

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 421 170**

51 Int. Cl.:

**G01N 25/18** (2006.01)

**G01K 17/08** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.12.2009** **E 09795781 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.04.2013** **EP 2368108**

54 Título: **Dispositivo de determinación de coeficiente de intercambio térmico y procedimiento asociado**

30 Prioridad:

**23.12.2008 FR 0859027**

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

**29.08.2013**

73 Titular/es:

**COMMISSARIAT À L'ÉNERGIE ATOMIQUE ET  
AUX ÉNERGIES ALTERNATIVES (100.0%)  
Bâtiment "Le Ponant D" 25, rue Leblanc  
75015 Paris, FR**

72 Inventor/es:

**BRAILLARD, OLIVIER**

74 Agente/Representante:

**LINAGE GONZÁLEZ, Rafael**

**ES 2 421 170 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**

Dispositivo de determinación de coeficiente de intercambio térmico y procedimiento asociado

**5 Campo técnico y técnica anterior**

La invención se refiere a un dispositivo de determinación de coeficiente de intercambio térmico y el procedimiento asociado.

10 Conocer el coeficiente de intercambio térmico entre un fluido que fluye por una tubería y la pared de la tubería es un dato esencial, en el ámbito de la física, para calcular los intercambios de calor entre el fluido y la pared.

15 En el ámbito industrial, el coeficiente de intercambio térmico se utiliza normalmente, en el diseño, para dimensionar las superficies de los intercambiadores térmicos y para calcular las potencias térmicas transmitidas por un fluido. En la detección, el conocimiento del coeficiente de intercambio térmico puede caracterizar un mal funcionamiento tal como, por ejemplo, la aparición de un desecado, la aparición de cavitaciones o la presencia de gases no condensables.

20 El coeficiente de intercambio térmico no se mide directamente usando un sensor. Para determinarlo, se utilizan unos modelos matemáticos de correlación de intercambio (modelo de Colburn, de Dittus-Bolter o de Rosenbow) que necesitan conocer ciertas características del fluido, tales como la velocidad, la viscosidad, la temperatura, etc.

25 La dificultad, incluso la imposibilidad, que existe para obtener un coeficiente de intercambio térmico usando unos modelos de correlación se muestra en numerosas aplicaciones industriales como, por ejemplo, las mezclas de fluidos turbulentos con grandes diferencias de temperatura (fatiga térmica), la presencia de gases no condensables, la presencia de singularidades, por ejemplo, cuando una pared se enfrenta a remolinos de fluido que pueden llevar al desecado.

30 El dispositivo de medición del coeficiente de intercambio térmico de la invención y el procedimiento asociado responden de forma particularmente ventajosa a la necesidad de las aplicaciones industriales en las que los modelos de correlación de intercambio son inadecuados.

35 También se conocen unos sistemas de medición de flujos de calor que utilizan una tubería por la que fluye un fluido en el segundo plano tecnológico general de la invención. Sin embargo, no se trata de sistemas de determinación de coeficiente de intercambio térmico.

40 La solicitud de patente francesa FR 2 266 869, denominada "Aparato de medición de la obstrucción de una superficie metálica de corriente líquida", divulga un sistema de este tipo. La pieza metálica cuya obstrucción de la superficie se quiere medir, se inserta en la pared de una tubería, la superficie metálica obstruida está en contacto con el líquido que circula por la tubería y la superficie metálica situada en el lado opuesto de la superficie obstruida está en contacto con una resistencia calefactora que calienta la pieza. Se colocan dos sensores de temperatura en la pieza metálica, uno cerca de la resistencia calefactora y el otro cerca del líquido, un tercer sensor se coloca en el líquido, cerca de la superficie. Los dos sensores de temperatura que se colocan en la pieza metálica miden la diferencia de temperatura que existe en todo el grosor de la pieza metálica, caracterizando de este modo la energía térmica aportada por la resistencia calefactora. El sensor de temperatura colocado en el líquido, mide la temperatura del líquido cerca de la superficie metálica. La resistencia térmica de la obstrucción y, por consiguiente, la propia obstrucción se deducen a partir de la diferencia en las medidas de temperatura entre la pieza metálica y el fluido.

50 Un dispositivo de este tipo no es un dispositivo del coeficiente de intercambio térmico. De hecho, un coeficiente de intercambio térmico se mide de forma pasiva, es decir, sin ningún aporte exterior de calor que perturbe la medición.

55 Por otro lado, la medición efectuada se refiere a la obstrucción de toda la superficie de la pieza metálica. Por lo tanto, es una medición integrada en la superficie entera de la pieza metálica la que se obtiene y no una medición local.

En un sistema de medición de este tipo, el experto en la materia comprende que, en lo que se refiere a la posición de los diferentes sensores, es importante:

60 a) que los dos sensores de medición que se colocan en la pieza metálica estén lo más lejos posible según un eje paralelo al grosor de la pieza metálica (ya que uno debe estar cerca de la resistencia calefactora y el otro cerca de la superficie obstruida), y

b) que el sensor de medición colocado en el líquido esté cerca de la superficie obstruida.

65 La medida que se obtiene no es, por lo tanto, una medida puntual local, sino una medida integrada.

**Exposición de la invención**

La invención se refiere a un dispositivo de determinación de coeficiente de intercambio térmico entre un fluido y una pared en un punto  $P_N$  de una superficie de la pared en contacto con el fluido, caracterizado porque comprende:

- un dispositivo de medición de la temperatura que comprende:

. dos sensores de temperatura de la pared, un primer sensor de temperatura que mide un primer valor  $T_{C1}$  de temperatura de la pared en un punto  $P_1$  y un segundo sensor de temperatura que mide un segundo valor  $T_{C2}$  de temperatura de la pared en un punto  $P_2$  sustancialmente alineado con el punto  $P_1$ , según una recta normal a la superficie en el punto  $P_N$ , siendo el punto  $P_1$  el más cercano a la superficie de la pared, y

. un sensor de temperatura del fluido que mide un valor  $T_F$  de temperatura del fluido en un punto  $P_F$  del fluido sustancialmente alineado con los puntos  $P_1$  y  $P_2$ , y

- una computadora que comprende:

. unos primeros medios para calcular, a partir de los valores  $T_{C1}$  y  $T_{C2}$  de temperatura, un valor  $T_P$  de temperatura de la pared y un flujo  $\Phi$  térmico que viene dado por la ecuación:

$$\Phi = - \lambda \text{ grad } (T_{C1} - T_{C2}),$$

en la que  $\lambda$  es la conductividad térmica de la pared,

. y unos segundos medios para calcular, a partir de la temperatura  $T_F$  del fluido, la temperatura  $T_P$  y el flujo  $\Phi$  térmico, el coeficiente  $h$  de intercambio térmico en forma de:

$$h = \Phi / (T_F - T_P).$$

La temperatura  $T_P$  se calcula, por ejemplo, de acuerdo con un método inverso basado en la explotación del flujo determinado en cada instante. Este método se presenta en el documento titulado "THERMAL LOAD DETERMINATION IN THE MIXING TEE IMPACTED BY A TURBULENT FLOW GENERATED BY TWO FLUIDS AT LARGE GAP OF TEMPERATURE" (Olivier Braillard, Yvon Jarny, Guillaume Balmigere; 13th International Conference on Nuclear Engineering; Pekín, China, 16-20 de mayo de 2005; ICONE 13-50361).

De acuerdo con una característica adicional de la invención, el dispositivo de medición de la temperatura comprende un tercer sensor de temperatura de la pared que mide una tercera temperatura  $T_{C3}$  de la pared en un punto  $P_3$  sustancialmente alineado con los puntos  $P_1$ ,  $P_2$  y  $P_F$ , estando el punto  $P_3$  más alejado del punto  $P_N$  que el punto  $P_2$ .

La invención también se refiere a un procedimiento de determinación del coeficiente de intercambio térmico entre un fluido y una pared en un punto  $P_N$  de una superficie de la pared en contacto con el fluido, caracterizado porque comprende:

- una medición de un primer valor  $T_{C1}$  de la temperatura de la pared en un punto  $P_1$ ,

- una medición de un segundo valor  $T_{C2}$  de la temperatura de la pared en un punto  $P_2$  sustancialmente alineado con el punto  $P_1$ , según una recta normal a la superficie en el punto  $P_N$ , siendo el punto  $P_1$  el más cercano a la superficie de la pared,

- una medición de un valor  $T_F$  de la temperatura del fluido en un punto  $P_F$  del fluido, sustancialmente alineado con los puntos  $P_1$  y  $P_2$ ,

- un cálculo de una temperatura  $T_P$  de la pared a partir de los valores  $T_{C1}$  y  $T_{C2}$  de temperatura,

- un cálculo de flujo térmico  $\Phi$ , tal que:

$$\Phi = - \lambda \text{ grad } (T_{C1} - T_{C2}),$$

en el que  $\lambda$  es la conductividad térmica de la pared, y

- un cálculo del coeficiente  $h$  de intercambio térmico, tal que:

$$h = \Phi / (T_F - T_P).$$

De acuerdo con una característica adicional del procedimiento de la invención, se efectúa una tercera medición de la

temperatura  $T_{C3}$  de la pared en un punto  $P_3$  sustancialmente alineado con los puntos  $P_1$ ,  $P_2$  y  $P_F$ , estando el punto  $P_3$  más alejado del punto  $P_N$  que el punto  $P_2$ , siendo la temperatura  $T_{C3}$  un valor de temperatura utilizado como condición de frontera para el cálculo del coeficiente de intercambio térmico.

- 5 La invención se basa en mediciones locales precisas de temperatura en una pared y en un fluido a través de un sensor original asociado a un algoritmo de tratamiento de la señal, que calcula un conjunto de magnitudes físicas y determina, de este modo, un coeficiente de intercambio térmico experimental local entre la pared y el fluido.

**Breve descripción de las figuras**

10 Otras características y ventajas de la invención se pondrán de manifiesto tras la lectura de un modo de realización preferente realizado con referencia a las figuras adjuntas entre las que:

15 - la figura 1 representa una vista en sección transversal de un primer modo de realización del dispositivo de medición de la temperatura que forma parte de un dispositivo de determinación de coeficiente de intercambio térmico de conformidad con la invención;

20 - la figura 2 representa una vista en sección transversal de un segundo modo de realización del dispositivo de medición de la temperatura que forma parte de un dispositivo de determinación de coeficiente de intercambio térmico, de conformidad con la invención;

- la figura 3 representa un esquema de principio de dispositivo de medición del coeficiente de intercambio térmico, de conformidad con la invención;

25 - la figura 4 representa un ejemplo de densidad espectral de potencia del coeficiente de intercambio térmico suministrado por un dispositivo de determinación de coeficiente de intercambio térmico, de conformidad con la invención.

30 En todas las figuras, las mismas referencias representan los mismos elementos.

**Descripción detallada de un modo de realización preferente de la invención**

35 La figura 1 representa una vista en sección transversal de un primer modo de realización de un dispositivo de medición de la temperatura, de conformidad con la invención.

40 El dispositivo de medición de la temperatura comprende dos sensores  $D1$ ,  $D2$  de temperatura colocados en la pared  $P$  y un sensor  $DF$  de temperatura colocado en el fluido  $F$ . Los sensores  $D1$  y  $D2$  de temperatura son adecuados para tomar muestras de la temperatura en unos puntos  $P_1$  y  $P_2$  respectivos de la pared y el sensor  $DF$  de temperatura es adecuado para tomar muestras de la temperatura en un punto  $P_F$  del fluido. Los sensores  $D1$ ,  $D2$  y  $DF$  de temperatura son preferentemente unos termopares cuyos extremos se colocan en los puntos  $P_1$ ,  $P_2$  y  $P_F$  respectivos. Los puntos  $P_1$ ,  $P_2$  y  $P_F$  se alinean preferentemente según una recta normal, en un punto  $P_N$ , a la superficie de la pared que está en contacto con el fluido.

45 Los sensores  $D1$ ,  $D2$  y  $DF$  de temperatura se colocan cerca de la superficie de la pared  $P$ . El sensor  $DF$  de temperatura se orienta para enfrentarse al flujo  $S$  del fluido  $F$ . Los termopares  $D1$  y  $D2$  presentes en la pared  $P$  se fijan en una estructura cilíndrica formada mediante el ensamblado de dos medias lunas  $L1$ ,  $L2$ , fijándose a su vez esta estructura en un cuerpo 1 principal. La recta normal según la cual se alinean los puntos  $P_1$ ,  $P_2$  y  $P_F$  se confunde con el eje de la estructura cilíndrica formada por las dos medias lunas  $L1$ ,  $L2$ . El termopar  $DF$  se orienta para enfrentarse al flujo con el fin de no perturbar este último. Los termopares  $D1$ ,  $D2$  y  $DF$  tienen un diámetro habitualmente comprendido entre  $20\ \mu\text{m}$  y  $200\ \mu\text{m}$ . Preferentemente, el diámetro de los termopares es igual a  $25\ \mu\text{m}$ . De forma general, el diámetro del termopar  $DF$  se selecciona en relación con la frecuencia de corte que se desea conseguir. El termopar  $DF$  se sitúa a una distancia  $df$  de la superficie de la pared  $P$ , habitualmente comprendida entre  $10\ \mu\text{m}$  y  $1\ \text{cm}$ , por ejemplo,  $2000\ \mu\text{m}$ . El termopar  $D1$ , que es el que está más cerca del fluido, se sitúa a una distancia  $d1$  de la superficie de la pared  $P$  habitualmente comprendida entre  $10\ \mu\text{m}$  y  $3\ \text{mm}$ , por ejemplo,  $300\ \mu\text{m}$ , y el termopar  $D2$ , que es el que está más lejos del fluido, se sitúa a una distancia  $d2$  de la superficie de la pared  $P$ , habitualmente comprendida entre  $100\ \mu\text{m}$  y  $1\ \text{cm}$ , por ejemplo,  $500\ \mu\text{m}$ .

50 De forma general, el termopar  $DF$  presente en el fluido  $F$  debe estar, a la vez, lo suficientemente alejado de los termopares  $D1$  y  $D2$  que se colocan en la pared  $P$  con el fin de no perturbar la medida del flujo térmico aplicado mediante el procedimiento de la invención (véase el procedimiento descrito más adelante con referencia a la figura 3) y lo suficientemente cerca de estos mismos termopares para que pueda establecerse una buena correlación entre la medida de la temperatura del fluido y las medidas de temperatura en la pared. La conductividad térmica de la pared es un parámetro esencial que condiciona la elección de los valores dados a las distancias  $d1$  y  $d2$ . Por otro lado, para una configuración dada de un dispositivo de medición de la invención en cuanto a las distancias  $df$  y  $d1$ , se ha demostrado que la correlación entre la temperatura  $T_F$  del fluido medido por el termopar  $DF$  y la temperatura  $T_{C1}$  de la pared medida por el termopar  $D1$  más cercano al fluido debe ser superior a un umbral con el fin de obtener

un resultado de cálculo fiable del coeficiente de intercambio térmico. Este umbral de correlación puede ser igual, por ejemplo, al 80 %. Por debajo del umbral de correlación, existe una incertidumbre en cuanto a la fiabilidad del resultado obtenido. Ventajosamente, el procedimiento de la invención prevé el cálculo de una función de coherencia (función de intercorrelación en la representación espectral) que estima la incertidumbre del valor del coeficiente de intercambio calculado.

La posición del cuerpo 1 principal en la pared P y, partiendo de los termopares D1 y D2 con respecto al fluido F, se ajusta mecánicamente usando una cuña 5. El cuerpo 1 principal se fija en la posición seleccionada en el momento en el que la cara del cilindro que forma las dos medias lunas que está en contacto con el fluido aflora a la superficie interna de la pared P. Una tuerca E contribuye a fijar el cuerpo 1 principal en la pared P. La estanqueidad se garantiza mediante una junta 3 tórica.

Antes del montaje, el cuerpo 1 principal y las dos medias lunas L1 y L2 no están aún ni asociadas ni colocadas en la pared P y los hilos metálicos que constituyen los dos termopares D1 y D2, preferentemente están recubiertos con una única capa fina de Kapton de unos micrones de grosor (sin magnesio y envoltura). El termopar DF es, en cambio, un termopar estándar provisto de una envoltura eléctricamente aislante.

El montaje del dispositivo de medición comprende, en primer lugar, la formación del sensor de medición, posteriormente, la integración del sensor de medición en la tubería.

La formación del sensor de medición comprende las siguientes etapas:

- se pasan los hilos que constituyen los dos termopares D1 y D2 en una envoltura G formada en el cuerpo 1 principal y ello hasta que estos hilos desemboquen más allá de una cavidad abierta formada en el cuerpo principal;

- se colocan los hilos en unos recorridos previamente efectuados en la primera de las dos medias lunas;

- se fijan los hilos en los recorridos de la primera de las dos medias lunas (los cuerpos de los hilos se fijan mediante unos puntos de cola y los extremos de los hilos se fijan mediante unos puntos de sutura);

- se introduce el termopar para la medición de la temperatura del fluido DF en un agujero que desemboca en un muy poco diámetro formado en el cuerpo 1 principal hasta que el extremo del termopar desemboque más allá del cuerpo 1 principal;

- se fija la segunda media luna enfrente de la primera media luna con el fin de constituir un cilindro en el que se inserten los termopares D1 y D2;

- se introduce el cilindro formado de este modo en la cavidad abierta formada en el cuerpo 1 principal anteriormente mencionado (por ejemplo, mediante un ajuste deslizante sin holguras) de manera que el cilindro formado por las dos medias lunas aflore a la cara del cuerpo principal que delimita la abertura de la cavidad abierta;

- se realiza una soldadura de estanqueidad de la junta formada por las dos medias lunas y la cara del cuerpo 1 principal;

- se realiza la estanqueidad del termopar DF en el lugar en el que desemboca del agujero dispuesto en el cuerpo 1 principal;

- se repliega el termopar DF en una posición que tiene por objeto orientarlo de cara al flujo del fluido.

En esta etapa, la construcción del sensor ha finalizado y se ha efectuado la integración del sensor en la pared de la tubería. La integración del sensor comprende las siguientes etapas:

- se introduce el sensor en una cavidad de la pared P formada a tal efecto, acompañándose la introducción del sensor de la colocación, en contacto con la pared P, de las cuñas 5 con el fin de ajustar la posición de la cara del sensor que tiene por objeto entrar en contacto con el fluido (la cara del sensor que tiene por objeto entrar en contacto con el fluido se posiciona así de manera que aflore a la superficie interna de la pared P);

- se asegura la estanqueidad del sensor usando una junta 3 tórica, ya que el fluido no debe introducirse a la altura de las soldaduras de los termopares; y

- se fija el sensor en la pared P, por ejemplo, usando una tuerca E.

Una ventaja de la invención es que propone un dispositivo de medición de dimensiones muy reducidas, por ejemplo, un volumen de  $0,2 \text{ cm}^3$ , que se integre en la tubería que se quiere estudiar sin que la tubería se vea alterada por esta integración térmicamente no intrusiva. Por otro lado, también de forma ventajosa, el dispositivo de medición se coloca totalmente en un mismo lado de la tubería, facilitando de este modo su integración.

La figura 2 representa un dispositivo de medición de temperaturas de conformidad con un segundo modo de realización de la invención. Además de los elementos ya descritos con referencia a la figura 1, el dispositivo de la figura 2 comprende un sensor D3 de temperatura adicional en el interior de la pared P. La función del sensor D3 de temperatura consiste en suministrar una temperatura, que se utiliza como condición de frontera en los cálculos que aplica la computadora C (véase la figura 3). La temperatura que suministra el sensor D3 se considera entonces como la temperatura de un muro semi-infinito. Preferentemente, el sensor D3 es un termopar cuyo extremo P<sub>3</sub> se alinea con los puntos P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub> y P<sub>F</sub>. El sensor D3 se monta en el dispositivo de medición a la vez que los sensores D1 y D2. Debido a su función, a diferencia de los otros sensores, el sensor D3 de temperatura no se coloca preferentemente cerca de la superficie de la pared P en contacto con el fluido. El sensor D3 se coloca a una distancia d<sub>3</sub> que normalmente está comprendida entre 1 mm y 3 cm del fluido, por ejemplo, 2,5 mm.

La figura 3 representa un esquema sobre el principio del dispositivo de determinación de coeficiente de intercambio térmico que aplica el procedimiento de la invención. El dispositivo de determinación de coeficiente de intercambio térmico comprende un dispositivo de medición de temperaturas DT de conformidad con la invención y una computadora C que calcula el coeficiente de intercambio térmico a partir de las medidas de temperatura suministradas por el dispositivo DT.

El procedimiento de la invención se describirá en primer lugar con referencia a un dispositivo DT de medición, de conformidad con la figura 1 en la que sólo dos sensores D1 y D2 de temperatura se encuentran en la pared P.

En un instante t, el dispositivo DT de medición proporciona una medida T<sub>F</sub> de temperatura de fluido suministrada por el sensor DF y dos medidas T<sub>C1</sub> y T<sub>C2</sub> de temperatura de la pared que suministran los respectivos sensores D1 y D2. La posición de los sensores es tal que todas las medidas de temperatura se toman sustancialmente en una misma abscisa s, siendo el eje de las abscisas sustancialmente perpendicular a la recta normal según la cual se alinean los puntos P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub> y P<sub>F</sub>. Las temperaturas T<sub>F</sub>(t, s), T<sub>C1</sub>(t, s) y T<sub>C2</sub>(t, s) se transmiten a la computadora C. A partir de las temperaturas T<sub>C1</sub>(t, s) y T<sub>C2</sub>(t, s), la computadora C calcula la temperatura T<sub>P</sub>(t, s) de la pared y el flujo φ(t, s) térmico. La temperatura T<sub>P</sub>(t, s) de la pared se calcula, de manera de por sí conocida, mediante el método de Becket, y el flujo φ(t, s) térmico viene dado por la ecuación:

$$\Phi(t, s) = -\lambda \overline{\text{grad}}(T_{C1}(t, s) - T_{C2}(t, s)),$$

donde λ es la conductividad térmica de la pared.

El coeficiente h(t, s) de intercambio térmico se deduce entonces usando la ecuación:

$$h(t, s) = \frac{\overline{\text{TF}}(t, s)}{\overline{\text{TF}}(t, s) - \overline{\text{TP}}(t, s)}$$

A la salida de la computadora C, de este modo el algoritmo es capaz de proponer, en función del tiempo y en el punto considerado como abscisa s de la pared P:

- La temperatura del fluido (media y desviación típica),
- La temperatura de la pared a la altura del sensor D1 (media y desviación típica);
- La temperatura de la pared a la altura del sensor D2 (media y desviación típica);
- La temperatura de la pared (media y desviación típica);
- El coeficiente h de intercambio térmico (media y desviación típica).

En este primer modo de realización de la invención, en el que sólo los dos sensores D1 y D2 de temperatura se colocan en la pared P, las condiciones de frontera relativas a la temperatura se fijan *a priori*, con cualquier valor considerado apto para tal fin.

Preferentemente, los datos suministrados por la computadora C se expresan en el campo frecuencial. De este modo la computadora C suministra preferentemente la densidad DSP [h(v, s)] espectral de potencia a partir de la transformada de Fourier del coeficiente h(t, s) de intercambio.

El procedimiento de la invención calcula entonces, para cada paso v de frecuencia, la siguiente expresión:

$$DSP [h(v, s)] = \frac{DSP \Phi(v, s)}{DSP \Delta T(v, s)}$$

con

$$5 \quad DSP [\Delta T(v, s)] = DSP [T_F(t, s) - T_P(t, s)](v, s)$$

El algoritmo prevé una opción según la cual la determinación de la densidad DSP  $[\Delta T]$  espectral de potencia se calcula suponiendo que entre las señales de medición representativas de las temperaturas  $T_F$  y  $T_P$  no hay desfase (señales simultáneas).

10

En este caso, la densidad DSP  $[\Delta T]$  espectral de potencia se escribe:

$$DSP [\Delta T(v, s)] = DSP [T_F(v, s)] - DSP [T_P(v, s)]$$

15 Tal y como se ha mencionado anteriormente, el procedimiento de la invención calcula una función de coherencia, o función de intercorrelación en representación espectral, que estima la incertidumbre del valor del coeficiente de intercambio.

20 En la figura 4 se muestra un ejemplo de distribución espectral de potencia del coeficiente h de intercambio. El coeficiente h (v) se expresa en  $[(W / m^2 \times ^\circ C) / \sqrt{Hz}] \times 10^4$ . Las condiciones para obtener el coeficiente de intercambio de la figura 4 son:

- una frecuencia de muestreo igual a 50 Hz;

25 - una frecuencia de principio de medición igual a 0,040 Hz;

- una frecuencia de final de medición igual a 10 Hz;

30 - un tamaño de ventana de análisis igual a 1024;

- un tiempo de adquisición igual a 0,010 s;

- un tiempo de final de adquisición igual a 900 s.

35 Partiendo de la base del coeficiente de intercambio representado en la figura 4, pueden calcularse las desviaciones típicas Sigma (df) del coeficiente h ( $\square$ ) de intercambio para los intervalos df de frecuencia. Resultando:

- Sigma ( $\leq 1$ Hz) = 11922 W/m<sup>2</sup>×°C;

40 - Sigma (1Hz – 2Hz) = 12185 W/m<sup>2</sup>×°C;

- Sigma (2Hz – 3Hz) = 12521 W/m<sup>2</sup>×°C;

45 - Sigma (3Hz – 4Hz) = 12102 W/m<sup>2</sup>×°C;

- Sigma (4Hz – 5Hz) = 12286 W/m<sup>2</sup>×°C;

- Sigma (5Hz – 6Hz) = 12439 W/m<sup>2</sup>×°C;

50 - Sigma (6Hz – 7Hz) = 12880 W/m<sup>2</sup>×°C;

- Sigma (7Hz – 8Hz) = 12726 W/m<sup>2</sup>×°C;

- Sigma (8Hz – 9Hz) = 13691 W/m<sup>2</sup>×°C;

55

- Sigma (9Hz – 10Hz) = 14122 W/m<sup>2</sup>×°C;

La integración de la distribución espectral de potencia por bandas de frecuencia permite, ventajosamente, situar fácilmente el valor del coeficiente h (v) de intercambio térmico y saber en qué banda de frecuencia es mejor el intercambio térmico.

60

A continuación se describe el procedimiento de la invención en el caso en el que un tercer termopar D3 se coloque en la pared P. En este caso, la temperatura  $T_{C3}$  que se mide con el sensor D3 se utiliza como condición de frontera

en los cálculos que aplica la computadora C.

Por otro lado, el conocimiento de la temperatura  $T_{C3}$  suministrada por el sensor D3 permite calcular, ventajosamente, además del flujo  $\Phi$  mencionado anteriormente, el flujo  $\Phi_a(t, s)$  térmico, tal que:

5

$$\Phi_a(s) = -\lambda \overline{grad} (T_{C1}(t, s) - T_{C3}(t, s))$$

10

Los flujos  $\Phi(t, s)$  y  $\Phi_a(t, s)$  se comparan entonces y, si estos flujos son sustancialmente iguales, se puede concluir que ni los sumideros de calor ni las fuentes de calor perturban la medición del flujo térmico. Entonces, se dice que nos encontramos en una situación puramente 1D.

15

De forma general, el dispositivo de medición de la invención suministra unas mediciones locales (es decir, casi puntuales) medias y fluctuantes. Otra ventaja de la invención es permitir, en consecuencia, el establecimiento de una cartografía precisa del coeficiente de intercambio térmico, tomando como base una serie de mediciones efectuadas, en diferentes puntos, usando diferentes dispositivos de medición.

## REIVINDICACIONES

1. Dispositivo de determinación de coeficiente de intercambio térmico entre un fluido (F) y una pared (P) en un punto  $P_N$  de una superficie de la pared (P) en contacto con el fluido (F), caracterizado porque comprende:

- 5 - un dispositivo (DT) de medición de la temperatura que comprende:
- 10 . dos sensores (D1, D2) de temperatura de la pared, un primer sensor (D1) de temperatura que mide un primer valor  $T_{C1}$  de temperatura de la pared en un punto  $P_1$  situado a una distancia  $d_1$  de la superficie de la pared sustancialmente comprendida entre  $10\ \mu\text{m}$  y  $3\ \text{mm}$ , y un segundo sensor (D2) de temperatura que mide un segundo valor  $T_{C2}$  de temperatura de la pared en un punto  $P_2$  sustancialmente alineado con el punto  $P_1$ , según una recta normal a la superficie en el punto  $P_N$ , situándose el punto  $P_2$  a una distancia  $d_2$  de la superficie de la pared sustancialmente comprendida entre  $300\ \mu\text{m}$  y  $1\ \text{cm}$ , siendo superior la distancia  $d_2$  a la distancia  $d_1$ , y
- 15 . un sensor (DF) de temperatura del fluido colocado en un punto  $P_F$  del fluido, sustancialmente alineado con los puntos  $P_1$  y  $P_2$ , situándose el punto  $P_F$  a una distancia  $d_f$  de la superficie de la pared sustancialmente comprendida entre  $10\ \mu\text{m}$  y  $1\ \text{cm}$ , y

20 - una computadora (C) que comprende:

. unos primeros medios para calcular, a partir de los valores  $T_{C1}$  y  $T_{C2}$  de temperatura, un valor  $T_P$  de temperatura de la pared y un flujo  $\Phi$  térmico que viene dado por la ecuación:

$$\Phi = -\lambda \text{ grad } (T_{C1} - T_{C2}),$$

25 donde  $\lambda$  es la conductividad térmica de la pared, y

. unos segundos medios para calcular, a partir de la temperatura  $T_F$  del fluido, la temperatura  $T_P$  y el flujo  $\Phi$  térmico, el coeficiente  $h$  de intercambio térmico en forma de:

$$h = \varphi / (T_F - T_P).$$

30 2. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el dispositivo de medición de la temperatura comprende un tercer sensor (D3) de temperatura de la pared que mide una tercera temperatura  $T_{C3}$  de la pared en un punto  $P_3$  sustancialmente alineado con los puntos  $P_1$ ,  $P_2$  y  $P_F$ , situándose el punto  $P_3$  a una distancia  $d_3$  de la superficie de la pared sustancialmente comprendida entre  $1\ \text{mm}$  y  $3\ \text{cm}$ , siendo la distancia  $d_3$  superior a la distancia  $d_2$ .

35 3. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 2, en el que la computadora (C) comprende unos terceros medios para calcular, a partir de los valores  $T_{C2}$  y  $T_{C3}$  de temperatura, un flujo  $\varphi_a$  térmico adicional que viene dado por la ecuación:

$$\Phi_a = -\lambda \text{ grad } (T_{C2} - T_{C3}).$$

40 4. Dispositivo de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que cada sensor de temperatura es un termopar.

45 5. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 4, en el que los termopares se colocan en una estructura en forma de cilindro recto formada mediante el ensamblado de dos medias lunas (L1, L2), siendo la recta normal a la superficie de la pared en el punto  $P_N$  un eje central del cilindro recto, aflorando una cara del cilindro recto en contacto con el fluido (F) a la superficie de la pared.

50 6. Procedimiento de determinación de coeficiente de intercambio térmico entre un fluido (F) y una pared (P) en un punto  $P_N$  de una superficie de la pared (P) en contacto con el fluido (F), caracterizado porque comprende:

55 - una medición de un primer valor  $T_{C1}$  de temperatura de la pared en un punto  $P_1$  situado a una distancia  $d_1$  de la superficie de la pared sustancialmente comprendida entre  $10\ \mu\text{m}$  y  $3\ \text{mm}$ ,

60 - una medición de un segundo valor  $T_{C2}$  de temperatura de la pared en un punto  $P_2$ , sustancialmente alineado con el punto  $P_1$  según una recta normal a la superficie en el punto  $P_N$ , situándose el punto  $P_2$  a una distancia  $d_2$  de la superficie de la pared sustancialmente comprendida entre  $300\ \mu\text{m}$  y  $1\ \text{cm}$ , siendo la distancia  $d_2$  superior a la distancia  $d_1$ ,

65 - una medición de un valor  $T_F$  de temperatura del fluido en un punto  $P_F$  del fluido sustancialmente alineado con los puntos  $P_1$  y  $P_2$ , situándose el punto  $P_F$  a una distancia  $d_f$  de la superficie sustancialmente comprendida entre  $10\ \mu\text{m}$  y  $1\ \text{cm}$ ,

- un cálculo de una temperatura  $T_P$  media de la pared a partir de los valores  $T_{C1}$  y  $T_{C2}$  de temperatura,

- un cálculo del flujo  $\Phi$  térmico, tal que:

5

$$\Phi = -\lambda \text{ grad } (T_{C1} - T_{C2}),$$

donde  $\lambda$  es la conductividad térmica de la pared, y

10 - un cálculo del coeficiente  $h$  de intercambio térmico, tal que:

$$h = \Phi / (T_F - T_P).$$

15 7. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 6, en el que la temperatura  $T_P$  se calcula mediante el método de Beck.

20 8. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 6 ó 7, en el que una tercera medición  $T_{C3}$  de temperatura de la pared se efectúa en un punto  $P_3$  sustancialmente alineado con los puntos  $P_1$ ,  $P_2$  y  $P_F$ , situándose el punto  $P_3$  a una distancia  $d3$  de la superficie de la pared sustancialmente comprendida entre 1 mm y 3 cm, siendo la distancia  $d3$  superior a la distancia  $d2$ , la temperatura  $T_{C3}$  es un valor de temperatura utilizado como condición de frontera para el cálculo del coeficiente de intercambio térmico.

25 9. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 8, en el que la temperatura  $T_{C3}$  se utiliza para un cálculo del flujo  $\Phi_a$ , tal que:

$$\Phi_a = -\lambda \text{ grad } (T_{C2} - T_{C3}).$$

10. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 6 a 9, en el que se calcula una función de coherencia que estima una incertidumbre del valor calculado del coeficiente de intercambio térmico.



