatura, combinados con un medio de medición del caudal del fluido tratado que atraviesa el reactor. Los dos primeros sensores de temperatura están situados, respectivamente, en la entrada y en la salida del reactor, en la corriente del fluido tratado en circulación. El tercer sensor está situado en la parte interna de la superficie del intercambiador, por donde circula el fluido caloportador. Este sistema permite calcular el coeficiente de transferencia de calor del reactor en el transcurso del tiempo, que varía con la progresión del nivel de suciedad.

15 La patente de Estados Unidos n.º US 5.615.733 se refiere a un sistema de seguimiento de la suciedad de un reactor de tipo intercambiador de calor, que está constituido por cuatro sensores de temperatura combinados con un medio de medición del caudal del fluido tratado, situado en la entrada del reactor. Los dos primeros sensores están situados, respectivamente, en la entrada y en la salida del reactor, en la corriente del fluido tratado en circulación. Los terceros y cuartos sensores están situados en la parte interna de la superficie del intercambiador, respectivamente, en la entrada y en la salida del tubo por el que circula el fluido caloportador. Este sistema permite seguir la evolución del valor del coeficiente de transferencia de calor del reactor en el transcurso del tiempo, que varía con la progresión del nivel de suciedad.

25 Los sistemas conocidos de medición del nivel de suciedad anteriores, en particular, los que comprenden unos sensores de temperatura, pueden resultar satisfactorios. No obstante, presentan, en general, el inconveniente de ser complejos ya sea en su construcción o en su implementación.

30 De este modo, el sistema descrito en la solicitud de patente de los Estados Unidos n.º US 2002/0108911 impone el diseño de circuitos de fluido complejos que comprenden tubos de derivación. Además, tales sistemas necesitan realizar, una sucesión de etapas de desincrustación de suciedad, regularmente distribuidas en el tiempo, de al menos uno de los sensores en el curso de utilización de la instalación.

35 La solicitud de PCTWO0043762 describe un procedimiento y un dispositivo para detectar la formación de un depósito de material contenido en un fluido en forma líquida o gaseosa sobre una superficie. El dispositivo descrito en WO0043762 se basa en la utilización de un sensor de flujo térmico cuya primera cara está en contacto con el fluido y la segunda cara puede estar en contacto con un elemento calentador de tipo resistencia eléctrica. El dispositivo comprende, asimismo, unos medios de medición de la diferencia de temperaturas entre el fluido y la segunda cara del sensor. El procedimiento según WO0043762 comprende la medición continua del valor del flujo térmico que circula entre la primera y la segunda cara del sensor a la vez que se mantiene constante la diferencia de temperatura entre las dos caras del sensor.

45 La solicitud de patente GB 2089512 describe un dispositivo para medir la suciedad de unos conductos de fluido, así como diferentes parámetros del fluido, tales como la conductividad, el pH, la turbidez y la corrosión. El dispositivo descrito en GB 2089512 comprende un ensamblaje de conductos que constan de una entrada y de una salida de fluido, así como un ensamblaje de prueba de transferencia de calor que consta de un elemento calefactor dispuesto en el interior de un conducto en el que está habilitado un paso para este fluido; un medio para medir la temperatura del fluido que penetra en este ensamblaje de prueba de transferencia de calor; un elemento que alimenta el elemento calefactor con una cantidad preseleccionada de energía eléctrica; un medio para medir la temperatura de las paredes del elemento calefactor; un elemento destinado a medir la velocidad del fluido a través del conducto mencionado anteriormente; y un elemento que suministra datos relativos a la suciedad a partir de la cantidad preseleccionada de energía eléctrica aportada a este elemento calefactor, de la temperatura del fluido y de la temperatura de las paredes del elemento calefactor.

55 La patente de los Estados Unidos n.º US 4.383.438 describe un dispositivo que permite medir la capacidad de ensuciamiento de un fluido en laboratorio. Este dispositivo comprende, entre otros, un reactor cilíndrico que puede ponerse a presión, un medio para controlar la temperatura del fluido en el reactor, una sonda cilíndrica que tiene una superficie metálica, posicionada en el reactor y que tiene un medio para calentar su superficie, un medio de medición de la temperatura en la superficie de la sonda y un medio para medir la temperatura del fluido.

60 Los otros diversos sistemas descritos anteriormente combinan una multiplicidad de sensores de temperatura con unos medios de medición del caudal del fluido tratado, incluso también unos medios de medición del caudal del fluido caloportador.

65 Además, la mayoría de los sistemas anteriores solo pueden utilizarse para el seguimiento de la suciedad de un solo tipo de material, a saber, unos reactores de tipo intercambiador de calor.

Existe la necesidad en el estado de la técnica de unos sistemas de medición de la suciedad de reactores, que sean más sencillos de instalar y de utilizar que los dispositivos conocidos.

Además, existe la necesidad de unos sistemas que estén adaptados para el seguimiento de la suciedad de cualquier componente de una instalación de tratamiento de un fluido, a saber, indistintamente tanto de unos tubos de comunicación de fluido como de un reactor, ya se trate de un reactor de tipo intercambiador de calor o de cualquier otro tipo de reactor, incluido un reactor isotérmico comúnmente denominado reactor de retención.

Según la invención, se proporciona un sistema de este tipo que permite el seguimiento de la suciedad de una instalación de tratamiento de fluidos.

Sumario de la invención

La presente invención se refiere a un método de medición de la suciedad de un reactor (R) por el que circula un fluido a una temperatura (θ_b), comprendiendo dicho reactor un sistema de medición de la suciedad que comprende:

- (i) situada en el núcleo del flujo de fluido del reactor (R), una sonda activa constituida por un generador de calor (1), cilíndrico o plano, sobre cuya superficie externa está fijada una primera sonda térmica (2); y
- (ii) situada cerca del generador de calor (1), también en el núcleo del flujo de fluido del reactor (R), una sonda pasiva constituida por una segunda sonda térmica (3);

comprendiendo dicho procedimiento las siguientes etapas:

- a) llevar la superficie externa de la pared de dicho generador de calor (1) a la temperatura (θ_w), midiéndose la temperatura (θ_w) con la sonda térmica (2) y difiriendo (θ_w) como máximo +0,5 °C con respecto a la temperatura (θ_b) del fluido en circulación por el reactor (R) en ausencia de suciedad, midiéndose la temperatura (θ_b) con la sonda térmica (3);
- b) medir, en el transcurso del tiempo de funcionamiento del reactor (R), respectivamente, las temperaturas (θ_w) y (θ_b) y calcular el valor de la diferencia ($\Delta\theta = \theta_w - \theta_b$); y
- c) determinar el estado de suciedad del reactor (R), que varía con el valor de $\Delta\theta$.

La invención también se refiere a un sistema de medición de la suciedad de un reactor según la reivindicación 14.

Descripción de las figuras

- La **Figura 1** ilustra el esquema de un sistema de medición de la suciedad de un reactor según la invención.
 La **Figura 2** ilustra un esquema detallado de un modo de realización particular de un sistema de medición de la suciedad de un reactor según la invención, que comprende un generador de calor de tipo sonda térmica de hilo caliente y unas sondas de temperatura (termopar y sonda de platino).
 Las **Figuras 3 y 4** ilustran los resultados de un seguimiento del estado de suciedad de un reactor de retención contenido en una instalación de tratamiento de un producto lácteo, que se han obtenido gracias al método de medición según la invención. En las figuras 3 y 4, el producto a tratar se introduce en el reactor (R) en el tiempo $T=0$.
 La **Figura 5** ilustra el marco o el intervalo de trabajo del generador de calor (1) para su utilización en un dispositivo de detección de la suciedad de un reactor (R) según la invención.

En el eje de ordenadas, a la derecha: la intensidad de la corriente aplicada al generador de calor (1); en el eje de ordenadas, a la izquierda: la potencia generada.

El marco o el intervalo de trabajo del generador de calor (1) como detector de suciedad consiste en la superficie mediana de la figura que está representada en color gris. Los resultados representados en la figura se han obtenido con un generador de calor (1) que consiste en una sonda de platino de hilo caliente que tiene una resistencia de 100 Ω , una longitud L de 30 mm y un diámetro de 1,6 mm. Con este generador de calor (1), el marco o intervalo de trabajo del dispositivo de detección de suciedad es de (i) 5 mA < Intensidad < 50 mA y (ii) 2,5 mW < Potencia < 250 mW.

Para una intensidad de corriente inferior, el generador de calor (1) se comporta como una sonda de temperatura, en el marco o el intervalo representado en color negro, en la parte inferior de la figura.

Para una intensidad de corriente superior, el generador de calor (1) se comporta exclusivamente como una fuente de calor, en el marco o el intervalo que está representado en color blanco, en la parte superior de la figura.

La **Figura 6** ilustra dos modos de utilización posible del dispositivo de detección de suciedad según la invención en el estudio sobre la suciedad de un reactor (R).

En el eje de ordenadas, la intensidad de la corriente aplicada al generador de calor (1); en el eje de abscisas, la representación arbitraria de la duración del estudio.

En la figura, se ha representado, en la curva inferior de color negro, unas secuencias de aplicación de una variación de intensidad en el generador de calor (1) con el tiempo correspondiente a una fase de medición de temperatura (Poca intensidad) seguida de una fase de control de la suciedad con una frecuencia fija.

- 5 En la figura, se ha representado, en la curva superior, unas secuencias de aplicación de una variación de intensidad en el generador de calor (1) con el tiempo en el transcurso de las cuales alterna en frecuencia fija una fase de generación de un ensuciamiento (Intensidad elevada) seguido de una fase de control de la suciedad.

Descripción detallada de la invención

10 Se ha mostrado según la invención que es posible realizar el seguimiento de la suciedad de un reactor por el que circula un fluido, mediante un método de medición que no precisa el cálculo de un coeficiente de transferencia de calor característico de dicho reactor, ni mucho menos el cálculo de una variación de este coeficiente, como parámetro característico del estado de dicho reactor.

15 Al contrario, la invención ofrece un método de medición del estado de suciedad de un reactor que solo precisa la medición de una diferencia de temperatura entre, por una parte, la temperatura del fluido que circula por el reactor y, por otra parte, la temperatura de la pared externa de un generador de calor, estando esta última controlada de manera que sea idéntica o prácticamente idéntica, a la temperatura del fluido en circulación, cuando no hay
20 suciedad en el reactor.

La presente invención tiene por objeto un método de medición de la suciedad de un reactor (R) por el que circula un fluido a una temperatura (θ_b), comprendiendo dicho reactor un sistema de medición de la suciedad que comprende:

- 25 (i) situada en el núcleo del flujo de fluido del reactor (R), una sonda activa que comprende un generador de calor (1), cilíndrico o plano, sobre cuya superficie externa está fijada una primera sonda térmica (2); y
(ii) situada en la zona de flujo térmico definida por el generador de calor (1), también en el núcleo del flujo de fluido del reactor (R), una sonda pasiva constituida por una segunda sonda térmica (3);

30 comprendiendo dicho procedimiento las siguientes etapas:

- a) llevar la superficie externa de la pared de dicho generador de calor (1) a la temperatura (θ_w), midiéndose la temperatura (θ_w) con la sonda térmica (2) y difiriendo (θ_w) como máximo +0.5 con respecto a la temperatura (θ_b) del fluido en circulación por el reactor (R) en ausencia de suciedad, midiéndose la temperatura (θ_b) con la sonda
35 térmica (3);
b) medir, en el transcurso del tiempo de funcionamiento del reactor (R), respectivamente, las temperaturas (θ_w) y (θ_b) y calcular el valor de la diferencia ($\Delta\theta = \theta_w - \theta_b$); y
c) determinar el estado de suciedad del reactor (R) que varía con el valor de $\Delta\theta$.

40 En el sistema de medición de la suciedad utilizado por la implementación del procedimiento anterior, la primera sonda térmica (2) está fijada sobre la superficie externa del generador de calor (1). Dicha sonda térmica (2) está situada, por tanto, en la zona de flujo térmico del generador (1) y en la interfaz de pared del generador (1)/"medio". El medio es el fluido en curso de tratamiento en el reactor (R) cuando se parte de condiciones de limpieza y el reactor (R) no está sucio. El "medio" consiste en un material de suciedad cuando el reactor (R) está sucio.

45 Por "reactor", se debe entender según la invención cualquier componente de una instalación de tratamiento de un fluido por el que circula dicho fluido. De este modo, un "reactor" comprende los reactores propiamente dichos de una instalación de tratamiento de un fluido, según la terminología utilizada convencionalmente por el experto en la materia. El término "reactor" engloba también, según la invención, cualquier conjunto de tubos de una instalación
50 que permita alimentar dicha instalación con el fluido de partida que se va a tratar, cualquier conjunto de tubos que permita evacuar el fluido tratado de dicha instalación y cualquier conjunto de tubos que ponga en comunicación de fluido dos componentes distintos de la instalación, por ejemplo, dos reactores distintos, en el sentido convencional del término. El término "reactor" engloba concretamente a los reactores de tipo intercambiador de calor, incluidos los intercambiadores tubulares, que permiten la realización de las etapas de calentamiento o de enfriamiento del fluido
55 que está siendo tratado. De manera muy particular, el término "reactor" engloba los reactores de cualquier tipo distintos a un reactor intercambiador de calor, incluidos los reactores denominados "de retención", que consisten en unos reactores isotérmicos o prácticamente isotérmicos, que permiten la realización de una etapa isotérmica o prácticamente isotérmica, de transformación del fluido en curso de tratamiento, incluida una etapa de transformación por calor, tal como la cocción del fluido en curso de tratamiento, incluida una etapa de mantenimiento de la
60 temperatura de transformación del fluido por el calor, por ejemplo, una cocción del fluido en curso de tratamiento.

Por "fluido", se debe entender según la invención cualquier producto líquido y que puede bombearse, cuya viscosidad no sea tan grande que impida su circulación, desde la entrada hacia la salida de la instalación de
tratamiento, a través de cada reactor que efectúa una etapa de un procedimiento de tratamiento de fluidos. Por
65 ejemplo, el método de la invención es aplicable a la medición de la suciedad de reactores utilizados para unos procedimientos de tratamiento de fluidos tales como agua, hidrocarburos, lodos de aguas residuales, productos

pastosos de interés agroalimentario o para otras industrias, tales como azúcares, almidón, purés vegetales, masas de base para la fabricación de alimentos para humanos o animales.

5 Según el método de medición de la suciedad de la invención, la superficie externa de la pared del generador de calor (1) de la sonda activa, que está en contacto directo con el fluido en circulación por el reactor cuando no hay suciedad, se lleva a una temperatura que es idealmente idéntica, con más o menos precisión de medición, a la temperatura del fluido en curso de tratamiento en el reactor. En otras palabras, cuando no hay suciedad en el reactor, la diferencia entre la temperatura del fluido en circulación, que es medida por la sonda pasiva (3) y la temperatura en la superficie de la sonda activa, es nula o prácticamente nula. Para alcanzar este estado, la energía que se suministra al generador de calor (1) está controlada de manera que la temperatura de la superficie de la pared externa del generador (1), que se mide con la sonda térmica (2), sea idéntica, salvo por los errores de medición o de control, a la temperatura medida por la sonda pasiva (3). En otras palabras, se "aplica" una diferencia de temperatura ($\Delta\theta = \theta_w - \theta_b$) nula o prácticamente nula, como máximo igual a 0,5 °C (precisión de medición de la sonda térmica (2)), entre la superficie externa de la pared del generador de calor (1) y el fluido en circulación (1), en el reactor limpio no ensuciado.

20 En la práctica, una etapa de calibración previa en el reactor no ensuciado permite determinar de antemano, para un fluido a tratar dado, qué cantidad de energía debe suministrar el generador de calor (1) para que la superficie de su pared externa en contacto con el fluido esté a la temperatura θ_w idéntica o prácticamente idéntica, a la temperatura θ_b del fluido en circulación por el reactor.

25 Ventajosamente, la diferencia entre la temperatura θ_w de la sonda pasiva y la temperatura θ_b del fluido en circulación será inferior o igual a 0,5 °C, mejor, como máximo de 0,4 °C, aún mejor, como máximo de 0,3 °C, preferentemente, como máximo de 0,2 °C y de manera totalmente preferente, como máximo 0,1 °C o incluso, como máximo de 0,05 °C.

30 La diferencia entre la temperatura θ_w de la sonda pasiva y la temperatura θ_b del fluido en circulación depende concretamente de la precisión de medición de la temperatura por las sondas (2) y (3). Cuanto más precisas son las sondas, más pequeña podrá ser la diferencia de temperatura $\Delta\theta$.

35 Para implementar la medición del estado de suciedad de un reactor (R), es esencial que, en las condiciones en las que el reactor no está sucio ("condiciones de limpieza"), la temperatura θ_w sea idéntica o prácticamente idéntica, a la temperatura θ_b del fluido en circulación por el reactor (R), con el fin de que el ensuciamiento progresivo de la pared externa del generador de calor (1) simule lo más fielmente posible la suciedad simultánea de las paredes del reactor (R). Por ejemplo, si la pared externa del generador de calor (1) se llevara a una temperatura θ_w distinta, significativamente superior o inferior, a la del fluido que circula por el reactor (R), la velocidad de ensuciamiento del generador de calor (1) no simularía la velocidad de ensuciamiento simultánea del reactor (R). No habría ninguna correspondencia, para un momento dado, entre el estado de suciedad del generador de calor (1) y el estado de suciedad de las paredes del reactor (R).

40 En el transcurso del tiempo de implementación de una instalación de tratamiento de un fluido, se forman diversos depósitos sobre las paredes internas de los tubos y reactores, lo que, en concreto, reduce su diámetro interno eficaz y hacen variar considerablemente, en concreto, su caudal y, en consecuencia, la duración de paso del fluido en curso de tratamiento por el interior de un reactor dado. Con el método de la invención, los depósitos de suciedad se forman simultáneamente sobre las paredes del reactor (R) y sobre la pared de la sonda activa que está situada en el núcleo del flujo de fluido del reactor.

45 Según el método de la invención, a medida que aumenta el espesor de la capa de los depósitos de suciedad en la superficie de la sonda activa, aparece una variación en la transferencia de calor del generador de calor (1) hacia el fluido que circula por el reactor. El coeficiente global de intercambio (K) disminuye cuando el espesor del depósito de suciedad aumenta. Para un espesor (e) dado de la capa de depósito de suciedad, el valor del coeficiente global de intercambio depende del valor de la conductividad térmica λ_d del depósito de suciedad y de la geometría de la sonda. En otras palabras, con la suciedad del reactor, incluida la de la sonda activa, se mide una diferencia entre el valor de la temperatura θ_w , que mide la sonda térmica (2) de la sonda activa, y el valor de la temperatura θ_b del fluido circulante, que mide la segunda sonda térmica (3), el único elemento de la sonda pasiva.

50 Al inicio del procedimiento de tratamiento de un fluido, cuando las paredes del reactor (R) y de la sonda activa están limpias y debido a una densidad de flujo de calor moderado (de 0 a 2 kW/m²), de un régimen térmico e hidráulico estacionario, pero hidráulica y térmicamente no establecidos debido a una longitud muy escasa, (de unos milímetros); el coeficiente de transferencia de calor (h) alcanza un valor elevado, (de unos 100 a unos 1000 W.m⁻².K⁻¹). En estas condiciones, se postula que las capas límites hidráulica y térmica se desarrollan en torno a cualquier objeto sumergido en dicho reactor, incluido alrededor de las sondas activa y pasiva utilizadas en el método de medición según la invención. El débil flujo de calor que es disipado por el generador de calor (1) de la sonda activa provoca una diferencia de temperatura prácticamente nula, entre la superficie externa de la pared del generador de calor (1) y el fluido que circula por el reactor (1). La diferencia de temperatura ($\Delta\theta = \theta_w - \theta_b$), que es nula o prácticamente nula cuando el reactor (R) no está sucio, es resultado del flujo de calor anterior y del coeficiente de

transferencia de calor global (K). Con el flujo de calor constante que se genera, el depósito progresivo de una capa de suciedad sobre las paredes del generador de calor (1), que corresponde al depósito progresivo de una capa de suciedad del mismo espesor (e) sobre las paredes del reactor (R), provoca una variación del valor del coeficiente de transferencia térmica (K) y, en consecuencia, también una variación del valor de la diferencia de temperatura ($\Delta\theta = \theta_w - \theta_b$).

Con el procedimiento y el dispositivo de la invención, la solicitante busca obtener una gran sensibilidad de detección de suciedad del reactor (R). De este modo, según el procedimiento de la invención, se controlan las temperaturas internas (θ_w) y externa (θ_b) y se impone el flujo de calor al dispositivo. La precisión de la medición de la suciedad del reactor (R) está limitada por la precisión del control de las temperaturas (θ_w) y (θ_b).

Según el procedimiento, se considera que el umbral de detección de una variación en la diferencia de temperatura ($\theta_w - \theta_b$) es la diferencia de temperatura mínima para detectar un depósito de suciedad significativo en el reactor (R).

En las condiciones experimentales del procedimiento de la invención, se detecta una suciedad a partir de un espesor de suciedad de 0,5 mm, e incluso de 0,1 mm, para una potencia de calentamiento de 0,2 W y para una suciedad producidas por productos alimentarios en curso de tratamiento que tengan una conductividad térmica que va de 0,1 a 0,6 W.m⁻¹.K⁻¹.

El dispositivo para la medición de la suciedad según la invención puede utilizarse igualmente para el estudio y la comprensión de los fenómenos de ensuciamiento, en concreto, de las velocidades de reacción de ensuciamiento, con respecto a unas condiciones testigo de tratamiento (temperatura del producto a tratar y temperatura de pared, flujo de calor, tensión de corte). El dispositivo para la medición de suciedad según la invención también se puede usar para determinar las propiedades de un depósito de suciedad (conductividad térmica, cinética de ensuciamiento, estructura y composición del depósito). El dispositivo de medición de la suciedad según la invención puede utilizarse para estudiar la correlación entre la naturaleza de la superficie del reactor (R), por ejemplo, superficie tratada o revestida, las condiciones térmicas e hidráulicas y el mecanismo de ensuciamiento. El dispositivo de medición de la suciedad según la invención también puede utilizarse para crear un depósito en condiciones definidas, en relación con la geometría del intercambiador de calor (condición de trabajo crítica que induce un fenómeno de ensuciamiento). De este modo, con el dispositivo de medición del ensuciamiento según la invención, se puede realizar un estudio de la suciedad de una instalación a pequeña escala, a un coste reducido. Una ilustración de una utilización del dispositivo de medición de la suciedad según la invención para estudiar los fenómenos de ensuciamiento de un reactor (R) se ilustra en la Figura 6.

La utilización del dispositivo de medición de la suciedad según la invención, como ya se ha mencionado anteriormente, requiere el control del entorno hidráulico y térmico en relación con la estructura de la instalación y las condiciones de un procedimiento de tratamiento de un fluido, por ejemplo, las condiciones de un procedimiento de tratamiento de un producto alimentario. La utilización del dispositivo de medición de la suciedad según la invención debe realizarse en las condiciones de trabajo, que corresponden al intervalo de detección de suciedad que está representado en la figura 5.

Con el fin de utilizar el dispositivo de medición de la suciedad según la invención en condiciones óptimas, para realizar una medición de la suciedad de la manera más precisa posible, ventajosamente, el experto en la materia puede ajustar de manera óptima los siguientes parámetros:

- utilizar unas sondas de temperatura de muy gran precisión (umbral de precisión inferior a 0,1 °C) con el fin de obtener un umbral de detección de suciedad lo más bajo posible.
- imponer una diferencia de temperatura ($\Delta\theta$) próxima a 0, cuando el reactor (R) se utiliza en condiciones de limpieza;
- ajustar la cantidad de calor disipado en el generador de calor (10 mW < P < 250 W) con el fin de evitar cualquier sobrecarga y cualquier generación de suciedad, que se deba a una temperatura de pared excesiva.

Para implementar el procedimiento según la invención en condiciones óptimas, el experto en la materia puede actuar sobre las siguientes condiciones:

- utilizar sondas de temperatura (2) y (3) de gran precisión de medición, con el fin de obtener una gran sensibilidad de detección de la suciedad.

Por ejemplo, el experto en la materia puede utilizar sondas de temperatura (2) y (3) que tengan una precisión de medición de $\pm 0,1$ °C, o incluso de $\pm 0,05$ °C; imponer un flujo de calor al generador de calor (1) que permita alcanzar un valor de diferencia de temperatura ($\theta_w - \theta_b$) próximo al cero en condiciones de reactor (R) limpio, es decir no ensuciado. Por ejemplo, el experto en la materia puede imponer un flujo de calor disipado por el generador de calor (1), tal que la diferencia de temperatura ($\theta_w - \theta_b$) sea de al menos 0,1 °C o incluso que sea de al menos 0,05 °C.

- Ajustar la cantidad de calor disipado en el generador de calor (1) de manera a evitar un sobrecalentamiento

susceptible de generar una suciedad artefactual sobre las paredes de dicho generador de calor (1). Por ejemplo, según la temperatura θ_0 del producto en curso de tratamiento en el reactor (R), la cantidad de calor disipado (P) en dicho generador de calor puede variar de 10 mW a 250 W.

5 Como se ilustra en la figura 6, un control preciso de la intensidad permite utilizar el dispositivo de medición de suciedad según la invención con el fin (i) de medir la temperatura, en la zona donde este dispositivo funciona como sonda de temperatura (ii) controlar la suciedad, en el intervalo de intensidad en el que el dispositivo funciona como detector de suciedad o bien (iii) para crear un depósito sobre las paredes controlando el flujo de calor y la temperatura de la pared, para altas intensidades. La elección de un modo de funcionamiento y el paso de una
10 posición a otra, con una frecuencia predeterminada, es posible con el fin de controlar los periodos en los que el dispositivo de medición de la suciedad de la invención funciona como (i) sonda de temperatura, (ii) detector de suciedad o (iii) generador de suciedad.

15 De este modo, la invención también tiene por objeto un procedimiento de análisis de las características de un reactor (R) con respecto a la formación de un depósito de suciedad, que comprende las siguientes etapas:

- a) colocar un dispositivo de medición de la suciedad según la invención en un reactor (R) a probar no ensuciado, por el que circula un fluido de prueba;
- 20 b) aplicar, al generador de calor (1) de dicho dispositivo de medición, un valor de intensidad de corriente (I_1) para el que dicho dispositivo funciona como detector de suciedad y medir el valor de ($\Delta\theta$);
- c) aplicar, al generador de calor (1) de dicho dispositivo de medición, un valor de intensidad de corriente (I_2); bien superior a (I_1), para el que el generador (1) provoca un calentamiento de las paredes de dicho dispositivo o bien inferior a (I_1), para el que el generador (1) se utiliza como sonda de temperatura;
- 25 d) aplicar, al generador de calor (1) de dicho dispositivo de medición, un valor de intensidad de corriente (I_1) para el que dicho dispositivo funciona como detector de suciedad y medir el valor de ($\Delta\theta$);
- e) reiterar las etapas c) y d) durante el número de ciclos deseado.

30 En la etapa d) del procedimiento anterior, el reactor (R) puede ser cualquier tipo de reactor para el que se desee probar las propiedades de ensuciamiento, cuyas paredes sean de cualquier tipo de material y de cualquier tipo de geometría.

35 En la etapa a) del procedimiento, el fluido de prueba consiste en cualquier tipo de fluido del que se desee caracterizar la capacidad de ensuciar el reactor (R), en unas condiciones operativas que simulan la utilización real del reactor (R), cuando dicho reactor (R) está integrado en el circuito de fluido de una instalación de tratamiento completa. Las condiciones operativas que se han establecido en la etapa a) del procedimiento engloban las condiciones de temperatura, las condiciones de presión y las condiciones de velocidad de flujo del fluido de prueba en el interior del reactor (R).

40 En la etapa b) del procedimiento, el valor de la intensidad de corriente (I_1) que se establece en función del tipo de generador de calor (1) utilizado, le permite a dicho generador de calor (1) funcionar en el "intervalo de trabajo" que se ilustra concretamente en la figura 5, para realizar la medición del valor de ($\Delta\theta$), que normalmente es prácticamente nulo dado que el reactor (R) todavía no está sucio.

45 En la etapa c) del procedimiento, el valor de corriente (I_2) que se ha establecido le permite a dicho generador de calor (1) funcionar bien como fuente de calor que provoca una elevación de la temperatura de la pared (θ_w) de dicho generador susceptible de provocar un ensuciamiento de dicha pared; bien como sonda de temperatura.

50 En la etapa d) del procedimiento, se vuelve a llevar el valor de corriente en el generador de calor (1) al valor (I_1), y se mide el nuevo valor de ($\Delta\theta$). En la etapa d), se puede comparar el valor de ($\Delta\theta$) calculado en la etapa a) con el valor de ($\Delta\theta$) medido al principio de la etapa d).

De este modo, en determinados modos de realización del procedimiento anterior, la etapa d) comprende las siguientes subetapas:

- 55 d1) aplicar, al generador de calor (1) de dicho dispositivo de medición, un valor de intensidad de corriente (I_1) para la que dicho dispositivo funciona como detector de suciedad y medir el valor de ($\Delta\theta$); y
- d2) comparar el valor de ($\Delta\theta$) calculado en la etapa a) con el valor de ($\Delta\theta$) medido en la etapa d1).

60 Según el procedimiento anterior, una suciedad del reactor (R), en realidad del dispositivo de medición de la invención colocado en dicho reactor (R), se detecta si se observa una diferencia entre el valor de ($\Delta\theta$) calculado en la etapa a) y el valor de entre el valor de ($\Delta\theta$) calculado al final de la etapa d), es decir, en la etapa d1).

65 Se puede realizar el ciclo que comprende la sucesión de una etapa c) y después una etapa d) el número de veces deseado. Cuanto mayor sea el número de estos ciclos, más hace el procedimiento que sea posible un análisis de las características de suciedad del reactor (R) simulando una utilización de la instalación completa durante un largo periodo de tiempo. Por ejemplo, el número de ciclos puede variar de 2 a 1000, en general, de 10 a 200.

Las etapas b), c) y d) pueden tener duraciones variables, según el tipo de reactor y según el tipo de fluido que se desee probar. Las etapas b) y d) pueden realizarse durante un largo periodo de tiempo, en concreto durante un periodo de 30 min a 100 h, dado que son las etapas en el transcurso de las cuales es posible que se genere un depósito de suciedad. En general, la etapa c) puede ser de corta duración, puesto que se trata de una etapa de medición. No obstante, en todos los casos, la etapa c) se prosigue hasta que el valor de $(\Delta\theta)$ sea estable.

Preferentemente, la geometría y las dimensiones de la sonda activa, es decir, esencialmente, la geometrías y las dimensiones del generador de calor (1), se seleccionan de manera que se reduzcan al máximo los efectos de borde relativos a la disipación de calor, con el fin de obtener una densidad de flujo de calor homogénea y controlada por toda la superficie del generador de calor (1) y, de manera más particular, sobre la superficie del generador de calor (1) con la que la primera sonda térmica (2) está en contacto y con el fin de asegurarse que la sonda activa y la sonda pasiva estén situadas en el núcleo del flujo por el reactor (R).

A modo ilustrativo, para una sonda activa que tenga una superficie plana, que comprende un generador de calor (1) plano, preferentemente, se utiliza un generador de calor para el que la longitud (L) y la anchura (l) externas son de una dimensión superior a su espesor (E), en particular, con una relación (L,l)/E superior o igual a 5.

A modo ilustrativo, para una sonda activa cilíndrica, que comprende un generador de calor (1) cilíndrico, preferentemente, se utiliza un generador de calor para el cual la longitud (L) externa es de una dimensión superior a su radio (r), en particular, una relación L/r superior o igual a 5. En todos los casos, la longitud (L) de la sonda activa y, por lo tanto, del generador de calor (1) es inferior a la longitud de establecimiento de un régimen hidráulico establecido (L_{hid}) en el caso de un régimen de flujo laminar en el reactor (R).

$$\frac{L_{hid}}{d} = \alpha \cdot Re^\beta \quad (\alpha, \beta \in \mathbb{R}^*)$$

El experto en la materia se referirá ventajosamente, para el cálculo de las dimensiones adecuadas del generador de calor, a la literatura especializada (por ejemplo: Joulié R., Mécanique des Fluides appliqués, Ellipses Ed., ISBN 2-7298-6768-6 1998 y Gnideski V., Churchill S.W., Single Phase convective heat transfer, en Heat Exchanger Design Handbook, Hemisphere publishing corporation Ed., ISBN O - 89116 - 125 - 2, 1983)

La densidad de flujo (ϕ , W/m²) producida por el generador de calor (1) es la relación entre la potencia (q, [W]) disipada por dicho generador y el valor de superficie de intercambio (S, [m²]) de su pared externa. En el modo de realización particular, en el que el generador de calor consiste en una sonda térmica de hilo caliente, por ejemplo, una sonda térmica de hilo de platino, la densidad del flujo de calor disipado por el generador (1) sigue la siguiente fórmula (A):

$$\phi = \frac{q}{S} = \frac{R_{Pt100} \cdot I^2}{S} = K \cdot (\theta_{wall} - \theta_{bulk}) \quad (A),$$

en la que:

- ϕ es la densidad de flujo de calor [W.m²];
- q es la cantidad de calor disipado [W], que puede ser calculada por el producto del valor de la diferencia de potencial (U, [V]) y de la intensidad de corriente (I, [A]) que se aplican al generador (1);
- R_{Pt100} [Ω] es la resistencia del hilo caliente del generador (1);
- I [A] es la intensidad de la corriente aplicada al generador (1);
- K es el coeficiente global de intercambio [W.m².K⁻¹];
- θ_w o θ_{wall} es la temperatura de la superficie externa de la pared del generador (1);
- θ_b o θ_{bulk} es la temperatura del fluido que circula por el reactor (R).

El valor del espesor (e) de la capa de suciedad de la sonda activa puede calcularse, a partir de la diferencia de temperatura ($\Delta\theta = \theta_w - \theta_b$), cuando además también se conoce el coeficiente de conductividad térmica (λ_d) del material que se deposita sobre las paredes del reactor (R) en curso de tratamiento.

A continuación, se describen otras características técnicas del método de medición del estado de suciedad de un reactor (R), concretamente, en relación con la descripción de las características de diversos medios implementados para realizarla, incluyendo la sonda activa y la sonda pasiva.

Como ya se ha mencionado, la sonda activa está constituida por un generador de calor (1), que puede ser cilíndrico o plano, sobre cuya pared externa está fijada una primera sonda térmica (2).

Se puede utilizar cualquier tipo de generador de calor conocido, a condición de que la temperatura de la superficie de la pared externa del mismo, que está en contacto con el fluido que circula por el reactor (R), pueda controlarse con suficiente precisión.

Por ejemplo, se puede utilizar un generador de calor que consista en un dispositivo intercambiador de calor por el que circula un fluido caloportador, que puede ser de cualquier tipo conocido.

5 Ventajosamente, el generador de calor (1) consiste en un generador de calor que comprende un material eléctricamente conductor que se comporta como una resistencia eléctrica. Con referencia a la figura 1, el material eléctricamente conductor que se comporta como una resistencia eléctrica (11) está aislado del entorno del reactor (R), en el generador de calor (1), por una vaina (12) estanca a los fluidos. El material que forma la vaina se selecciona de entre los materiales térmicamente conductores, tal como una resina o una cerámica o bien un metal.

10 Preferentemente, el generador de calor consiste en una sonda térmica de hilo caliente de un tipo conocido, tal como una sonda térmica de hilo de platino, por ejemplo, del tipo del generador de calor (1) descrito en la figura 2.

15 Para la implementación del método de la invención al utilizar una sonda térmica de hilo caliente como generador de calor, se aplica una intensidad (I) de corriente eléctrica al hilo eléctricamente conductor que es tal que provoca una generación de calor. La densidad de flujo impuesta y controlada en las condiciones de medición definidas permite obtener una temperatura de la superficie de la pared externa de la sonda activa (2) con un valor idéntico o prácticamente idéntico, al valor de temperatura del fluido, en condiciones de limpieza y teniendo, a la vez, una sensibilidad a la eventual formación de suciedad.

20 Por oposición (1), si se impone una intensidad más baja, la misma sonda de hilo caliente funciona para medir la temperatura del medio en el que está sumergida.

25 Por oposición (2), si se impone una intensidad elevada, la misma sonda de hilo caliente funciona como una fuente de calor e impone densidades de flujo elevadas. En este caso, la temperatura de superficie de la sonda activa difícilmente puede ser idéntica o prácticamente idéntica al valor de la temperatura del fluido en condiciones de limpieza (ausencia de suciedad).

30 A modo ilustrativo, cuando se utiliza una sonda térmica de hilo caliente de tipo sonda térmica de hilo de platino con funda de acero inoxidable (L = 125 mm, L activa = 30 mm, Ø = 1,6 mm, con la referencia: D52-1716-X-Cu2-125-MMCU comercializada por la sociedad CORAM (Francia)), preferentemente, se aplica al hilo de platino una corriente de un valor de intensidad (I) que puede variar de 10 mA a 100 mA, según el valor de temperatura de la pared externa de la sonda que se debe alcanzar. Con una corriente más débil, por ejemplo, inferior a 5 mA, la misma sonda de hilo caliente funciona para la utilización inicialmente prevista por su fabricante, a saber, como sonda de temperatura.

35 La sonda térmica de hilo caliente ilustrada en la figura 2 comprende un hilo de platino (11) enrollado en torno a un cilindro de cerámica (13) que forma el eje longitudinal de la sonda. El conjunto constituido por el cilindro central de cerámica (13) y el hilo de platino (11) está encerrado en una vaina (12) estanca a los fluidos. La vaina (12) está constituida, del interior hacia el exterior de la sonda, por un material eléctricamente aislante, por ejemplo, de resina o cerámica, estando el material eléctricamente aislante recubierto con una película metálica (122), por ejemplo, de acero inoxidable, cuya superficie externa está en contacto con el entorno exterior. Preferentemente, la pared externa del generador de calor (1) es resistente a fluidos químicamente nocivos, tales como fluidos extremadamente básicos, como las soluciones de sosa o extremadamente ácidos, como el ácido clorhídrico o sulfúrico. Por ejemplo, en un modo de realización particular, el material de la pared externa del generador de calor (1) es idéntico al material que constituye la pared del reactor (R).

40 De manera general, el generador de calor (1) disipa una cantidad reducida de calor por unidad de tiempo y por unidad de superficie. La cantidad de calor disipado por el generador de calor (1) es constante en el tiempo. Por ejemplo, cuando se utiliza una sonda térmica de hilo caliente como generador de calor, la fuente de calor viene dada por la resistencia eléctrica, por ejemplo, un hilo de platino, por efecto Joule directo, cuando se aplica a la sonda térmica una corriente de valor constante, que por lo general, varía de 0 mA a 100 mA. Para tal sonda térmica, la potencia disipada constante (q) depende del valor de diferencia de potencial (U) y del valor de corriente (I) aplicada al hilo de platino, según la fórmula (q=U.I). En estas condiciones, se evita así un sobrecalentamiento de la pared del generador de calor (1).

55 En la implementación del método de la invención, un medio de control aplica al generador de calor (1) los parámetros adecuados, llegado el caso, predeterminados, que permiten imponer la temperatura de la superficie externa de la pared de dicho intercambiador a un valor idéntico o prácticamente idéntico, a la temperatura del fluido que circula por el reactor (R), cuando el reactor (R) no está sucio (condición de limpieza).

60 Con referencia a las figuras 1 y 2, el generador de calor (1) comprende, en contacto directo con la superficie externa de la pared de la vaina (12), una sonda térmica (2).

65 La sonda térmica (2) puede ser cualquier tipo de sonda térmica adaptada que permita medir la temperatura de la superficie externa de la pared de la vaina (12) del generador de calor (1). La sonda térmica (2) debe presentar poca inercia térmica (un tiempo de respuesta inferior a 30 segundos), poco volumen geométrico y una precisión de

medición satisfactoria.

Preferentemente, la sonda térmica (2) es una sonda de termopar de un tipo conocido, adaptada a una medición en la gama de temperaturas previstas del fluido que circula por el reactor (R).

5 A modo ilustrativo, se puede utilizar un termopar seleccionado de entre los tipos K (Níquel-Cromo/Níquel-Aluminio), T (Cobre/Cobre-Níquel), J (Hierro/Cobre-Níquel), N (Níquel-Cromo-Silicio/Níquel-Silicio), E (Níquel-Cromo/Cobre-Níquel), R (Platino-13 % Rodio/Platino), S (Platino-10 % Rodio/Platino), B (Platino-30 % Rodio/Platino-6 % Rodio), G (Tungsteno/Tungsteno-26 % Renio), C (Tungsteno-5 % Renio/Tungsteno-26 % Renio) o D (Tungsteno-3 % Renio/Tungsteno-25 % Renio).

En particular, un termopar de tipo K resulta estar perfectamente adaptado para su utilización como sonda térmica (2).

15 Preferentemente, la sonda térmica (2), en particular, cuando se trata de una sonda de termopar, se dispone en contacto directo con la superficie externa del intercambiador de calor (1), según el eje longitudinal de este último. De manera totalmente preferida, la sonda térmica (2) está en contacto con la superficie externa del intercambiador de calor (1) sobre una longitud que va de 0,25 L a 0,75 L, y aún mejor sobre una longitud que va de 0,3 L a 0,7 L, siendo L la longitud del intercambiador de calor (1).

20 Para la implementación del método de la invención, la sonda térmica (2) le suministra una señal de medición de la temperatura de la superficie externa del generador de calor (1) a un medio (4) de tratamiento de la señal. Cuando la sonda térmica (2) es un termopar, la señal consiste en un valor de intensidad de la corriente aplicada a la sonda, variando el valor de intensidad con el valor de la resistencia del termopar, la cual evoluciona con la temperatura.

25 El generador de calor (1) y de la sonda térmica (2) combinados constituyen los elementos esenciales de la sonda activa utilizada en el método de medición de la suciedad de un reactor (R) de la invención.

30 Como ya se ha descrito antes, el método según la invención también utiliza una sonda pasiva que está constituida por una segunda sonda térmica (3). La segunda sonda térmica (3) está situada, en el reactor (R), cerca de la sonda activa.

35 La segunda sonda térmica (3) puede ser cualquier tipo conocido de sonda térmica, que esté adaptada para la medición de la temperatura del fluido que circula por el reactor (R).

La segunda sonda térmica (3) puede ser una sonda térmica de termopar o bien otro tipo de sonda térmica, tal como una de Platino denominada "Pt 100".

40 Según otro modo de realización, la segunda sonda térmica (3) es una sonda térmica de tipo sonda térmica de hilo caliente, por ejemplo, una sonda térmica del mismo tipo que el dispositivo utilizado como generador de calor (1). En el modo de realización del método en el que la segunda sonda térmica (3) consiste en una sonda térmica de hilo caliente, se aplica a dicha sonda térmica un valor de intensidad adaptado para su utilización convencional como sonda térmica, es decir, preferentemente una intensidad de corriente inferior a 10 mA, estableciéndose el valor de intensidad de corriente de conformidad con las recomendaciones del fabricante.

45 La segunda sonda térmica (3) suministra una señal al medio (4) de tratamiento de la señal.

50 El medio (4) de tratamiento de la señal comprende un medio de comparación del valor de temperatura (θ_w) suministrado por la primera sonda térmica (2) y del valor de temperatura (θ_b) suministrado por la segunda sonda térmica (3), en un momento dado, suministrando dicho medio (4), para este momento dado, el valor de la diferencia ($\Delta\theta = \theta_w - \theta_b$).

55 Según el método de medición de la invención, se realiza el cálculo del valor $\Delta\theta$ para una sucesión de momentos de medición simultánea de los valores de (θ_w) y de (θ_b). Por ejemplo, se puede realizar el método de la invención midiendo simultáneamente (θ_w) y (θ_b) para una sucesión de momentos dados, por ejemplo, a intervalos de tiempo predeterminados, y luego calculando el valor $\Delta\theta$ para cada momento sucesivo de medición. Se sigue así la progresión del valor $\Delta\theta$ con el tiempo. Los intervalos de tiempo se predeterminan según el tipo de procedimiento de tratamiento de los fluidos que se implementa, es decir, la velocidad de ensuciamiento esperada del reactor (R) en el que se efectúa el método de medición de la invención. Los intervalos de tiempo también se predeterminan en función del grado de precisión que se desea, con respecto a la evolución del estado de suciedad del reactor (R). De este modo, según los casos, dichos intervalos de tiempo pueden variar de unas fracciones de segundo a unos minutos.

65 Según el método de la invención, se puede establecer, de manera predeterminada un valor límite $\Delta\theta_{Lim}$ a partir del cual se considera que el reactor (R) está en un estado de suciedad que justifique interrumpir su uso y proceder a su limpieza antes de su siguiente puesta en servicio. El valor límite $\Delta\theta_{Lim}$ puede determinarse de manera empírica, por

ejemplo, habiendo determinado anteriormente a partir de qué valor de $\Delta\theta$ se observa realmente una suciedad máxima aceptable, por encima del cual el procedimiento de tratamiento del fluido considerado ya no puede proseguir sin afectar a su rendimiento o a su eficacia.

5 Para simular lo mejor posible el ensuciamiento al que se somete el reactor (R), la sonda activa, que comprende el generador de calor (1) y la sonda térmica (2), se dispone en el núcleo del flujo de fluido. Preferentemente, la sonda activa se dispone de tal manera que su eje longitudinal sea paralelo al eje longitudinal del reactor (R). Según tal orientación, la sonda activa se dispone en el reactor (R) de manera que provoque una fuerza de fricción y una resistencia al flujo lo más reducida posible y que la superficie de la sonda activa expuesta al fluido circulante, en el sentido de circulación de dicho fluido, sea máxima.

10 Con el fin de permitir una medición precisa del valor $\Delta\theta$, los extremos aguas arriba, con respecto al sentido del flujo de fluido por el reactor (R), de la sonda activa y de la sonda pasiva preferentemente están situados, el uno con respecto al otro, en el sentido axial del reactor (R), a una distancia (l) como máximo de 20 cm, mejor, como máximo de 10 cm y aún mejor, como máximo de 5 cm.

15 Con el fin de permitir una medición precisa del valor $\Delta\theta$, preferentemente, la sonda activa y la sonda pasiva están situadas, la una con respecto a la otra, en el sentido radial del reactor (R), a una distancia (r) como máximo de 0,5 R, siendo R el radio del reactor (R).

20 Preferentemente, la sonda activa y la sonda pasiva están situadas en la misma sección transversal del reactor (R).

25 El método de medición del estado de suciedad de un reactor según la invención se implementa, de manera óptima, en unas condiciones térmicas e hidráulicas precisas en el reactor (R) y en torno a la sonda activa (2).

30 En un régimen de flujo laminar, la sonda funciona de manera óptima cuando las variables térmica e hidráulica son estacionarias y los regímenes térmicos e hidráulicos no están establecidos en torno a la sonda activa. Esta condición garantiza un coeficiente de transferencia térmica por convección óptimo y permite alcanzar $\Delta\theta=(\theta_w-\theta_b)$. $\rightarrow O^+$ en condiciones de limpieza.

35 En todos los casos, la longitud (L) de la sonda activa y, por tanto, del generador de calor (1) es inferior a la longitud de establecimiento de un régimen hidráulico establecido (Lhid) en el caso de un régimen de flujo laminar en el reactor (R).

$$\frac{L_{hid}}{d} = \alpha \cdot Re^\beta \quad (\alpha, \beta \in \mathbb{R}^*)$$

40 El experto en la materia se referirá ventajosamente, para el cálculo de las dimensiones adecuadas del generador de calor, a la literatura especializada (por ejemplo: Joulié R., Mécanique des Fluides appliqués, Ellipses Ed., ISBN 2-7298-6768-6 1998 y Gnideski V., Churchill S.W., Single Phase convective heat transfer, en Heat Exchanger Design Handbook, Hemisphere publishing corporation Ed. , ISBN O - 89116 - 125 - 2, 1983)

45 Como ya se ha mencionado anteriormente, el generador de calor (1) puede ser plano o cilíndrico.

Según una característica adicional del método de medición de la invención, el estado de suciedad del reactor (R) también puede determinarse mediante un cálculo del espesor (e) de la capa de suciedad que se ha depositado en la superficie externa de la pared de la sonda activa.

50 Según si la geometría del generador de calor (1) y, por tanto, también la geometría de la sonda activa es cilíndrica o plana, el cálculo del espesor (e) de la capa de suciedad es diferente, como se detalla más adelante. No obstante, en estos dos modos de realización particulares de la sonda activa, para el cálculo del espesor (e) de la capa de suciedad se precisa conocer previamente el valor del coeficiente de conductividad térmica (λ_d) del material que constituye la capa de suciedad.

55 En un procedimiento de tratamiento dado de un fluido específico, la composición del material que se deposita sobre las paredes del reactor (R) es siempre la misma, para las implementaciones sucesivas de dicho procedimiento de tratamiento de un fluido. En consecuencia, el valor del coeficiente de conductividad térmica (λ_d) puede determinarse de antemano, midiendo este parámetro a partir de una muestra del material de la suciedad tomada de las paredes del reactor (R) sucio. El valor del parámetro (λ_d) puede determinarse según cualquier técnica convencional de medición del coeficiente térmico de un material sólido conocida por el experto en la materia. A modo ilustrativo, el coeficiente de conductividad térmica (λ_d) puede predeterminarse gracias a un conductímetro térmico.

60 En el modo de realización de la sonda activa en el que el generador de calor (1) es cilíndrico, se aplica, para el cálculo del espesor (e) de la capa de suciedad, la siguiente fórmula (Ec.3) resultante de las siguientes ecuaciones (Ec.1) y (Ec. 2):

$$P = K \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot L \cdot (\theta_w - \theta_b) \quad (\text{Ec. 1})$$

con

$$\frac{1}{K} = r \cdot \left(\frac{1}{h \cdot (r+e)} + \frac{\text{Ln}(1+e)}{\lambda_d} \right) \quad (\text{Ec. 2})$$

es decir:

$$\Delta\theta = \theta_w - \theta_b = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \left(\frac{1}{h \cdot (r+e)} + \frac{1}{\lambda_d} \cdot \text{Ln} \left(1 + \frac{e}{r} \right) \right) \quad (\text{Ec. 3})$$

5

en la que:

- P es la potencia térmica disipada por el generador de calor (1), calculándose la potencia P a su vez a partir de las magnitudes eléctricas según la siguiente fórmula (Ec. 4):

$$P = U \cdot I \quad (\text{Ec. 4})$$

10

en la que: K es el coeficiente global de intercambio [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]; r es el radio del generador de calor [m]; θ_w es la temperatura de la superficie externa de la pared del generador de calor (1) [K]; θ_b es la temperatura del fluido que circula por el reactor (R) [K]; L es la longitud externa del generador de calor (1) [m]; h es el coeficiente de transferencia de calor por convección [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]; r es el radio del generador de calor (1) [m]; e es el espesor de la capa de suciedad [m]; y λ_d es el valor del coeficiente de conductividad térmica del material de la capa de suciedad [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$];

15

El coeficiente de transferencia de calor por convección, h se rige por las condiciones de flujo alrededor de la sonda térmica y de manera más específica en torno al generador de calor (1).

20

El flujo se caracterizará, bien por una capa límite turbulenta, bien por una capa límite laminar con una densidad de flujo de calor uniforme en la superficie del generador de calor (1).

25

El experto en la materia encontrará en la literatura específica (Heat Exchange Design Handbook, Hemisphere Publishing Corporation, 1983) el conjunto de correlaciones semi empíricas que permiten estimar el coeficiente de transferencia por convección (h). En general, estas correlaciones se formulan como sigue:

Nu = número de Nusselt,

$$\text{Nu} = \frac{h \cdot L}{\lambda_f}$$

30

con λ_f : conductividad térmica del fluido [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
- Re = número de Reynolds,

$$\text{Re} = \rho \cdot \frac{U \cdot L}{\mu}$$

con:

35

ρ_f : masa volúmica del fluido [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$],
U: velocidad de flujo del fluido [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$], y
 μ : viscosidad dinámica del fluido [Pa.s]

$$\text{Pr} = \pi \cdot \frac{C_{p_f}}{\lambda_f}$$

- Pr = número de Prandtl con C_{p_f} : calor específico del fluido [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

40

En la práctica, el término convectivo ($1/h \cdot (r+e)$) debe ser pequeño ante el término de deposición. Este punto se verifica gracias a una diferencia de temperatura $\Delta\theta = (\theta_w - \theta_b)$, en condiciones de limpieza, próxima a 0^+ .

45

Durante el ensuciamiento, el término de deposición predomina y la ecuación (Ec.3) se simplifica despreciando el término convectivo:

$$e \cong r \cdot \left(\text{Exp} \left(\Delta\theta \cdot \frac{2 \cdot L}{P} \cdot \lambda_d \right) - 1 \right) \quad (\text{Ec. 5})$$

siendo $\Delta\theta = (\theta_w - \theta_b)$

- $\Delta\theta$ es la diferencia de las temperaturas $(\theta_w - \theta_b)$ [$^{\circ}\text{K}$];
- 5 • L es la longitud del generador de calor (1) [m];
- h es el valor de transferencia de calor por convección [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$];
- P es la potencia disipada en el hilo caliente [W];

en la que

- 10 • r es el radio del generador de calor (1) [m];
- λ_d es el valor del coeficiente de conductividad térmica del material de la capa de suciedad [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$];
- ln es un logaritmo neperiano; y
- e es el espesor de la capa de suciedad [m].

15 Cuando el reactor (R) no está sucio, el espesor (e) de la capa de suciedad es nulo y la diferencia de temperatura ($\Delta\theta = \theta_w$)

- θ_b) puede calcularse según la siguiente fórmula (Ec.6):

$$\Delta\theta = (\theta_w - \theta_b) = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot r \cdot L} \cdot \left(\frac{1}{h} \right) \quad (\text{Ec. 6})$$

20 en la que los parámetros P, r, L y h tienen el mismo significado que antes.

En el modo de realización de la sonda activa en el que el generador de calor (1) es plano, es decir, con una forma paralelepípeda en la que cada una de las 2 caras participa en la transferencia de calor de manera idéntica, se aplica, para el cálculo del espesor (e) de la capa de suciedad, la siguiente fórmula (Ec.9) resultante de las ecuaciones (Ec.7) y (Ec. 8):

$$P = K \cdot 2 \cdot L \cdot w \cdot (\theta_w - \theta_b) \quad (\text{Ec.7})$$

siendo

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{h} + \frac{e}{\lambda_d} \cdot L \cdot w \quad (\text{Ec. 8})$$

30

$$\Delta\theta = \theta_w - \theta_b = \frac{P}{2 \cdot L \cdot w} \cdot \left(\frac{1}{h} + \frac{e}{\lambda_d} \cdot L \cdot w \right) \quad (\text{Ec. 9})$$

en la que:

- P es la potencia térmica producida por el generador de calor (1), calculándose la potencia P a su vez a partir de las magnitudes eléctricas (I, U), según la siguiente fórmula (Ec.10):

$$P = I \cdot U \quad (\text{Ec. 10})$$

- I es la intensidad impuesta [A],
 - U es la tensión resultante (V)
 - 40 ○ K es el coeficiente global de intercambio [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$];
 - L es la longitud del generador de calor (1) [m];
 - w es la anchura del generador de calor (1) [m];
 - θ_w es la temperatura de la superficie externa de la pared del generador de calor (1) [K];
 - θ_b es la temperatura del fluido que circula por el reactor (R) [K];
 - 45 ○ h es el valor de transferencia de calor por convección [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]; y
 - λ_d es el valor del coeficiente de conductividad térmica del material de la capa de suciedad [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$];
- Cuando el reactor (R) no está sucio, el espesor (e) de la capa de suciedad es nulo y la diferencia de temperatura ($\Delta\theta = \theta_w$)

- o θ_b) puede calcularse según la siguiente fórmula (Ec.11):

$$(\theta_w - \theta_b) = \frac{P}{2 \cdot L \cdot w} \cdot \left(\frac{1}{h} \right) \rightarrow O^+ \text{ (Ec. 11)}$$

El espesor (e) de la capa de suciedad se calcula según la siguiente fórmula (Ec. 7):

$$\Delta\theta = \theta_w - \theta_b = \frac{P}{2 \cdot L \cdot w} \cdot \left(\frac{1}{h} + \frac{e}{\lambda_d} \cdot L \cdot w \right)$$

5 lo que equivale a:

$$\Delta\theta = \frac{P}{L \cdot w} \cdot \frac{1}{h} + \frac{P}{2 \cdot L \cdot w} \cdot \frac{e}{\lambda_d} \cdot L \cdot w$$

10 En la práctica, la diferencia de temperatura $(\theta_w - \theta_b)_b$ tiende a O^+ para unas condiciones de limpieza y la ecuación (10) puede simplificarse. de ahí la siguiente expresión del espesor de depósito (Ec.12):

$$\Delta\theta \cong \frac{P}{2} \cdot \frac{e}{\lambda_d} \text{ siendo } e \cong \Delta\theta \cdot \frac{2 \cdot \lambda_d}{P} \text{ (Ec. 12)}$$

15 En consecuencia, existe una proporcionalidad directa entre la diferencia de temperatura y el espesor de depósito.

La invención también tiene por objeto un sistema de medición de la suciedad de un reactor (R) de retención incluido en un dispositivo de implementación de un procedimiento continuo, comprendiendo dicho sistema:

- 20 (i) situada en el núcleo del flujo de fluido del reactor (R), una sonda pasiva constituida por un generador de calor (1), cilíndrico o plano, sobre cuya superficie externa está fijada una primera sonda térmica (2); y
- (ii) situada cerca del generador de calor (1), una sonda pasiva constituida por una segunda sonda térmica (3);

25 Las características de los diferentes medios incluidos en el sistema de medición anterior se han descrito anteriormente en la presente descripción. Algunas de estas características se recuerdan brevemente a continuación.

30 Preferentemente, los extremos aguas arriba de la sonda activa y de la sonda pasiva están situados, el uno con respecto al otro, en el sentido axial del reactor (R), a una distancia (l) de unos centímetros y en consonancia con el tamaño de las sondas (entorno cercano). Con el fin de permitir una medición precisa del valor $\Delta\theta$, los extremos aguas arriba, con respecto al sentido del flujo de fluido por el reactor (R), de la sonda activa y de la sonda pasiva preferentemente están situados, el uno con respecto al otro, en el sentido axial del reactor (R), a una distancia (l) como máximo de 20 cm, mejor, como máximo de 10 cm y aún mejor, como máximo de 5 cm.

35 Preferentemente, la sonda activa y la sonda pasiva están situadas, la una con respecto a la otra, en el sentido radial del reactor (R), a una distancia (r) como máximo de 0,5. R, siendo R el radio del reactor (R).

Preferentemente, la sonda activa y la sonda pasiva están situadas en la misma sección transversal del reactor (R).

40 Ventajosamente, el generador de calor consiste en una sonda térmica de hilo caliente, preferentemente de hilo de platino.

La sonda (2) es un termopar fino de manera que presente un impedimento estérico despreciable en la sonda activa (1) y un tiempo de respuesta rápido (poca inercia térmica).

45 La sonda (3) puede ser indistintamente un termopar o una sonda de platino (Pt 100), adoptándose los criterios de selección según el grado de medición deseado con poca inercia térmica.

50 Con referencia a la figura 1, en un modo de realización particular del sistema de medición de la invención, la sonda activa y la sonda pasiva están conectadas a un medio (4) de tratamiento de las señales, preferentemente, un medio de tratamiento digital de las señales, tal como un ordenador.

55 Ventajosamente, el medio (4) comprende unos medios de recepción de las señales que son suministradas respectivamente por la sonda activa y la sonda pasiva y, de manera más particular, por (i) la primera sonda térmica (2) incluida en la sonda activa y (ii) la segunda sonda térmica (3). Las señales suministradas por las sondas (2; 3) las recibe el medio (4), bien directamente o bien indirectamente. En un modo de realización particular del sistema de la invención, las señales suministradas por las sondas térmicas (2; 3) las recibe directamente una interfaz (5) que convierte las señales analógicas, muy particularmente los valores de intensidad de corriente, suministrados por las

sondas térmicas (2; 3) en señales digitales del valor de las temperaturas (θ_w ; θ_b) que a continuación, se transmiten hacia el medio (4) de tratamiento de las señales.

5 La interfaz (5) también está conectada al generador de calor (1). La interfaz (5) recibe del generador de calor (1) las señales de control que permiten generar una cantidad de calor controlada en la sonda activa. Cuando el generador de calor (1) consiste en una sonda térmica de hilo caliente, como se ha descrito antes, la interfaz (5) suministra señales de control del valor de la diferencia de potencial (U) y de intensidad de corriente (I) que se aplican a dicho generador de calor gracias a un generador de corriente continua (6). En ciertos modos de realización del sistema de medición de la invención, como se describe en la figura 1, el generador de calor (1), que consiste en una sonda térmica de hilo caliente, también está conectado a un generador (6) de corriente continua. En este caso particular, el generador de corriente eléctrica (6) le suministra al generador de calor (1) un valor de diferencia de potencial (U) y un valor de intensidad de corriente (I) que están establecidos por el operador. Los valores de diferencia de potencial (U) y de corriente (I) se mantienen constantes durante todo el periodo de duración de implementación del método de medición de suciedad del reactor (R) según la invención. Al principio del método, los valores de diferencia de potencial (U) y de corriente (I) que se suministran al generador de calor por medio del generador de corriente eléctrica (6) los establece el operador, de manera que el valor de temperatura (θ_w) de la superficie externa de la pared del generador de calor (1) sea idéntico o prácticamente idéntico, al valor de temperatura (θ_b) del fluido en circulación por el reactor (R), cuando el reactor (R) todavía no está sucio.

10 Durante toda la duración de un procedimiento de tratamiento de un fluido en el que se utiliza el reactor (R), la interfaz (5) recibe las señales de medición de las temperaturas (θ_w) y (θ_b) que suministran las sondas térmicas (2; 3). La interfaz (5) está conectada al medio (4) de tratamiento de señal. La interfaz (5) convierte las diferentes señales analógicas enviadas por la sonda activa y la sonda pasiva en señales digitales. Luego, las señales digitales generadas por la interfaz (5) se transmiten al medio (4) de tratamiento de la señal.

15 El medio (4) de tratamiento de la señal comprende, en concreto, un medio de cálculo del valor ($\Delta\theta = \theta_w - \theta_b$) para cada momento de implementación del sistema de medición de la invención. Preferentemente, el medio (4) de tratamiento de la señal comprende al menos un medio que genera una representación gráfica de la variación del valor ($\Delta\theta = \theta_w - \theta_b$) en función del tiempo, que ilustra la evolución del estado de suciedad del reactor (R), tal como una pantalla de ordenador o un dispositivo de impresión.

20 En general, el medio (4) de tratamiento de la señal consiste en un ordenador digital que comprende una pantalla y, en caso necesario, una impresora. El medio (4) comprende al menos una memoria que está cargada con un programa informático que comprende una serie de instrucciones que permiten el cálculo, a partir de los datos de las mediciones que le transmite la interfaz (5), de los diferentes parámetros pertinentes que le permiten al usuario determinar el estado de suciedad del reactor (R) en un momento dado, en concreto el cálculo del parámetro ($\Delta\theta = \theta_w - \theta_b$) y la estimación del espesor de depósito (e) si se conoce la conductividad térmica de este último.

25 La invención también tiene por objeto un dispositivo para la implementación de un procedimiento continuo de tratamiento de un fluido, caracterizado por que al menos uno de los reactores incluidos en dicho dispositivo está equipado con un sistema de medición de la suciedad tal como el que se ha definido antes.

La presente invención además está ilustrada, sin estar por ello limitada a los mismos, en los siguientes ejemplos.

30 Ejemplos

Ejemplo 1: Construcción de un sistema de medición de la suciedad según la invención.

- 35 1. Para realizar la sonda activa, se utiliza:
- una sonda térmica (1) de hilo de platino con funda de acero Inox (L= 125 mm, Lactiva = 30 mm, $\varnothing = 1,6$ mm) del tipo D52- 1716-X-Cu2-125-MMCU comercializada por Sociedad CORAM (Francia).
 - una sonda térmica (2) de termopar de tipo K, del tipo DC2-Ko25L-1000i; L = 1000), $\varnothing=0,25$ mm) comercializada por la Sociedad CORAM (Francia)

40 La sonda térmica (2) de termopar se fija por soldadura longitudinalmente sobre la sonda térmica (1) de hilo de platino. La sonda térmica (2) está situada a la mitad de la longitud de la zona activa de la sonda térmica (1) de hilo de platino.

2. Para realizar la sonda pasiva, se utiliza una sonda térmica (3) de hilo de platino de tipo UE 902327, Clase B (L = 25 mm, $\varnothing=3$ mm) comercializado por la Sociedad Heraeus (Suecia).

3. Los dos polos de la sonda térmica (1) de hilo de platino están conectados eléctricamente a un generador de corriente continua (6) ajustable que produce una corriente que va de 0 a 50 mA.

4. Además, los dos polos de la sonda térmica (1) de hilo de platino están conectados eléctricamente a una interfaz (5) que es una tarjeta de conversión de señales analógicas/digitales de tipo módulo 6B, comercializada por la Sociedad Analog Devices Inc. (Estados Unidos de América).

5. Las sondas térmicas de termopar (2; 3) están conectadas eléctricamente a la interfaz (5).

6. La interfaz (5) está a su vez conectada, por medio de una conexión estandarizada de tipo RS232, a un

ordenador de tipo ordenador personal (PC) en cuya memoria se ha cargado un programa informático que comprende las instrucciones de cálculo adecuadas.

5 7. El sensor está colocado en un reactor (R) de retención de tipo conducto cilíndrico ($\varnothing = 25$ mm, de acero inoxidable 55316 l). La sonda activa está dispuesta en el reactor (R) de manera que su eje longitudinal sea paralelo al eje longitudinal del reactor. La sonda activa está fijada aproximadamente en el centro de la luz interna del reactor (R).

La sonda pasiva está fijada en el reactor (R) de retención, cerca de la sonda activa y está, por tanto, alejada de las paredes del reactor.

10

Ejemplo 2: Implementación del sistema de medición de suciedad de un reactor (R) según la invención.

1. Protocolo experimental

15 El caso retenido se refiere a los fenómenos de ensuciamiento en las zonas de retención para los que se encuentra poca información. La zona de retención es, no obstante, una zona extremadamente importante para el producto (cocción, maduración) que produce tantos, e incluso más fenómenos de deposición (suciedad) que el calentamiento.

20 La instalación se compone de los siguientes elementos colocados en serie: de una cuba de lanzamiento (agua) y una cuba de producto (A, B y C) y de una válvula 3 de tres vías que permite alimentar el circuito con agua o con un producto, de una bomba volumétrica, de una zona de calentamiento (intercambiador de calor de placa o intercambiador tubular) de una zona de retención (tubo cilíndrico, $\varnothing = 25$ mm), de una zona de enfriamiento (intercambiador de calor tubular) y de una cuba de recepción.

25 La instalación se alimenta con agua (estabilización de parámetros térmicos e hidráulicos), y después, a partir del tiempo $T = 0$ minutos, con los productos A, B y C. Los productos A, B y C son productos de tipo lácteo con unas condiciones físico-químicas modificadas para generar fenómenos de ensuciamiento más o menos pronunciados.

30 El sistema de medición de suciedad según la invención se ha colocado en el reactor de retención situado aguas abajo, con respecto al sentido de circulación del fluido, del reactor intercambiador de calor, respectivamente, a unas temperaturas de 95 °C y 98 °C.

2. Resultados

35 Se ha hecho un seguimiento de la variación de la diferencia de temperatura ($\Delta\theta = \theta_w - \theta_b$) como parámetro del estado de suciedad del reactor de retención, en el transcurso del tiempo de funcionamiento de la instalación de tratamiento de productos lácteos, luego, conociendo la conductividad térmica del depósito formado ($\lambda_d = 0,27 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) se ha podido estimar el espesor del depósito.

40 Los resultados se presentan en las Figuras 3 y 4, en las que, para cada una de las condiciones operativas de temperatura anteriores, se ha realizado un seguimiento del estado de suciedad del reactor de retención en el transcurso del tiempo. En la figura 3, el estado de suciedad del reactor de retención se mide como valor de la diferencia de temperatura ($\Delta\theta = \theta_w - \theta_b$). En la figura 4, el estado de suciedad del reactor de retención se mide gracias a la estimación del espesor del depósito, e.

45

La suciedad varía en cinética y en intensidad según los tipos de tratamiento y de producto, lo que se ilustra en la figura 4.

Las diferentes pruebas se han realizado en las condiciones operativas indicadas en la tabla 1.

50

Tabla 1: Condiciones operativas

N.º de prueba	Producto	Caudal l/h	Temperatura de entrada, °C	Temperatura de salida y de retención, °C	Tipo de Calentamiento	Tipo de Retención	Duración (min)
1	A	200	16	95	Intercambiadores de Calor de placas	Tubo 1" $\varnothing=25$ mm y Tubo 1"1/2 $\varnothing=36$ mm	1150
2	B	300	4	98	Intercambiadores de Calor tubulares	Tubo 1"	880
3	C	300	4	98	Intercambiadores de Calor tubulares	Tubo 1"	2200

REIVINDICACIONES

1. Método de medición de suciedad de un reactor (R), siendo dicho reactor un componente de una instalación de tratamiento de un fluido por el que circula un fluido y que comprende un sistema de medición de la suciedad que comprende:

- (i) situada en el núcleo del flujo de fluido del reactor (R), una sonda activa constituida por un generador de calor (1), cilíndrico o plano, sobre cuya superficie externa está fijada una primera sonda térmica (2); y
- (ii) situada cerca del generador de calor (1), también en el núcleo del flujo de fluido del reactor (R) una sonda pasiva constituida por una segunda sonda térmica (3); y

comprendiendo dicho método las siguientes etapas:

- a) llevar la superficie externa de la pared de dicho generador de calor (1) a una primera temperatura (θ_w), midiéndose la Primera temperatura (θ_w) con la primera sonda térmica (2), y difiriendo como máximo +0,5 °C con respecto a una segunda temperatura (θ_b) del fluido en circulación por el reactor (R) en ausencia de suciedad, midiéndose la segunda temperatura (θ_b) con la segunda sonda térmica (3);
- b) medir, en el transcurso del tiempo de funcionamiento del reactor (R), respectivamente, las temperaturas (θ_w) y (θ_b) y calcular el valor de la diferencia $\Delta\theta$ ($\Delta\theta = \theta_w - \theta_b$); y
- c) determinar el estado de suciedad del reactor (R), que varía con el valor de $\Delta\theta$.

2. Método según la reivindicación 1, **caracterizado por que** los extremos aguas arriba de la sonda activa y de la sonda pasiva están situados, el uno con respecto al otro, en el sentido axial del reactor (R), a una distancia (l) de unos cm y en consonancia con el tamaño de las sondas (entorno cercano).

3. Método según la reivindicación 1, **caracterizado por que** la sonda activa y la sonda pasiva están situadas en la misma sección transversal del reactor (R).

4. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado por que** la sonda activa y la sonda pasiva están situadas, la una con respecto a la otra, en el sentido radial del reactor (R), a una distancia (r) de como máximo 0,5 R, siendo R el radio del reactor (R).

5. Método según una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado por que** la primera sonda térmica (2) consiste en una sonda de termopar y **por que** la segunda sonda térmica (3) es (i) bien una sonda de termopar, (ii) o bien una sonda de platino.

6. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado por que** el generador de calor (1) consiste en una sonda térmica de hilo caliente.

7. Método según la reivindicación 6, **caracterizado por que** el generador de calor (1) consiste en una sonda térmica de hilo de platino.

8. Método según una de las reivindicaciones 6 o 7, **caracterizado por que** el generador de calor (1) consiste en un generador cíclico, calculándose el espesor (e) de la capa de suciedad según la siguiente fórmula:

$$e \cong r \cdot \left(\text{Exp} \left(\Delta\theta \cdot \frac{2\pi L}{P} \cdot \lambda_d \right) - 1 \right) \quad (\text{Ec. 5})$$

siendo $\Delta\theta = (\theta_w - \theta_b)$
en la que:

- $\Delta\theta$ es la diferencia de temperaturas ($\theta_w - \theta_b$) [K];
- L es la longitud del generador de calor (1) [m];
- P es la potencia disipada en el hilo caliente [W];
- r es el radio del generador de calor (1) [m];
- λ_d es el valor del coeficiente de conductividad térmica del material de la capa de suciedad [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]; y
- e es el espesor de la capa de suciedad [m].

9. Método según una de las reivindicaciones 6 o 7, **caracterizado por que** el generador de calor (1) consiste en un generador plano, calculándose el espesor (e) de la capa de suciedad según la siguiente fórmula:

$$e \cong r \cdot \left(\text{Exp} \left(\Delta\theta \cdot \frac{2\pi L}{P} \cdot \lambda_d \right) - 1 \right) \quad (\text{Ec. 5})$$

con:

- $\Delta\theta$ es la diferencia de temperaturas ($\theta_w - \theta_b$) [K];

- λ_d es el valor del coeficiente de conductividad térmica del material de la capa de suciedad [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]; y
- P es la potencia térmica emitida por el generador de calor (1) [W].

- 5 10. Método según una de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizado por que** el reactor (R) está incluido en un dispositivo para la implementación de un procedimiento continuo de tratamiento de un fluido.
11. Método según una de las reivindicaciones 1 a 10, **caracterizado por que** el reactor (R) consiste en un reactor de tipo intercambiador de calor.
- 10 12. Método según una de las reivindicaciones 1 a 10, **caracterizado por que** el reactor (R) consiste en un reactor de retención.
13. Método según una de las reivindicaciones 1 a 12, **caracterizado por que** se implementa para la medición de suciedad de un reactor (R) en un procedimiento continuo de fabricación de un producto agroalimentario.
- 15 14. Sistema de medición de la suciedad de un reactor (R), incluido en un dispositivo de implementación de un procedimiento continuo, según el método tal y como se ha definido en una de las reivindicaciones 1 a 13, **caracterizado por que** dicho sistema comprende:
- 20 (i) una sonda activa destinada a posicionarse en el núcleo del flujo de fluido del reactor (R), estando dicha sonda activa constituida
- (a) por un generador de calor (1), cilíndrico o plano, y
- (b) por una primera sonda térmica (2) fijada sobre la superficie externa de dicho generador de calor (1),
- 25 (ii) una sonda pasiva destinada a posicionarse en el núcleo del flujo de fluido del reactor (R), constituida por una segunda sonda térmica (3),
- (iii) un medio (4) de tratamiento de señales conectado, por medio de una interfaz (5), a dicho generador de calor (1), a dicha primera sonda térmica (2) y a dicha segunda sonda térmica (3),
- 30 recibiendo la interfaz (5), del generador de calor (1), las señales de control para generar una cantidad de calor controlado en dicha sonda activa de manera que se lleve la superficie externa de la pared de dicho generador de calor (1) a una primera temperatura (θ_w), midiéndose dicha primera temperatura (θ_w) con dicha primera sonda térmica (2) y difiriendo dicha primera temperatura (θ_w) como máximo $+0,5\text{ }^\circ\text{C}$ con respecto a una segunda temperatura (θ_b) del fluido en circulación por el reactor (R) en ausencia de suciedad, midiéndose dicha segunda temperatura (θ_b) con la segunda sonda térmica (3),
- 35 medio de tratamiento (4) que comprende un medio de comparación del valor de la primera temperatura (θ_w) suministrada por dicha primera sonda térmica (2) y del valor de la segunda temperatura (θ_b) suministrada por dicha segunda sonda térmica (3), para el suministro del valor de la diferencia ($\Delta\theta = \theta_w - \theta_b$).
- 40 15. Sistema de medición según la reivindicación 14, **caracterizado por que** el generador de calor (1) consiste en una sonda térmica de hilo caliente.
- 45 16. Sistema de medición según la reivindicación 15, **caracterizado por que** el generador de calor consiste en una sonda térmica de hilo de platino.
17. Sistema según una de las reivindicaciones 14 a 16, **caracterizado por que** la primera sonda térmica (2), consiste en una sonda de termopar y **por que** la segunda sonda térmica (3) es (i) bien una sonda de termopar, (ii) o bien una sonda de platino.
- 50 18. Dispositivo para la implementación de un procedimiento continuo, **caracterizado por que** al menos uno de los reactores incluidos en dicho dispositivo está equipado con un sistema de medición de suciedad según una de las reivindicaciones 14 a 17.
- 55 19. Procedimiento de análisis de las características de un reactor (R) con respecto a la formación de un depósito de suciedad **caracterizado por que** comprende las siguientes etapas:
- a) colocar un sistema de medición de suciedad según una cualquiera de las reivindicaciones 14 a 18 en un reactor (R) a probar no ensuciado, por el que circula un fluido de prueba;
- 60 b) aplicar, al generador de calor (1) de dicho sistema, un valor de intensidad de corriente (I_1) para el que dicho sistema funciona como detector de suciedad y medir el valor de ($\Delta\theta$) definido en la reivindicación 1;
- c) aplicar, al generador de calor (1) de dicho sistema, un valor de intensidad de corriente (I_2), siendo dicho valor de intensidad (I_2)
- 65 - superior a (I_1) de la etapa b), valor para el que el generador (1) provoca un calentamiento de las paredes de dicho sistema de medición susceptible de inducir un ensuciamiento de dichas paredes, o

- inferior a (I_1) de la etapa b), valor para el que el generador (1) se utiliza como sonda de temperatura;

d) aplicar, al generador de calor (1) de dicho sistema, el valor de intensidad de corriente (I_1) de la etapa b) y medir el valor de ($\Delta\theta$);

5 e) reiterar las etapas c) y d) durante el número de ciclos deseado; y

f) determinar las características del reactor (R) con respecto a la formación de un depósito de suciedad mediante la comparación del valor ($\Delta\theta$) determinado en la etapa b) con los valores ($\Delta\theta$) determinados en las etapas d).

10

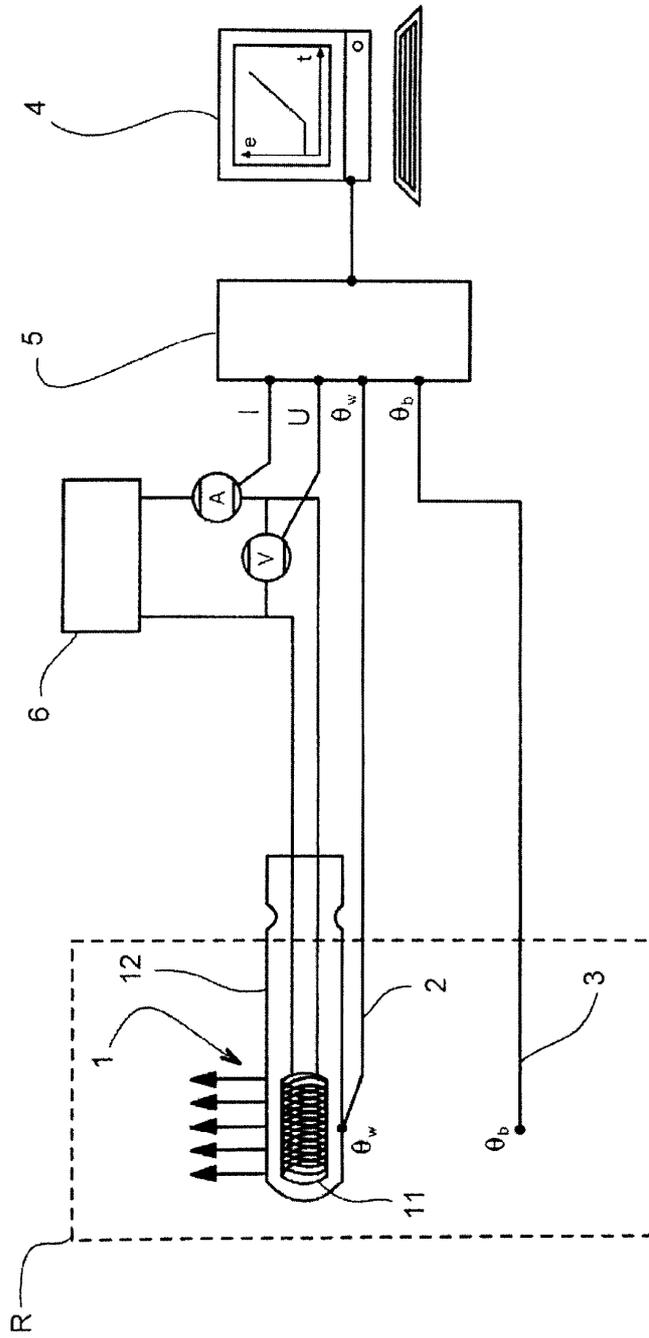


FIGURA 1

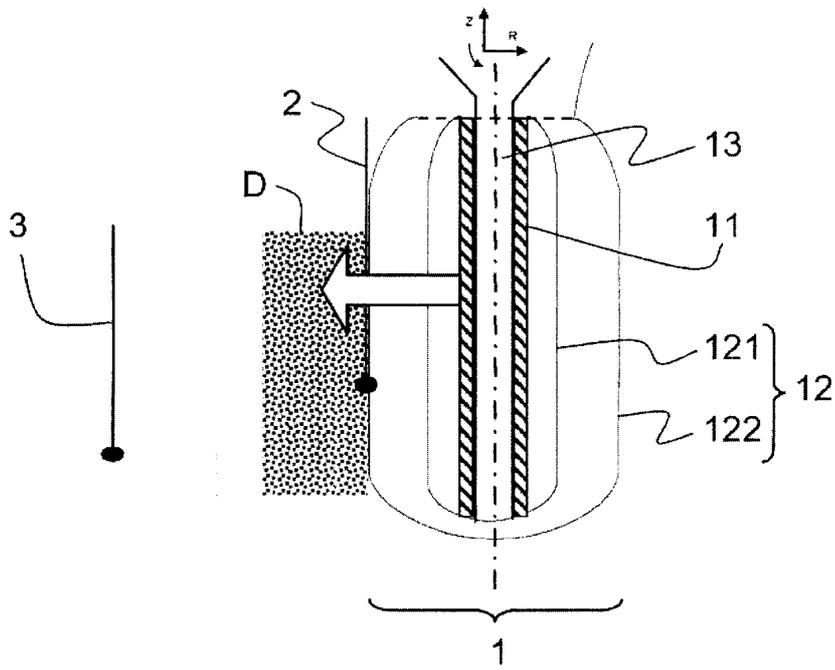


FIGURA 2

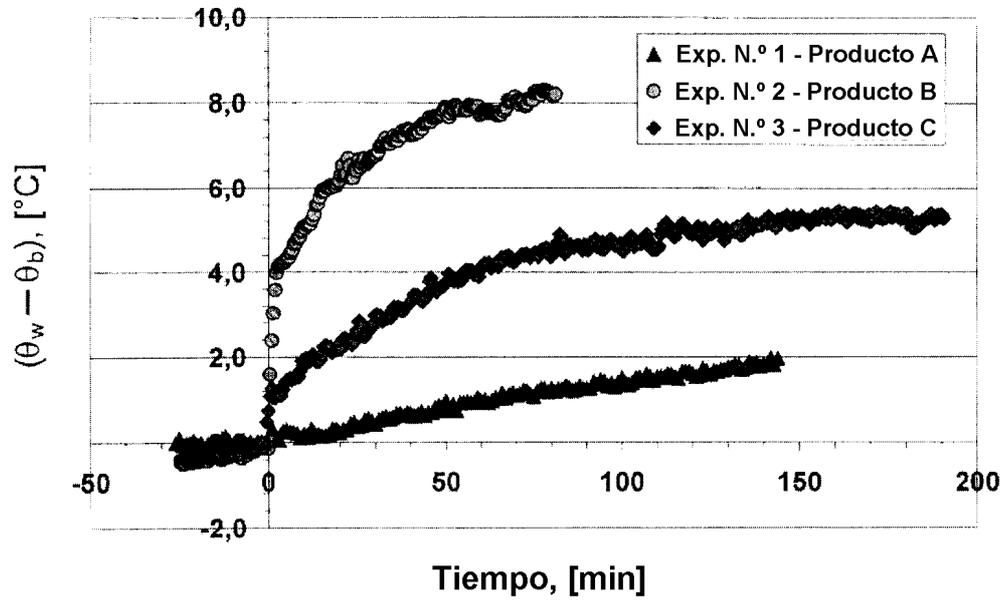


FIGURA 3

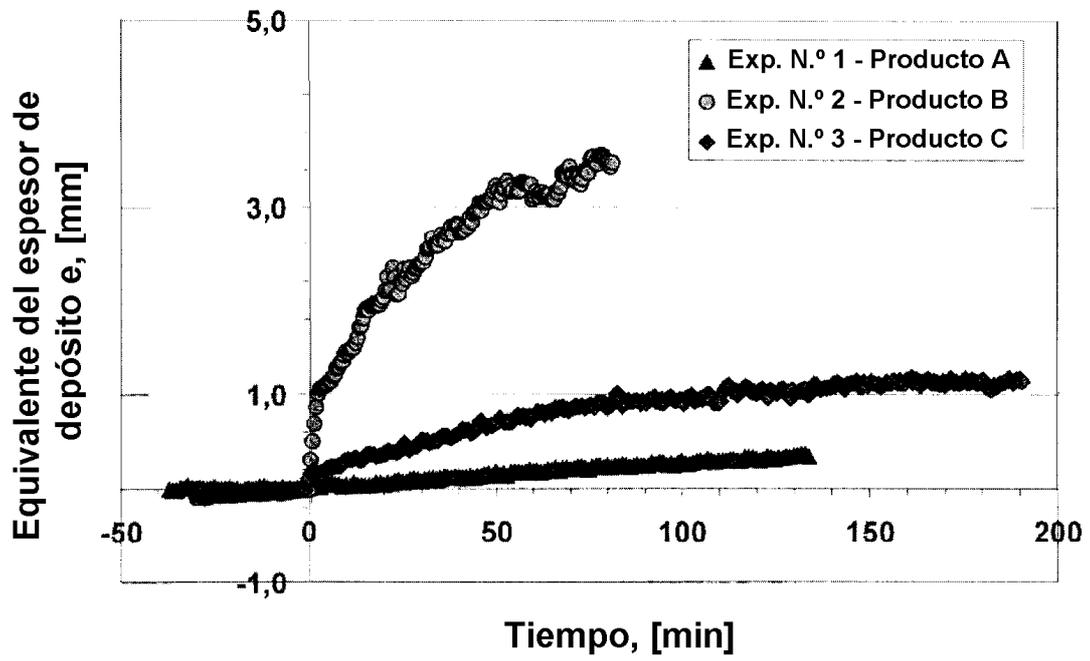


FIGURA 4

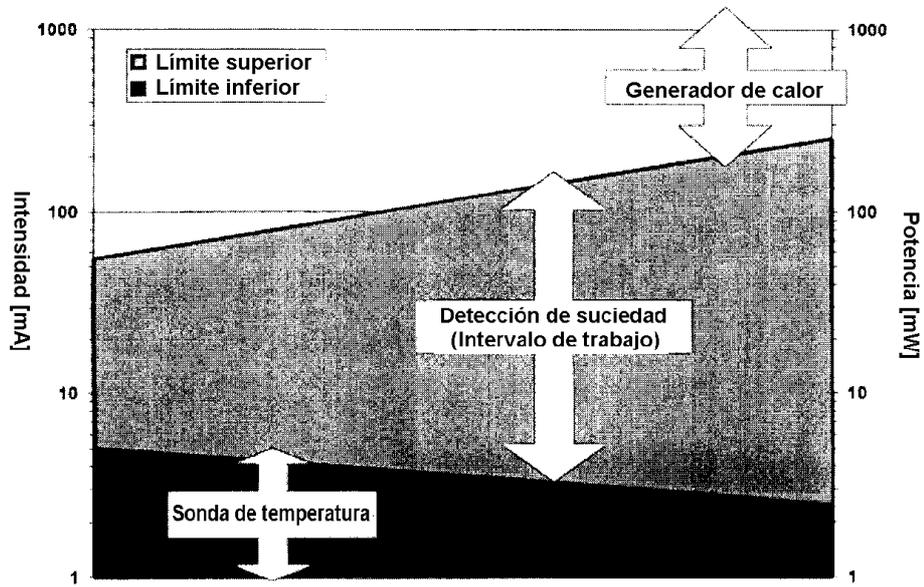


Figura 5

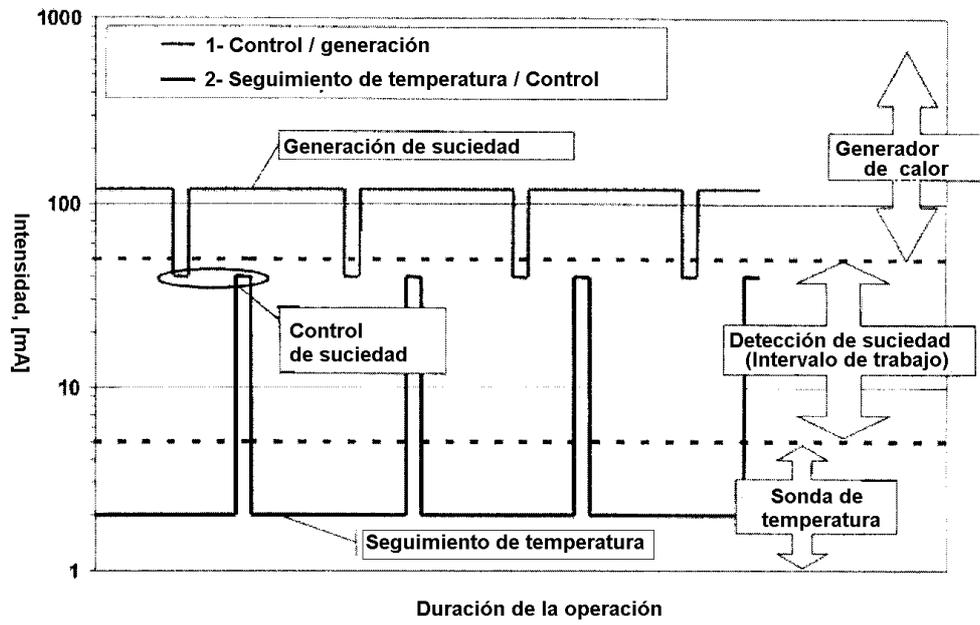


Figura 6