

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 666 357**

51 Int. Cl.:

G01N 25/18 (2006.01)

G01N 17/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.12.2013 PCT/US2013/075341**

87 Fecha y número de publicación internacional: **26.06.2014 WO14099755**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.12.2013 E 13815343 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.02.2018 EP 2936130**

54 Título: **Método y aparato para estimar el factor de incrustación y/o el espesor del escamado de solubilidad inversa en equipos de transferencia de calor**

30 Prioridad:

20.12.2012 US 201261739785 P

13.12.2013 US 201314105323

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

04.05.2018

73 Titular/es:

SOLENIS TECHNOLOGIES CAYMAN, L.P.

(100.0%)

Mühlentalstrasse 38

8200 Schaffhausen, CH

72 Inventor/es:

BLISS, TERRY, LYNN y

PATTERSON, TIMOTHY, FREDERICK

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 666 357 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 aparato para estimar el factor de incrustación y/o el espesor del escamado de solubilidad inversa en equipos de transferencia de calor

5 El documento US 3.913.379 A divulga un aparato para medir la incrustación sobre superficies metálicas, en donde la medición de la acumulación de material, o incrustación, sobre una superficie de metal a partir de un flujo de líquido se proporciona efectuando una medición diferencial de temperatura de la conductividad térmica a través de una pieza de metal conductora calentada que está montada de modo que tiene una superficie expuesta al flujo de líquido, mientras que tiene la porción restante aislada térmicamente de las condiciones circundantes, y dividiendo a continuación tal medición por una medición diferencial de temperatura para el líquido que recibe calor por convección a través de la zona de interfaz entre la superficie de la pieza de metal y el líquido circulante. Un sistema preferido proporciona el posicionamiento de medios de termopar para obtener una señal de tensión de la lectura diferencial de temperatura a través de la profundidad de la pieza de metal y otra señal de tensión indicativa del diferencial de temperatura a través de la interfaz entre el metal y el líquido, y alimentar a continuación tales señales a un medio divisor de tensión para efectuar una lectura de relación de tensión que es indicativa de la acumulación de material sobre la superficie de metal.

10 El documento US 2009/0262777 A1 divulga un dispositivo de medición de flujo de calor para estimar el espesor de una incrustación que incluye al menos dos termopares dispuestos en el interior de una porción delantera del dispositivo a diferentes distancias axiales de una pared frontal del dispositivo. Se usa una correlación entre los flujos de calor medidos desde el dispositivo durante un período de tiempo, para estimar un espesor de incrustación sobre una pared, por ejemplo, una pared de agua de un refrigerador radiante de gas de síntesis.

15 El documento US 2007/0006656 A1 divulga un sistema y un método para determinar parámetros de deposición dentro de un sistema de calentamiento industrial. El sistema incluye una sonda de matriz en fase dispuesta adyacente a un tubo en el interior del sistema de calentamiento industrial. La sonda de matriz en fase transmite y recibe señales. Una unidad de procesamiento está en comunicación con la sonda de matriz en fase para procesar las señales recibidas con el fin de generar datos sobre parámetros de deposición del tubo. Una unidad de visualización está acoplada a la unidad de procesamiento para la visualización de los datos.

Antecedentes de la invención

20 Las plantas industriales, tal como las plantas de energía, fábricas de acero, plantas de fabricación de pasta o de papel, tienen sistemas de agua/fluido relativamente complejos. Los depósitos de materia orgánica e inorgánica en las paredes internas de esos sistemas forman una acumulación de depósitos de incrustación o de escamado que interfieren con la operación apropiada del sistema. Esto es particularmente grave en las superficies calentadas tal como las superficies intercambiadoras de calor. Esto es un acontecimiento no deseado que causa un número de problemas operacionales tal como un intercambio inadecuado de calor, el atascamiento del equipo, el uso ineficaz de productos químicos, costes incrementados de la instalación, generación de pérdidas debido al tiempo de inactividad, corrosión, y productos degradados por una cantidad de suciedad incrementada.

25 En principio, se puede distinguir entre depósitos de incrustación por una parte y depósitos de escamado por otra parte. Los depósitos de incrustación son depósitos orgánicos que ocurren con frecuencia en forma de biopelículas en sistemas acuosos. Tales biopelículas consisten sustancialmente en microorganismos, por ejemplo bacterias, algas, hongos y protozoos. El escamado se forma a partir de materia inorgánica tal como complejos de calcio (carbonato, oxalato, sulfato, silicatos), de aluminio (silicatos, hidróxidos, fosfatos), sulfato de bario, sulfato de radio radiactivo, y silicatos de magnesio.

30 Con el fin de evitar la acumulación de depósitos de incrustación, y en particular el crecimiento de biopelículas, se añaden biocidas al fluido involucrados como contramedidas. Los depósitos de escamado pueden ser eliminados o evitados mediante la adición de agentes químicos de control de depósitos a base de homopolímeros, copolímeros y terpolímeros de ácido acrílico, ácido metacrílico, ácido maleico y ácido aspártico. Los agentes químicos de control de depósitos incluyen fosfonatos orgánicos y sus derivados, así como polifosfatos. La dosificación de estos biocidas y agente químicos de control de depósitos deberá ser controlada de forma muy cuidadosa debido a que son muy caros.

35 Los sensores en línea son particularmente útiles para la detección y la cuantificación del escamado para controlar la adición de aditivos de tratamiento del escamado. Las condiciones de escamado a alta temperatura constituyen un reto significativo para el desarrollo de un sensor de escamado en línea. Tales flujos imposibilitan por lo general el uso de la mayor parte de materiales no metálicos para cualquier superficie que esté en contacto con el flujo, y también pueden ser entornos difíciles para la operación apropiada de componentes electrónicos. Además, el líquido que comprende el flujo puede tener otras propiedades que hagan que el desarrollo del sensor resulte difícil; el flujo puede contener partículas, ser tóxico, ser corrosivo para algún material, no tener densidad constante, etc. Por ejemplo, el agua de refrigeración puede tener un contenido significativo de sales disueltas, pero ésta aún se denomina agua. En muchas industrias, el agua con un alto contenido de sales disueltas puede ser denominada salmuera, aunque ese término se aplica normalmente a soluciones de sales altamente solubles. En fábricas de producción de pasta de papel, el agua con determinadas sales disueltas y con lignina disuelta puede ser

denominada licor negro. Incluso las soluciones de sales altamente solubles pueden acumular cantidades inconvenientes de sales solubles inversas que se acumulan en el agua por diversas razones. Puesto que el tipo de escamado más común es el escamado soluble inverso, el sensor necesita tener una superficie expuesta al flujo que está a una temperatura más alta que el flujo de líquido masivo. Esto requiere alguna forma de calentamiento, para producir una superficie de prueba mojada calentada que esté predispuesta para la acumulación del escamado. El calentamiento debe ser llevado a cabo de una manera que permita que la acumulación pueda ser cuantificada. Esta cuantificación puede ser una medición de las capacidades reducidas de transferencia de calor resultantes de la acumulación, o del espesor de la acumulación, o de ambos.

Sumario de la invención

Un método de detección de incrustación o de escamado de una superficie de prueba mojada calentada conforme a la presente invención, se define mediante la combinación de características de la reivindicación 1. Un aparato conforme a la presente invención se define mediante la combinación de características de la reivindicación 9. Las reivindicaciones dependientes se refieren a realizaciones preferidas.

La presente invención se basa en la constatación de que el factor de incrustación (efectividad reducida de transferencia de calor debido a la acumulación de escamado soluble inverso sobre las superficies de transferencia de calor) puede ser estimado derivando una pequeña cantidad de fluido de trabajo a través de una celda de flujo, a través de una superficie de prueba mojada calentada, en la que las condiciones de temperatura y flujo de la superficie de prueba mojada calentada sobre la misma mimetizan la superficie de transferencia de calor de interés. La superficie de prueba mojada calentada es, o bien una parte integral de un bloque de material capaz de conducir calor (bloque conductor), o bien está en contacto íntimo con dicho bloque. El calor se suministra al bloque conductor por medio de un calentador de cartucho simple contenido al menos parcialmente en el interior del bloque conductor, o mediante otros medios apropiados. El bloque conductor está dotado de aislamiento alrededor del mismo de tal modo que la trayectoria primaria de conducción de calor está hacia la superficie de prueba mojada calentada, y de tal modo que existe al menos al menos una trayectoria secundaria de conducción de calor hacia fuera de la superficie de prueba mojada calentada. Según se acumula el escamado sobre la superficie de prueba mojada calentada, el escamado presenta una resistencia añadida respecto a la transferencia de calor hacia la superficie de prueba mojada calentada. La resistencia de transferencia de calor a lo largo de la trayectoria secundaria de conducción de calor no se ve afectada por la acumulación del escamado. Por lo tanto, según se acumula el escamado, se produce una reducción en la transferencia de calor hacia la superficie de prueba mojada calentada y se incrementa la transferencia de calor a lo largo de la trayectoria secundaria de conducción de calor. La medición de la resistencia de transferencia de calor añadida por el escamado sobre la superficie de prueba mojada calentada se toma como una indicación de la severidad del escamado sobre la superficie de transferencia de calor.

La temperatura superficial de la superficie de prueba mojada calentada de la celda de flujo se estima mediante el uso de dos sensores/transmisores de temperatura altamente precisos, los cuales están separados por una distancia conocida cada uno del otro, y a distancias diferentes y conocidas de la superficie de prueba mojada calentada y de la fuente de calor, dentro de un bloque conductor. Se calcula un coeficiente de conducción de calor (k) para el material conductor comprendido en el bloque a partir de la diferencia de temperatura registrada por los dos transmisores de temperatura (T_1 y T_2) y de la distancia conocida entre los mismos. La temperatura superficial de la superficie de prueba mojada calentada es estimada a continuación a partir del coeficiente de conducción y de la distancia desde cualquiera de los transmisores de temperatura hasta la superficie de prueba mojada calentada. Según se acumula escamado soluble inverso sobre la superficie de prueba mojada calentada, el escamado proporciona una restricción adicional a la trayectoria de flujo de calor a través del bloque conductor hasta la superficie de prueba mojada calentada, elevando de ese modo la temperatura en el interior del bloque según se mide mediante ambos transmisores de temperatura. Con una temperatura interna más alta, existe más calor a través de la trayectoria secundaria de conducción de calor. Esto da como resultado un diferencial de temperatura reducido entre los dos transmisores de temperatura, debido a que existe menos energía calorífica a través de la superficie de prueba mojada calentada. Si la temperatura en el extremo de la trayectoria secundaria de conducción de calor es constante o casi constante, la diferencia de temperatura entre los dos transmisores de temperatura en el bloque conductor es lineal con el factor de incrustación que resulta del escamado acumulado sobre la superficie de prueba mojada calentada, e indicativa del grado probable de incrustación o escamado sobre la superficie comercial de transferencia de calor que emula. El diferencial de temperatura entre los dos transmisores de temperatura es también lineal con el espesor del escamado para cualquier tipo particular de escamado, pero la relación constante entre el diferencial de temperatura entre los dos transmisores de temperatura y el espesor del escamado es diferente para tipos de escamado diferentes (por ejemplo, carbonato de calcio frente a sulfato de calcio o fosfato de calcio).

En una realización adicional, el espesor del escamado sobre la superficie de prueba mojada calentada puede ser medido simultáneamente por medio de una señal ultrasónica pulsada, sobre el principio de reducción del tiempo de vuelo debido a la distancia reducida para que el pulso ultrasónico viaje hasta el escamado y vuelva a continuación hasta la sonda ultrasónica, según se acumula el escamado.

El rango del diferencial de temperatura entre los dos transmisores de temperatura puede ser controlado a través de

- muchos medios, incluyendo la variación de la distancia entre los transmisores de temperatura, la temperatura del calentador, el espesor del aislamiento a lo largo de la trayectoria secundaria de conducción de calor, las propiedades de conducción de calor del material con el que ha construido la trayectoria secundaria para el calor, la existencia de más de una trayectoria secundaria de conducción de calor, la temperatura en el extremo de, o a lo largo de la trayectoria secundaria de conducción de calor, la adición de una capa de material con un coeficiente distinto de transferencia de calor como superficie metálica mojada calentada, o incluso la adición de calor o de refrigeración en el extremo de la trayectoria secundaria de conducción de calor.
- 5
- Ajustando esas variables, se puede determinar una indicación realmente precisa del factor de incrustación a través de una gama muy amplia de temperaturas del líquido masivo, de velocidades de flujo del líquido masivo, de temperaturas del calentador, y del entorno medioambiental que circunda al aparato. Cuando se combina con una indicación ultrasónica opcional o con otra indicación del espesor del escamado, se puede inferir una información útil sobre la naturaleza del depósito. Esto permite que el tratamiento de control del escamado pueda ser ajustado de una manera más apropiada, para optimizar la transferencia de calor y minimizar el coste para una instalación de transferencia de calor comercial específica.
- 10
- Los objetos y ventajas de la presente invención podrán ser apreciados con mayor detalle en vista de la descripción detallada que sigue y de los dibujos, en los que:
- 15
- La Figura 1 es una representación esquemática de la presente invención con una indicación de las posiciones de los sensores de temperatura;
- 20
- La Figura 2 es una vista esquemática, parcialmente en sección transversal, de una realización alternativa de la presente invención;
- La Figura 3 es una vista esquemática, similar a la Figura 1, de una segunda realización alternativa de la presente invención;
- La Figura 4 es una vista esquemática en sección transversal de una tercera realización alternativa de la presente invención;
- 25
- La Figura 5 es una vista esquemática en sección transversal de una cuarta realización alternativa de la presente invención;
- La Figura 6 es una vista esquemática en sección transversal de una quinta realización alternativa de la presente invención.
- 30
- La Figura 7 es una vista esquemática en sección transversal de una sexta realización alternativa de la presente invención;
- La Figura 8 es una vista esquemática en sección transversal de una séptima realización alternativa de la presente invención;
- La Figura 9 es un gráfico que muestra un cambio en el diferencial de temperatura según se acumula el escamado;
- 35
- La Figura 10 es un dibujo en corte parcial, despiezado, de la realización particular del dispositivo de la presente invención usada para producir los datos hallados en el gráfico mostrado como Figura 9;
- La Figura 11 es una sección transversal esquemática de una realización alternativa del componente de bloque conductor calentado de la presente invención;
- La Figura 12 es un gráfico que muestra el efecto de la conductividad del material 30 sobre la diferencia de temperatura con una formación de escamado de 200 micrones;
- 40
- La Figura 13 es un gráfico que muestra el efecto del espesor del material 30 sobre la diferencia de temperatura con un escamado de 200 micrones;
- La Figura 14 es un gráfico que muestra el efecto del espesor del material 16 sobre la diferencia de temperatura con un escamado de 200 micrones;
- 45
- La Figura 15 es un gráfico que muestra el efecto de la conductividad del material 16 sobre la diferencia de temperatura con un escamado de 200 micrones;
- La Figura 16 es un gráfico que muestra el diferencial de temperatura respecto al espesor del escamado;
- La Figura 17 es un gráfico que muestra el diferencial de temperatura respecto al espesor del escamado, en donde se varía la temperatura T_4 , y
- La Figura 18 es un gráfico que muestra el diferencial de temperatura con las mismas condiciones que en la Figura

17 excepto en los casos de T_{scale} alta en los que la potencia en el calentador es de 500 vatios en vez de 200 vatios.

Descripción detallada

Según se ha mostrado en la Figura 1, un aparato o sensor 10 utilizado para detectar la formación de un escamado sobre superficies de un sistema de agua se encuentra situado en un conducto lateral 11 de un sistema de agua. Este canal lateral 11 toma agua del sistema de agua y devuelve posteriormente la misma al sistema de agua. El sistema de agua (no representado) puede ser cualquier sistema industrial de tratamiento de agua, tal como una planta de energía, refinería de petróleo, fábrica de papel, o fábrica de acero. El sensor está diseñado para medir la acumulación de escamado sobre una superficie con una temperatura más alta que la temperatura de la masa de agua.

El sensor 10 incluye un calentador 14 situado en el interior de un bloque conductor 16, el cual incluye un primer sensor de temperatura 18 situado en una primera posición en el bloque metálico y un segundo sensor de temperatura 20 situado en el interior del bloque conductor 16. El primer sensor de temperatura 18 está situado cerca de un primer extremo 22 del bloque, y el segundo sensor de temperatura 20, según se ha representado, está cerca del calentador 14. El aparato incluye además un segundo extremo 24 opuesto al primer extremo 22, el cual, según se ha representado, está expuesto a las condiciones ambientales. El calentador 14 es un calentador de cartucho, el cual está situado en el interior del bloque conductor 16, y el cual permite el flujo de calor hacia, y hacia fuera de, la superficie 22. Aunque puede estar fabricada a partir de cualquier material adecuado, ésta será generalmente metálica. Según se ha representado, la superficie 22 está en contacto con el flujo masivo de agua y por lo tanto sirve como superficie de prueba, específicamente la superficie de prueba mojada calentada.

El aparato 10 tiene cuatro lados periféricos 26 (se han representado dos). Los lados periféricos 26 incluyen una capa aislante 28 y el segundo extremo 24 incluye una capa aislante 30 que tiene una conductividad térmica diferente a la de la capa aislante 28.

El aparato 10 está fijado al conducto 11 que tiene paredes 32 y 34, estando el primer extremo 22 del bloque conductor 16 sujeto a la pared 32, por medio de sujetadores apropiados tales como tornillos, pernos, o abrazaderas (no representados), pero aislado en cuanto a un contacto directo con la pared 32 por medio de un aislamiento 33 que evita la transferencia conductiva de calor. Idealmente, no se transfiere nada de calor desde el bloque 16 hasta la pared 32 del conducto 11. Si no se transfiere nada de calor, o muy poco, desde el bloque conductor 16 hasta la pared 32 del conducto 11, la temperatura a través de la superficie de prueba mojada calentada será relativamente uniforme, y de ese modo producirá una indicación más representativa de la superficie de transferencia de calor comercial mucho más grande que la misma pretende emular. La superficie de prueba mojada calentada está a ras con la superficie interior del lado 32 del conducto 11 para minimizar la interrupción del flujo de líquido masivo 36 en el conducto 11.

Según se ha representado, el conducto 11 es de forma rectangular. El conducto 11 dirige fluido desde un sistema de agua (no representado), en particular uno que tiene una superficie calentada, tal como un intercambiador de calor. El conducto simplemente extrae el volumen de agua que circula en la dirección de la flecha 36 a través del conducto 11, idealmente en unas condiciones de flujo comparables a las del equipo comercial de transferencia de calor que se pretende emular.

En funcionamiento, el calentador 14 genera un flujo de calor o flujo caliente según se ha mostrado mediante la flecha 38 hacia la superficie de prueba 22 mojada calentada. La superficie de prueba 22 se calienta a una temperatura que se aproxima a la temperatura de la sección del intercambiador de calor u otra superficie de transferencia de calor del sistema de agua que se va a emular. De ese modo, la superficie de prueba 22 mojada calentada se calienta por medio del calentador y se moja por medio del flujo de fluido a través del conducto 11. Como resultado, existe la probabilidad de que se forme una capa de escamado 40 sobre la superficie 22 mojada calentada. El sensor de temperatura 18 registrará la temperatura T_1 cerca de la superficie 22 mojada calentada. El segundo sensor de temperatura 20 registrará la temperatura T_2 del bloque 16 adyacente al calentador 14. Puesto que el calentador 14 está situado en el interior del bloque conductor 16, el calor puede fluir hacia el exterior desde el segundo extremo 24 del aparato 10 según se ha representado mediante la flecha 42. Ésta es la trayectoria secundaria de conducción de calor.

Cuando el calentador 14 está activado, el flujo de calor será inicialmente en la dirección de la flecha 38 y se registrará T_2 , y posteriormente T_1 , la cual deberá ser menor que T_2 . Puesto que el calor pasa a través de la superficie mojada 22 hacia el volumen de flujo según se ha representado mediante la flecha 36, en otras palabras, la superficie de prueba mojada calentada está siendo refrigerada, haciendo a su vez que T_1 sea menor que T_2 .

Según se acumula el escamado 40 sobre la superficie de prueba 22 mojada calentada, fluirá menos calor a través del extremo 22 del bloque 16. El escamado 40 actúa como aislante; la resistencia de transferencia de calor se incrementa. Puesto que el calor puede moverse hacia atrás en la dirección de la flecha 42, ambas temperaturas T_1 y T_2 se incrementarán debido al flujo de calor reducido a través de la superficie de prueba 22 mojada calentada en virtud del efecto de aislamiento del escamado 40. Sin embargo, puesto que la temperatura del bloque 16 es ahora más alta, escapará más energía calorífica a través del segundo extremo 24 parcialmente aislado del bloque 16, la

trayectoria secundaria de conducción de calor. Esto reducirá el diferencial de temperatura entre T_1 y T_2 y proporcionará una indicación de la formación de escamado, y la magnitud del cambio en el diferencial de temperatura constituye una indicación de la cantidad de escamado, y en particular, del impacto negativo del escamado sobre la transferencia de calor a través de la superficie de prueba 22 mojada calentada del bloque 16.

5 La transferencia de calor está regida por las siguientes ecuaciones:

$$\frac{q_{scale}}{A} = K \frac{T_2 - T_1}{\delta_2}, \quad \frac{q_{insul}}{A} = K \frac{T_3 - T_4}{\delta_3}, \quad \frac{q_{total}}{A} = \frac{q_{scale}}{A} + \frac{q_{insul}}{A}$$

10 K es el coeficiente de transferencia de calor por conducción para los respectivos materiales, escamado, aislamiento y metal. A es el área, y q es el flujo de calor de la energía calorífica. La transferencia de calor es en dos direcciones, en la dirección de la flecha 38 (hacia la superficie mojada calentada) y en la dirección de la flecha 42 (la dirección opuesta, a través del extremo 24, la trayectoria parcialmente aislada respecto al medio ambiente). Según se acumula el escamado sobre la superficie de prueba 22 mojada calentada, la "resistencia" a la transferencia de calor en la dirección de la superficie de prueba mojada calentada se incrementa. La "resistencia" a la transferencia de calor en la dirección opuesta se mantiene sin cambio, de modo que q_{scale} disminuye y q_{insul} se incrementa con los ΔT s asociados (tanto $T_2 - T_1$ como $T_3 - T_4$) cambiando de forma correspondiente y linealmente con el espesor del escamado. Se podría usar cualquiera de $T_2 - T_1$ o $T_3 - T_4$ para estimar la acumulación del escamado y su reducción de transferencia de calor resultante.

15 Obsérvese que T_4 , la temperatura del segundo extremo 24, cambiará con las condiciones medioambientales que puedan hacer cambiar el flujo de calor. También, se supone que el aislamiento a lo largo de las superficies periféricas 26 es "perfecto", lo cual no es alcanzable en las instalaciones reales. Existirá algo de flujo de calor radial en las implementaciones reales y este flujo de calor se verá también afectado por las condiciones medioambientales. En un sentido no cuantitativo, si se supone que el aislamiento de las superficies periféricas 26 está también aislado parcialmente, como podría ocurrir en la instalación real, el área combinada del extremo 24 y los laterales 26 puede ser conceptualmente considerada como una trayectoria secundaria de conducción de calor.

20 La Figura 2 muestra una realización alternativa de la presente invención. El sensor 10 de escamado está incorporado en el conducto 11, según se ha representado en la Figura 1. Adicionalmente, se ha incorporado una unidad 50 de medición del espesor del escamado en la pared 34 del conducto 11 dirigida a la pared 32. La unidad 50 de medición del espesor del escamado está montada en una abertura de la pared 34 del conducto 11 de tal modo que la superficie de la unidad de medición 50 está enrasada con la superficie interna de la pared 34 del conducto 11 para minimizar la interrupción del flujo 36. Se puede usar cualquier medio de sujeción conocido, tal como tornillos o pernos, abrazaderas, o roscas (no representados). Puesto que la unidad 50 de medición de espesor no hace uso de ningún calentador y no está involucrada en la transferencia de calor, no es necesario aislarla respecto al contacto con la pared 34 del conducto 11.

25 La unidad de medición 50 comprende un transductor ultrasónico 52 y un detector. El transductor ultrasónico es uno de entre los diversos métodos para detectar el espesor del depósito sobre la superficie 32. Se puede emplear cualquier aparato conocido en la presente invención. Con la unidad 50, se emite una señal ultrasónica 54 por medio del transductor 52 hacia la pared 32. Con el fin de detectar y analizar los depósitos 40 de incrustación y/o escamado acumulados sobre la superficie de prueba 22 mojada calentada del bloque 16, se mide una señal 56 de reflexión ultrasónica que se produce mediante una reflexión de la señal 54 de emisión ultrasónica. Si no se ha acumulado ningún depósito 40, la superficie de prueba 22 mojada calentada sirve principalmente como superficie reflectante para la señal ultrasónica. La unidad de medición medirá el tiempo requerido para que la señal se desplace hasta la superficie de prueba 22 mojada calentada y vuelva. Si los depósitos 40 de escamado y/o incrustación cubren la superficie de prueba 22 mojada calentada, la señal ultrasónica se refleja al menos parcialmente en la superficie de los depósitos 40.

30 Si está presente un escamado, la señal reflejada requiere menos tiempo para el retorno, debido a la distancia más corta que la misma se desplaza después de ser reflejada hacia fuera de la superficie del escamado que con anterioridad, cuando no estaba presente ningún escamado. El espesor del escamado puede ser calculado en base a la diferencia entre la medición del "tiempo de vuelo" actual y una medición previa de referencia cuando no existía ningún escamado, y la velocidad a la que se desplaza el sonido a través del agua.

35 Existen muchos tipos diferentes de compuestos que pueden formar escamados, tal como carbonatos, oxilatos, sulfatos, silicatos, de compuestos de calcio, aluminio, tal como silicatos, hidróxidos, fosfatos, así como también otros. Los diferentes tipos de escamado tienen diferentes densidades y diferentes coeficientes de resistencia de transferencia de calor por unidad de espesor del escamado. Midiendo la q_{scale} y el espesor del escamado depositado, se puede estimar el tipo de escamado que se está formando en base a estos datos empíricos. Esto permitirá, a su vez, que el operador aplique productos químicos correctores apropiados al sistema de agua para eliminar o controlar el tipo particular de escamado, o en el caso de una biopelícula, los productos químicos apropiados para tratar la biopelícula.

Si solamente se encuentra presente una biopelícula, la onda reflejada 56 comprenderá realmente un primer pico pequeño procedente de la reflexión de la superficie de la biopelícula y un segundo pico más alto procedente de la reflexión de la pared interna 32. Las amplitudes de las dos señales son diferentes debido a que la impedancia acústica de la biopelícula es más baja que la impedancia acústica del material de la pared 32. La diferencia de tiempo entre las dos señales indicará el espesor de la biopelícula.

Pruebas de escamado

El aparato de la Figura 2 ha sido mostrado con mayor detalle en una vista en sección transversal representada en la Figura 10. En esta realización, la unidad 50 de medición de espesor está montada en una abertura 51 de la pared 34 del conducto 11, separada de la pared por medio de una junta 53. Opuesto a la unidad 50 de medición de espesor se encuentra el sensor 10. Según se ha representado, éste ha sido montado en una abertura 55 de la pared 32 del conducto, separado de la pared por medio de un aislador de plástico 33 que, a su vez, está separado del bloque 16 y de la pared 32 por medio de juntas 57. El bloque 16 incluye una pestaña de montaje 59. Aunque no se han representado los sensores de calor, éstos podrían estar situados en canales 61 y 62, respectivamente, con el calentador de cartucho 14 situado en el canal 63 ensanchado. Todo esto se encuentra encapsulado mediante un aislador PEEK 64.

El aparato representado en la Figura 10 (que incluía un calentador de cartucho de 200 vatios, una superficie de prueba mojada calentada de CuNi, dos transmisores de temperatura RTD, aislamiento PEEK (poliéter éter cetona), y un transductor ultrasónico de pulsos para medir la distancia hasta la superficie de prueba mojada calentada mediante diferencia del "tiempo de vuelo"), sujeto a una torre de refrigeración, fue probado usando agua como líquido masivo. El bloque 16 estaba construido con aleación de CuNiFeMg. La superficie de prueba estaba a aproximadamente 14 mm de la línea central del calentador de cartucho. Los transmisores de temperatura T₁ y T₂ de RTD estaban a aproximadamente 3,5 mm de línea central a línea central y están desviados a lo largo de la dirección del flujo de calor desde el calentador hacia la superficie de prueba para evitar la interferencia de un transmisor con el otro. Se añadieron sales a agua desionizada para simular una concentración de 4 veces la de nuestra agua de composición estándar (por ejemplo, el agua fue formulada para simular agua de composición estándar que hubiera sido "preciclada" hasta 4 ciclos de concentración) y el agua se hizo circular a través del sistema de torre, y se le permitió ciclar hasta un objetivo de 6 ciclos de concentración. Las composiciones del agua "preciclada", del agua de reposición de la torre y del agua de 6 ciclos de concentración, han sido relacionadas en la Tabla 1.

Tabla 1

Datos del agua de la torre de refrigeración para las pruebas de escamado, a partir del 20 de Agosto de 2012

Tipo de agua	Ca ⁺⁺ (como ppm de CaCO ₃)	Mg ⁺⁺ (como ppm de CaCO ₃)	Alcalinidad Total (como ppm de CaCO ₃)	CT (como ppm de Cl)	SO ₄ (como ppm de SO ₄)	Drew 2235 (ppm de producto)
Agua preciclada (simula 4 ciclos de concentración)	400	200	400	2856	192	110
Agua de reposición del sistema	100	50	100	714	48	27,5
Agua objetivo (simula 6 ciclos de concentración)	600	300	600	4284	288	165

La torre se mantuvo a una temperatura del volumen de agua de 24,5 °C, y con descarga iniciada por conductividad / y adición de agua de reposición controlada por nivel para controlar la conductividad a aproximadamente 3500 µmho (6 ciclos de concentración que se alcanzaron aproximadamente 60 horas después de del inicio de la Prueba 1 de escamado). La velocidad de flujo en el conducto 11 fue de 0,75 metros por segundo, el pH fue de 9,0, y la potencia del calentador se estableció para producir una temperatura de 60,5 °C sobre la superficie de prueba mojada calentada. La Prueba 1 fue realizada durante un total de 96 horas (3,5 días). Al final de ese tiempo, el escamado acumulado sobre la superficie de prueba mojada calentada fue eliminado, y la prueba se reinició como Prueba 2, con las mismas condiciones, salvo que la potencia del calentador se incrementó para producir una temperatura superficial de 70 °C sobre la superficie mojada calentada. El agua del colector de la torre de refrigeración se encontraba ya a 6 ciclos de concentración al comienzo de la Prueba 2, y se mantuvo como tal. Se permitió que la

Prueba 2 se desarrollara durante 168 horas (7 días), pero después de 121 horas (5 días) se incrementó la cantidad de antiescamante Drew 2235 en un 50%.

La Figura 9 muestra el diferencial de temperatura entre T_2 y T_1 trazado respecto al espesor de la acumulación del escamado según fue medido con un transmisor y un receptor ultrasónicos. La respuesta del diferencial de temperatura es lineal con el espesor del escamado en el rango de acumulación de "preescamado" de 0 a 45 μm , y también lineal, pero con una pendiente diferente, en el rango de "estado estable" de 45-160 μm de espesor del escamado. Durante la Prueba 2, la respuesta del diferencial de temperatura es lineal con el espesor del escamado a través del rango completo, pero el valor absoluto del diferencial de temperatura y el coeficiente de relación (pendiente del diferencial de temperatura respecto al gráfico del espesor del escamado) es diferente, debido a que el efecto de aislamiento de la capa de escamado produce temperaturas más altas a través del bloque conductor 16 y también diferenciales de temperatura más altos entre las dos mediciones de temperatura a una potencia del calentador más elevada. Un cambio de la velocidad de adición del antiescamante (Drew 2235) cambia la velocidad de acumulación de espesor del escamado respecto al tiempo (no representado), pero no la relación entre el diferencial de temperatura y el espesor del escamado.

Existieron períodos durante ambas pruebas de formación de escamado en los que los datos no estuvieron disponibles, debido a problemas de almacenamiento de datos o a otras causas.

El diferencial de temperatura ($T_2 - T_1$) trazado respecto al espesor del escamado (según fue medido ultrasónicamente), es altamente lineal. Además, la diferencia de temperatura ($T_2 - T_1$) es también altamente lineal cuando se representa respecto al factor de incrustación, según se determina mediante un analizador de escala Asland OnGuard 2-Plus (gráfico no representado) que se utiliza ampliamente para monitorizar el factor de incrustación en instalaciones comerciales. En todos los casos, la linealidad se demuestra mediante un coeficiente de correlación lineal (R^2) de entre aproximadamente 0,91 y 0,99 (1,0 indica una correlación perfecta y 0 indica que no hay correlación).

De ese modo, las realizaciones mostradas en las Figuras 1, 2 y 10 miden adecuadamente la formación de escamado a lo largo de la superficie de prueba mojada calentada. El concepto puede ser potenciado aún más modificando el sensor 10 para compensar variables, en particular las condiciones ambientales que rodean al sensor 10. Las Figuras 3 a 8 muestran varias unidades de medición de temperatura modificadas. Todas ellas están sujetas a, y sobresalen a través de, la pared 32 del conducto 11, con su superficie de prueba 22 mojada calentada a ras con la pared interior 32 del conducto 11 que dirige el fluido desde el sistema de agua hasta la superficie de prueba mojada calentada donde se está midiendo el escamado. Todas deben tener un elemento aislante 33 para reducir el flujo de calor desde el bloque conductor hasta la pared 32 del conducto 11. En estas realizaciones de las Figuras 3 a 8, los mismos elementos conservarán iguales números de referencia que en las Figuras 1 y 2. Todas las representaciones mostradas esquemáticamente en las Figuras 3-8 están destinadas a reducir el impacto de las variaciones de las condiciones ambientales que rodean al sensor 10, o a incrementar la sensibilidad de la medición de la cuantificación del escamado mediante la manipulación de la transferencia de calor a lo largo de la(s) trayectoria(s) secundaria(s) de conducción de calor, o ambos. Éstas son más aplicables cuando el dispositivo está instalado exteriormente a una habitación de clima controlado, o cuando la temperatura del flujo 36 es mucho más alta que la temperatura ambiente, o ambos. Se enfatiza que en algunos casos el flujo masivo podría ser distinto del agua de refrigeración industrial, por ejemplo licor negro en una fábrica de pulpa, salmuera, u otros fluidos de flujo masivo. En algunos casos, la temperatura puede ser demasiado alta o el fluido puede ser en su caso inadecuado para la medición del espesor del escamado mediante una señal ultrasónica pulsada. En tales casos, la invención puede ser usada con medios de medición de espesor de escamado diferentes, adecuados para el entorno, o sin ningún medio de medición del espesor de escamado. En casos en los que no se encuentre disponible ningún medio de medición de espesor de escamado adecuado, solamente se obtendrá información de la resistencia a la transferencia de calor, y no será fácilmente posible deducir la composición química del escamado.

La realización mostrada en la Figura 3 es una versión modificada de la realización mostrada en la Figura 1. La modificación consiste en la adición de un calentador trasero 60 en el segundo extremo 24 opuesto a la superficie mojada 32. El flujo de calor está regido por las ecuaciones similares

$$\frac{q_{\text{mariz}}}{A} = K \frac{T_2 - T_4}{\delta_2}, \quad \frac{q_{\text{mariz}}}{A} = K \frac{T_2 - T_4}{\delta_1}, \quad \frac{q_{\text{total}}}{A} = \frac{q_{\text{mariz}}}{A} + \frac{q_{\text{mariz}}}{A}$$

Dado que T_4 está controlada, existe la capacidad de controlar activamente el flujo de calor a través de la capa de aislamiento 30. El control del flujo de calor a lo largo de la trayectoria secundaria de conducción de calor se realiza controlando la temperatura T_4 .

Obsérvese que el aislamiento 28 a lo largo de las superficies longitudinales se supone "perfecto" para este ejemplo, lo cual no es alcanzable en instalaciones reales. En las implementaciones reales existirá algo de flujo radial de calor y este flujo de calor se verá afectado por las condiciones ambientales. El control del flujo de calor representado

esquemáticamente en la Figura 3 puede ser denominado control activo del flujo de calor, debido a que se suministra con una cantidad controlada de energía externa. Como tal, la potencia suministrada por el calentador trasero 60 puede ser ajustada o controlada en base a la temperatura T_4 , la cual resulta ser un punto de ajuste que puede ser usado para optimizar la operación del dispositivo cuando éste debe operar en condiciones más extremas. Una limitación potencial del dispositivo según se ha representado en la Figura 3, consiste en la incapacidad para enfriar las superficies 26 y 24 del sensor 10.

La descripción que sigue se proporciona como ejemplo de cómo optimizar el diseño del sensor de la Figura 3 para optimizar su utilidad para una implementación dada. A los efectos de este análisis, T_2 y T_3 están posicionadas inmediatamente adyacentes a un lado cualquiera del calentador 14. Puesto que T_2 y T_3 no están en contacto con el calentador, se asume que $T_2 = T_3 = T_h$ (T_h es la temperatura del calentador). Adicionalmente, el material 30 se extiende desde la superficie del calentador 14 (la nueva posición para el sensor T_3) hasta la posición del sensor T_4 (la interfaz entre el material 30 y el calentador 60); δ_2 es ahora la distancia entre el calentador 14 y el calentador 60.

En cualquier implementación dada para esta realización particular, se deberá conocer lo siguiente: temperatura del fluido masivo (lo que permite una estimación de la temperatura en la superficie expuesta del escamado, T_{scale}) y máxima salida disponible del calentador. El problema de optimización consiste en seleccionar el material 16, el material 30, la distancia δ_1 , δ_2 y la temperatura mantenida por el calentador 60 del lado trasero (que es igual a T_4) de modo que sobre el rango operativo anticipado del sensor, las diferencias de temperatura T_1 y $T_3 - T_4$ se maximicen, proporcionando de ese modo la resolución más alta posible para la medición de la acumulación del escamado.

El balance del flujo de calor para el sensor viene dado por:

$$\frac{q_T}{A} = \frac{q_{16}}{A} + \frac{q_{30}}{A}$$

donde q_T es la salida del calentador, q_{16} es el flujo de calor a través del material 16, q_{30} es el flujo de calor a través del material 30, y A es el área. La ecuación puede ser expresada también usando la analogía de resistencia:

$$\frac{q_{30}}{A} = \frac{T_h - T_4}{R_{\delta_2}}$$

$$\frac{q_{16}}{A} = \frac{T_h - T_{scale}}{R_{16-scale}}$$

para sustituir elementos en el lado derecho de la ecuación, obteniendo:

$$\frac{q_T}{A} = \frac{T_h - T_{scale}}{R_{16+scale}} + \frac{T_h - T_4}{R_{30}}$$

donde $R_{16-scale}$ es la resistencia térmica combinada para el material 16 y el escamado, y R_{30} es la resistencia térmica para el material 30. La ecuación puede ser reordenada para proporcionar una expresión para T_h como:

$$\left[\frac{q_T}{A} + \frac{T_{scale}}{R_{16+scale}} + \frac{T_4}{R_{30}} \right] \left[\frac{1}{R_{1+scale}} + \frac{1}{R_{30}} \right]^{-1} = T_h$$

Para un material 16 dado, el material 30 y el tipo de escamado de la ecuación anterior pueden ser usados para calcular T_h . Una vez calculada T_h , los dos flujos de calor pueden ser calculados como sigue:

$$q_{16} = \frac{T_h - T_{scale}}{R_{16-scale}} A$$

donde:

$$R_{16-scale} = \frac{\delta_1}{k_{16}} + \frac{\delta_{scale}}{k_{scale}}$$

y:

$$q_{30} = \frac{T_h - T_4}{R_4} A$$

donde:

$$R_{30} = \frac{\delta_2}{k_{30}}$$

5

Una vez que se han calculado los flujos de calor, se pueden calcular los restantes parámetros.

10 En la optimización del diseño, los factores principales a considerar son la conductividad térmica y el espesor del material 16 y del material 30, la temperatura T_4 , la temperatura en la superficie escamada T_{scale} y la potencia en el calentador principal. El objetivo es el de minimizar el diferencial de temperatura a lo largo de las longitudes del material 16 y del material 30 según se acumula el escamado sobre la superficie expuesta al flujo de fluido masivo.

Como ejemplo se supone que el calentador disponible tiene una salida de 200 W y el bloque conductor tiene una sección transversal que mide 10 mm x 50 mm. Usando las ecuaciones anteriores es posible investigar los efectos de cambiar T_4 , T_{scale} , el material 16, el material 30, δ_1 , δ_2 y a continuación averiguar la configuración del dispositivo que cumpla mejor el objetivo de diseño de maximizar los diferenciales de temperatura en el sensor.

15 La Figura 12 muestra el efecto de variar la conductividad térmica del material 30. El diseño podría ser optimizado para maximizar el diferencial de temperatura en el material 30, mientras que se ignora el diferencial de temperatura en el material 16. En este caso, la conductividad térmica del material 30 podría ser tan baja como sea posible. El inconveniente es que la diferencia de temperatura en el material 16 no podría cambiar significativamente según se desarrolla el escamado. La Figura muestra que existe una conductividad térmica óptima para el material 30, una que
20 maximiza el diferencial de temperatura en el material 16, es decir, $K_{30} \approx 20 \text{ W/m}^2\text{K}$. A los efectos del presente ejemplo, la conductividad térmica del material 30 se establece en $20 \text{ W/m}^2\text{K}$. Lo racional es que podría ser mejor tener dos diferencias de temperatura distintas que indiquen el crecimiento del escamado en vez de una sola.

25 En la Figura 13, se examinan los efectos de variar el espesor del material 30. Según se incrementa el espesor del material 30 (δ_2), se incrementa la resistencia térmica efectiva, provocando que éste se parezca más a un aislante. De ese modo, los resultados son similares a los mostrados en la Figura 12. De nuevo, existe un espesor óptimo del material 30 (δ_2) para maximizar la diferencia de temperatura en el material 16. Para maximizar la diferencia de temperatura en el material 16, el espesor del material 30 se establece en 10 mm.

30 El espesor del material 16 ha sido abordado en la Figura 14. El efecto de incrementar el espesor del material 16 se alcanza a alrededor de $\delta_1 \approx 10 \text{ mm}$. Con este espesor existe todavía una diferencia de temperatura razonable a través del material 30, siendo el espesor del material 16 establecido por lo tanto en 10 mm a los efectos de este ejemplo.

35 En la Figura 15 se ha considerado la conductividad térmica del material 16. Puesto que el cambio de espesor tiene el efecto de cambiar la resistencia térmica, los resultados son similares a lo que ocurría con el material 30. El efecto de incrementar las mesetas de conductividad térmica. El sensor usado en la prueba de escamado descrita con anterioridad tenía una conductividad térmica de $\sim 42 \text{ W/m}^2\text{K}$, lo que también proporciona una diferencia de temperatura razonable a través del material 30, siendo la conductividad térmica del material 16 establecida en $42 \text{ W/m}^2\text{K}$ a los efectos del presente ejemplo.

40 La Figura 16 muestra la diferencia de temperatura a través tanto del material 16 como del material 30 para varias condiciones diferentes y una gama de espesores de escamado. Los casos con T_{scale} de 40 y 70 °C son aplicaciones de temperatura más baja, más comunes a lo que se podría encontrar en aplicaciones de intercambiador de calor industrial estándar. Las diferencias de temperatura tanto en el material 16 como en el material 30 son adecuadas para monitorizar el desarrollo del escamado. Los resultados para los casos con T_{scale} de 130 y 170 °C no son tan satisfactorios. Esos casos son más representativos de aplicaciones de fabricación de pasta de papel y de licor negro.

45 La Figura 17 muestra esa utilidad de ajustar T_4 para una aplicación específica. En todos los gráficos anteriores, T_4

fue establecida en 50 °C. En la Figura 18, T_4 ha sido establecida para el caso particular:

1. $T_{scale} = 40\text{ °C} \rightarrow T_4 = 80\text{ °C}$
2. $T_{scale} = 70\text{ °C} \rightarrow T_4 = 100\text{ °C}$
3. $T_{scale} = 130\text{ °C} \rightarrow T_4 = 100\text{ °C}$
- 5 4. $T_{scale} = 170\text{ °C} \rightarrow T_4 = 130\text{ °C}$

El ajuste de T_4 en ascenso o descenso puede expandir o contraer el rango del diferencial de temperatura según se acumula el escamado. Mediante el ajuste de T_4 , se está ejerciendo un control sobre la transferencia de calor a través de la trayectoria secundaria de flujo de calor. La utilidad del dispositivo depende de la manipulación de las temperaturas en el interior del dispositivo para maximizar los diferenciales de temperatura. Los casos de T_{scale} alta, la tarea puede resultar más fácil proporcionando más potencia al calentador, haciendo de ese modo que sea posible incrementar T_h para un conjunto de condiciones dadas. La Figura 18 muestra las mismas condiciones que la Figura 17, salvo que en los casos de T_{scale} alta la potencia en el calentador es de 500 W en vez de 200 W.

La realización mostrada en la Figura 4 es una modificación de la realización mostrada en la Figura 1. La modificación está destinada a eliminar el impacto de los cambios de las condiciones ambientales y proporcionar condiciones conocidas a lo largo de la trayectoria secundaria de conducción de calor proporcionando una condición límite nominalmente isotérmica. Esto compensa también los cambios de velocidad y de temperatura en el flujo masivo de fluido.

Esto se lleva a cabo encerrando el dispositivo y haciendo que circule el fluido desde el sistema de agua alrededor de la totalidad del dispositivo sensor. El sensor 10 está circundado por el fluido procedente del sistema de agua recorriendo el conducto 11 alrededor del sensor 10, y de nuevo hasta un conducto 66 de retorno. El conducto 11 se ensancha en un área 68 para permitir que el fluido de trabajo circunde todos los lados del sensor 10, salvo la porción de sensor 10 que comprende la superficie de prueba 22 mojada calentada donde se acumula el escamado, la cual está ya en contacto con el flujo que pasa a través del conducto 11. El ambiente que rodea al sensor 10 está por lo tanto a la misma temperatura que el fluido, y se mantiene constante en la medida en que se mantenga constante la temperatura del fluido. Aunque el calor se pierde en el flujo masivo 36 como en lo que antecede a través de la superficie de prueba 22 mojada calentada, y desde todos los lados 26 expuestos y desde el segundo extremo 24, la pérdida de calor a través de los lados 26 y del extremo 24 es ahora casi constante, puesto que la temperatura del flujo masivo de agua 36 es en general casi constante.

Puesto que el flujo masivo 36 se utiliza para el control de la temperatura, pero no se añade ninguna energía externa, este dispositivo puede ser considerado que hace uso del control semi-activo de flujo de calor.

El flujo de calor está regido por las ecuaciones:

$$\frac{q_{masis}}{A} = K \frac{T_2 - T_1}{\delta_b}, \quad \frac{q_{masis}}{A} = K \frac{T_2 - T_4}{\delta_d}, \quad \frac{q_{total}}{A} = \frac{q_{masis}}{A} + \frac{q_{masis}}{A}$$

La Figura 5 muestra una versión modificada de la Figura 1. Ésta se destina a eliminar el impacto de los cambios medioambientales proporcionando una condición de límite isotérmico. En este caso, el dispositivo está circundado por un segundo calentador 68. Por lo tanto, de una manera similar al dispositivo mostrado en la Figura 4, existe un control del flujo de calor a lo largo de la trayectoria secundaria de conducción de calor. El control del flujo de calor representado esquemáticamente en la Figura 5 puede ser denominado control de flujo de calor activo, puesto que éste se suministra con una cantidad controlada de energía externa. Como tal, la potencia suministrada por el calentador secundario 68 puede ser ajustada o controlada por la señal de temperatura de T_4 , la cual se convierte en un punto de ajuste que puede ser usado para optimizar la operación del dispositivo cuando éste debe operar en unas condiciones más extremas. Una limitación potencial del dispositivo según se ha representado en la Figura 5, es la incapacidad de enfriar las superficies 26 y 24 del sensor 10.

El flujo de calor está regido por las ecuaciones:

$$\frac{q_{masis}}{A} = K \frac{T_2 - T_1}{\delta_b}, \quad \frac{q_{masis}}{A} = K \frac{T_2 - T_4}{\delta_d}, \quad \frac{q_{total}}{A} = \frac{q_{masis}}{A} + \frac{q_{masis}}{A}$$

La Figura 6 muestra un refinamiento de la realización mostrada en la Figura 5 en el sentido de que ahora existen calentadores separados 70 para las superficies periféricas 26 del sensor 10 y un calentador separado 72 para el segundo extremo 24. Esta realización tiene dos trayectorias secundarias de conducción de calor distintas. Esto proporciona una capacidad incrementada para controlar el flujo de calor tanto a lo largo del eje longitudinal como perpendicular al eje longitudinal mediante el control de las temperaturas a lo largo de dichas superficies. El control

del flujo de calor representado esquemáticamente en la Figura 6 puede ser denominado control de flujo de calor activo a lo largo de las trayectorias secundarias de conducción de calor, debido a que se suministra con una cantidad controlada de energía externa. Como tal, las potencias suministradas por los calentadores secundarios 70 y 72 son ajustables de manera independiente y de manera conjunta para mantener una temperatura constante en T_4 o en otras posiciones de medición potencial de temperatura, y pueden ser usadas para optimizar aún más la operación del dispositivo cuando éste debe operar en condiciones más extremas. Una limitación potencial del dispositivo según se ha representado en la Figura 6 consiste en la incapacidad para enfriar las superficies 26 y 24.

El flujo de calor está regido por las ecuaciones:

$$\frac{q_{mat1z}}{A} = K \frac{T_2 - T_1}{\delta_b}, \quad \frac{q_{mat1z}}{A} = K \frac{T_2 - T_4}{\delta_d}, \quad \frac{q_{total}}{A} = \frac{q_{mat1z}}{A} + \frac{q_{mat2z}}{A}$$

La realización mostrada mediante la Figura 7 usa control activo de flujo de calor a lo largo de las trayectorias secundarias de conducción de calor. En este caso, el dispositivo está circundado por un sumidero de calor 78 variable, representado en este caso por aletas de refrigeración 74 y un medio para forzar aire a través del sumidero de calor variable (no representado) el cual fuerza aire en la dirección de la flecha 76. La extracción del calor se ve alterada por incremento o el descenso de la velocidad del flujo de aire sobre las aletas. También es concebible que se pueda usar un flujo de aire caliente para reducir el flujo de calor desde el dispositivo. Una versión más refinada podría tener un control de flujo de calor separado para las superficies longitudinales del dispositivo. Una versión todavía más refinada podría tener una neblina de agua de magnitud ajustable, pulverizada sobre la superficie de sumidero de calor variable para controlar la temperatura de las superficies exteriores del sensor 10 incluso de manera más efectiva bajo condiciones medioambientales incluso más extremas. El control del flujo de calor representado esquemáticamente en la Figura 7 puede ser denominado control de flujo de calor activo a lo largo de las trayectorias secundarias de conducción de calor, debido a que éste se suministra con una cantidad controlada de energía externa. Como tal, el punto de ajuste de la temperatura del flujo de aire o el volumen o la duración del recorrido y/o el flujo de neblina de agua y/o la duración, son ajustables de manera independiente y de manera conjunta para optimizar aún más la operación del dispositivo cuando éste debe operar en condiciones más extremas, proporcionando medios para reducir más el efecto del cambiar de las condiciones ambientales.

El flujo de calor está regido por las ecuaciones:

$$\frac{q_{mat1z}}{A} = K \frac{T_2 - T_1}{\delta_b}, \quad \frac{q_{mat1z}}{A} = K \frac{T_2 - T_4}{\delta_d}, \quad \frac{q_{total}}{A} = \frac{q_{mat1z}}{A} + \frac{q_{mat2z}}{A}$$

La realización mostrada en la Figura 8 es similar a la realización mostrada en la Figura 4. Ésta usa un flujo de fluido separado para calentar o enfriar activamente el dispositivo. Por lo tanto, esta implementación proporciona capacidad para controlar el flujo de calor a través del control de temperatura, es decir, usando un fluido a una temperatura específica, y para controlar el flujo de calor directamente, es decir, cambiando la velocidad del flujo de fluido y por tanto el calor extraído desde el, o añadido al, dispositivo. El control de flujo de calor representado esquemáticamente en la Figura 8 puede ser denominado control activo del flujo de calor a lo largo de la trayectoria secundaria de conducción de calor, dado que éste se suministra con una cantidad controlada de energía externa. Como tal, el punto de ajuste de la temperatura y/o la velocidad de flujo del fluido de trabajo separado, son ajustables de forma independiente y de forma conjunta para optimizar aún más la operación del dispositivo cuando éste debe operar en condiciones más extremas, proporcionando medios para reducir más el efecto del cambio de las condiciones ambientales.

El flujo de calor está regido por las ecuaciones:

$$\frac{q_{mat1z}}{A} = K \frac{T_2 - T_1}{\delta_b}, \quad \frac{q_{mat1z}}{A} = K \frac{T_2 - T_4}{\delta_d}, \quad \frac{q_{total}}{A} = \frac{q_{mat1z}}{A} + \frac{q_{mat2z}}{A}$$

La Figura 11 muestra una sección transversal esquemática de una realización alternativa de un componente de la invención, el bloque conductor 16. En la Figura 11, el bloque conductor 16 comprende un material altamente conductor que circunda, o que circunda parcialmente, el medio de calentamiento 14, un segundo material unido al primer material como superficie de prueba 22 mojada calentada, y un tercer material fijado al extremo opuesto 24. El primer material se elige por su alta conductividad térmica, y puede ser cobre, oro, plata, aleación de CuNi, latón, aluminio o cualquier otro material altamente conductor. El uso de un material altamente conductor en esta posición facilita una buena transferencia de calor en la dirección indicada por medio de la flecha 38, para minimizar la potencia requerida para que el calentador 14 produzca la temperatura objetivo en la superficie de prueba 22 mojada

5 calentada. Este material altamente conductor puede no ser apropiadamente resistente a la corrosión para su exposición al fluido del conducto 11 en algunas aplicaciones. La segunda capa de material es delgada y se elige por su resistencia a la corrosión, resistencia de biopelícula, o para que complemente la superficie de transferencia de calor de la superficie de transferencia de calor que va a ser emulada. Puesto que es delgada, sus características de transferencia de calor son menos críticas. El tercer material se elige por su conductividad del calor más baja y por sus propiedades estructurales adecuadas, y podría ser acero dulce, acero inoxidable, o cualquier plástico con resistencia estructural suficiente para que cumpla sus necesidades mecánicas a la temperatura anticipada. Éste se elige para que resista el flujo de calor en la dirección de la trayectoria secundaria de conducción de calor.

10 Los materiales pueden ser vinculados entre sí con cualquier medio mecánico apropiado tal como tornillos o pernos, abrazaderas o similares, mediante soldadura, soldadura fuerte, o con otras técnicas apropiadas para los metales particulares. De interés particular es una técnica de soldadura fuerte de aluminio, la cual puede unir bien una diversidad de tipos de metal.

15 En cada una de las realizaciones mostradas en las Figuras 3 a 8 y 11, un aparato, como el que se ha mostrado en la Figura 2 usado para medir el espesor del escamado depositado, puede ser incorporado de la misma manera que en la Figura 2. En cada una de esas realizaciones, el sensor 10 de medición de escamado podría determinar el factor de incrustación del escamado depositado. En cada una de éstas, según se acumula el escamado soluble inversa sobre la superficie mojada calentada 22, el escamado 40 proporciona una restricción adicional a la trayectoria de flujo de calor a través del bloque de metal 16, a través de la superficie metálica 32 mojada calentada, al flujo masivo. La elevación de la temperatura en el bloque se registra mediante ambos sensores de temperatura. Con una temperatura interna más alta, sale más calor a través de de la trayectoria de flujo de calor parcialmente aislada proporcionada, hasta la atmósfera. Esto da como resultado un diferencial de temperatura reducido entre los dos sensores de temperatura debido a que está saliendo menos calor a través de la superficie metálica 32 mojada calentada. El factor de incrustación, o la reducción del flujo de calor a través de la superficie metálica mojada calentada, indica el escamado acumulado. El diferencial de temperatura entre los dos sensores de temperatura es lineal con respecto al espesor del escamado para cualquier tipo particular de escamado. El diferencial de temperatura entre los dos sensores de temperatura es distinto para diferentes tipos de escamado. Midiendo el espesor del escamado, tal como mediante una señal ultrasónica pulsada, se puede averiguar el tipo de escamado depositado y, a su vez, proporcionar el tratamiento más eficaz.

30

REIVINDICACIONES

- 1.- Un método de detección de incrustación o escamado de una superficie de prueba mojada calentada que comprende calentar un bloque conductor (16) usando un calentador (14);
- 5 teniendo dicho bloque conductor (16) un primer extremo (22) que comprende dicha superficie de prueba mojada calentada, un segundo extremo (24) opuesto a dicho primer extremo (22), y una superficie periférica;
- poner en contacto dicha superficie de prueba mojada calentada con un primer líquido;
- 10 medir las temperaturas en una primera y una segunda posiciones a lo largo de dicho bloque conductor (16) en donde dicha primera posición está más cerca de dicha superficie de prueba mojada calentada que dicha segunda posición para obtener primeras y segundas mediciones de temperatura;
- caracterizado por que el método comprende además:
- 15 comparar las primeras y segundas mediciones de temperatura en dichas primera y segunda posiciones para establecer una diferencia de temperatura de referencia sin nada de incrustación ni escamado sobre dicha superficie de prueba mojada calentada;
- determinar la incrustación o el escamado sobre dicha superficie mediante la medición posterior de las temperaturas (T1, T2; T3, T4) en dichas primera y segunda posiciones y detectar los cambios en las diferencias de temperatura entre dichas temperaturas (T1, T2; T3, T4) en dichas primera y segunda posiciones con relación a dicha diferencia de temperatura de referencia;
- 20 en donde la superficie periférica (26) incluye una capa aislante (28) y el segundo extremo (24) incluye una capa aislante (30) que tiene una conductividad térmica diferente a la de la capa aislante (28), y
- en donde dicho segundo extremo (24) tiene una conductividad térmica más alta que dicha capa aislante (28) de la superficie periférica.
- 25 2.- El método reivindicado en la reivindicación 1, en donde dichas primera y segunda posiciones están entre dicho calentador (14) y dicha superficie de prueba mojada calentada.
- 3.- El método reivindicado en la reivindicación 1, en donde dichas primera y segunda posiciones están entre dicho calentador (14) y dicho segundo extremo (24) opuesto al primer extremo (22).
- 4.- El método reivindicado en la reivindicación 1, que comprende además proporcionar un primer material (28) alrededor de una superficie periférica de dicho conductor y proporcionar un segundo material (30) en dicho segundo extremo (24) en donde dichos primer y segundo materiales (28, 30) tienen diferentes coeficientes de conducción del calor.
- 30 5.- El método reivindicado en la reivindicación 1, que comprende además ajustar una temperatura de dichas superficies exteriores utilizando un fluido de intercambio de calor que circunda dichas superficies exteriores.
- 35 6.- El método reivindicado en la reivindicación 5, que comprende además controlar la temperatura de dichas superficies exteriores ajustando el flujo o la temperatura de dicho fluido de intercambio de calor.
- 7.- El método reivindicado en la reivindicación 1, que comprende además circundar al menos parcialmente dichos primer y segundo materiales con un sumidero de calor.
- 8.- El método reivindicado en la reivindicación 1, que comprende además medir el espesor de los depósitos sobre dicha superficie mojada, en donde dicho espesor se mide usando ondas de sonido.
- 40 9.- Un aparato para detectar incrustación o escamado sobre una superficie de prueba mojada calentada, en donde dicha superficie de prueba mojada calentada es una trayectoria de flujo de líquido en contacto con un volumen de líquido;
- un calentador (14);
- 45 un bloque conductor (16) que tiene un primer extremo (22) que comprende dicha superficie de prueba mojada calentada y un segundo extremo (24) opuesto a dicho primer extremo (22) y una superficie periférica;
- un primer sensor de temperatura (18) en el interior de dicho bloque conductor (16) en una primera posición cercana a dicha superficie de prueba mojada calentada;

- un segundo sensor de temperatura (20) en el interior de dicho bloque conductor (16) en una segunda posición cercana a dicho calentador (14) y más alejado de dicha superficie de prueba mojada calentada que dicho primer sensor de temperatura (18);
- 5 estando el aparato configurado para medir las temperaturas en la primera y la segunda posiciones para obtener primeras y segundas mediciones de temperatura;
- caracterizado por que:
- la superficie periférica (26) incluye una capa aislante (28) y el segundo extremo (24) incluye una capa aislante (30) que tiene una conductividad térmica diferente a la de la capa aislante (28), y
- 10 dicho segundo extremo (24) tiene una conductividad térmica más alta que dicha segunda capa aislante (28) de la superficie periférica,
- y por que el aparato está configurado para:
- comparar las primeras y las segundas mediciones de temperatura en dichas primera y segunda posiciones para establecer una diferencia de temperatura de referencia sin nada de incrustación ni escamado sobre dicha superficie de prueba mojada calentada, y
- 15 determinar la incrustación o el escamado sobre dicha superficie midiendo posteriormente las temperaturas (T1, T2; T3, T4) en dichas primera y segunda posiciones, y detectar los cambios en las diferencias de temperatura entre dichas temperaturas (T1, T2; T3, T4) en dichas primera y segunda posiciones con relación a dicha diferencia de temperatura de referencia.
- 20 10.- El aparato reivindicado en la reivindicación 9, en donde al menos uno de entre dicha superficie periférica y dicho segundo extremo incluye aislante.
- 11.- El aparato reivindicado en la reivindicación 9, en donde dichas primera y segunda posiciones están desviadas a lo largo de la dirección del flujo de calor procedente del calentador (14) hacia la superficie de prueba para evitar interferencias con el flujo de calor.
- 25 12.- El aparato reivindicado en la reivindicación 9, en donde dicho aparato incluye además un dispositivo operable para medir el espesor del escamado sobre dicha superficie de prueba mojada calentada usando ondas de sonido.
- 13.- El aparato reivindicado en la reivindicación 9, en donde dicho aparato está configurado para estar al menos parcialmente rodeado por fluido de intercambio de calor.
- 14.- El aparato reivindicado en la reivindicación 10, en donde dicha superficie periférica está configurada para estar al menos parcialmente rodeada por un sumidero de calor.
- 30 15.- El aparato reivindicado en la reivindicación 9, en donde dicho bloque conductor comprende un primer material y tiene una capa delgada de un segundo material vinculado a dicho primer extremo en donde dicha capa del segundo material comprende dicha superficie de prueba mojada calentada.

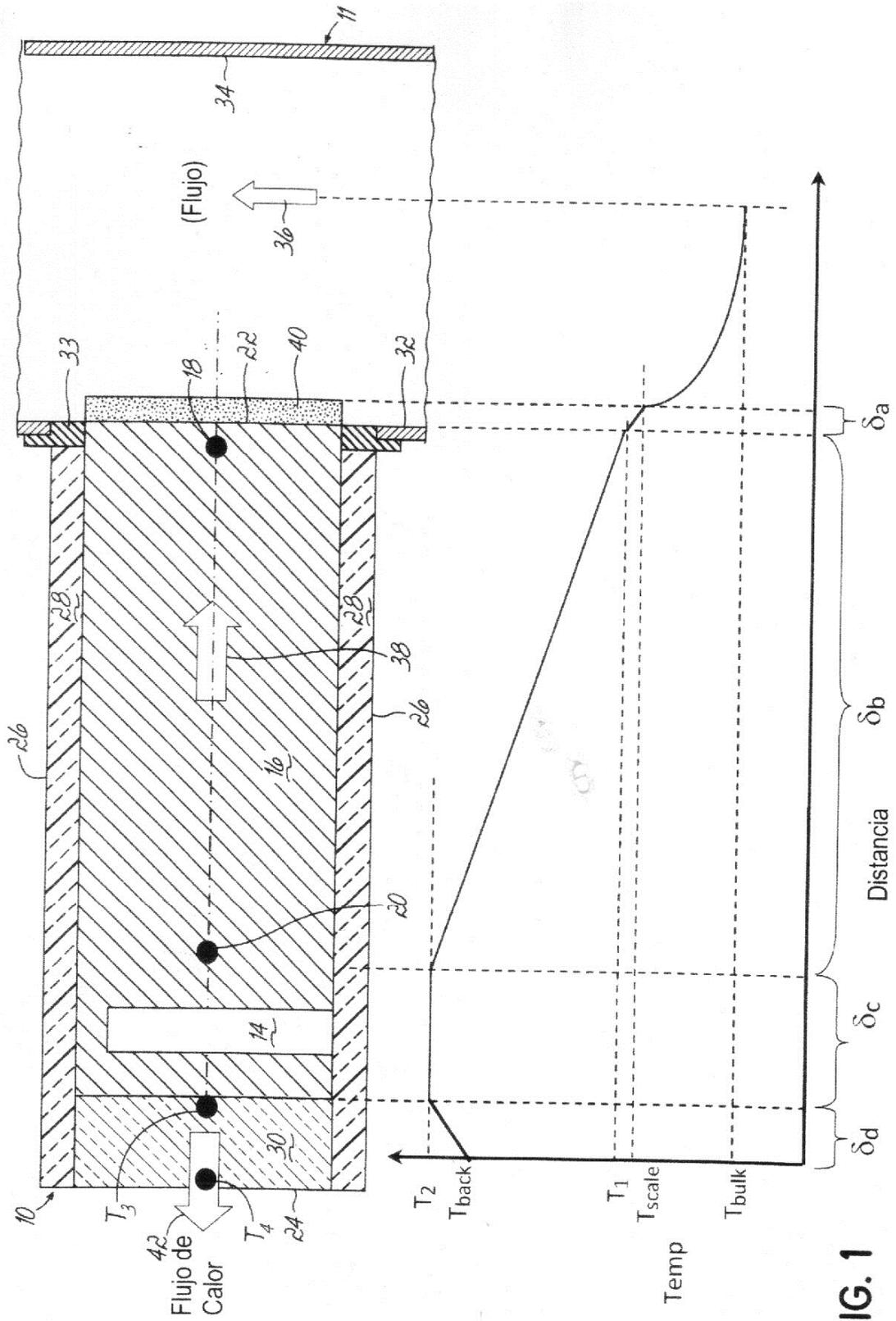


FIG. 1

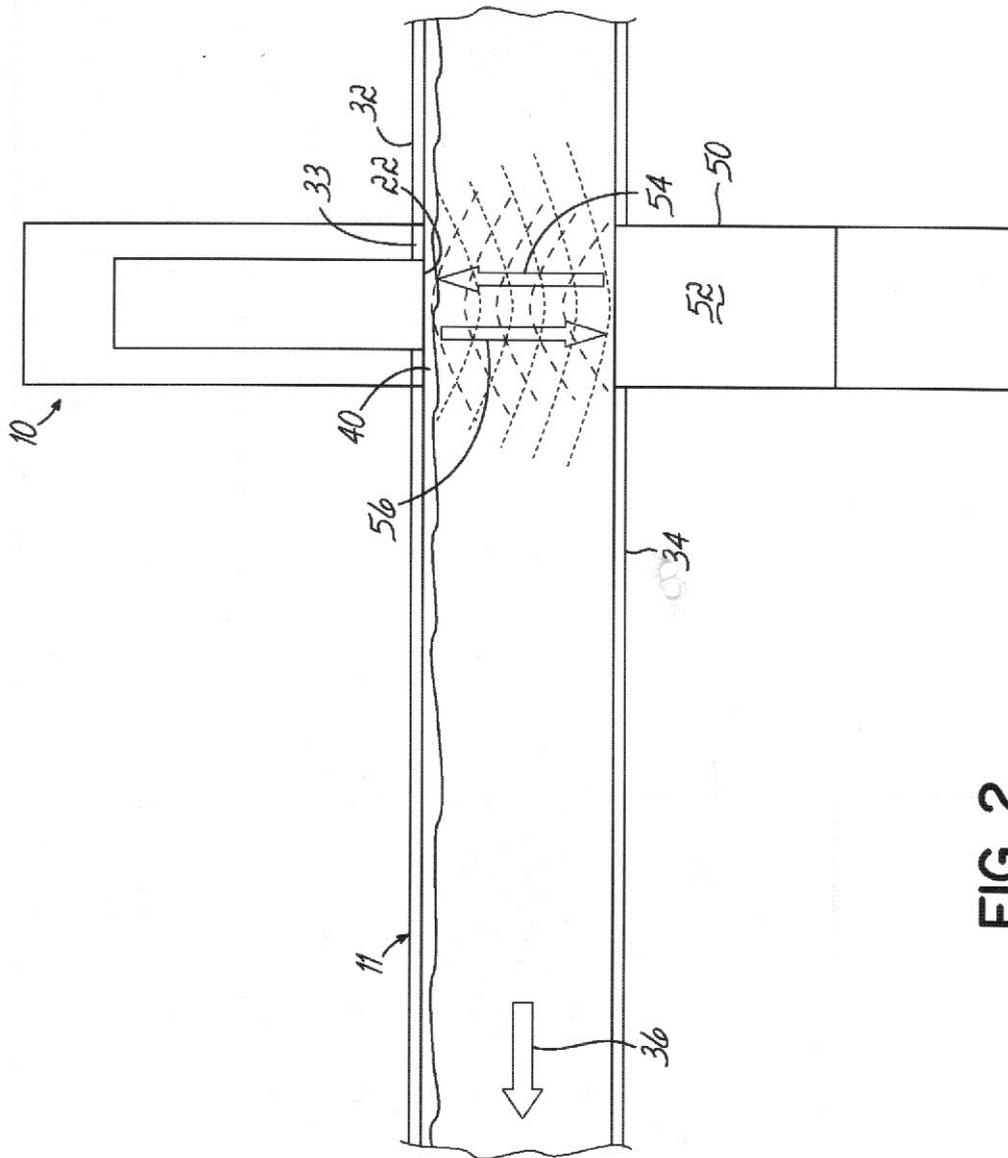


FIG. 2

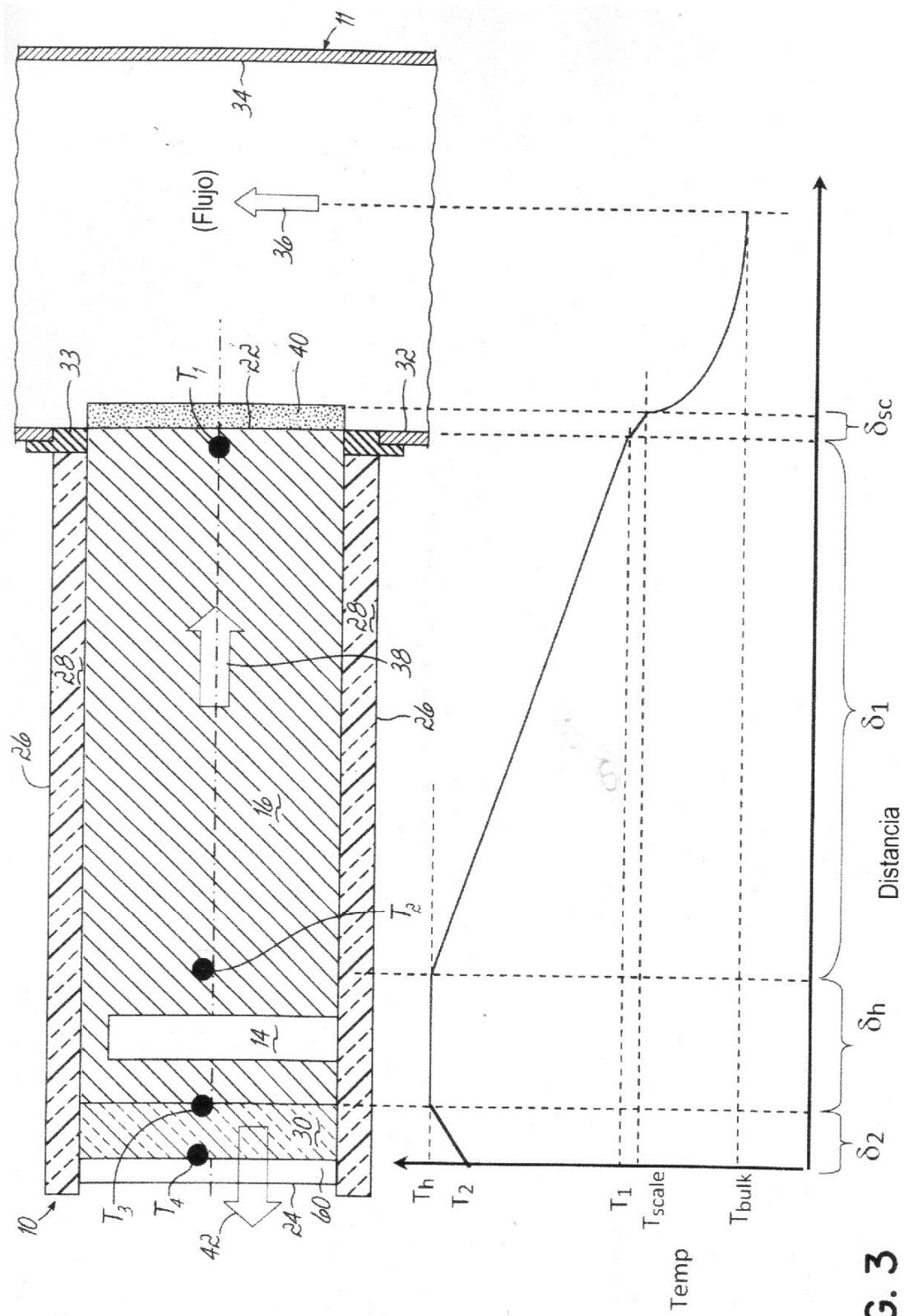


FIG. 3

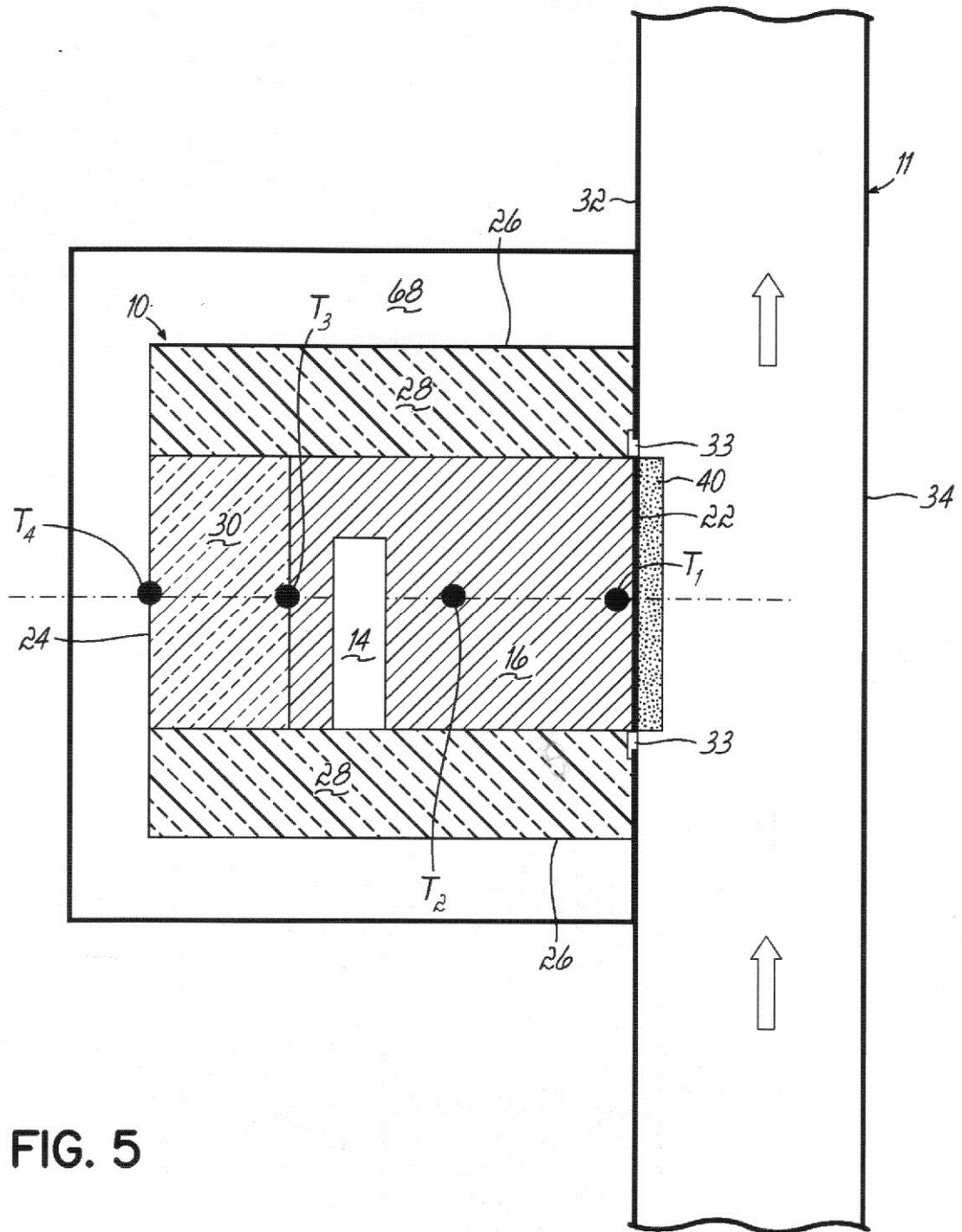


FIG. 5

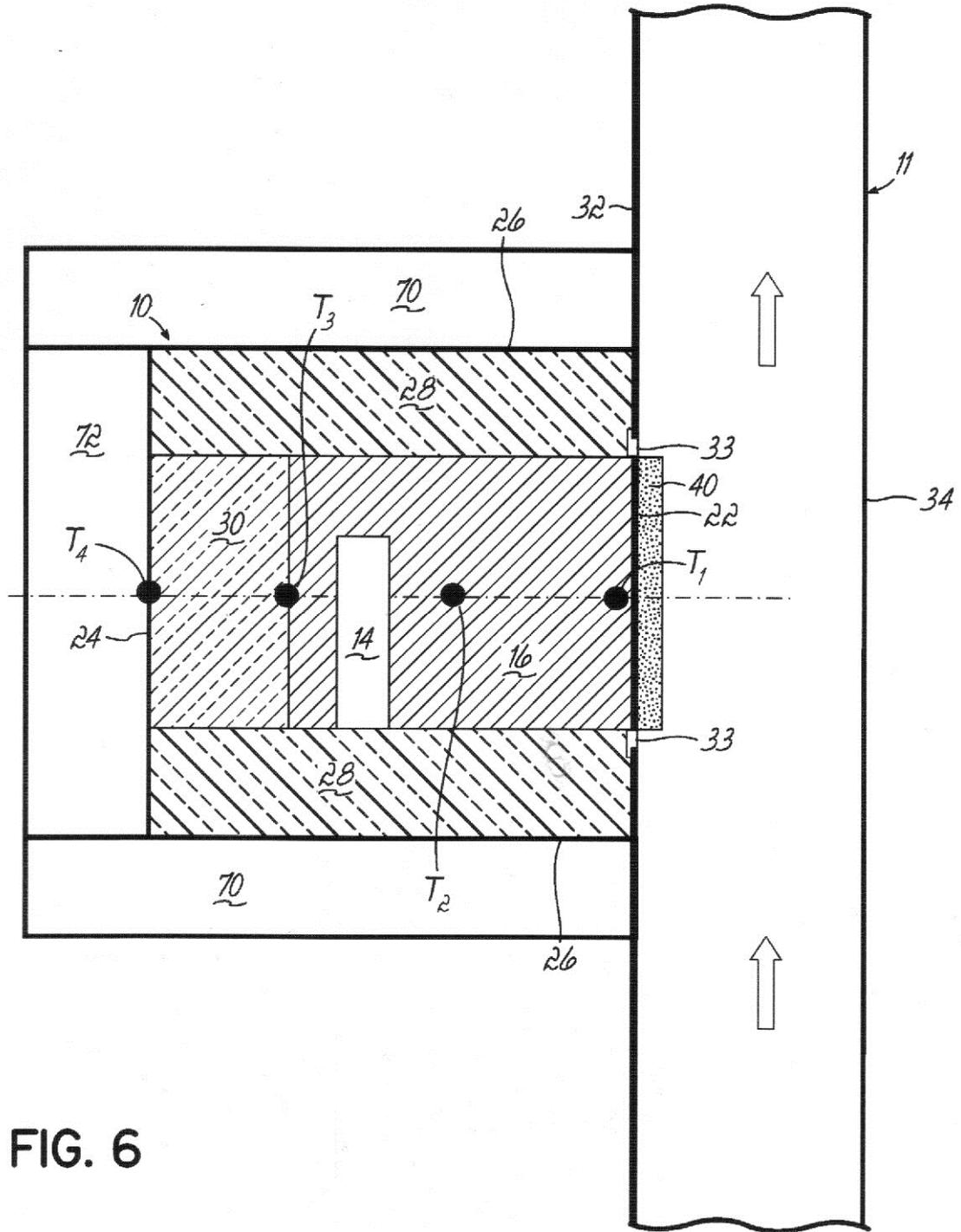


FIG. 6

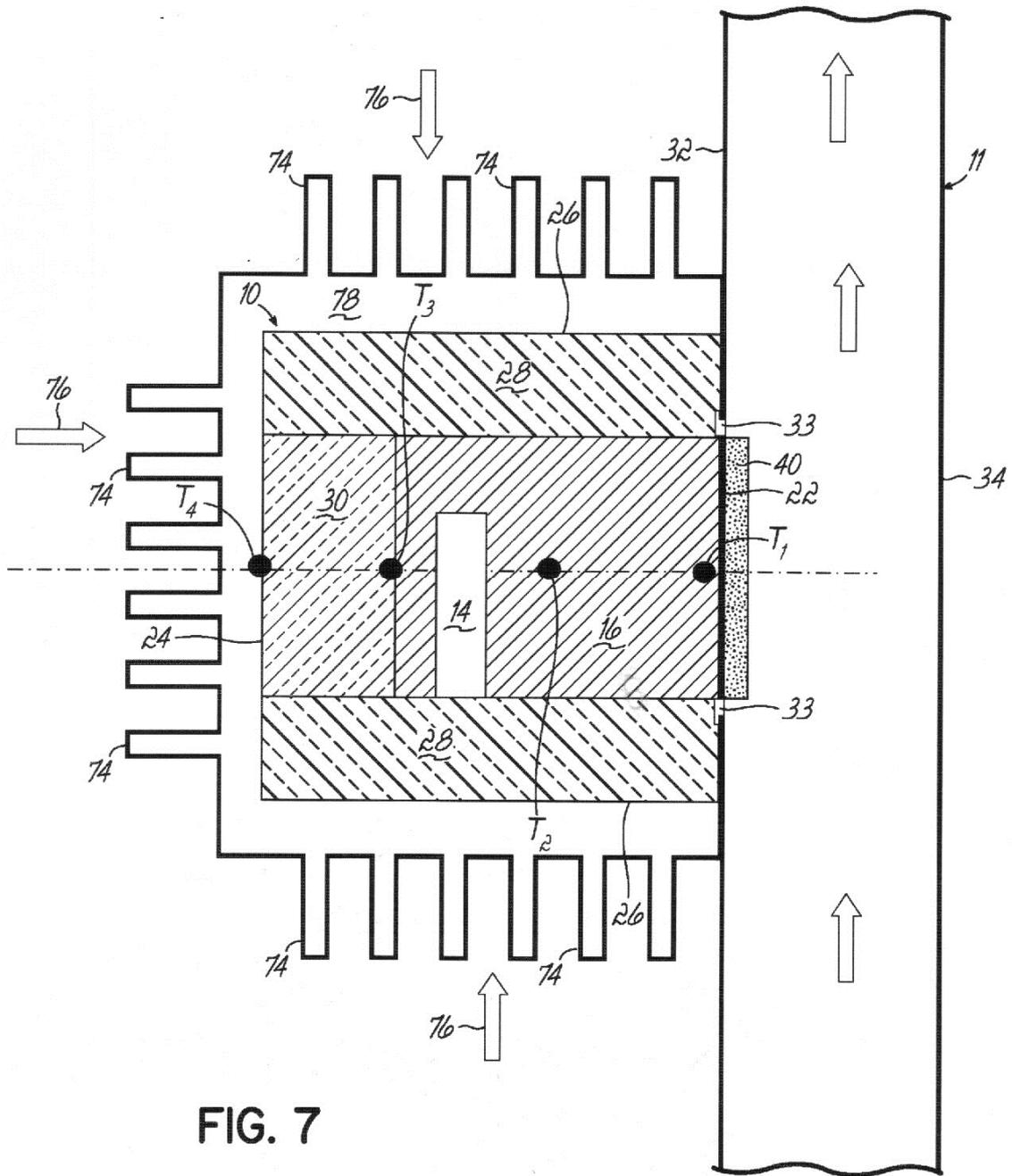


FIG. 7

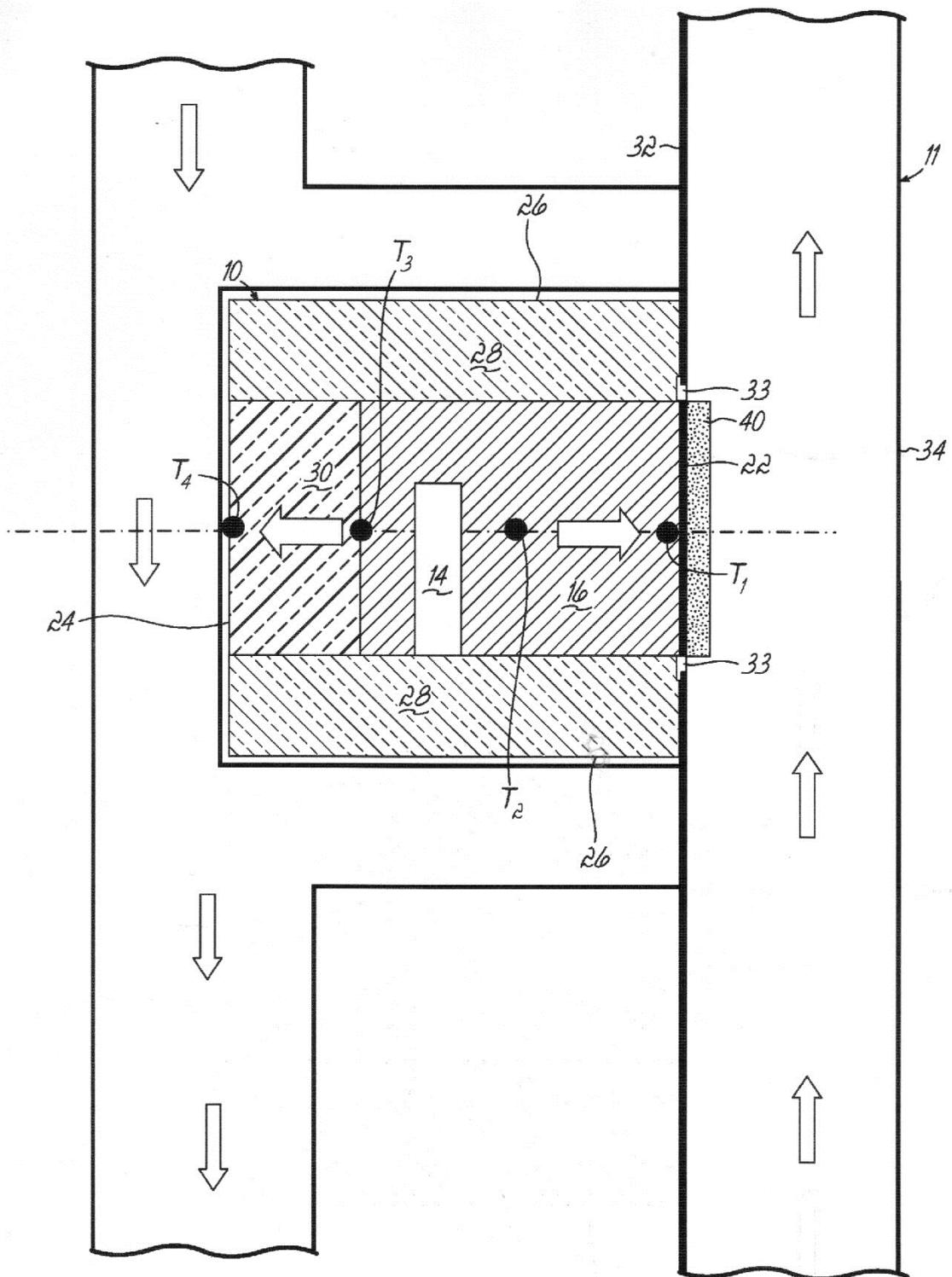


FIG. 8

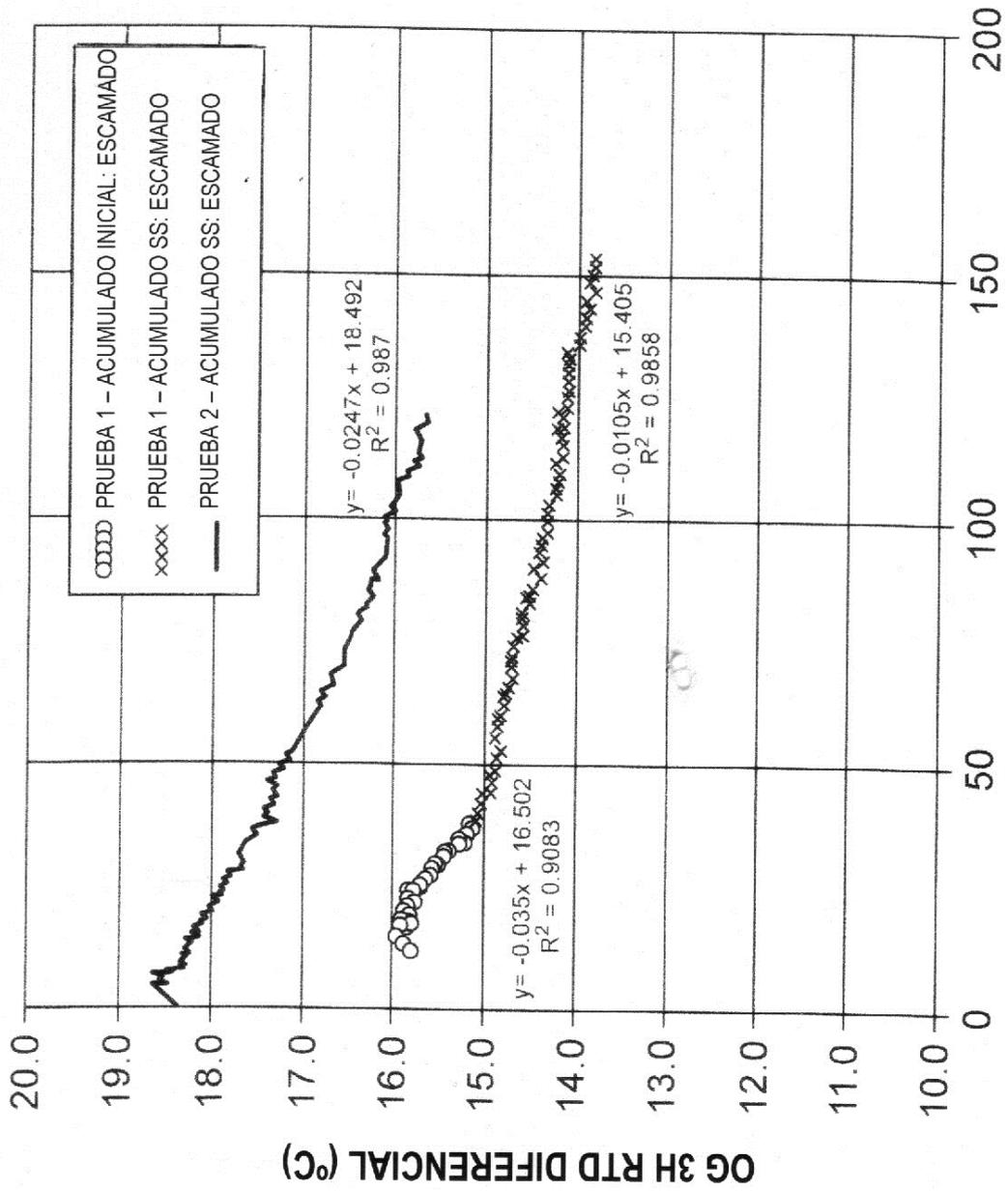


FIG. 9 ESPESOR DEL ESCAMADO (µm)

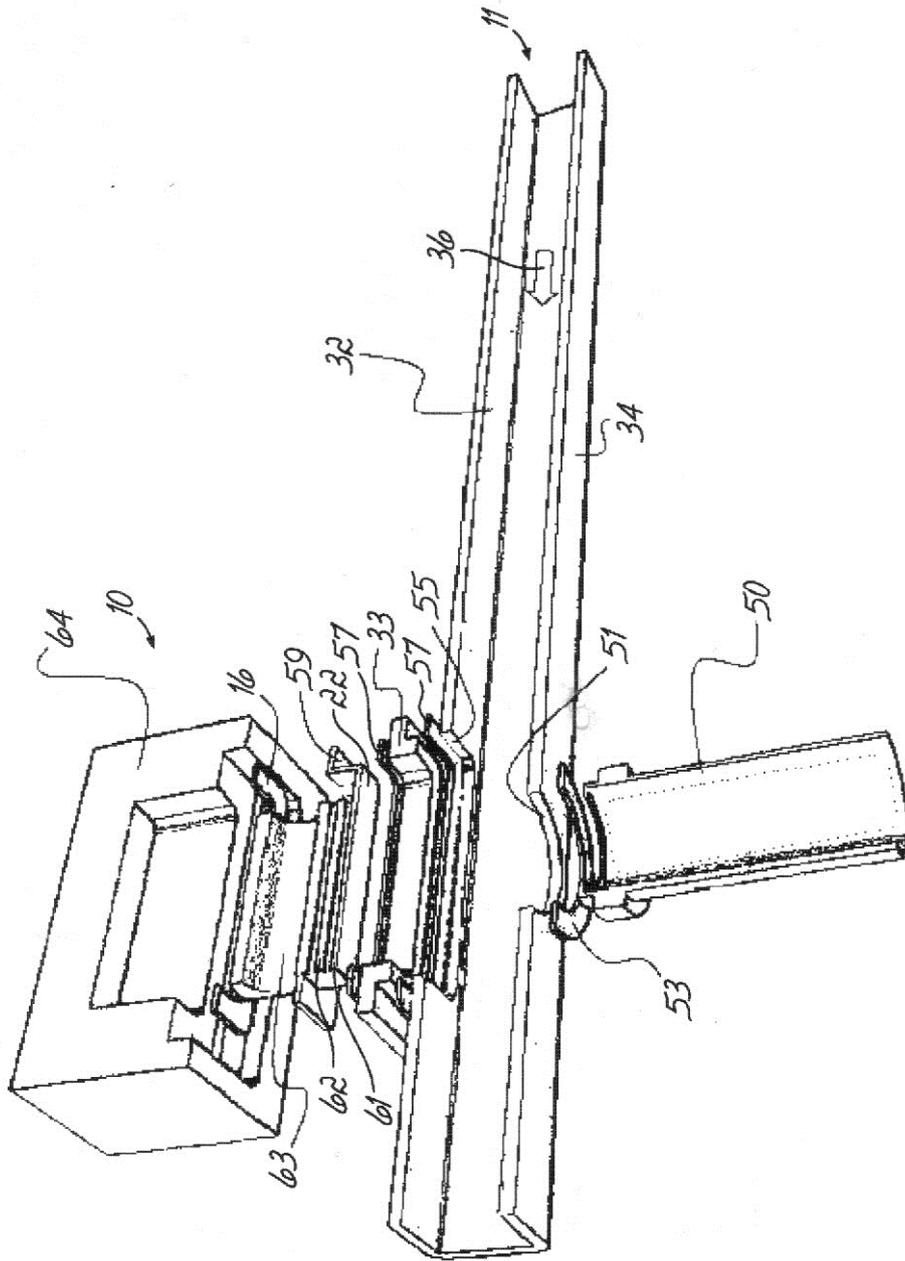


FIG. 10

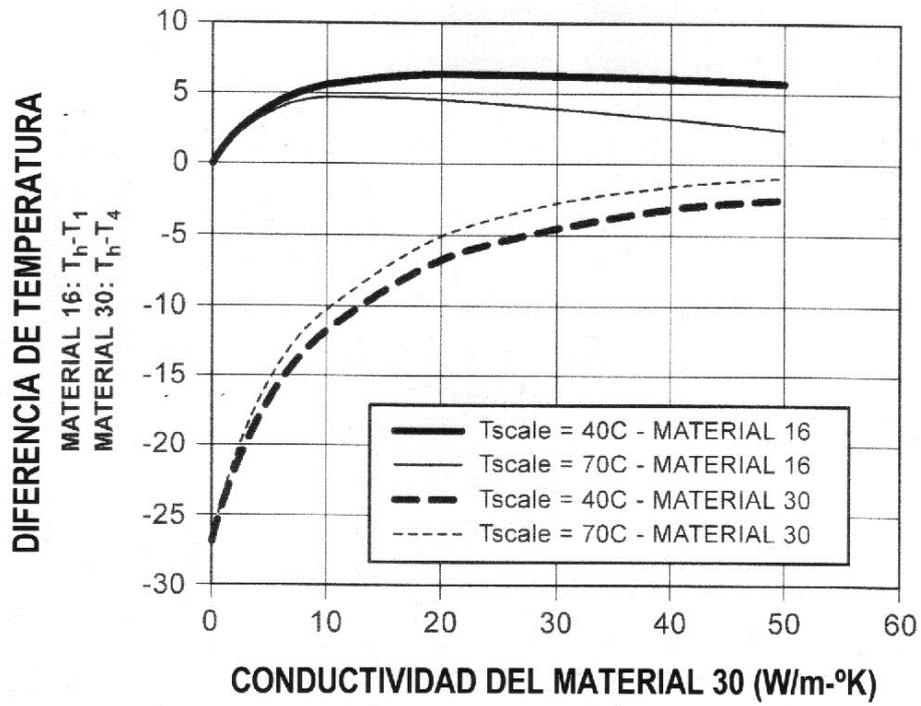


FIG. 12

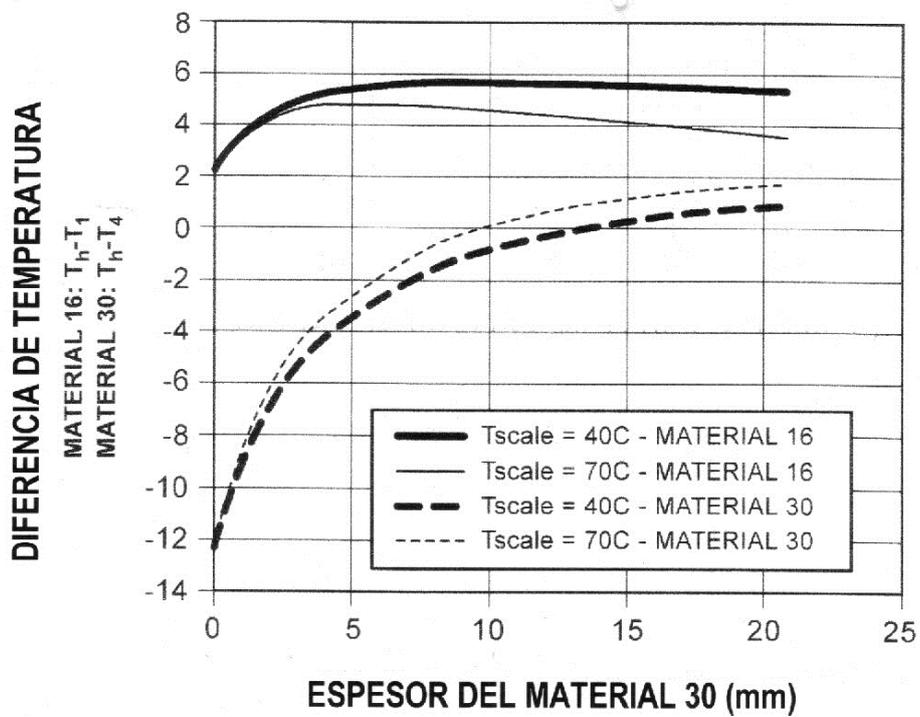


FIG. 13

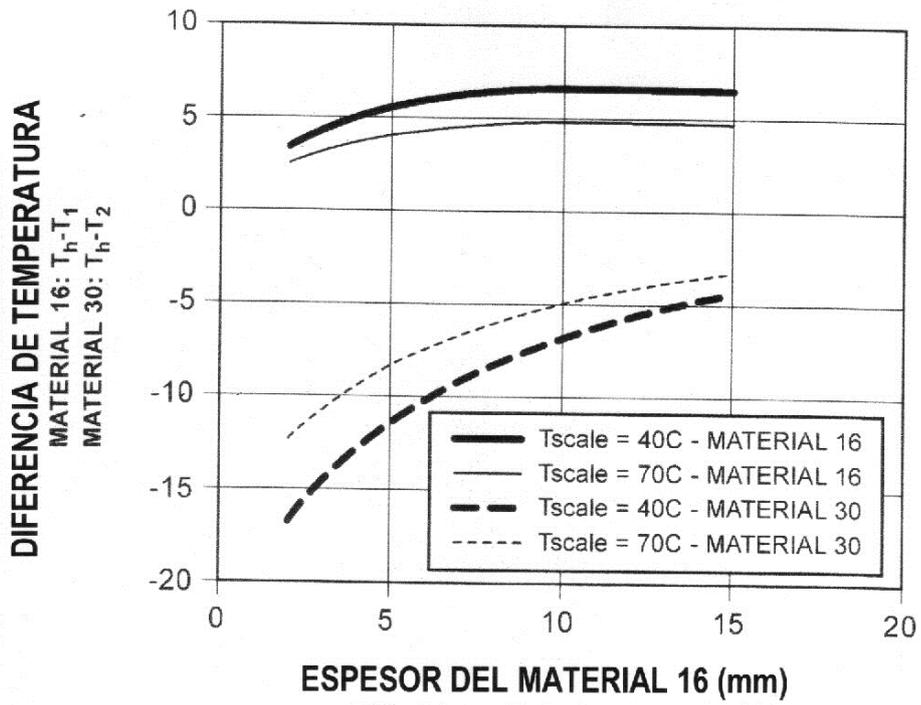


FIG. 14

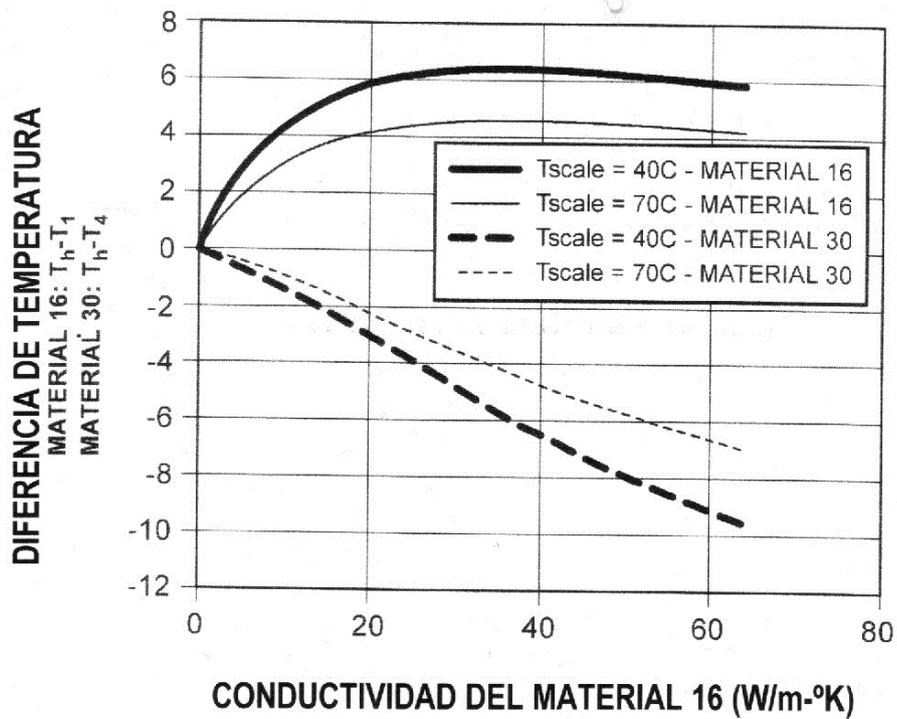


FIG. 15

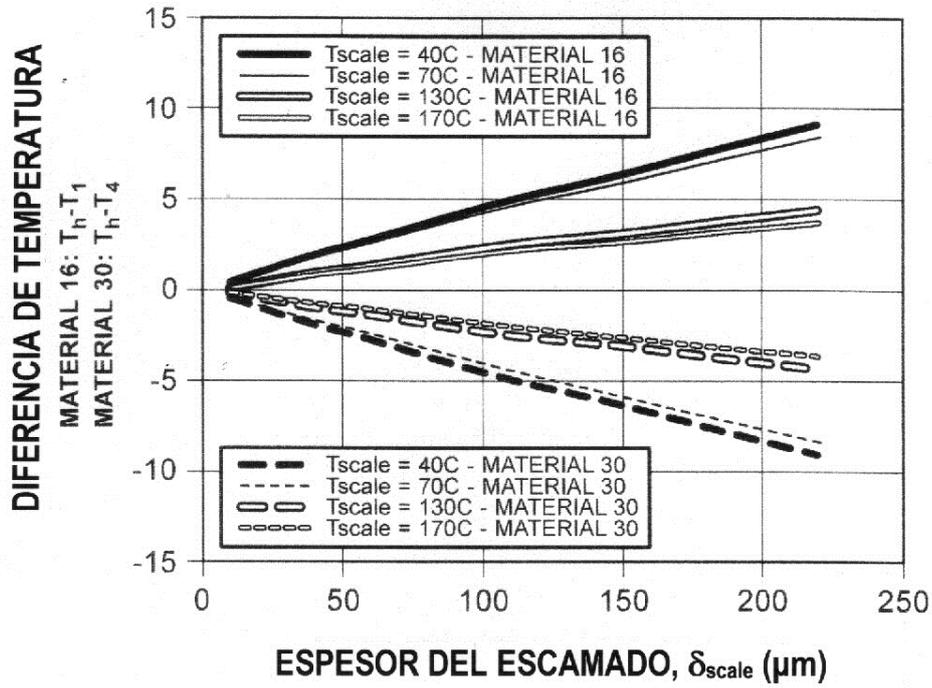


FIG. 16

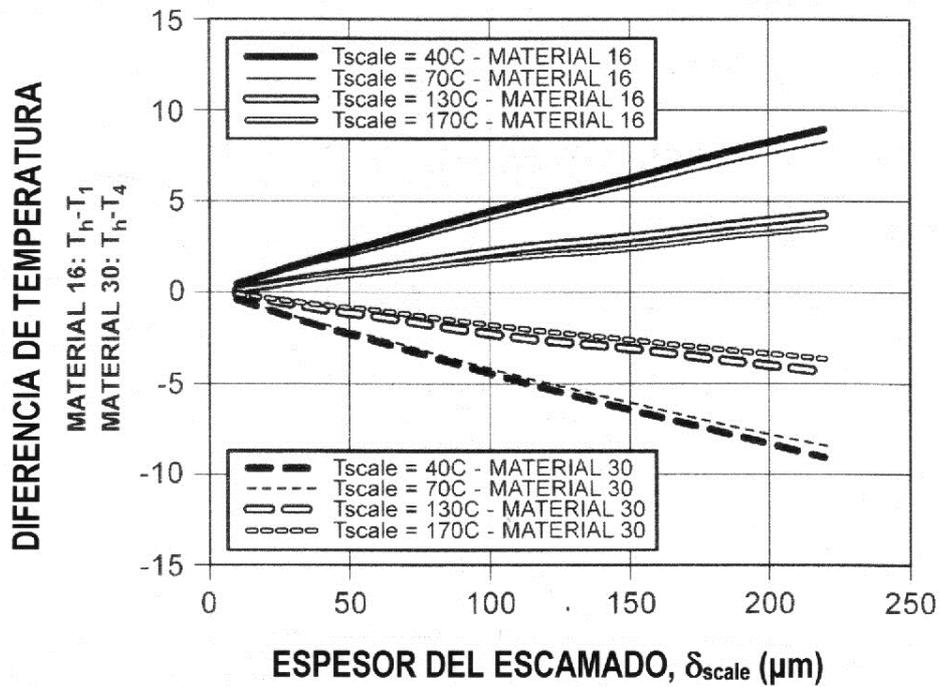


FIG. 17

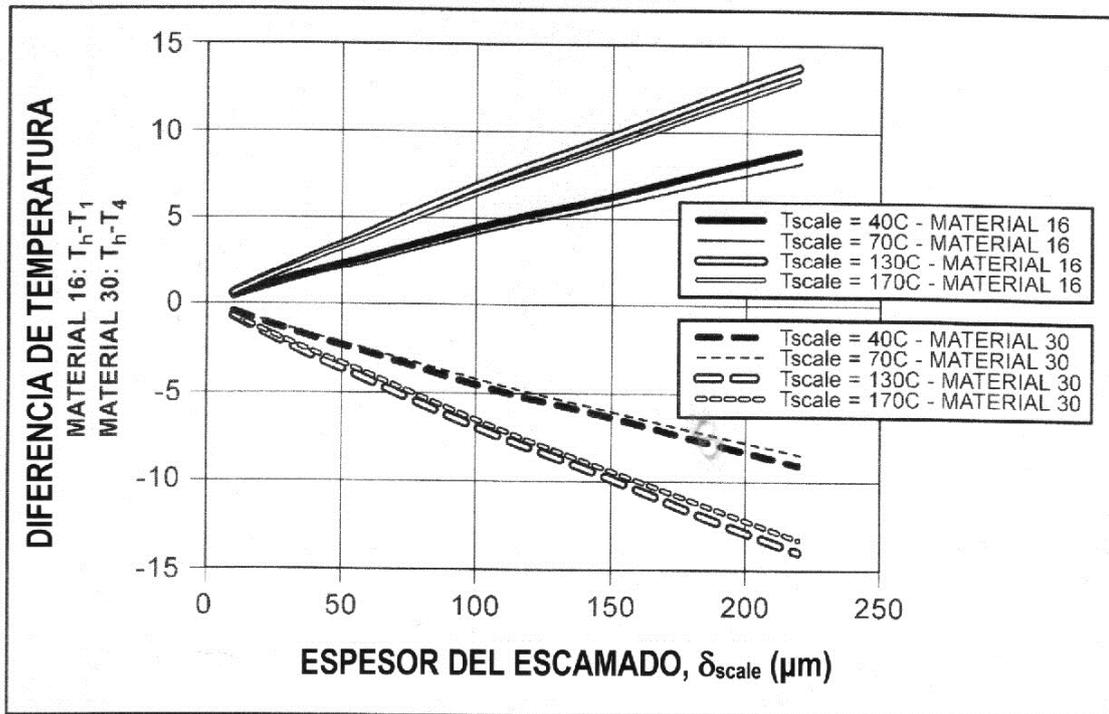


FIG. 18