

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 624 869**

51 Int. Cl.:

**G05B 23/02** (2006.01)

**G05B 17/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.05.2013 PCT/EP2013/060406**

87 Fecha y número de publicación internacional: **15.05.2014 WO14072085**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.05.2013 E 13727815 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.02.2017 EP 2917798**

54 Título: **Procedimiento para modelizar y supervisar ensuciamiento**

30 Prioridad:

**12.11.2012 TR 201213028**

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

**17.07.2017**

73 Titular/es:

**TURKIYE PETROL RAFINERILERI ANONIM  
SIRKETI TUPRAS (100.0%)**

**Tupras Genel Muduriugu Guney Mahallesi Petrol  
Caddesi No:25, Korfez  
Kocaeli 41780, TR**

72 Inventor/es:

**ORMAN, SULTAN;  
BAS, SERIFE;  
ERDENER AKINC, HULYA;  
SAHIN, GULSEN;  
BECER, METIN;  
BAKIR, MUSTAFA;  
AYHAN, UMUT BARIS;  
BALKAN, FIRUZ y  
OZCELIK, YAVUZ**

74 Agente/Representante:

**ARPE FERNÁNDEZ, Manuel**

ES 2 624 869 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 para modelizar y supervisar ensuciamiento

5 Ámbito de la invención

**[0001]** La presente invención se refiere a un procedimiento para modelizar y supervisar la cuantía de ensuciamiento en un intercambiador de calor

10 Técnica anterior

**[0002]** Plantas tales como las refinerías de petróleo utilizan intercambiadores de calor para proporcionar transferencia de calor entre los fluidos utilizados en el mismo. Los intercambiadores de calor están típicamente estructurados para proporcionar intercambio de calor entre los fluidos sin implicar ningún contacto físico entre ellos. De acuerdo con el ámbito de aplicación y otros requisitos, se utilizan intercambiadores de calor con diferentes estructuras. Uno de ellos es un intercambiador de calor de "tipo carcasa y tubo" que comprende una pluralidad de tubos dentro de una carcasa. En los intercambiadores de calor tubulares, se hace pasar un fluido a través de los tubos dispuestos en la carcasa y otro fluido a través de la carcasa, proporcionando de este modo un intercambio de calor entre estos fluidos.

**[0003]** Los intercambiadores de calor pueden ensuciarse con el transcurso del tiempo, debido a los fluidos que pasan a través de los mismos. El ensuciamiento, a su vez, conduce a una desaceleración en el intercambio de calor entre los fluidos, a saber, reduce la eficacia del intercambiador de calor. Por esta razón, es necesario medir la cuantía del ensuciamiento (o la cuantía de intercambio de calor) en el intercambiador de calor en ciertos intervalos de tiempo para mantener el intercambiador de calor funcionando con alta eficacia. Esta operación de medición, sin embargo, no puede realizarse físicamente mientras el intercambiador de calor se encuentra en funcionamiento. Por lo tanto, se han propuesto y usado varios procedimientos para modelizar la cantidad de intercambio de calor en intercambiadores de calor de acuerdo con la técnica anterior. En estos procedimientos, se utilizan datos sobre las propiedades físicas del intercambiador de calor respectivo, datos sobre la temperatura y sobre el caudal de los fluidos respectivos, factores ambientales y muchos otros parámetros, de manera que la cantidad de intercambio de calor se modeliza, utilizando algunas fórmulas o ecuaciones complejas.

**[0004]** En el documento de patente WO2008094757A1 de acuerdo con la técnica anterior, se describe un procedimiento para medir la cantidad de ensuciamiento en un intercambiador de calor. Según este procedimiento, la temperatura de los fluidos que entran y salen del intercambiador de calor se mide en instantes diferentes. Los valores medidos se evalúan estadísticamente (por ejemplo, media, desviación estándar, etc.) y la cantidad de ensuciamiento del intercambiador de calor se calcula de acuerdo con ellos. Ese procedimiento, sin embargo, toma tiempo y es laborioso ya que requiere muchas mediciones para proporcionar un cálculo de ensuciamiento correcto.

**[0005]** El documento CA 2344908 describe un procedimiento para el diagnóstico de subsistemas HVAC.

Breve descripción de la invención

**[0006]** Se desarrolla un procedimiento de acuerdo con la presente invención para modelizar y supervisar la cantidad de ensuciamiento en un intercambiador de calor que comprende al menos una carcasa y al menos un tubo dispuesto dentro de la carcasa para proporcionar intercambio de calor entre los fluidos de diferentes temperaturas que pasan a través de dicha carcasa y tubo, respectivamente. Dicho procedimiento comprende las etapas de asignar una diferencia de temperatura de entrada y salida para cada uno de los fluidos que pasan a través del tubo y de la carcasa; calcular una temperatura de salida de manera iterativa para cada fluido utilizando las diferencias de temperatura asignadas y las temperaturas de entrada medidas de los fluidos; determinar una temperatura de salida esperada para cada fluido para equipararlo a la temperatura de salida calculada iterativamente; calcular un valor de temperatura media para cada fluido; calcular un coeficiente de transferencia de calor limpio de manera iterativa para el intercambiador de calor, utilizando las propiedades físicas bajo las temperaturas medias calculadas del tubo y de la carcasa; calcular una diferencia de temperatura media logarítmica utilizando las temperaturas de entrada y las temperaturas iterativas de salida de los fluidos; actualizar las temperaturas de salida iterativas para cada fluido resolviendo algunas ecuaciones de energía del tubo, de la carcasa y del intercambiador de calor, utilizando el coeficiente de transferencia de calor limpio calculado de manera iterativa, la diferencia calculada de temperatura media logarítmica, los parámetros físicos del intercambiador de calor, los parámetros físicos del tubo y de la carcasa, y las temperaturas de entrada de los fluidos; comparar las temperaturas de salida iterativas actualizadas con las temperaturas de salida esperadas; volver a la etapa de determinación de una temperatura de salida esperada para cada fluido, cuando la diferencia entre la temperatura de salida iterativa actualizada y la temperatura de salida esperada para, al menos, uno de los fluidos se encuentra por encima de un valor predefinido; calcular valores instantáneos para el intercambiador de calor, utilizando las temperaturas de salida iterativas actualizadas cuando la diferencia entre la temperatura de salida iterativa actualizada y la temperatura de salida esperada para cada fluido, se encuentra por debajo de dicho valor de umbral predefinido; y calcular la cantidad de ensuciamiento en el intercambiador de calor, utilizando los valores instantáneos calculados y el coeficiente de transferencia de calor limpio calculado de manera iterativa.

**[0007]** En virtud del procedimiento según la presente invención, las temperaturas de salida de los fluidos utilizados en un intercambiador de calor se calculan iterativamente. Así, se calcula un coeficiente de ensuciamiento de una

manera rápida y fiable para el intercambiador de calor, utilizando temperaturas instantáneas de salida determinadas de la misma manera. Adicionalmente, se puede supervisar un comportamiento de ensuciamiento dependiente del tiempo para el intercambiador de calor, repitiendo dicho procedimiento en ciertos intervalos de tiempo y comparando los valores de ensuciamiento calculados del intercambiador de calor.

5

#### Objeto de la invención

**[0008]** El objeto de la presente invención es desarrollar un procedimiento para modelizar la cantidad de ensuciamiento en un intercambiador de calor.

10 **[0009]** Otro objeto de la presente invención es desarrollar un procedimiento mediante el cual la cantidad de ensuciamiento del intercambiador de calor es modelizado de manera sencilla.

**[0010]** Un objeto adicional de la presente invención es desarrollar un procedimiento para supervisar en tiempo real el intercambiador de calor en términos de ensuciamiento.

15 **[0011]** Aún es un objeto adicional de la presente invención desarrollar un procedimiento para supervisar el comportamiento de ensuciamiento en función del tiempo del intercambiador de calor.

#### Descripción de las figuras

20 **[0012]** Las realizaciones ilustrativas de un procedimiento para modelizar y supervisar la cantidad de ensuciamiento en un intercambiador de calor de acuerdo con la presente invención, se ilustran en las figuras adjuntas brevemente descritas a continuación.

La figura 1 es una vista en sección en perspectiva de un intercambiador de calor al que se aplica el procedimiento según la presente invención.

La figura 2 es un diagrama de flujo del procedimiento según la presente invención.

25 **[0013]** Los componentes de dichas figuras son referenciados individualmente de la siguiente manera:

Carcasa (S)

Tubo (T)

Asignación de una diferencia de temperatura (100)

30 Cálculo de una temperatura de salida de manera iterativa (101)

Determinación de una temperatura de salida esperada (102)

Determinación de las temperaturas medias del fluido (103)

Cálculo de un coeficiente de transferencia de calor limpio de manera iterativa (104)

Cálculo de una diferencia de temperatura media logarítmica (105)

Actualizar la temperatura de salida de manera iterativa (106)

35 Comparar la temperatura iterativa con la temperatura esperada (107)

Determinar valores instantáneos (108)

Calcular la cantidad de ensuciamiento en el intercambiador de calor (109)

#### Descripción de la invención

40 **[0014]** Las plantas tales como las refinerías de petróleo, donde se utilizan fluidos a diferentes temperaturas, se dan intercambiadores de calor para proporcionar transferencia de calor entre los fluidos. Los intercambiadores de calor proporcionan intercambio de calor entre los fluidos sin implicar ningún contacto físico entre ellos. Sin embargo, los intercambiadores de calor pueden ensuciarse con el transcurso del tiempo debido a los fluidos y materiales extraños posiblemente contenidos en los fluidos. Este ensuciamiento reduce la eficacia de funcionamiento del intercambiador de calor. Por esta razón, se desarrolla un procedimiento según la presente invención para modelizar la cantidad de ensuciamiento en un intercambiador de calor.

45 **[0015]** El procedimiento desarrollado de acuerdo con la presente invención se utiliza para modelizar la cantidad de ensuciamiento en un intercambiador de calor (E) (también conocido en la técnica como intercambiador de calor de tipo carcasa y tubo), como se ilustra en la figura 1, que comprende una carcasa (S) que tiene una estructura tubular hueca y al menos un tubo (T) dispuesto en el interior de dicha carcasa (S) para proporcionar un intercambio de calor entre los fluidos a diferentes temperaturas que pasan a través de dichos carcasa (S) y tubo (T), respectivamente. Dicho procedimiento, cuyo diagrama de flujo se da en la figura 2, comprende las etapas de asignar una diferencia de temperatura de entrada y salida para cada uno de los fluidos pasantes a través del tubo (T) y de la carcasa (S) (100); calcular una temperatura de salida de manera iterativa para cada fluido, utilizando las diferencias de temperatura asignadas y las temperaturas de entrada medidas de los fluidos (101); determinar una temperatura de salida esperada para cada fluido para equipararla a la temperatura de salida calculada iterativamente (102); calcular un valor de temperatura media para cada fluido (103); calcular un coeficiente de transferencia de calor limpio de manera iterativa para el intercambiador de calor (E), utilizando las propiedades físicas bajo las temperaturas medias calculadas del tubo (T) y de la carcasa (S) (104); calcular una diferencia de temperatura media logarítmica utilizando las temperaturas de entrada y las temperaturas de salida iterativas de los fluidos (105); actualizar las temperaturas de salida iterativas para cada fluido, resolviendo algunas ecuaciones de energía del tubo (T), de la carcasa (S) y del intercambiador de calor (E), utilizando el coeficiente de transferencia de calor limpio calculado de manera iterativa, la diferencia de temperatura media logarítmica calculada, los parámetros físicos del intercambiador de calor (E), los parámetros físicos del tubo (T) y de la carcasa (S), y las temperaturas de entrada de los fluidos (106); comparar las temperaturas de salida iterativas actualizadas con las temperaturas de salida esperadas (107); volver a la etapa de

determinación de una temperatura de salida esperada para cada fluido (102) cuando la diferencia entre la temperatura de salida iterativa actualizada y la temperatura de salida esperada para, al menos, uno de los fluidos se encuentra por encima de un valor predefinido; calcular valores instantáneos para el intercambiador de calor (E), utilizando las temperaturas de salida iterativas actualizadas cuando la diferencia entre la temperatura de salida iterativa actualizada y la temperatura de salida esperada para cada fluido, se encuentra por debajo de dicho valor de umbral predefinido (108); y calcular la cantidad de ensuciamiento del intercambiador de calor (E), utilizando los valores instantáneos calculados y el coeficiente de transferencia de calor limpio iterativo calculado (109). Puesto que las temperaturas de salida del tubo (T) y de la carcasa (S) se calculan por un procedimiento iterativo de acuerdo con la presente invención, la cantidad de ensuciamiento del intercambiador de calor (E) se puede determinar de una manera rápida y fiable.

**[0016]** En una realización representativa del procedimiento de acuerdo con la presente invención, los valores asignados al fluido frío y al fluido caliente (que son fríos o calientes uno respecto del otro) en la etapa de asignación de una diferencia de temperatura (100) son representados por "delt1" y "delt2", respectivamente. Entonces, en la etapa de cálculo de las temperaturas de salida iterativas (101), estos valores se calculan utilizando las siguientes ecuaciones [1] para el fluido caliente y el fluido frío, respectivamente.

$$T_{t-o1} = T_{t-i} + \text{delt1} \quad (1)$$

$$T_{s-o1} = T_{s-i} - \text{delt2}$$

**[0017]** Aquí, el término "T<sub>t-o1</sub>" es la temperatura de salida iterativa del fluido pasante a través del lado del tubo, "T<sub>t-i</sub>" es la temperatura de entrada del fluido pasante a través del lado del tubo, "T<sub>s-o1</sub>" es la temperatura de salida iterativa del fluido pasante a través del lado de la carcasa y T<sub>s-i</sub> es la temperatura de entrada del fluido pasante a través del lado de la carcasa. En la etapa de determinación de las temperaturas de salida esperadas (102), estos valores de los fluidos se asimilan a las temperaturas de salida iterativas calculadas, respectivamente, como se indica en las siguientes ecuaciones [2].

$$T_{t-old} = T_{t-o1} \quad (2)$$

$$T_{s-old} = T_{s-o1}$$

**[0018]** Aquí el término "T<sub>t-old</sub>" es la temperatura de salida esperada del fluido pasante a través del lado del tubo y "T<sub>s-old</sub>" es la temperatura de salida esperada del fluido pasante a través del lado de la carcasa. En la etapa de encontrar las temperaturas medias del fluido (103), estos valores se calculan hallando la media de las temperaturas de entrada y las temperaturas de salida iterativas, respectivamente, como se indica en las siguientes ecuaciones [3].

$$T_{ave-t} = \frac{T_{t-o1} + T_{t-i}}{2} \quad (3)$$

$$T_{ave-s} = \frac{T_{s-o1} + T_{s-i}}{2}$$

**[0019]** Aquí el término "T<sub>ave-t</sub>" es la temperatura media del fluido pasante a través del lado del tubo y "T<sub>ave-s</sub>" es la temperatura media del fluido pasante a través del lado de la carcasa. Después de hallar los valores medios de temperatura, se calcula el coeficiente de transferencia de calor limpio iterativo del intercambiador de calor (E) en la siguiente ecuación [4], utilizando las propiedades físicas a los valores medios de temperatura del tubo (T) y la carcasa (S) a estas temperaturas (por ejemplo, si fluido caliente pasa a través de la carcasa (S), las propiedades físicas de la carcasa (S) a la temperatura media del fluido caliente).

$$U_{est} = \left[ \frac{OD_t}{ID_t \times h_i} + \frac{OD_t \times \ln\left(\frac{OD_t}{ID_t}\right)}{2 \times k_{tube}} + \frac{1}{h_o} \right]^{-1} \quad (4)$$

**[0020]** Aquí el término "U<sub>est</sub>", es el coeficiente de transferencia de calor limpio iterativo del intercambiador de calor (E), "OD<sub>t</sub>" es el diámetro exterior del tubo (T), "ID<sub>t</sub>" es el diámetro interior del tubo (T), "h<sub>i</sub>" es el coeficiente de transferencia de calor del tubo (T), "k<sub>tube</sub>" es la conductividad térmica del tubo (T), y el término "h<sub>o</sub>" es el coeficiente de transferencia de calor de la carcasa (S). La conductividad térmica (k<sub>tube</sub>) del tubo (T) es un valor que depende del material del que está fabricado el tubo (T) y que puede encontrarse en la literatura.

**[0021]** Para calcular el coeficiente de transferencia de calor del tubo (T), se utilizan las siguientes ecuaciones ([5] y [6]) de Seider-Tate propuestas en 1936. Estas son como siguen para fluidos con alta viscosidad (Re <2100):

$$h_i = 1.86 \times \frac{k}{D_i} \times \left( \frac{D_i \times G_i}{\mu} \right)^{0.33} \times \left( \frac{C_p \times \mu}{k} \right)^{0.33} \times \left( \frac{\mu}{\mu_s} \right)^{0.14} \quad (5)$$

y para el flujo turbulento que permanece por encima de la región de transición ( $Re > 10.000$ ;  $0,7 < Pr < 160$  ve  $L/D_i > 10$ ):

$$h_i = 0.023 \times \frac{k}{D_i} \times \left( \frac{D_i \times G_i}{\mu} \right)^{0.8} \times \left( \frac{C_p \times \mu}{k} \right)^{0.33} \times \left( \frac{\mu}{\mu_s} \right)^{0.14} \quad (6).$$

**[0022]** En cuanto al cálculo del coeficiente de transferencia de calor de la carcasa (S), se utiliza la siguiente secuencia.

$$j_H = 0.5 \times \left( 1 + \frac{B}{ID_s} \right) \times \left( 0.08 \times Re_s^{0.6821} + 0.7 \times Re_s^{0.1772} \right) \quad (7)$$

**[0023]** Aquí, el diámetro equivalente de la carcasa (S) y la velocidad de masa se utilizan para calcular el número Re para la carcasa (S).

$$Re_s = \frac{D_e \times G}{\mu_s} \quad G = \frac{\dot{m}}{A_s} \quad A_s = \frac{ID_s^2 \times C' \times \left( \frac{B}{ID_s} \right)}{P_T} \quad (8)$$

**[0024]** El factor de separación (C') y el diámetro equivalente ( $D_e$ ), varían dependiendo del diámetro exterior del tubo ( $OD_i$ ) del intercambiador de calor, de la configuración de disposición de los tubos y del tamaño de paso ( $P_T$ ).

**[0025]** Aquí, el número Nu y el coeficiente de transferencia de calor para la carcasa (S) se calculan usando las siguientes ecuaciones (9).

$$Nu_s = j_H \times Pr_s^{1/3} \times \left( \frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14} \quad (9)$$

$$Pr_s = \frac{cp_s \times \mu_s}{k_s}$$

$$Nu_s = \frac{h_o \times D_e}{k_s}$$

$$h_o = \frac{Nu_s \times k_s}{D_e}$$

**[0026]** A continuación, se calcula la diferencia de temperatura media logarítmica (105) utilizando las temperaturas de entrada y las temperaturas de salida iterativas de los fluidos como se ilustra en la siguiente ecuación [10].

$$LMTD = \frac{[(T_{s-i} - T_{t-o1}) - (T_{s-o1} - T_{t-i})]}{\ln \left( \frac{T_{s-i} - T_{t-o1}}{T_{s-o1} - T_{t-i}} \right)} \quad (10)$$

**[0027]** Aquí "LMTD" es la diferencia de temperatura media logarítmica. A continuación, se formulan las siguientes ecuaciones de energía [11] para el tubo (T), la carcasa (S) y el intercambiador de calor (E).

$$Q = \dot{m}_t \times cp_t \times (T_{t-o1} - T_{t-i}) \quad (11)$$

$$Q = \dot{m}_s \times cp_s \times (T_{s-o1} - T_{s-i})$$

$$Q = F \times U_{EST} \times A \times LMTD$$

[0028] Aquí el término "Q" es el calor transferido, "m<sub>t</sub>" es el caudal másico del fluido pasante a través del lado del tubo, "cp<sub>t</sub>" es el calor específico del fluido pasante a través del lado del tubo, "m<sub>s</sub>" es la masa del fluido pasante a través del lado de la carcasa, "cp<sub>s</sub>" es el calor específico del fluido pasante a través del lado de la carcasa, F es el factor de corrección en el cálculo de la diferencia de temperatura logarítmica, y "A" es el área superficial del intercambiador de calor. Como resultado de la interpretación de cualquiera de las dos ecuaciones de energía anteriores, las temperaturas iterativas de salida de los fluidos calientes y fríos, respectivamente, pueden actualizarse, por ejemplo como se indica en las siguientes ecuaciones [11] (106)

$$m_t \times cp_t \times (T_{t-o1} - T_{t-i}) = m_s \times cp_s \times (T_{s-o1} - T_{s-i}) \quad (11)$$

$$m_t \times cp_t \times (T_{t-o1} - T_{t-i}) = F \times U_{EST} \times A \times LMTD$$

[0029] A continuación, las temperaturas de salida iterativas actualizadas y las temperaturas de salida esperadas calculadas previamente, se comparan como se indica a continuación en [12] (107), y se determina si las temperaturas de salida iterativas se calculan correctamente con un margen de error aceptable.

$$abs(T_{s-o1} - T_{s-old}) > TH_1 \quad (12)$$

$$abs(T_{t-o1} - T_{t-old}) > TH_2$$

[0030] Aquí, los términos "TH<sub>1</sub>" y "TH<sub>2</sub>" son valores de umbral predefinidos, respectivamente. Si se cumple una de las desigualdades, se vuelve a la etapa de determinación de la temperatura de salida prevista (102), basándose en que la temperatura de salida iterativa calculada no se calcula con un margen de error aceptable. Si ninguna de estas desigualdades se cumple, se supone que la temperatura de salida iterativa calculada es correcta con un margen de error aceptable, a saber, que la temperatura de salida iterativa calculada representa las temperaturas instantáneas (de funcionamiento) de salida de los fluidos.

Una vez determinadas las temperaturas instantáneas de salida, se calcula el coeficiente de transferencia de calor limpio del intercambiador de calor (E), la diferencia de temperatura media logarítmica instantánea y el coeficiente de transferencia de calor de ensuciamiento utilizando las siguientes ecuaciones [13]

$$U_c = U_{est} \quad (13)$$

$$LMTD_{op} = \frac{[(T_{s-i} - T_{t-op}) - (T_{s-op} - T_{t-i})]}{\ln\left(\frac{T_{s-i} - T_{t-op}}{T_{s-op} - T_{t-i}}\right)}$$

$$Q = \dot{m}_t \times cp_t \times (T_{t-op} - T_{t-i}) = U_d \times A \times LMTD_{op}$$

[0031] Aquí el término "U<sub>c</sub>" es el coeficiente de transferencia de calor del intercambiador de calor (E) bajo condiciones de limpieza, "LMTD<sub>op</sub>" es la diferencia de temperatura media logarítmica instantánea del intercambiador de calor (E), "T<sub>t-op</sub>", es la temperatura de salida instantánea del fluido pasante a través del lado del tubo, "T<sub>s-op</sub>" es la temperatura de salida instantánea del fluido pasante a través del lado de la carcasa, "m<sub>t</sub>" es el caudal másico del fluido pasante a través del lado del tubo y "U<sub>d</sub>" es el coeficiente de transferencia de calor del intercambiador de calor (E) bajo condiciones de ensuciamiento. Finalmente, la cantidad de ensuciamiento del intercambiador de calor (E) se puede calcular instantáneamente (109), utilizando la siguiente ecuación [14].

$$R_f = 1/U_c - 1/U_d \quad (14)$$

[0032] Aquí, el término "R<sub>f</sub>" representa el coeficiente de ensuciamiento del intercambiador de calor.

[0033] En una realización preferida de acuerdo con la presente invención, el coeficiente de ensuciamiento del intercambiador de calor (E), se calcula en determinados intervalos de tiempo. Como resultado de la comparación de estos valores calculados, puede supervisarse un comportamiento de ensuciamiento en función del tiempo para el intercambiador de calor (E).

[0034] Según otra realización preferida de la presente invención, en la etapa de asignación de diferencias de temperatura de entrada y salida para los fluidos (100), las diferencias de temperatura se asignan como un valor constante (por ejemplo, 10° C). Cuando se selecciona el valor constante como un valor razonable para el intercambiador de calor, el número de iteraciones del procedimiento puede mantenerse por debajo de cierto número

incluso cuando en el intercambiador de calor (E) se realiza un cálculo de ensuciamiento para diferentes fluidos a diferentes temperaturas. Por lo tanto, el procedimiento puede proporcionar resultados rápidos y fiables.

5 **[0035]** De acuerdo con una realización alternativa de la presente invención, las diferencias de temperatura en la etapa de asignación de diferencias de temperatura de entrada y salida a los fluidos (100) se hacen iguales a una determinada proporción (por ejemplo, 25%) de la diferencia de temperatura entre el fluido caliente y el fluido frío. Por lo tanto, también es posible reducir aún más el número de iteraciones del procedimiento y el procedimiento puede proporcionar resultados más rápidos.

10 **[0036]** En otra realización preferida de acuerdo con la presente invención, dichos valores umbral se determinan en forma de valores constantes (por ejemplo, 0,1° C). Por lo tanto, el procedimiento puede ser manejado con mucha precisión.

15 **[0037]** En virtud del procedimiento según la presente invención, las temperaturas de salida de los fluidos utilizados en el intercambiador de calor (E), se calculan iterativamente. Por lo tanto, el coeficiente de ensuciamiento del intercambiador de calor se calcula de manera rápida y fiable, utilizando temperaturas instantáneas de salida obtenidas de la misma manera. Además, el comportamiento de ensuciamiento dependiente del tiempo para el intercambiador de calor (E) puede supervisarse, llevando a cabo de manera iterativa dicho procedimiento en ciertos intervalos de tiempo y comparando los valores de ensuciamiento calculados del intercambiador de calor (E).

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento para modelizar la cuantía de ensuciamiento en un intercambiador de calor (E) que comprende al menos una carcasa (S) y al menos un tubo (T) dispuesto en dicha carcasa (S) para proporcionar intercambio de calor entre los fluidos a diferentes temperaturas que pasan a través de dichos carcasa (S) y tubo (T), respectivamente, caracterizado porque comprende las etapas de:

- asignar una diferencia de temperatura de entrada y salida para cada uno de los fluidos que pasan a través del tubo (T) y la carcasa (S) (100);
- calcular una temperatura de salida de manera iterativa para cada fluido utilizando las diferencias de temperatura asignadas y las temperaturas de entrada medidas de los fluidos (101);
- determinar una temperatura de salida prevista para cada fluido para equipararla a la temperatura de salida iterativa calculada (102);
- calcular un valor de temperatura media para cada fluido (103);
- calcular un coeficiente de transferencia de calor limpio iterativo para el intercambiador de calor (E), utilizando las propiedades físicas bajo las temperaturas medias calculadas del tubo (T) y de la carcasa (S) (104);
- calcular una diferencia de temperatura media logarítmica, utilizando las temperaturas de entrada y las temperaturas de salida iterativas de los fluidos (105);
- actualizar las temperaturas de salida iterativas para cada fluido, resolviendo ecuaciones de energía del tubo (T), de la carcasa (S) y del intercambiador de calor (E), utilizando el coeficiente de transferencia de calor limpio iterativo calculado, la diferencia de temperatura media logarítmica calculada, los parámetros físicos del intercambiador de calor (E), los parámetros físicos del tubo (T) y de la carcasa (S), y las temperaturas de entrada de los fluidos (106);
- comparar las temperaturas de salida iterativas actualizadas con las temperaturas de salida previstas (107);
- volver a la etapa de determinación de una temperatura de salida esperada para cada fluido (102) cuando la diferencia entre la temperatura de salida iterativa actualizada y la temperatura de salida esperada para al menos uno de los fluidos se encuentra por encima de un valor predefinido;
- calcular valores instantáneos para el intercambiador de calor (E), utilizando las temperaturas de salida iterativas actualizadas cuando la diferencia entre la temperatura de salida iterativa actualizada y la temperatura de salida prevista para cada fluido se encuentra por debajo de dicho valor de umbral predefinido (108); y
- calcular la cuantía de ensuciamiento en el intercambiador de calor (E), utilizando los valores instantáneos calculados y el coeficiente de transferencia de calor limpio iterativo calculado (109).

2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque las temperaturas de salida iterativas de los fluidos se calculan en la etapa de cálculo de la temperatura de salida iterativa de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$T_{t-o1} = T_{t-i} + \text{delt1}$$

$$T_{s-o1} = T_{s-i} - \text{delt2}$$

donde el término "delt1" representa la diferencia de temperatura asignada al fluido pasante a través del lado del tubo, representando "delt2" la diferencia de temperatura asignada al fluido pasante a través del lado de la carcasa, representando el término "T<sub>t-o1</sub>" a temperatura de salida iterativa del fluido pasante a través del lado del tubo, representando "T<sub>t-i</sub>" la temperatura de entrada del fluido pasante a través del lado del tubo, representando "T<sub>s-o1</sub>" la temperatura de salida iterativa del fluido pasante a través del lado de tubo y representando "T<sub>s-i</sub>" la temperatura de entrada del fluido pasante a través del lado del tubo.

3. Procedimiento según la reivindicación 2, caracterizado porque las temperaturas de salida esperadas de los fluidos se calculan en la etapa de determinación de la temperatura de salida prevista (102) de acuerdo con las siguientes ecuaciones,

$$T_{t-old} = T_{t-o1}$$

$$T_{s-old} = T_{s-o1}$$

donde el término "T<sub>t-old</sub>" representa la temperatura de salida esperada del fluido pasante a través del lado del tubo y representando "T<sub>s-old</sub>", la temperatura de salida esperada del fluido pasante a través del lado de la carcasa.

4. Procedimiento según la reivindicación 3, caracterizado porque las temperaturas medias de los fluidos se calculan en la etapa de encontrar las temperaturas medias del fluido (103) de acuerdo con las siguientes ecuaciones,

$$T_{ave-t} = \frac{T_{t-o1} + T_{t-i}}{2}$$

$$T_{ave-s} = \frac{T_{s-o1} + T_{s-i}}{2}$$

5 donde el el término "T<sub>ave-t</sub>" representa la temperatura media del fluido pasante a través del lado del tubo y representando "T<sub>ave-s</sub>" la temperatura media del fluido pasante a través del lado de la carcasa.

10 **5.** Procedimiento según la reivindicación 4, caracterizado porque el coeficiente de transferencia de calor limpio iterativo del intercambiador de calor (E), se calcula en la etapa de cálculo del coeficiente de transferencia de calor limpio iterativo del intercambiador de calor (E) (104) de acuerdo con la siguiente ecuación,

$$U_{est} = \left[ \frac{OD_t}{ID_t \times h_i} + \frac{OD_t \times \ln\left(\frac{OD_t}{ID_t}\right)}{2 \times k_{tube}} + \frac{1}{h_o} \right]^{-1}$$

15 en el que el término "U<sub>est</sub>" representa el coeficiente de transferencia de calor limpio iterativo del intercambiador de calor (E), representando "OD<sub>t</sub>" el diámetro exterior del tubo (T), representando "ID<sub>t</sub>" el diámetro interno del tubo (T), representando "h<sub>i</sub>" el coeficiente de transferencia de calor del tubo (T), representando "k<sub>tube</sub>", la conductividad térmica del tubo (T), y representando el término "h<sub>o</sub>" el coeficiente de transferencia de calor de la carcasa (S).

20 **6.** Procedimiento según la reivindicación 3 ó 5, caracterizado porque la diferencia de temperatura media logarítmica se calcula en la etapa de cálculo de la diferencia de temperatura media logarítmica (105) de acuerdo con la siguiente ecuación

$$LMTD = \frac{[(T_{s-i} - T_{t-o1}) - (T_{s-o1} - T_{t-i})]}{\ln\left(\frac{T_{s-i} - T_{t-o1}}{T_{s-o1} - T_{t-i}}\right)}$$

25 donde el término "LMTD" representa la diferencia de temperatura media logarítmica.

**7.** Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 6, caracterizado porque las temperaturas de salida iterativas de los fluidos se calculan en la etapa de actualización de la temperatura de salida iterativa (106) de acuerdo con las siguientes ecuaciones

$$30 \quad Q = \dot{m}_t \times cp_t \times (T_{t-o1} - T_{t-i})$$

$$Q = m_s \times cp_s \times (T_{s-o1} - T_{s-i})$$

$$35 \quad Q = F \times U_{EST} \times A \times LMTD$$

40 donde el término "Q" representa el calor transferido, "m<sub>t</sub>" representa la masa del fluido pasante a través del lado del tubo, "cp<sub>t</sub>" representa el calor específico del fluido pasante a través del lado del tubo, "m<sub>s</sub>" representa la masa del fluido pasante a través del lado de la carcasa, "cp<sub>s</sub>" representa el calor específico del fluido pasante a través del lado de la carcasa, F representa el factor de corrección en el cálculo de la diferencia de temperatura logarítmica y "A" es el área superficial del intercambiador de calor.

**8.** Procedimiento según la reivindicación 7, caracterizado porque en la etapa de comparación de los valores actualizados de temperatura de salida iterativa con los valores de temperatura de salida previstos (107), se utilizan las siguientes desigualdades:

$$45 \quad abs(T_{s-o1} - T_{s-old}) > TH_1$$

$$abs(T_{t-o1} - T_{t-old}) > TH_2$$

donde los términos "TH<sub>1</sub>" y "TH<sub>2</sub>" son valores umbral respectivos.

5 **9.** Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 8, caracterizado porque si al menos una de dichas desigualdades se cumple, se vuelve a la etapa de determinación de una temperatura de salida esperada para cada fluido (102).

**10.** Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 8, caracterizado porque si no se cumplen ninguna de dichas desigualdades, los valores instantáneos del intercambiador de calor (E), se calculan de acuerdo con las siguientes ecuaciones,

10

$$U_C = U_{est}$$

$$LMTD_{op} = \frac{[(T_{s-i} - T_{t-op}) - (T_{s-op} - T_{t-i})]}{\ln\left(\frac{T_{s-i} - T_{t-op}}{T_{s-op} - T_{t-i}}\right)}$$

15

$$Q = \dot{m}_t \times cp_t \times (T_{t-op} - T_{t-i}) = U_d \times A \times LMTD_{op}$$

20 donde el término "U<sub>c</sub>" representa el coeficiente de transferencia de calor del intercambiador de calor (E) en condiciones de limpieza, "LMTD<sub>op</sub>" representa la diferencia de temperatura media logarítmica instantánea del intercambiador de calor (E), "T<sub>t-op</sub>" representa la temperatura de salida instantánea del fluido pasante a través del lado del tubo, "T<sub>s-op</sub>" representa la temperatura de salida instantánea del fluido pasante a través del lado de la carcasa, "m<sub>t</sub>" representa el caudal másico del fluido pasante a través del lado del tubo y "U<sub>d</sub>" representa el coeficiente de transferencia de calor del intercambiador de calor (E) bajo condiciones de ensuciamiento.

25 **11.** Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 10, caracterizado porque la cantidad instantánea de ensuciamiento del intercambiador de calor (E) se calcula en la etapa de cálculo de la cuantía de ensuciamiento del intercambiador de calor (E) (109) de acuerdo con la siguiente ecuación,

$$R_f = \frac{1}{U_C} - \frac{1}{U_d}$$

30 donde el término "R<sub>f</sub>" representa el coeficiente de ensuciamiento del intercambiador de calor.

**12.** Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque el coeficiente de ensuciamiento del intercambiador de calor (E), se calcula en determinados intervalos de tiempo.

35 **13.** Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 12, caracterizado porque comprende una etapa de supervisión del comportamiento de ensuciamiento dependiente del tiempo del intercambiador de calor (E), comparando los coeficientes de ensuciamiento del intercambiador de calor (E) calculados en momentos diferentes.

40 **14.** Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque las diferencias de temperatura se asignan como un valor constante en la etapa de asignar diferencias de temperatura de entrada y salida para los fluidos (100).

45 **15.** Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque las diferencias de temperatura se asignan de acuerdo con las temperaturas de entrada de los fluidos en la etapa de asignación de diferencias templadas de entrada y salida para los fluidos (100).

**16.** Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 8, caracterizado porque dichos valores de umbral se asignan en forma de valores constantes.

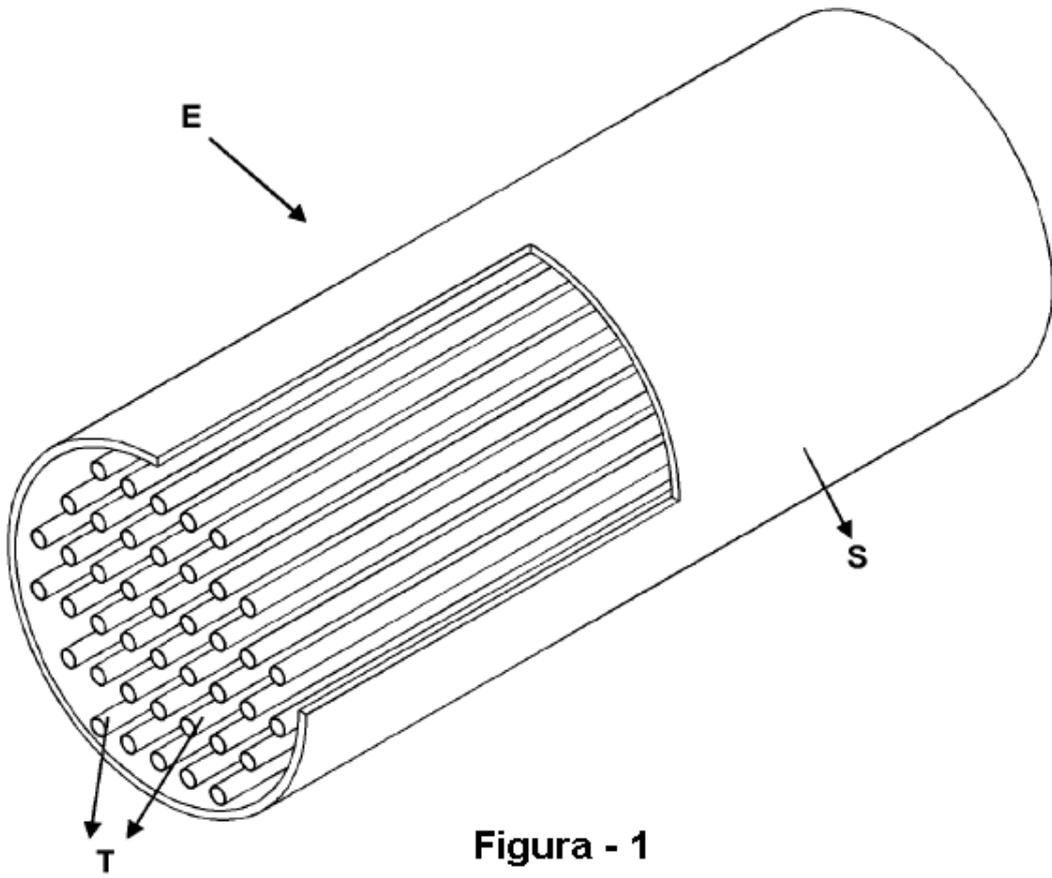


Figura - 1

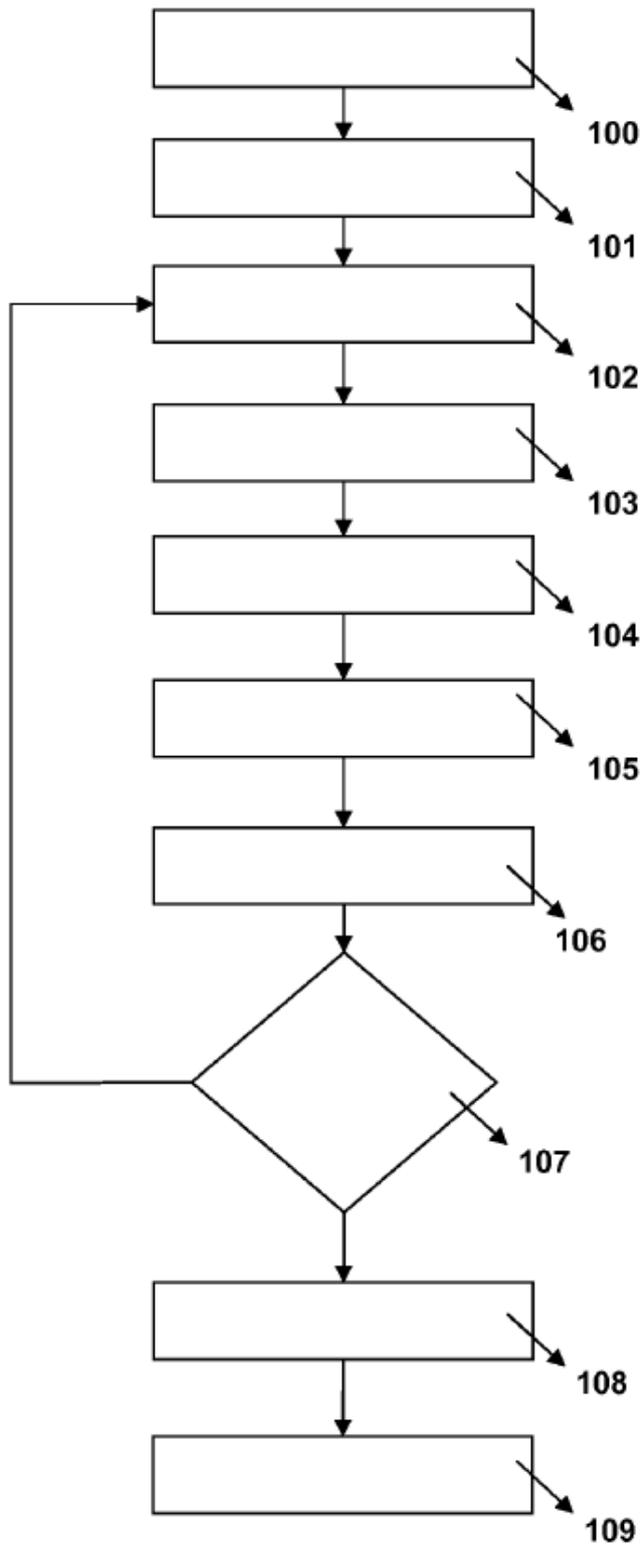


Figura - 2

**REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN**

5 La lista de referencias citada por el solicitante lo es solamente para utilidad del lector, no formando parte de los documentos de patente europeos. Aún cuando las referencias han sido cuidadosamente recopiladas, no pueden excluirse errores u omisiones y la OEP rechaza toda responsabilidad a este respecto.

**Documentos de patente citados en la descripción**

10

• WO 2008094757 A1 [0004]

• CA 2344908 [0005]