



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 356 064**

51 Int. Cl.:
C02F 1/76 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **06740149 .7**

96 Fecha de presentación : **31.03.2006**

97 Número de publicación de la solicitud: **1869446**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **26.12.2007**

54 Título: **Aparato para supervisar el ensuciamiento de sistemas acuosos.**

30 Prioridad: **31.03.2005 US 666750 P**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
04.04.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
04.04.2011

73 Titular/es: **ASHLAND LICENSING AND
INTELLECTUAL PROPERTY L.L.C.
5200 Blazer Parkway
Dublin, Ohio 43017, US**

72 Inventor/es: **Hays, George, Freedman y
Hoernle, Eric, P.**

74 Agente: **Ungría López, Javier**

ES 2 356 064 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

Esta solicitud reivindica el beneficio de la Solicitud Provisional de Estados Unidos número 60/666.750, presentada el 31 de Marzo de 2005 y titulada Conjunto de prueba de transferencia de calor para un aparato para supervisar el ensuciamiento de sistemas acuosos.

5 Antecedentes

10 La industria del tratamiento químico del agua se ha implicado históricamente en la reducción o inhibición de las tendencias inherentes de formación de incrustaciones o ensuciamiento de aguas naturales asociadas con grandes sistemas industriales de agua refrigerante. Muchos de los componentes de suciedad hallados en los sistemas de agua se originan con el suministro entrante, pero algunos contaminantes entran en el sistema desde el entorno local o la contaminación del proceso.

15 El ensuciamiento es un fenómeno sumamente complejo. El ensuciamiento de una superficie de transferencia de calor se define como la deposición sobre una superficie de cualquier material que incremente la resistencia a la transferencia de calor. La tendencia a ensuciamiento de un fluido en contacto con una superficie de transferencia de calor es una función de muchas variables incluyendo los componentes del fluido, que, en el caso del agua, incluyen, entre otros, cristales, sedimento, productos de corrosión, crecimientos biológicos, contaminados de proceso, etc. Generalmente, los depósitos de suciedad incluyen una combinación de varios de estos materiales en relación, entre otras cosas, a la geometría de la superficie de transferencia de calor, materiales de construcción, temperatura, etc.

20 Si la tendencia a ensuciamiento de un sistema de agua refrigerante se puede prever exactamente antes de que una planta sea diseñada y construida, se pueden obtener significativos ahorros de capital mediante especificaciones más exactas del intercambiador de calor. Es práctica normal diseñar un intercambiador de calor con mayor área superficial de intercambio de calor para superar las pérdidas de rendimiento producidas por depósitos de ensuciamiento, representando a menudo dicha área superficial adicional más del veinte por ciento del área superficial real del intercambiador de calor. Cuando dicha práctica de diseño se emplea con titanio, acero inoxidable y materiales de construcción similares caros, se puede apreciar que los gastos de capital se podrían reducir de forma significativa si se pudiese desarrollar datos para anticipar y proporcionar un protocolo antisuciedad.

25 Las Patentes de Estados Unidos números 4.339.945 ('945), Re. 33.346 (Re. '346), 4.346.587 (Re. '587) y Re. 33.468 (Re. '468) describen un aparato móvil para supervisar y evaluar tendencias al ensuciamiento de fluidos, tal como el fluido de un sistema de agua refrigerante. El aparato móvil incluye un conjunto de prueba de transferencia de calor y conjuntos relacionados de conductos y válvulas para conexión en comunicación de flujo de fluido a un aparato de transferencia de calor para prueba de ensuciamiento in situ del fluido que pasa a su través, e incluye además un aparato de supervisión y registro. El conjunto de prueba de transferencia de calor incluye una varilla de calentamiento colocada coaxialmente dentro de un elemento tubular transparente para entrada de calor controlada. La varilla de calentamiento incluye un elemento de tubo rodeando una matriz aislante en la que se ha incrustado un elemento de calentamiento. El conjunto de prueba incluye además termopares para medir la temperatura de pared del elemento de calentamiento para permitir determinaciones de ensuciamiento a tasas variables de flujo con su supervisión y registro simultáneos conjuntamente con datos, tales como corrosión, pH, conductividad y análogos. La tendencia al ensuciamiento de un fluido puede ser evaluada por el paso de un fluido a través del conjunto de prueba de transferencia de calor bajo tasas controladas de flujo y salida de calor del elemento de calentamiento mediante la medición de las caídas de temperatura entre el elemento de tubo y el fluido para permitir una determinación de la resistencia de la formación de incrustaciones. Los aparatos cubiertos por las patentes '945, Re. '346, '587 y Re. '468 son comercializados por Drew Chemical de Ashland Inc, como el analizador P-U-L-S-E (sm).

Ralph L. Webb y colaboradores, Int. J. Heat and Mass Transfer, 43 (2000) 3567-3578 se refiere al fallo en tubos mejorados usando agua de torre de refrigeración.

45 Los sistemas actuales de agua refrigerante emplean comúnmente intercambiadores de calor que tienen tubos con mejores superficies de intercambio térmico (internas y externas). Los tubos del intercambiador de calor con superficies externas "mejoradas" a menudo tienen aletas externas para promover un intercambio térmico más eficiente, en particular donde la superficie externa está expuesta a un refrigerante de condensación. Los tubos del intercambiador de calor con superficies internas "mejoradas" tienen acanaladuras helicoidales internas similares a las espirales del cañón de una pistola, en particular donde la superficie interna está expuesta a un medio de enfriamiento acuoso. Tales mejoras, y en particular las acanaladuras internas, promueven la precipitación de sólidos de una corriente acuosa y proporcionan un entorno ideal para el crecimiento de biomasa. En un período bastante corto, las acanaladuras se pueden ensuciar con capa de suciedad rica en biomasa de tal manera que se neutralicen la mayor parte o todos los beneficios de la mejora del tubo.

55 Se ha hallado que los tubos internamente mejorados se bioensucian a tasas significativamente más rápidas y en mayor grado que los tubos de agujero liso. A la inversa, los tubos de agujero liso experimentan ensuciamiento inorgánico de precipitación/cristalización a una tasa más rápida que los tubos internamente mejorados. Los aparatos y métodos descritos en '945, Re. '346, '587 y Re. '468 son efectivos para evaluar exactamente las tendencias al ensuciamiento de fluidos en sistemas usando tubos lisos de intercambiador de calor. Sin embargo, los tubos de intercambiador

de calor mejorados tienden a bioensuciarse más rápidamente y en mayor grado que lo que indicarán las pruebas que usan los aparatos y métodos de prueba descritos en las patentes '945, Re '346, '587 y Re '468.

En vista de lo anterior, subsiste la necesidad de un aparato mejorado para supervisar el ensuciamiento en sistemas acuosos usando tubos de intercambiador de calor mejorados. En particular, se necesita un aparato que permita una detección más rápida del bioensuciamiento en sistemas acuosos que emplean tubos de intercambiador de calor mejorados. Adicionalmente, se necesita un sistema de supervisión que permita la detección directa y rápida del ensuciamiento de tubos de intercambiador de calor mejorados así como tubos lisos de intercambiador de calor.

Breve resumen

Aunque es conocido en la industria que los tubos de intercambiador de calor mejorados (es decir, agujero no liso) son más propensos al ensuciamiento que los tubos de intercambiador de calor de agujero liso, los autores de la presente invención han indicado algunos descubrimientos sorprendentes con respecto al ensuciamiento de los tubos de intercambiador de calor de agujero liso y mejorados. En particular, los autores de la presente invención han descubierto que:

- 1) El ensuciamiento inorgánico de precipitación/cristalización tiene lugar a una tasa más rápida en tubos de intercambiador de calor de agujero liso en comparación con tubos de intercambiador de calor mejorados del mismo material (es decir, los tubos mejorados son menos susceptibles a la formación de incrustaciones inorgánicas); y
- 2) El ensuciamiento microbiológico y el posterior atrapamiento de sólidos suspendidos por la suciedad biológica se produce mucho más rápidamente en tubos de intercambiador de calor mejorados que en tubos de agujero liso del mismo material.

Conocedores de que el bioensuciamiento tiene lugar más rápidamente en superficies no lisas que en superficies lisas, los autores de la presente invención han observado que el bioensuciamiento en un sistema acuoso incluyendo tubos de intercambiador de calor mejorados podría ser detectado más rápidamente si la varilla del calentador de un conjunto de prueba de transferencia de calor, tal como los conjuntos de prueba de las patentes '945 y '587, que tienen una superficie exterior lisa, estuviese provista de un elemento que tenga una superficie no lisa (es decir, mejorada) para recoger biopelícula, donde la superficie mejorada es la superficie interior del conducto anular de prueba. En sistemas acuosos que tienen tubos de intercambiador de calor con agujeros interiores no lisos ("mejorados"), la detección precoz del bioensuciamiento permitiría determinar la formación de biopelícula antes de la excesiva acumulación de biopelícula en los tubos de intercambiador de calor. Los inventores también observaron que el uso de una varilla mejorada como la superficie interior del conducto anular de prueba proporciona un entorno de modelado menos restringido que el tubo de intercambiador de calor actual con sus mejoras internas. Además, el uso de una varilla mejorada como la superficie interior del conducto anular de prueba proporciona la ventaja de poder observar visualmente el proceso de deposición y limpieza.

Con el fin de lograr los objetivos anteriores, se facilitan conjuntos de prueba de transferencia de calor para aparatos para supervisar y registrar el ensuciamiento de sistemas acuosos. También se describen aparatos de supervisión y registro incluyendo nuevos conjuntos de prueba de transferencia de calor según las realizaciones descritas más adelante.

Según una realización de referencia aquí descrita (es decir, una realización no según la invención), se facilita un conjunto de prueba de transferencia de calor para un aparato para supervisar y registrar el ensuciamiento de sistemas acuosos, donde el conjunto de prueba de transferencia de calor incluye:

un elemento de tubo exterior;

una varilla de calentamiento colocada coaxialmente dentro del elemento de tubo exterior, incluyendo dicha varilla de calentamiento medios para detectar una temperatura de pared de dicha varilla de calentamiento;

un manguito de tubo nervado montado coaxialmente sobre la varilla de calentamiento dentro del elemento de tubo exterior; y

un paso anular de flujo de fluido dispuesto entre el manguito de tubo y el elemento de tubo exterior.

La presente invención se refiere a un aparato para supervisar y registrar el ensuciamiento de sistemas acuosos que permite la categorización del tipo de suciedad detectada, incluyendo:

- (a) un conjunto de tubo (400) integrado o acoplado con un conjunto de supervisión y registro (500);
- (b) un conjunto de prueba de transferencia de calor (300) incluyendo:
 - (i) un elemento de tubo exterior (212);
 - (ii) una varilla de calentamiento (220) colocada coaxialmente dentro del elemento de tubo exterior (212),

incluyendo dicha varilla de calentamiento (220) medios para detectar una temperatura de pared de dicha varilla de calentamiento (220);

(iii) un conjunto de manguito de tubo (314) montado coaxialmente sobre la varilla de calentamiento (220) dentro del elemento de tubo exterior (212), donde dicho conjunto de manguito de tubo (314) incluye una sección de manguito nervada (330), una sección de transición de flujo situada hacia arriba (340) colocada hacia arriba y unida a tope contra un extremo situado hacia arriba de la sección de manguito nervada (330),

y una sección de transición de flujo situada hacia abajo (350) colocada hacia abajo y unida a tope contra un extremo situado hacia abajo de la sección de manguito nervada (330); y

(iv) un paso anular de flujo de fluido (228) dispuesto entre el conjunto de manguito de tubo (314) y el elemento de tubo exterior (212);

donde el conjunto de prueba de transferencia de calor (300) está dispuesto dentro del conjunto de tubo (400); y

(c) un conjunto adicional de prueba de transferencia de calor dispuesto dentro del conjunto de tubo (400), donde el conjunto adicional de prueba de transferencia de calor incluye:

(i) un elemento de tubo exterior adicional;

(ii) una varilla de calentamiento adicional colocada coaxialmente dentro del elemento de tubo exterior, incluyendo dicha varilla de calentamiento adicional medios para detectar una temperatura de pared de dicha varilla de calentamiento adicional, donde dicha varilla de calentamiento adicional incluye una superficie exterior lisa; y

(iii) un paso anular de flujo de fluido dispuesto entre la varilla de calentamiento adicional y el elemento de tubo exterior adicional;

donde el conjunto de prueba de transferencia de calor (300) está dispuesto en paralelo con el conjunto adicional de prueba de transferencia de calor (400).

Se puede utilizar un conjunto de prueba incluyendo una varilla mejorada como se ha descrito anteriormente incorporada en una sección de prueba de transferencia de calor de corriente lateral para detectar rápidamente la aparición de ensuciamiento así como hacer el seguimiento de las mejoras de limpieza hasta la terminación. Esta capacidad puede proporcionar mejoras en el control de supervisión basado en rendimiento para aguas refrigerantes. Cuando se usa en unión con el supervisor de tubos de agujero liso (es decir, un monitor con una varilla lisa como se describe en las Patentes de Estados Unidos números 4.339.945, Re. 33.346, 4.346.587 y Re. 33.468) en paralelo, el supervisor de tubos mejorados (es decir, un supervisor con una varilla mejorada) permite la categorización del tipo de suciedad detectado. Así, se pueden implementar el método apropiado de mitigación y selección química.

Las capacidades de supervisión de los sistemas que emplean el conjunto de prueba de tubos mejorados descrito promueven la rápida detección y caracterización de la suciedad, y permiten medidas proactivas de tratamiento correctivo que pueden evitar las excesivas pérdidas de transferencia de calor y el desarrollo de corrosión localizada. Esta tecnología de supervisión y control de la suciedad deberá permitir una aceptación y aplicabilidad más amplias del uso de tubos de intercambiador de calor mejorados en la industria de agua refrigerante. Aunque los dispositivos y sistemas aquí descritos se describen generalmente en el contexto de un fluido acuoso de transferencia de calor que circula a través de un intercambiador de calor, se entenderá que los dispositivos y sistemas son aplicables a cualquier fluido de transferencia de calor incluyendo hidrocarburos, soluciones salinas eutécticas y análogos, que circulan a través de un recipiente en relación de transferencia de calor donde el ensuciamiento es un problema.

Características y ventajas adicionales serán evidentes por la descripción siguiente y los dibujos.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es una vista en sección transversal en alzado de un conjunto de prueba de transferencia de calor de referencia según una realización.

La figura 2 es una vista en perspectiva que representa los componentes del conjunto de prueba de transferencia de calor de referencia de la figura 1 en un estado desmontado.

La figura 3 es una vista en sección transversal en alzado de un conjunto de prueba de transferencia de calor según otra realización.

Las figuras 4A-4C son vistas en perspectiva que representan los componentes del conjunto de prueba de transferencia de calor de la figura 3 en un estado desmontado.

Las figuras 5-7 son gráficos que representan datos de ensuciamiento experimentales para un conjunto de

prueba de transferencia de calor con una varilla lisa y un conjunto de prueba de transferencia de calor con una varilla mejorada en varias condiciones.

La figura 8 es un diagrama de tubos de un aparato incluyendo el conjunto de prueba de transferencia de calor de referencia.

5 La figura 9 es un diagrama esquemático de un proceso y aparato para probar de forma continua, supervisar y registrar datos relativos al conjunto de prueba de transferencia de calor así como para supervisar y registrar datos relacionados con la corrosión, conductividad, pH y análogos.

Descripción detallada

10 Con referencia a las figuras 1 y 2, se ilustra un conjunto de prueba de transferencia de calor de referencia según una realización, generalmente indicado como 200. El conjunto de referencia 200 incluye generalmente un elemento transparente de tubo exterior 212, un manguito de tubo nervado 214 colocado coaxialmente dentro del elemento de tubo 212, y una varilla de calentamiento de forma cilíndrica 220 colocada coaxialmente dentro del manguito de tubo 214. En otros términos, el manguito de tubo 214 está montado sobre la varilla de calentamiento 220 dentro del elemento de tubo 212. La varilla de calentamiento 220 está formada de un elemento tubular 222 en el que un elemento de calentamiento 224 está incrustado dentro de una matriz aislante 226, tal como óxido de magnesio. La varilla de calentamiento 220 y el manguito de tubo 214 están colocados coaxialmente dentro del elemento de tubo 212 para formar un paso anular de flujo de fluido 228 entre el manguito de tubo 214 y el elemento de tubo 212. En el elemento tubular 222 de la varilla de calentamiento 220 están dispuestos simétricamente una pluralidad de termopares de superficie 227 generalmente dispuestos en posiciones correspondientes a las horas 3, 6, 9 y 12 del reloj para detectar la temperatura de pared del elemento tubular 222 en el mismo plano en sección transversal.

20 El elemento de tubo 212 está formado de cualquier material transparente adecuado, tal como vidrio, para permitir la observación visual del flujo así como la formación de suciedad 225 alrededor de la superficie de la varilla de calentamiento 214. El elemento de tubo 222 de la varilla de calentamiento 220 está formado de un material metálico, tal como acero inoxidable, cobre, titanio, acero dulce, metal de almirantazgo o análogos, dependiendo del fluido a comprobar inicialmente por el paso a través del conjunto de prueba de referencia 200, o en el caso de unidades existentes de un material metálico análogo como el de la unidad. Se usa normalmente acero inoxidable para aplicación normal de agua refrigerante mientras que se emplea metal de almirantazgo para aplicaciones de agua del mar y agua salobre. El manguito de tubo 214 se forma preferiblemente de cobre o aleación de cobre, pero se puede formar de otro material metálico, tal como acero inoxidable, titanio, acero dulce, metal de almirantazgo o análogos, dependiendo del fluido a comprobar inicialmente por el paso a través del conjunto de prueba de referencia 200, o en el caso de unidades existentes de un material metálico análogo como el de la unidad. Para prueba de tubos de intercambiador de calor mejorados, la varilla del calentador 222 y el manguito mejorado 214 se deberá hacer de la misma metalurgia para evitar la corrosión galvánica.

35 El manguito de tubo 214 incluye una pluralidad de nervios helicoidales 216 en su superficie exterior, que se extienden preferiblemente al menos sobre una zona del manguito 214 que rodea la sección calentada 229 de la varilla de calentamiento 220. Según una realización, la sección calentada 229 tiene aproximadamente 5,5 pulgadas (14 cm) de largo, y los nervios helicoidales 216 se extienden correspondientemente alrededor de una sección de 5,5 pulgada (14 cm) de largo del manguito 214. Sin embargo, los nervios 216 se pueden extender en toda la longitud del manguito 214. La varilla de calentamiento 220 y el manguito de tubo 214 se pueden denominar conjuntamente una "varilla mejorada" en base a la provisión de nervios o mejoras en la superficie exterior del manguito de tubo 214.

40 Como se describe más plenamente a continuación, la tendencia al ensuciamiento de un fluido puede ser evaluada por el paso de un fluido a través del conjunto de prueba de transferencia de calor de referencia 200 a tasas controladas de flujo y salida de calor del elemento de calentamiento 224 mediante la medición de las caídas de temperatura (Δt_s) entre el manguito de tubo 214 y el fluido para permitir una determinación de la resistencia (R) de la formación de suciedad 225. Con referencia a la figura 8, el conjunto de prueba de transferencia de calor de referencia 200 se coloca dentro de un conjunto de tubo 400. El conjunto de tubo 400 puede estar integrado o acoplado con un conjunto de supervisión y registro 500, como se representa en la figura 9, incluyendo componentes del conjunto de tubo dispuestos en una estructura de soporte (no representada) para colocación dentro de un depósito móvil (no representado), tal como un trailer, furgoneta o análogos, para facilitar el movimiento de un lugar a otro para probar un fluido que pasa a través de una unidad tal como un reactor de intercambiador de calor o análogos. El depósito puede incluir capacidades de entorno para proporcionar condiciones preseleccionadas de temperatura, humedad y análogos para asegurar el funcionamiento apropiado de las varias unidades del conjunto de supervisión y registro 500.

55 La figura 8 ilustra el conjunto de tubo 400 incluyendo el conjunto de prueba de transferencia de calor de referencia 200. Con el fin de proporcionar un rango suficiente de velocidades de flujo se puede usar una pluralidad de conjuntos de prueba de transferencia de calor de referencia 200 de diámetros diferentes para la introducción intercambiable del conjunto de tubo 400.

El conjunto de tubo 400 incluye un conducto de entrada 402 controlado en comunicación de flujo de fluido con un conducto de entrada 406 del conjunto de prueba bajo el control de una válvula de entrada motorizada 404. La válvula

404 puede ser una válvula de tipo proporcional integral derivado (PID) para asegurar el flujo a un valor preseleccionado. Un termopar de fluido en masa 408 está dispuesto en el conducto de entrada 406 del conjunto de prueba para supervisar la temperatura del fluido que entra en el conducto de entrada 402. El conjunto de tubo incluye además un conducto de salida 410 del conjunto de prueba que está selectivamente en comunicación de flujo de fluido con un conducto 412 que conduce a una célula de flujo 420 o un conducto de derivación 414 que conduce bajo el control de una válvula de derivación de tres vías 416. La célula de flujo 420 incluye un conducto 422 y un transmisor de flujo de rueda de paletas 424, un sensor de corrosión 426, un sensor de conductividad 428, un sensor de pH 430 y un sensor de oxidación-reducción-potencial (ORP) 432 conectado al conducto 422 por una pluralidad de sondas. El extremo de salida del conducto 422 está selectivamente en comunicación de fluido con el conducto de salida 434 del conjunto de tubo bajo la influencia de una válvula de tres vías 436. El conducto de derivación 414 también está en comunicación selectiva de flujo de fluido con el conducto de salida 434 bajo el control de la válvula 436 para permitir que el fluido deje en derivación la célula de flujo 420 cuando sea necesario. El fluido que entra en el conducto de salida 434 es descargado del conjunto de tubo 400 de nuevo al sistema supervisado bajo el control de la válvula de aislamiento 438. El fluido excedente que quede en el conjunto de tubo 400 después de la operación puede ser drenado por conductos 412 y 422 a través de la válvula de drenaje 440.

La figura 9 representa un conjunto de supervisión y registro 500 que incluye o está conectado al conjunto de tubo 400. El conjunto de supervisión y registro 500 incluye un controlador lógico programable (PLC) 501 y un ordenador personal (PC) 502. Un conjunto de entrada de potencia 503 para alimentar el PLC 501 y los supervisores 426, 428, 430 y 432 incluye un conector de entrada de 440Vac 512 y un conector de entrada de 220Vac 514 conectados a un transformador 506 a través de un interruptor de potencia 504. El transformador 506 proporciona potencia de 220 voltios aislada a un distribuidor eléctrico 508, que distribuye potencia por separado al PLC 501, los supervisores 424, 426, 428, 430 y 432 y un controlador de potencia de estado sólido 510. El interruptor 504 permite automáticamente que solamente uno de los conectores de entrada 512, 514 suministre potencia en un tiempo dado.

El controlador de potencia de estado sólido 510 suministra potencia a la varilla de calentamiento 220 del conjunto de prueba de referencia 200. El controlador de potencia 510 también genera un nivel de señal de potencia representativo del nivel de potencia del elemento de calentamiento 220 y transmite el nivel de señal de potencia a un convertidor analógico a digital (no representado) del PLC 501.

Unos termopares 227 y 408 generan señales de temperatura T_1 - T_4 y T_B , respectivamente, y transmiten las señales de temperatura a un módulo de termopar (no representado) dentro del PLC 501. La medición de las caídas de temperatura entre la pared del manguito de tubo 214 y el fluido (Δt_s , explicado anteriormente) se lleva a cabo por las lecturas de las señales T_1 , T_2 , T_3 y T_4 de los termopares de pared 227 en función de la lectura de señal T_B de termopar de masa de agua 408. El transmisor de flujo 424 genera una señal analógica representativa de la tasa de flujo de fluido en la célula de flujo 420 y transmite la señal a un módulo analógico (no representado) dentro del PLC 501. El transmisor de flujo 424, el sensor de corrosión 426, el sensor de conductividad 428, el sensor de pH 430 y el sensor ORP 432 están conectados al módulo analógico (no representado) del PLC 501 y por ello transmiten señales analógicas al PLC 501.

Como es conocido en la técnica, el PLC 501 proporciona una señal de control PID para la válvula de control de flujo 404 y proporciona por separado una señal PID para el controlador de potencia de estado sólido 510. Adicionalmente, el PLC 501 registra y guarda conjuntos de datos con sello de tiempo. Estos datos son transmitidos al ordenador 502 para registro en un marco de tiempo referenciado. El ordenador puede estar conectado mediante módem o red (no representado) para transmitir los datos a lugares remotos.

En la operación, el conjunto de supervisión y registro 500 se coloca en un conjunto de soporte adecuado y se encierra en un depósito medioambiental autónomo, y se hace que se coloque junto a una unidad de operación o proceso tal como un intercambiador de calor o digestor de deslignificación, respectivamente, empleando un fluido en el que comprobar, entre otros, las tendencias de ensuciamiento para permitir la evaluación y desarrollar un protocolo antisuciedad. Una fuente de potencia está conectada al conjunto de entrada de potencia 503 y un conducto flexible 40 está colocado en comunicación de flujo de fluido con la unidad de operación o proceso, generalmente en su lado situado hacia arriba. Como se representa en la figura 8, el fluido circulante se hace fluir mediante el conducto 40 al conjunto de tubo 400 por el control de la válvula 404, y después secuencialmente a través del conjunto de prueba de referencia 200 mediante el conducto 406, fuera del conjunto de prueba de referencia 200 y a través de la célula de flujo 420 mediante el conducto 412. El fluido es descargado a continuación del conducto de salida 434 a desperdicio, o a la unidad de operación o proceso.

Durante la operación, se suministra potencia al elemento de calentamiento 224 del conjunto de prueba 200, supervisándose la temperatura del elemento tubular 222 tomando mediciones en cada uno de los cuatro termopares de pared 227. Se calcula un factor de ensuciamiento medio en base a las mediciones tomadas en los cuatro termopares de pared 227. Uno de los termopares 227 se usa para supervisar la temperatura de la varilla de calentamiento 220 para una función de corte a temperatura alta, que corta la potencia al elemento de calentamiento 224 para seguridad en el caso de que la temperatura de la varilla de calentamiento 220 sea demasiado alta. Simultáneamente, la temperatura de la masa de fluido es supervisada por el termopar 408 conjuntamente con la supervisión de la velocidad del fluido por el transmisor de flujo 424 para determinar qué efectos, si los hay, tiene la velocidad en el ensuciamiento en condiciones operativas dadas. La velocidad del agua es controlada por la válvula de control de flujo 404.

5 Como se ha indicado anteriormente, los termopares de pared 227 y el termopar de temperatura del agua 408 están conectados al convertidor analógico (no representado) del PLC 501 para convertir señales analógicas eléctricas a señales digitales de salida que son transmitidas para registro a la impresora de ordenador, bien entendido que la impresora de ordenador es capaz de efectuar cierto cálculo para generar datos calculados, tal como un coeficiente y/o factor de ensuciamiento. Tal factor de ensuciamiento se relaciona en el tiempo con datos del sensor ORP 426, el sensor de conductividad 428, el supervisor de pH 430 y el supervisor de corrosión 432. De esta manera, varios datos son recogidos simultáneamente de factores relativos al ensuciamiento, etc, tomando la acción antisuciedad correctiva si lo indican los datos registrados.

10 Antes o durante una operación de prueba, se puede usar un modo de derivación del conjunto de tubo 400 para que el operador pueda comprobar y/o ajustar la calibración del transmisor de flujo 424 y los sensores 426, 428, 430 y 432 sin parar el flujo de fluido a través del conjunto de prueba de referencia 200. Así, la integridad de cualquier depósito sucio en la varilla de calentamiento 220 del conjunto de prueba 200 puede ser mantenida durante la calibración del equipo. En modo de derivación, el fluido entra en el conducto de entrada 402, fluye a través del conducto 406 y el conjunto de prueba de referencia 200, después sale del conjunto de prueba 200 a través del conducto 410, y a continuación fluye a través del conducto de derivación 414 y sale por el conducto de salida 434. El modo de derivación se usa primariamente para operaciones de ensuciamiento prolongadas, tal como operaciones de ensuciamiento que se prolongan más de 30 a 60 días. Los conjuntos de supervisión y registro móviles raras veces emplearán la operación de derivación, puesto que tales conjuntos se usan generalmente para períodos más cortos de 14 a 45 días.

20 Después de registrar dichos datos, el conjunto de tubo 400 se desconecta de la unidad de operación o proceso cerrando las válvulas 404, 438 y 440, y desconectando el conducto 40 de la fuente de fluido. A continuación, el conjunto de supervisión y registro 500 y el conjunto de tubo 400 se pueden mover fácilmente a otra posición dentro de la planta o a otra planta.

25 Según realizaciones alternativas, el conjunto de prueba de transferencia de calor de referencia 200 se puede incorporar en un conjunto de tubo y/o conjunto de supervisión y registro tal como los descritos en las Patentes de Estados Unidos números 4.339.945 ('945), Re. 33.346 (Re. '346), 4.346.587 y Re. 33.468 (Re. '468).

30 Otra realización de un conjunto de prueba de transferencia de calor, indicada con el número de referencia 300, se representa en las figuras 3-4C. El conjunto 300 es similar al conjunto de referencia 200, excepto que el conjunto 300 incluye un conjunto de manguito de tubo 314 en lugar del manguito de tubo 214. Como se representa en las figuras 3-4C, el conjunto de manguito de tubo 314 incluye tres secciones separadas: una sección de manguito nervada mejorada 330; una sección de transición de flujo situada hacia arriba 340 colocada hacia arriba y unida a tope contra un extremo situado hacia arriba de la sección de manguito nervada 330; y una sección de transición de flujo situada hacia abajo 350 colocada hacia abajo y unida a tope contra un extremo situado hacia abajo de la sección de manguito mejorada 330. La sección de manguito nervada 330 incluye nervios helicoidales 332 en su superficie exterior, y está situada preferiblemente encima y tiene una longitud sustancialmente igual a la longitud de la sección calentada 229 de la varilla de calentamiento 220. Las secciones de transición de flujo 340 y 350, que tienen superficies exteriores lisas, minimizan la turbulencia de transición del fluido que fluye sobre el conjunto de manguito 314. La sección de transición de flujo situada hacia arriba 340 está preferiblemente ahusada desde un diámetro exterior más pequeño a un diámetro exterior más grande desde su extremo situado hacia arriba a su extremo situado hacia abajo. El diámetro exterior del extremo situado hacia abajo de la sección de transición de flujo situada hacia arriba 340 y el diámetro exterior del extremo situado hacia arriba de la sección de transición de flujo situada hacia abajo 350 concuerdan preferiblemente con el diámetro exterior (es decir, el diámetro en la base de los nervios 332) de la sección de manguito mejorada 330 para proporcionar características de flujo de fluido suave. La varilla de calentamiento 220 y el conjunto de manguito de tubo 314 se pueden denominar conjuntamente una varilla mejorada.

45 El conjunto de manguito de tubo 314 es de costo de fabricación más razonable y más fácil de instalar sobre la varilla de calentamiento 220 que el manguito unitario 214. La varilla de calentamiento 220, según algunas realizaciones, puede ser de aproximadamente 22 pulgadas (56 cm) de largo. La varilla 220 puede no ser totalmente recta y se puede curvar o flexionar bajo su propio peso o durante el uso. Por lo tanto, en ciertos casos, puede ser difícil encajar el manguito de tubo unitario 214 sobre la varilla de calentamiento 220. Adicionalmente, es más costoso y difícil de fabricar el manguito de tubo 214 con un agujero consistente sobre dicha longitud larga. Proporcionando tres secciones separadas, el conjunto de manguito de tubo 314 es más fácil de fabricar e instalar.

50 Según algunas realizaciones, un manguito de tubo 214 o sección de manguito mejorada 330 puede incluir nervios 216 o 332 que tienen las propiedades siguientes:

Ángulo de hélice (α):	29,3 grados
Altura de nervio (e):	0,0113 pulgadas (0,0287 cm)
Paso axial de nervio (P):	0,234
Número de inicios (n_s):	31
Valor P/e:	20,7

Diámetro del tubo encima

del nervio (De): 0,527 pulgadas (1,339 cm)

Valor e/De: 0,021

5 La superficie exterior del manguito de tubo 214 o la sección de manguito 330 se bioensuciará a una tasa más rápida que si fuese una superficie lisa. El potencial de ensuciamiento del manguito 214 o la sección de manguito 330 aumenta cuando se incrementa n_s (n_s es el número de acanaladuras o ranuras entre nervios adyacentes), donde $n_s \geq 30$ es más susceptible a ensuciamiento. El potencial de ensuciamiento del manguito 214 o la sección de manguito 330 también aumenta cuando el ángulo de hélice (α) aumenta, donde el valor de $\alpha \geq 35$ grados es más susceptible a bioensuciamiento. Adicionalmente, el potencial de ensuciamiento aumenta cuando disminuye la relación de paso axial de nervio (P) a altura de nervio (e), específicamente donde las relaciones de P/e 4,0 son más susceptibles a bioensuciamiento. Además, la susceptibilidad al ensuciamiento aumenta con una menor altura de nervio (e) a diámetro del tubo en la base (De) (es decir, el diámetro en la base de un nervio).

15 Las mejores tendencias al ensuciamiento del manguito de tubo 214 y el conjunto de manguito de tubo 314 se obtienen por zonas de recirculación a menor velocidad en las regiones axiales entre los nervios 216, 332. Estas zonas producen una resistencia al arrastre más alta que da lugar a un menor esfuerzo de cizalladura superficial. Así, el manguito nervado 214 o la sección de manguito 330 incrementa la tasa de deposición de suciedad, y el perfil de resistencia al arrastre asociado con los nervios 216, 332 no contribuye al proceso de extracción de depósitos.

Las ventajas de los aparatos y sistemas descritos se exponen en los ejemplos experimentales siguientes:

Ejemplos

20 Se adaptó un banco de pruebas para tener dos secciones de intercambiador de calor de prueba funcionando en paralelo en el mismo sistema de refrigeración. Una sección de prueba estaba equipada con un conjunto de manguito de tubo mejorado (con nervios helicoidales) como el descrito en la realización de las figuras 3-4C. La sección mejorada del conjunto de manguito de tubo tenía las características siguientes:

Ángulo de hélice (α): 29,3 grados

25 Altura de nervio (e): 0,0113 pulgadas (0,0287 cm)

Paso axial de nervio (P): 0,234

Número de inicios (n_s): 31

Valor P/e: 20,7

Diámetro del tubo encima

30 del nervio (De): 0,527 pulgadas (1,339 cm)

Valor e/De: 0,021

35 La otra sección de prueba usaba una varilla de calentamiento estándar (es decir, varilla de calentamiento 220 sin un conjunto mejorado de manguito de tubo/manguito de tubo). Desde este punto en adelante, por razones de sencillez, la sección de prueba con el conjunto de manguito de tubo mejorado y la sección de prueba sin el conjunto de manguito de tubo se denominarán la "varilla mejorada" y la "varilla lisa", respectivamente. El protocolo de prueba exigía que ambos tubos fuesen de la misma metalurgia de cobre y emulasen las mismas condiciones de flujo del lado de tubo, que eran una velocidad de 5 pies/s (1,6 m/s) y una temperatura superficial de 95-100°F (35-37,8°C). Inicialmente, se realizó una prueba base con agua de ciudad que no se dejó concentrar. Esta prueba se realizó para demostrar que el protocolo estaba formado adecuadamente. Se realizaron pruebas posteriores con agua de ciudad que fue concentrada naturalmente por el sistema a un nivel de 5 ciclos de concentración.

45 El banco de pruebas consistía en una torre de refrigeración, una bomba de circulación, un pequeño intercambiador de calor de agua a agua, que se usa para suministrar una carga de calor para poder concentrar el agua de la torre, y una versión de laboratorio del analizador P-U-L-S-E (sm) de Ashland, que consta de tres secciones de prueba de transferencia de calor independientes paralelas. El sistema tenía un volumen operativo de 0,22 m³ (58 galones), una temperatura del agua fría de 33°C (92°F) y una caída de temperatura de 2,8°C (5°F) a través de la torre de refrigeración. La circulación máxima era 76 l/m (20 gpm). Durante estas pruebas, una porción del agua circulante se puso en derivación al depósito de la torre para mantener la temperatura fría del agua (caídas de temperatura a través de la torre de refrigeración con la entrada de calor limitada). El sistema estaba automatizado. La concentración de agua circulante se mantuvo por control de conductividad. Además, se supervisaron constantemente el factor de ensuciamiento, el pH y el ORP. Véase la tabla 1 para las condiciones operativas y el diseño del banco de pruebas.

Tabla 1

Condiciones de diseño operativas del banco de pruebas de la torre de refrigeración piloto	
Recirculación del volumen del sistema	0,22 m ³ (58 galones)
Tasa	4,542m ³ /h (20 gpm)
Relación de volumen a recirculación	3:1
Caída de temperatura de la torre de refrigeración (Δt)	2,8°C (5°F)
Tiempo de retención aparente de agua de refrigeración en banco de pruebas	Aproximadamente 22 a 23 horas
Química del agua de relleno no ciclada estándar	
Calcio, mg/l como CaCO ₃	81
Magnesio mg/l como CaCO ₃	48
Alcalinidad total, mg/l como CaCO ₃	96
Alcalinidad de bicarbonato, mg/l como CaCO ₃	96
Cloro mg/l como Cl	58
Sulfato, mg/l como SO ₄	46
pH	7,4

Ejemplo 1: Ensuciamiento inorgánico

5 Se realizaron inicialmente pruebas para determinar la tendencia relativa al ensuciamiento de tubos mejorados en función de tubos lisos en presencia de suciedad inorgánica, tal como carbonato de calcio y fosfato cálcico en ausencia de biomasa. En el agua refrigerante también había una mezcla de depósitos orgánicos y aditivo de control de la corrosión. La química en la que se llevaron a cabo las pruebas se enumera en la tabla 2. En esas condiciones, con una velocidad de 1,6 m/s (5 pies/s) y una temperatura superficial de 65,5°C (150°F) en la varilla lisa se produjo ensuciamiento a los 7 días (química de agua estándar concentrada 5 veces). A una temperatura superficial más baja de 54,4°C (130°F) no se observó ensuciamiento de la varilla lisa hasta la día 14 donde la química de agua estándar se concentró a 10 9,0 veces con la presencia de 1,5 mg/l adicionales de ortofosfato. La varilla mejorada requería un aumento en temperatura superficial a 63°C (145°F) en unión con la concentración de la química de agua estándar en un factor de 9,5 y una presencia adicional de 1,9 mg/l de ortofosfato. En estas condiciones la varilla mejorada tardó aproximadamente el doble en ensuciarse en presencia de casi una doble cantidad (es decir 1,9x) de impurezas inorgánicas que la varilla lisa. Los resultados se ilustran en la figura 5. Esta prueba se repitió con una varilla mejorada (63°C) y una varilla lisa (60°C) con la química de agua estándar concentrada a 5 ciclos. La varilla lisa se ensució en 7 días, pero la varilla mejorada no se ensució en 20 días cuando terminó la prueba, como se ilustra en la figura 6. Pruebas posteriores confirmaron estos resultados.

Tabla 2

Química y datos de la prueba de cristalización inorgánica			
Agua estándar ciclada	5 Ciclos	9 Ciclos	9,5 Ciclos
pH	8,8	8,8	8,3
Alcalinidad "P", mg/l como CaCO ₃	52	73	0
Carbonato, mg/l como CaCO ₃	104	146	0
Alcalinidad total, mg/l como CaCO ₃	420	579	578
Bicarbonato, mg/l como CaCO ₃	316	433	578

Dureza de calcio, mg/l como CaCO ₃	397	404	400
Dureza de magnesio, mg/l como CaCO ₃	265	575	628
Cloro, mg/l como Cl	354	639	697
Sulfato, mg/l como SO ₄	415	514	526
Ortofosfato, mg/l como PO ₄	2,5	4,0	4,4
Conductividad, $\mu\text{S}/\text{cm}^2$	2340	4770	5200
Velocidad de tubo, m/s -1,6			
Temperaturas superficiales °C-54,4, 62,8, 65,5			
Aditivo de control de depósitos-150 mg/l, (12,5 mg/l compuestos activos de control de depósitos)			

Ejemplo 2: Ensuciamiento orgánico (bioensuciamiento)

5 Otros experimentos se centraron en ensuciamiento asociado con biomasa y para descubrir unos medios eficientes de quitar biomasa acumulada. Se realizó una operación de bioensuciamiento de pieza en bruto donde el agua refrigerante se inoculó con pseudomonas aerigenosa (ATCC 27853), un limo conocido que forma bacteria aeróbica. Se añadió caldo nutriente a la torre a diario a una dosis de 50 mg/l. La química y los datos asociados con esta prueba se exponen en la tabla 3. Aunque se podía observar bioensuciamiento a simple vista al séptimo día en la prueba, se detectó realmente como una tendencia creciente a los días tercero y quinto por el tubo mejorado y el tubo liso, respectivamente. La varilla mejorada se ensució a una tasa lineal de $0,439 \text{ m}^2\text{-}^\circ\text{K}/\text{Vatios}/\text{s}$, mientras que la varilla lisa se ensució a una tasa de $0,097 \text{ m}^2\text{-}^\circ\text{K}/\text{Vatios}/\text{s}$, como se ilustra en la figura 7.

Tabla 3

Bioensuciamiento en bruto - Química del agua y datos	
pH	7,0
Alcalinidad "P", mg/l como CaCO ₃	0
Carbonato, mg/l como CaCO ₃	0
Alcalinidad total, mg/l como CaCO ₃	54
Bicarbonato, mg/l como CaCO ₃	54
Dureza de calcio, mg/l como CaCO ₃	162
Dureza de magnesio, mg/l como CaCO ₃	96
Cloro, mg/l como Cl	116
Sulfato, mg/l como SO ₄	230
Conductividad, $\mu\text{S}/\text{cm}^2$	936
* Bacteria aeróbica añadida: Pseudomonas aerigenosa: $4,55 \times 10^6$ CFU/ml	
* Caldo nutriente Difco (37,5% Extracto de ternera + 62,5% Peptona)- 50 mg/l/día	
* Velocidad del tubo, m/s: 1,6-1,68	
* Temperatura superficial °C-37,8	

Ejemplo 3: Prueba de bioensuciamiento posterior

15 Se realizaron pruebas posteriores hasta que las acanaladuras de la varilla mejorada (ranuras entre nervios adyacentes) se llenaron de suciedad; entonces se emplearon varias químicas para limpiar la varilla. La varilla lisa nunca se ensució tan rápidamente como la varilla mejorada, ni se ensució en el grado observado en la varilla mejorada.

5 Como ilustra la descripción precedente, se puede emplear una varilla mejorada incorporada en una sección de prueba de transferencia de calor de corriente lateral para detectar rápidamente la aparición de ensuciamiento así como hacer el seguimiento de las mejoras de limpieza hasta la terminación. Esta capacidad puede proporcionar mejoras en el control de supervisión basado en el rendimiento para aguas refrigerantes. Si se usa en unión con un supervisor de tubos de agujero liso (es decir, un monitor con una varilla lisa) en paralelo, un supervisor de tubos mejorados (es decir, un monitor con una varilla mejorada) puede permitir la categorización del tipo de suciedad detectado. Así, se pueden implementar el método de mitigación y la selección química apropiados.

10 Las capacidades de supervisión explicadas anteriormente promueven la rápida detección y caracterización de la suciedad, y permiten medidas proactivas de tratamiento correctivo que pueden evitar las excesivas pérdidas de transferencia de calor y el desarrollo de corrosión localizada. Esta tecnología de supervisión y control de la suciedad deberá permitir una aceptación y aplicabilidad más amplias del uso de tubos mejorados en la industria del agua refrigerante.

15 Aunque los aparatos y sistemas de la presente descripción se han descrito generalmente en el contexto de un fluido acuoso de transferencia de calor que circula a través de un intercambiador de calor, se entenderá que los aparatos y sistemas son aplicables a cualquier fluido de transferencia de calor incluyendo hidrocarburos, soluciones salinas eutécticas y análogos, que circulen a través de un recipiente en relación de transferencia de calor donde el ensuciamiento es un problema. Adicionalmente, se pueden tomar medidas para las mediciones de parámetros distintos de la corrosión, pH y conductividad, tales como concentraciones de cationes, etc, en el conjunto de supervisión y registro.

20 Aunque los presentes aparatos y sistemas se han descrito en conexión con sus realizaciones ejemplares, se entenderá que muchas modificaciones serán evidentes a los expertos en la técnica; y que esta solicitud pretende cubrir todas sus adaptaciones o variaciones. Por lo tanto, se ha previsto abiertamente que la invención solamente quede limitada por las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato para supervisar y registrar el ensuciamiento de sistemas acuosos, que permite la categorización del tipo de suciedad detectado, incluyendo:

- (a) un conjunto de tubo (400) integrado o acoplado con un conjunto de supervisión y registro (500);
- (b) un conjunto de prueba de transferencia de calor (300) incluyendo:
 - (i) un elemento de tubo exterior (212);
 - (ii) una varilla de calentamiento (220) colocada coaxialmente dentro del elemento de tubo exterior (212), incluyendo dicha varilla de calentamiento (220) medios para detectar una temperatura de pared de dicha varilla de calentamiento (220);
 - (iii) un conjunto de manguito de tubo (314) montado coaxialmente sobre la varilla de calentamiento (220) dentro del elemento de tubo exterior (212), donde dicho conjunto de manguito de tubo (314) incluye una sección de manguito nervada (330), una sección de transición de flujo situada hacia arriba (340) colocada hacia arriba y unida a tope contra un extremo situado hacia arriba de la sección de manguito nervada (330), y una sección de transición de flujo situada hacia abajo (350) colocada hacia abajo y unida a tope contra un extremo situado hacia abajo de la sección de manguito nervada (330); y
 - (iv) un paso anular de flujo de fluido (228) dispuesto entre el conjunto de manguito de tubo (314) y el elemento de tubo exterior (212);

donde el conjunto de prueba de transferencia de calor (300) está dispuesto dentro del conjunto de tubo (400); y

- (c) un conjunto adicional de prueba de transferencia de calor dispuesto dentro del conjunto de tubo (400), donde el conjunto adicional de prueba de transferencia de calor incluye:
 - (i) un elemento de tubo exterior adicional;
 - (ii) una varilla de calentamiento adicional colocada coaxialmente dentro del elemento de tubo exterior, incluyendo dicha varilla de calentamiento adicional medios para detectar la temperatura de pared de dicha varilla de calentamiento adicional, donde dicha varilla de calentamiento adicional incluye una superficie exterior lisa; y
 - (iii) un paso anular de flujo de fluido dispuesto entre la varilla de calentamiento adicional y el elemento de tubo exterior adicional;

donde el conjunto de prueba de transferencia de calor (300) está dispuesto en paralelo con el conjunto adicional de prueba de transferencia de calor (400).

2. El aparato de la reivindicación 1, donde el elemento de tubo exterior (212) del conjunto de prueba de transferencia de calor (300) se hace de un material transparente.

3. El aparato de la reivindicación 1, donde los medios de detectar la temperatura de pared de dicha varilla de calentamiento (220) del conjunto de prueba de transferencia de calor (300) incluyen al menos un termopar (227).

4. El aparato de la reivindicación 1, donde el conjunto de manguito de tubo (314) del conjunto de prueba de transferencia de calor (300) se hace de un material seleccionado del grupo que consta de: acero inoxidable, cobre, aleación de cobre, titanio y acero al carbono.

5. El aparato de la reivindicación 1, donde la varilla de calentamiento (220) del conjunto de prueba de transferencia de calor (300) incluye un elemento tubular (222) en el que está incrustado un elemento de calentamiento (214) dentro de una matriz aislante (226).

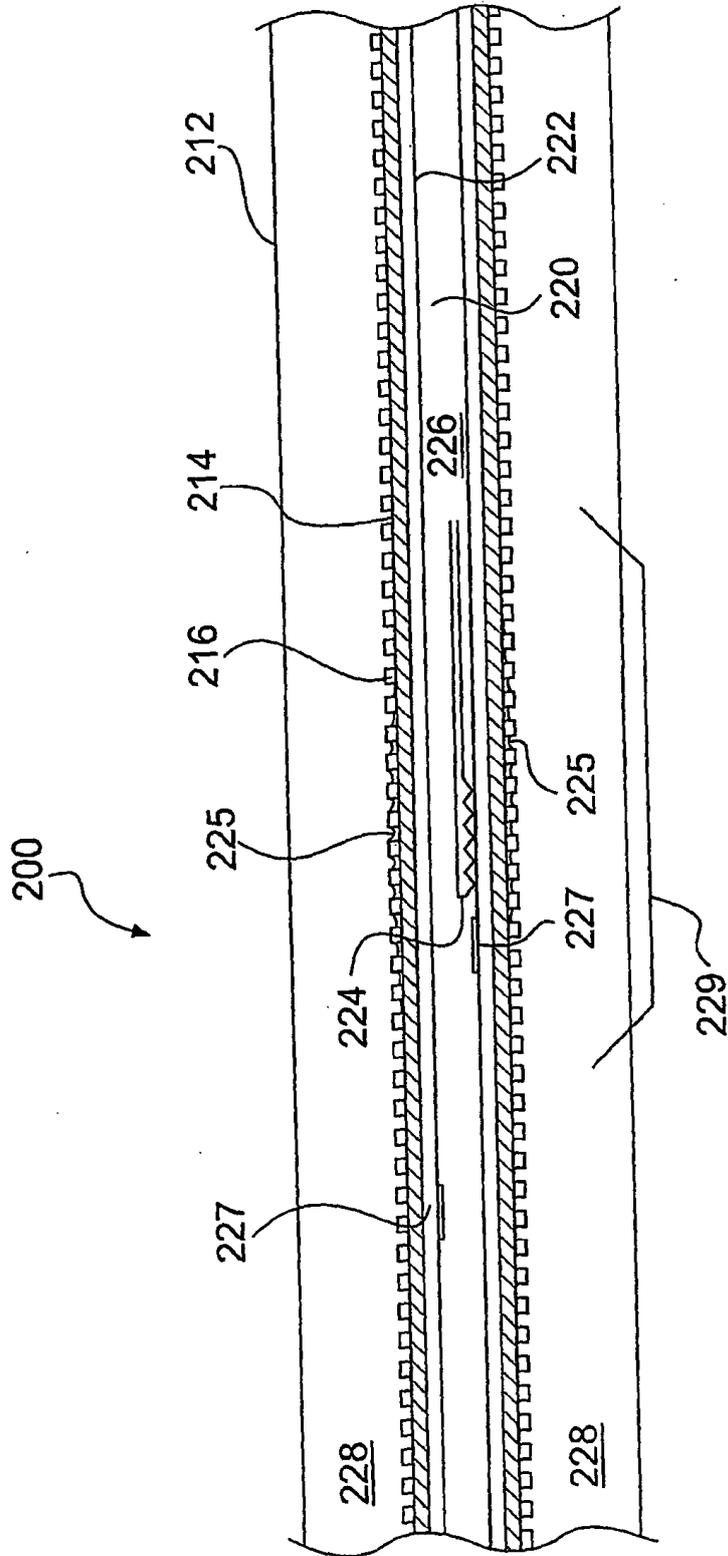


FIG. 1

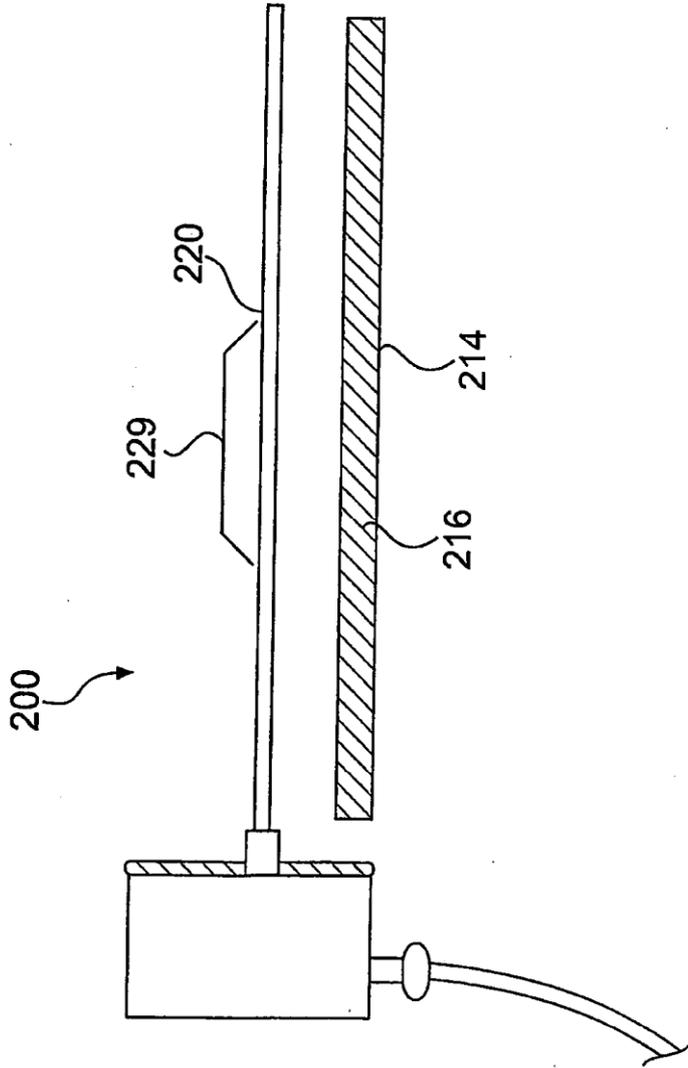


FIG. 2

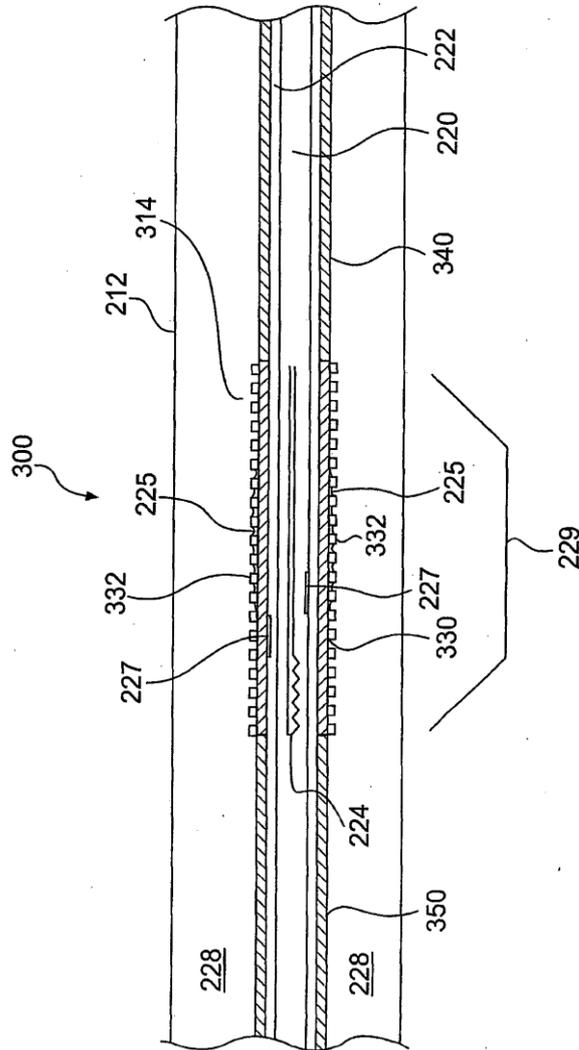


FIG. 3

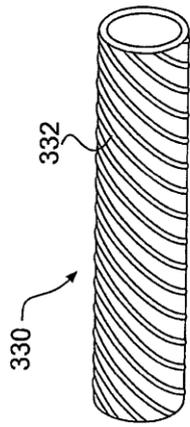


FIG. 4A

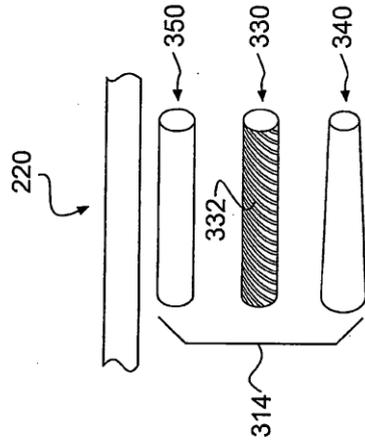


FIG. 4B

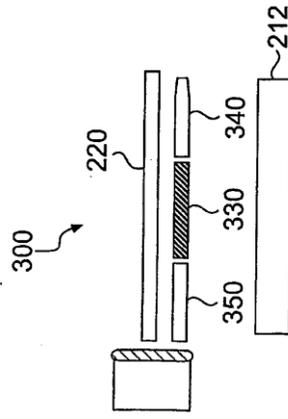
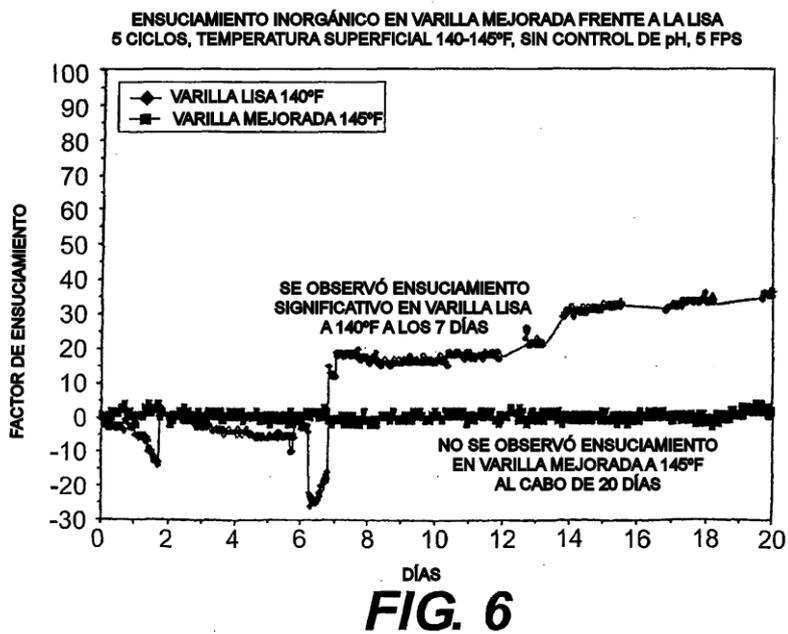
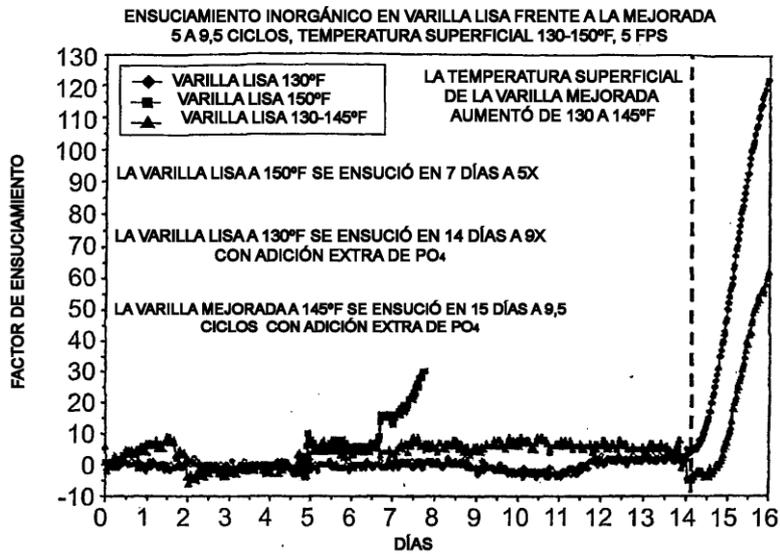


FIG. 4C



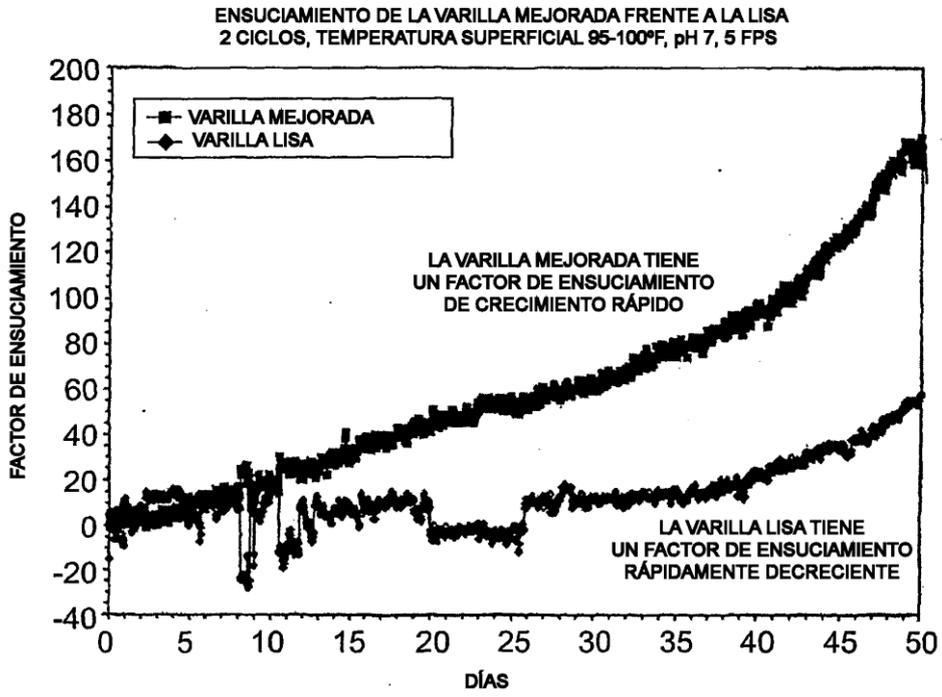


FIG. 7

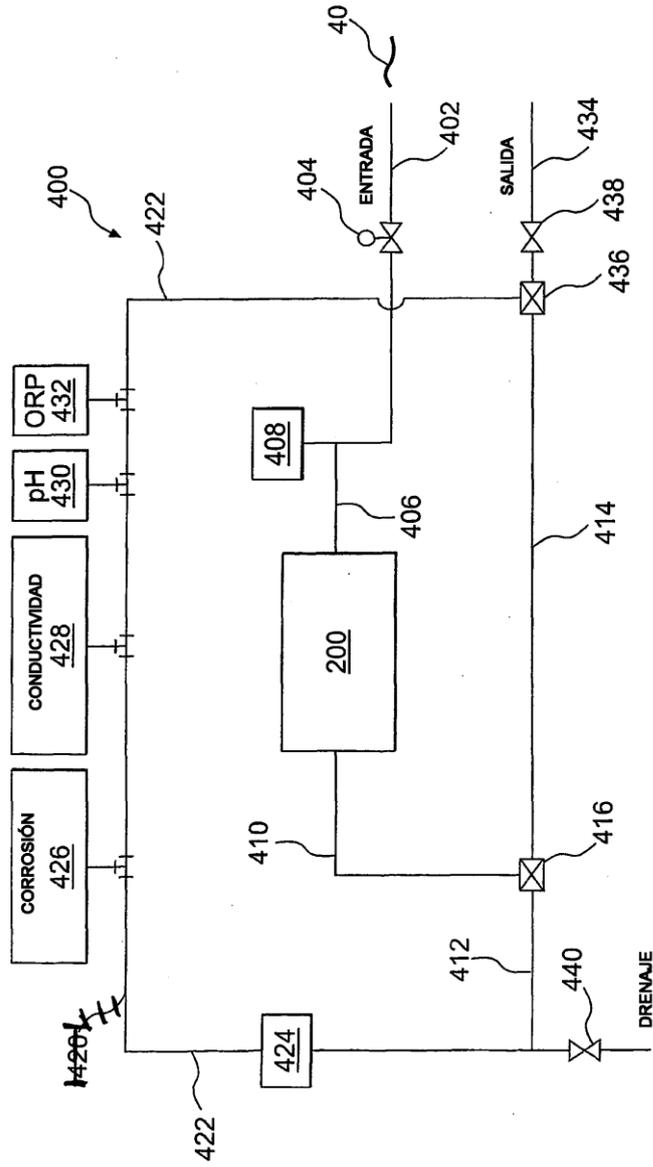


FIG. 8

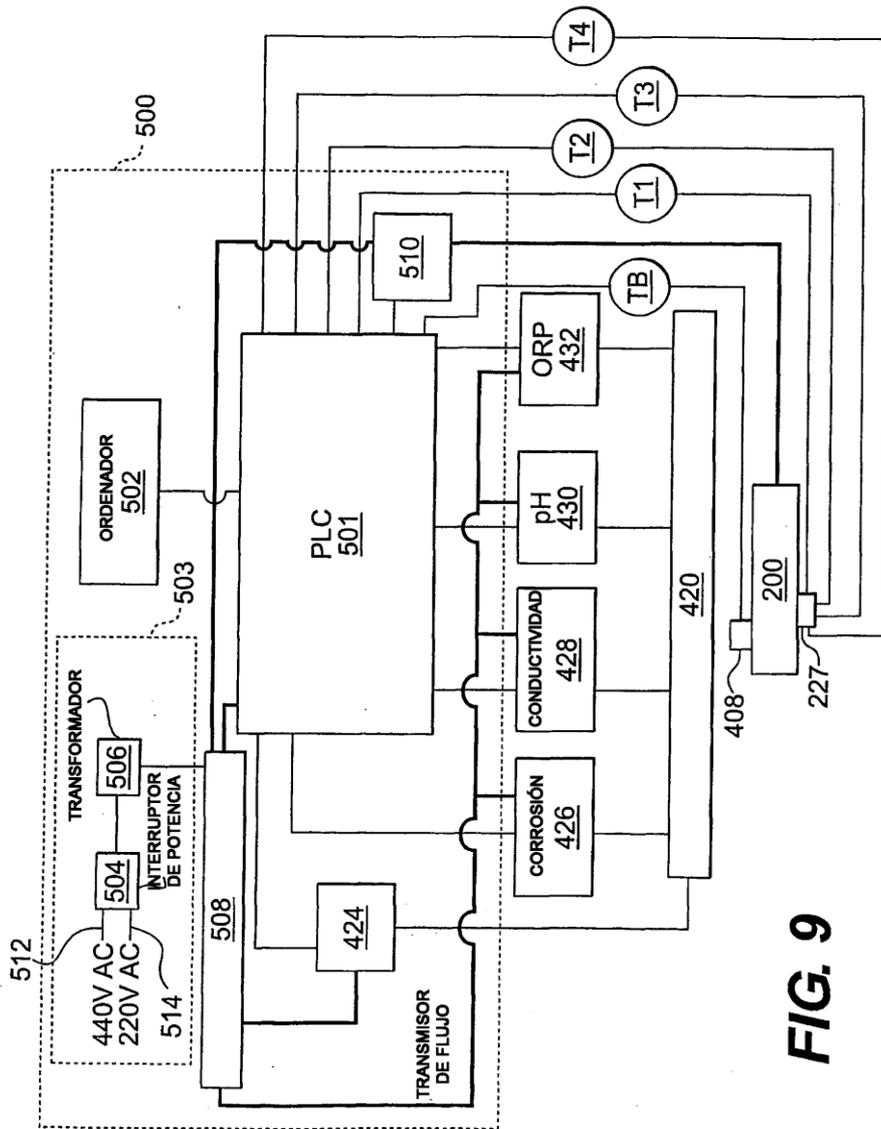


FIG. 9