

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 933 502**

51 Int. Cl.:

C02F 1/00	(2006.01)
C02F 1/50	(2006.01)
C02F 1/66	(2006.01)
C02F 5/00	(2006.01)
F28F 27/00	(2006.01)
F28G 9/00	(2006.01)
F28G 15/00	(2006.01)
G01K 17/00	(2006.01)
G01K 17/06	(2006.01)
G01N 17/00	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.11.2018 PCT/US2018/060071**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **16.05.2019 WO19094747**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.11.2018 E 18808601 (1)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.09.2022 EP 3707457**

54 Título: **Método de control y monitoreo del agua de enfriamiento**

30 Prioridad:

10.11.2017 US 201762584671 P
21.08.2018 US 201862720605 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
09.02.2023

73 Titular/es:

ECOLAB USA, INC. (100.0%)
1 Ecolab Place
St. Paul, Minnesota 55102, US

72 Inventor/es:

MYERS, CRAIG;
PRAKASH, ANUPAM;
RAGHAVAPUDI, RAVINDRA;
KRAMARCZYK, STEVEN;
HINTERLONG, STEPHEN J.;
MEIER, DANIEL y
VITAL, JORVIC

74 Agente/Representante:

SÁNCHEZ SILVA, Jesús Eladio

ES 2 933 502 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 de control y monitoreo del agua de enfriamiento

5 Campo técnico

Esta descripción se refiere a sistemas de agua de enfriamiento y, más particularmente, a sistemas de control de agua de enfriamiento.

10 Antecedentes

Las torres de enfriamiento de agua se utilizan en sistemas de intercambio de calor de gran capacidad, tales como los que se encuentran en las refinerías de petróleo y las plantas de producción química. Las torres de enfriamiento se utilizan para eliminar el calor absorbido de un refrigerante de agua circulante al evaporar una porción del refrigerante en la torre de enfriamiento. El refrigerante restante se puede extraer de un depósito o sumidero en la base de la torre mediante una bomba y suministrarse a través de la carga de calor de manera continua. Debido a que una gran cantidad de agua se evapora en dicho sistema, se pueden acumular incrustaciones, sedimentos u otros contaminantes del agua en el agua recirculante con el tiempo.

20 Para ayudar a prevenir o limitar el grado en que se producen incrustaciones en las superficies en contacto con el agua de enfriamiento recirculante, se pueden añadir varios productos químicos al agua de enfriamiento. En un entorno operativo típico, un técnico puede tomar muestras de agua de enfriamiento del sistema de agua de enfriamiento y realizar un análisis químico de las muestras. El técnico puede ajustar el tipo de químico agregado al agua de enfriamiento en base al análisis. A menudo, el técnico solo puede estar en las instalaciones para realizar el análisis de agua de enfriamiento de forma limitada, tal como una vez a la semana o una vez al mes. Como resultado, es posible que los cambios en las condiciones del proceso de la instalación no se detecten hasta algún tiempo después de que se hayan modificado las condiciones del proceso. Además, incluso cuando se cambia la química del agua de enfriamiento para tener en cuenta las condiciones de proceso modificadas, dichas cargas son generalmente cambios reactivos en lugar de predictivos para evitar condiciones del agua de enfriamiento no deseadas.

30 Resumen

El documento US 2005 133 211 A1 describe un método para controlar el tratamiento del agua de enfriamiento de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1. La presente invención se define por el método de la reivindicación 1. En algunos ejemplos, las condiciones del agua de enfriamiento en el circuito de agua de enfriamiento se monitorean y/o controlan mediante la evaluación del rendimiento térmico de una o más unidades de transferencia de calor aguas abajo a través de las cuales se transporta el agua de enfriamiento. Por ejemplo, una red de intercambio de calor puede incluir una o más torres de enfriamiento que se conectan de forma fluida y suministran agua de enfriamiento a múltiples intercambios de calor. El agua de enfriamiento puede pasar por un lado de cada intercambiador de calor mientras que un fluido de proceso a enfriar pasa por el otro lado del intercambiador de calor, estando los fluidos separados por una pared metálica sólida. El intercambio de calor a través del intercambiador de calor puede tener ocurrir en una dirección equicorriente (paralela) o contracorriente (opuesta).

45 Para implementar el sistema de control de agua de enfriamiento, se pueden inspeccionar múltiples intercambiadores de calor dentro del circuito de agua de enfriamiento para identificar uno o más intercambiadores de calor que son críticos para el rendimiento operativo de la instalación en la que se encuentran los intercambiadores de calor. Por ejemplo, los intercambiadores de calor se pueden evaluar para determinar su historial de ensuciamiento, la disponibilidad de un intercambiador de calor de bypass dentro del circuito en caso de que las condiciones de ensuciamiento se vuelvan importantes, la sensibilidad al ensuciamiento del lado del agua u otras condiciones que indiquen que la eficiencia de transferencia de calor de uno o intercambiadores más particulares es crítica para la integridad del proceso del usuario. En la medida en que un intercambiador de calor identificado como crítico no se instrumente para el monitoreo, se pueden agregar varios equipos de monitoreo para monitorear el rendimiento del intercambiador de calor. Por ejemplo, se pueden agregar sensores de temperatura para medir la temperatura de la corriente de agua de enfriamiento que entra y sale del intercambiador de calor, así como la temperatura de la corriente de proceso que entra y sale del intercambiador de calor. Como otro ejemplo, se puede agregar un sensor para medir el caudal del agua de enfriamiento que pasa a través del intercambiador y/o los sensores de presión diferencial para medir la caída de presión a través del intercambiador.

60 Independientemente de los tipos de parámetros monitoreados para el intercambiador de calor crítico, se puede determinar un parámetro correspondiente a la eficiencia de transferencia de calor del intercambiador de calor basado, al menos en parte, en los datos de temperatura. Por ejemplo, se puede establecer una tendencia de la eficiencia de transferencia de calor del intercambiador de calor para proporcionar una referencia a partir de la cual se puedan determinar futuras desviaciones de la tendencia. La eficiencia de transferencia de calor del intercambiador de calor se puede monitorear posteriormente y se pueden detectar cambios en la eficiencia de transferencia de calor. Los cambios en la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor pueden indicar un ensuciamiento

incipiente o acelerado, lo que puede proporcionar una evidencia detectable para tomar acciones de control del agua de enfriamiento intervencionista para detener o mitigar los efectos de dicho ensuciamiento.

5 En la práctica, los cambios en la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor pueden tener muchas causas fundamentales diferentes relacionadas con el agua de enfriamiento. La acción adecuada de control del agua de enfriamiento para mitigar una desviación negativa detectada en la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor puede variar en dependencia de la causa fundamental subyacente. En algunos ejemplos de acuerdo con la presente descripción, la técnica de control del agua de enfriamiento implica la obtención de datos indicativos de múltiples tipos diferentes de causas fundamentales potenciales que pueden provocar el ensuciamiento que conduce al deterioro de las condiciones de la eficiencia de transferencia de calor. Por ejemplo, se puede proporcionar una matriz de sensores para medir las diferentes características y parámetros del agua de enfriamiento que pasa a través del intercambiador de calor cuyas características de eficiencia térmica se han monitoreado. Los sensores pueden proporcionar datos indicativos de diferentes tipos de mecanismos de ensuciamiento, tales como el ensuciamiento por incrustaciones, el ensuciamiento por corrosión y el bioensuciamiento. Una medición o parámetro de un solo sensor se puede asociar con un mecanismo de ensuciamiento particular. Alternativamente, se pueden medir múltiples parámetros diferentes del agua de enfriamiento para proporcionar datos indicativos de un mecanismo de ensuciamiento particular.

20 En cualquier caso, se puede determinar una causa fundamental predictiva del ensuciamiento que conduce a la tendencia modificada de la eficiencia de transferencia de calor en base a los datos asociados con los diferentes tipos de mecanismos de ensuciamiento. Por ejemplo, los datos asociados con cada tipo particular de mecanismo de ensuciamiento se pueden ajustar y/o pesar para identificar una causa o mecanismo particular que es más probable que las otras causas o mecanismos que se han evaluado para causar el ensuciamiento. Después, se pueden tomar acciones de control del agua de enfriamiento para contrarrestar la causa de ensuciamiento predictiva. Por ejemplo, se pueden introducir uno o más aditivos químicos seleccionados para contrarrestar la causa de ensuciamiento predictiva en el agua de enfriamiento y/o se puede ajustar el caudal de dicho(s) aditivo(s) químico(s). Adicional o alternativamente, la torre de agua de enfriamiento se puede purgar, al reemplazar una porción del agua de enfriamiento circulante con agua de reposición fresca.

30 En algunas aplicaciones, se monitorea la eficiencia de transferencia de calor del intercambiador de calor crítico para evaluar la eficiencia de la(s) acción(es) correctiva(s) tomadas en respuesta a la causa de ensuciamiento predictiva. Por ejemplo, la eficiencia de transferencia de calor del intercambiador de calor crítico se puede monitorear para detectar un segundo cambio en la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor, por ejemplo, al indicar que la eficiencia de transferencia de calor se deteriora a un flujo más lento que antes de tomar la(s) acción(es) correctiva(s). Si no se detecta un cambio en la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor en respuesta a la(s) acción(es) correctiva(s) y/o la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor se deteriora aún más que antes de tomar dicha acción correctiva, se puede determinar que la causa fundamental predictiva no es la causa fundamental real del problema de ensuciamiento. En consecuencia, se puede identificar una causa fundamental predictiva alternativa y se pueden tomar una o más acciones alternativas de control del agua de enfriamiento. Como ejemplo, uno o más aditivos químicos seleccionados para contrarrestar la causa de ensuciamiento predictiva alternativa se pueden controlar en lugar de los aditivos controlados para contrarrestar la causa de ensuciamiento predictiva original.

45 Al detectar y reaccionar con precisión y rapidez a las condiciones de incrustación incipientes en el lado del agua de enfriamiento del intercambiador de calor, se pueden evitar incrustaciones más graves. En algunas aplicaciones, se proporciona el monitoreo y control en tiempo real para facilitar una respuesta rápida a condiciones de eficiencia térmica del intercambiador de calor que se deterioran inesperadamente. Esta intervención rápida puede extender la vida útil del intercambiador de calor hasta la próxima limpieza física de manera que no se puede lograr si el intercambiador de calor se ensucia por completo antes de detectar las condiciones de ensuciamiento.

50 De acuerdo con la invención, se describe un método que incluye monitorear una eficiencia de transferencia de calor de al menos un intercambiador de calor y establecer una tendencia de eficiencia de transferencia de calor para el intercambiador de calor. El intercambiador de calor tiene un lado de corriente de proceso y un lado de corriente de agua de enfriamiento. El método incluye detectar un cambio en la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor. El método implica además recibir los datos indicativos del ensuciamiento por incrustaciones en el lado de la corriente de agua de enfriamiento, los datos indicativos del ensuciamiento por corrosión en el lado de la corriente de agua de enfriamiento y los datos indicativos de bioensuciamiento en el lado de la corriente de agua de enfriamiento. El método incluye determinar una causa predictiva del cambio detectado en la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor y controlar la adición de un aditivo químico en un agua de enfriamiento que está en comunicación de fluidos con el lado de la corriente de agua de enfriamiento de al menos un intercambiador de calor en base a la causa predictiva.

65 En otro ejemplo, se describe un método para controlar un sistema de agua de enfriamiento. El método implica inspeccionar una pluralidad de intercambiadores de calor dentro de una red de intercambiadores de calor para identificar al menos un intercambiador de calor crítico. El método incluye monitorear una eficiencia de transferencia de calor del intercambiador de calor crítico, establecer una tendencia de la eficiencia de transferencia de calor para

el intercambiador de calor crítico y detectar un cambio en la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor. Además, el método implica recibir datos indicativos del ensuciamiento por incrustaciones en el lado de la corriente de agua de enfriamiento, recibir datos indicativos de ensuciamiento por corrosión en el lado de la corriente de agua de enfriamiento, recibir datos indicativos de bioensuciamiento en el lado de la corriente de agua de enfriamiento. El método también implica determinar una causa predictiva del cambio detectado en la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor, donde la causa predictiva incluye una causa seleccionada del grupo que consiste en el ensuciamiento por incrustaciones, ensuciamiento por corrosión y bioensuciamiento. El método implica además controlar la adición de un aditivo químico al agua de enfriamiento que está en comunicación de fluidos con el lado de la corriente de agua de enfriamiento de al menos un intercambiador de calor crítico en base a la causa predictiva y detectar un cambio en la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor en respuesta a la adición controlada del aditivo químico en el agua de enfriamiento.

En otro ejemplo, se describe un método para controlar el tratamiento del agua de enfriamiento. El método incluye recibir datos de una pluralidad de sensores indicativos de al menos una temperatura de una corriente de agua de enfriamiento que entra en un intercambiador de calor, una temperatura de la corriente de agua de enfriamiento que sale del intercambiador de calor, una temperatura de una corriente de proceso que entra en el intercambiador de calor y una temperatura de la corriente de proceso que sale del intercambiador de calor. El método también implica determinar una eficiencia de transferencia de calor para el intercambiador de calor en base a los datos recibidos de la pluralidad de sensores y establecer una tendencia de la eficiencia de transferencia de calor para el intercambiador de calor durante un período de tiempo. El método implica además detectar un cambio en la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor y controlar la adición de un aditivo químico en la corriente de agua de enfriamiento en respuesta al cambio detectado en la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor para el intercambiador de calor.

En otro ejemplo, se describe un sistema que incluye una torre de enfriamiento, un intercambiador de calor, una pluralidad de sensores, una bomba y un controlador. La torre de enfriamiento reduce la temperatura de una corriente de agua de enfriamiento a través del enfriamiento por evaporación. El intercambiador de calor tiene una entrada de agua de enfriamiento, una salida de agua de enfriamiento, una entrada de corriente de proceso y una salida de corriente de proceso. La pluralidad de sensores se colocan para medir una temperatura de una corriente de agua de enfriamiento que entra en el intercambiador de calor a través de la entrada de agua de enfriamiento, una temperatura de la corriente de agua de enfriamiento que sale del intercambiador de calor a través de la salida de agua de enfriamiento, una temperatura de una corriente de proceso que entra en el intercambiador de calor a través de la entrada de la corriente de proceso, y una temperatura de la corriente de proceso que sale del intercambiador de calor a través de la salida de la corriente de proceso. La bomba se coloca aguas arriba del intercambiador de calor y se configura para inyectar un aditivo químico en la corriente de agua de enfriamiento. El controlador se acopla comunicativamente a la pluralidad de sensores y la bomba y se configura para: recibir datos de la pluralidad de sensores, determinar una eficiencia de transferencia de calor para el intercambiador de calor en base a los datos recibidos de la pluralidad de sensores, establecer una tendencia de la eficiencia de transferencia de calor para el intercambiador de calor durante un período de tiempo, detectar un cambio en la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor y controlar la bomba en respuesta al cambio detectado en la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor para el intercambiador de calor.

Los detalles de uno o más ejemplos se exponen en los dibujos adjuntos y en la descripción más abajo. Otras características, objetos y ventajas serán evidentes a partir de la descripción y los dibujos y de las reivindicaciones.

Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 es un diagrama de flujo que ilustra un ejemplo de red de intercambiadores de calor que contiene múltiples intercambiadores de calor en los que se puede implementar un sistema de control y monitoreo del agua de enfriamiento de acuerdo con la Figura 2.

La Figura 2 es un diagrama conceptual de un ejemplo de sistema de control y monitoreo de agua de enfriamiento.

La Figura 3 es un diagrama de flujo que ilustra un ejemplo de proceso de producción de amoníaco en donde se implementa un sistema de control y monitoreo del agua de enfriamiento de acuerdo con la Figura 2.

Las Figuras 4-7 muestran ejemplos de datos de temperatura en bruto y suavizados para corrientes de flujo en un intercambiador de calor.

La Figura 8 muestra un ejemplo de datos de caudal de agua de enfriamiento de ejemplo para el intercambiador de calor que proporciona datos de temperatura ilustrados en las Figuras 4-7.

La Figura 9 es un gráfico que muestra un ejemplo de coeficientes de transferencia de calor calculados mediante el uso de los datos de temperatura suavizados y los datos de caudal de las Figuras 4-8.

La Figura 10 es un gráfico que muestra un ejemplo de coeficientes de transferencia de calor calculados mediante el uso de los datos de temperatura suavizados y los datos de caudal de las Figuras 4-8 superpuestos con marcadores de periodicidad.

La Figura 11 muestra un ejemplo de valores de potencial de oxidación-reducción (ORP) para la corriente de agua de enfriamiento correspondientes a los datos de caudal de la Figura 8.

Las Figuras 12-15 muestran ejemplos de datos de temperatura en bruto y suavizados para corrientes de flujo en otro intercambiador de calor.

La Figura 16 muestra un ejemplo de datos de caudal de agua de enfriamiento para el intercambiador de calor que proporciona datos de temperatura ilustrados en las Figuras 12-15.

La Figura 17 es un gráfico que muestra un ejemplo de coeficientes de transferencia de calor calculados mediante el uso de los datos de temperatura suavizados y los datos de caudal de las Figuras 12-16.

La Figura 18 es un gráfico que muestra los coeficientes de transferencia de calor experimentales calculados mediante el uso de los datos de temperatura suavizados durante un período de tiempo.

La Figura 19 es un gráfico de barras que muestra las puntuaciones de ensuciamiento totales para diferentes mecanismos de ensuciamiento potenciales asociados con los datos de la Figura 18.

La Figura 20 es un gráfico que muestra los coeficientes de transferencia de calor experimentales calculados mediante el uso de los datos de temperatura suavizados durante un período de tiempo.

La Figura 21 es un gráfico de barras que muestra las puntuaciones de ensuciamiento totales para diferentes mecanismos de ensuciamiento potenciales asociados con los datos de la Figura 20.

Descripción detallada

Esta descripción está dirigida generalmente a los sistemas de monitoreo y control de agua de enfriamiento, incluyendo los sistemas y técnicas para controlar la adición de uno o más agentes químicos a una fuente de agua de enfriamiento utilizada para el intercambio térmico con una o más corrientes comparativamente calientes. Uno o más agentes químicos añadidos al agua de enfriamiento pueden prevenir o minimizar el grado en que se deposita el ensuciamiento en las superficies de intercambio de calor en contacto fluido con el agua de enfriamiento. Esto puede mejorar la eficiencia de la instalación en la que se implementa la red de intercambio de calor con adición química controlada de agua de enfriamiento.

Mientras los sistemas y técnicas de acuerdo con la descripción se pueden implementar para cualquier sistema de agua de enfriamiento deseado y cualquier aplicación de intercambiador de calor, en algunos ejemplos, las técnicas se implementan en los sistemas de intercambiadores de calor en red. El lado del agua de enfriamiento de los intercambiadores de calor en red se puede acoplar de forma fluida entre sí de manera que el agua de enfriamiento recircule a través de la red y pase a través de múltiples intercambiadores de calor dentro de la red, por ejemplo, en serie y/o en paralelo. En aplicaciones en las que múltiples intercambiadores de calor comparten el agua de enfriamiento recirculante, los intercambiadores de calor se pueden inspeccionar para identificar uno o más intercambiadores de calor críticos dentro de la red en los que se puede realizar un monitoreo adicional para controlar el sistema de agua de enfriamiento. Los intercambiadores de calor se pueden evaluar para identificar uno o más intercambiadores de calor particulares dentro de la red que, en base a su probabilidad de ensuciamiento, su rendimiento actual en relación con el diseño general, la sensibilidad al ensuciamiento del lado del agua y/o su criticidad para el proceso general, se debe monitorear más de cerca que otros intercambiadores de calor en la red. Dicho intercambiador de calor se puede designar como intercambiador de calor crítico y se puede realizar un monitoreo de la eficiencia térmica en el intercambiador de calor para controlar el sistema de agua de enfriamiento que suministra tanto al(a los) intercambiador(es) de calor crítico como a otros intercambiadores de calor dentro de la red.

La Figura 1 es un diagrama de flujo que ilustra un ejemplo de red de intercambiadores de calor 100 que contiene múltiples intercambiadores de calor en los que se puede implementar un sistema de monitoreo y control del agua de enfriamiento de acuerdo con la descripción. Como se muestra en este ejemplo, múltiples intercambiadores de calor 104A-104D se conectan de forma fluida a una corriente de agua de enfriamiento suministrada por la torre de enfriamiento 102. El agua de enfriamiento fluye en paralelo a través de los intercambiadores de calor 104A y 104B seguidos, en serie, a través de los intercambiadores de calor 104C-104E antes de regresar a la torre de enfriamiento. Cada intercambiador de calor 104 tiene un lado de la corriente de proceso y un lado de la corriente de agua de enfriamiento, que se dividen entre sí y permiten que la energía térmica se transfiera desde la corriente de proceso que pasa a través del lado de la corriente de proceso a una corriente de agua de enfriamiento que pasa a través del lado de la corriente de agua de enfriamiento. Mientras que la red de intercambiadores de calor 100 en la Figura 1 se ilustra con cinco intercambiadores de calor, se debe apreciar que una red de intercambiadores de calor puede tener menos intercambiadores de calor (por ejemplo, dos, tres, cuatro) o más intercambiadores de calor (por ejemplo, seis, siete o más) y la descripción no se limita a este respecto.

En aplicaciones donde hay múltiples intercambiadores de calor en una red, uno o múltiples intercambiadores de calor (y, opcionalmente, todos los intercambiadores de calor) pueden incluir sensores como se describe en relación con el intercambiador de calor 104 en la Figura 2. Un controlador que gestiona el sistema de agua de enfriamiento puede recibir datos de los sensores. Los datos pueden proporcionar información relativa a la eficiencia de transferencia de calor de uno o más intercambiadores de calor que se monitorean dentro de la red de intercambiadores de calor 100 y/o las características del agua de enfriamiento que fluye a través del sistema. Las características del agua de enfriamiento que fluye a través del sistema recibida por el controlador pueden ser indicativas de causas de ensuciamiento potenciales que ocurren dentro de la red del intercambiador de calor, como también se describe con mayor detalle a continuación. En consecuencia, se pueden tomar acciones de control del

agua de enfriamiento para tratar de mitigar el ensuciamiento detectado dentro de la red del intercambiador de calor 100.

5 Mientras se pueden recopilar datos relacionados con la eficiencia de transferencia de calor de todos los intercambiadores de calor dentro de la red de intercambiadores de calor 100, en la práctica, la cantidad de intercambiadores que se necesitan monitorear y las diferentes condiciones de ensuciamiento en cada intercambiador de calor pueden hacer que tal monitoreo expansivo no sea práctico. En consecuencia, en estas aplicaciones, se puede realizar una inspección inicial de múltiples intercambiadores de calor dentro de la red (opcionalmente, todos los intercambiadores de calor dentro de la red) para identificar uno o más intercambiadores de calor particulares para los cuales es apropiado un monitoreo adicional. La inspección puede involucrar la obtención de datos históricos de funcionamiento, diseño histórico y/o rendimiento actual para los intercambiadores de calor que se están inspeccionando para designar uno o más intercambiadores de calor como más críticos que otros dentro de la red para el monitoreo (por ejemplo, solo un intercambiador de calor, dos intercambiadores de calor, o más intercambiadores de calor como críticos).

15 Los atributos particulares de un intercambiador de calor dentro de la red de intercambiadores de calor 100 que pueden convertirlo en un intercambiador de calor crítico para un monitoreo adicional pueden variar en dependencia de la aplicación específica. En general, la inspección puede buscar identificar qué intercambiador de calor o qué intercambiadores de calor dentro de la red de intercambiadores de calor 100 tienen un impacto más significativo en la eficiencia y operatividad del proceso general en el que se integra la red de intercambiadores de calor si se ensucian. Como ejemplo, si un intercambiador de calor particular en la red de intercambiadores de calor 100 tiene un historial de ensuciamiento en el lado del agua de enfriamiento con un flujo mayor que otros intercambiadores de calor dentro de la red (por ejemplo, al dictar potencialmente el ciclo de limpieza para toda la red de intercambiadores de calor) dicho intercambiador se puede designar como intercambiador de calor crítico. Como otro ejemplo, si el rendimiento operativo de un intercambiador de calor particular en la red de intercambiadores de calor 100 se desvía de su rendimiento operativo de diseño más que otros intercambiadores de calor dentro de la red, dicho intercambiador se puede designar como intercambiador de calor crítico. Mientras las características de rendimiento para la criticidad pueden variar, por ejemplo, en dependencia de la configuración de diseño y las características operativas objetivas del intercambiador de calor, parámetros tales como una velocidad del agua de enfriamiento inferior a 1 pie/segundo a través del intercambiador y/o una temperatura de salida de la corriente de agua de enfriamiento mayor de 140 grados Fahrenheit puede indicar una mayor probabilidad de ensuciamiento que garantiza que el intercambiador de calor se designe como intercambiador de calor crítico.

35 Al evaluar si un intercambiador de calor particular en la red de intercambiadores de calor 100 se debe designar como intercambiador de calor crítico para un monitoreo adicional, se puede tener en cuenta la disponibilidad de intercambiadores de calor de bypass. Un intercambiador de calor de bypass puede ser otro intercambiador de calor dentro de la red de intercambiadores de calor 100, por ejemplo, que está en paralelo al intercambiador de calor cuya criticidad se está evaluando. El intercambiador de calor de bypass puede estar fuera de línea o de cualquier otra manera puede tener una capacidad de producción adicional. En el caso de que el intercambiador principal se ensucie, el intercambiador de calor de bypass se puede poner en línea y/o se puede dirigir un flujo adicional desde el intercambiador principal al intercambiador de calor de bypass. En consecuencia, mientras el ensuciamiento en el intercambiador principal que se evalúa para su criticidad puede ser impactante, la disponibilidad del intercambiador de bypass para redirigir el flujo sin apagar toda la red y/o el proceso del intercambiador de calor puede impedir que se designe al intercambiador principal como un intercambiador crítico.

45 Un controlador asociado con el sistema de control de agua de enfriamiento puede recibir los datos asociados con la criticidad de múltiples intercambiadores de calor dentro de la red de intercambiadores de calor 100 e identificar uno o más intercambiadores de calor críticos dentro de la red en los que se debe realizar un monitoreo adicional. Por ejemplo, los datos asociados con el funcionamiento histórico, el diseño histórico y/o los datos de rendimiento actual para los intercambiadores de calor que se inspeccionan se pueden almacenar en una memoria asociada con el controlador. El software que se ejecuta en el controlador puede entonces analizar los datos almacenados para identificar uno o más intercambiadores de calor dentro de la red de intercambiadores de calor 100 como un intercambiador de calor crítico. Alternativamente, un usuario que implemente el método de control del agua de enfriamiento puede designar un intercambiador de calor o intercambiadores de calor particulares como críticos en base a los factores específicos del sitio.

60 Independientemente de las características y el proceso utilizado para designar un intercambiador de calor particular como crítico, el intercambiador de calor así designado se puede monitorear para obtener información y conocimientos sobre el estado del agua de enfriamiento que fluye a través del intercambiador de calor. Por ejemplo, se pueden agregar sensores para monitorear las corrientes que fluyen a través del intercambiador de calor crítico para proporcionar datos relacionados con la eficiencia térmica del intercambiador de calor para controlar el sistema de agua de enfriamiento.

65 La Figura 2 es un diagrama conceptual de un ejemplo del sistema de control y monitoreo de agua de enfriamiento 10, que se puede implementar para un intercambiador de calor 104 designado como un intercambiador de calor crítico de acuerdo con una inspección realizada en una red de intercambiadores de calor. En el ejemplo ilustrado, el

sistema 10 incluye una torre de enfriamiento 102, uno o más intercambiadores de calor 104 y una bomba 106 que puede introducir uno o más agentes químicos en una corriente de agua de enfriamiento que se recircula a través de la red de intercambio de calor. Un controlador 136 gestiona el funcionamiento general del sistema 10. En funcionamiento, una corriente de proceso comparativamente caliente puede pasar a través de un lado de corriente de proceso del intercambiador de calor 104 mientras que una corriente de agua de enfriamiento comparativamente fría pasa a través de un lado de corriente de agua de enfriamiento del intercambiador. Los fluidos se pueden separar por una superficie de pared sólida dentro del intercambiador de calor para evitar la mezcla de los fluidos. La energía térmica se puede transferir desde la corriente de proceso comparativamente caliente a la corriente de agua de enfriamiento comparativamente fría, lo que da como resultado una reducción de la temperatura de la corriente de proceso y un aumento de la temperatura de la corriente de agua de enfriamiento. Mientras que el ejemplo del sistema de la Figura 2 incluye un solo intercambiador de calor 104 con fines de ilustración, una red de intercambiadores de calor que utiliza los conceptos de la presente descripción puede incluir múltiples intercambiadores de calor (por ejemplo, se describe cada uno configurado como intercambiador de calor 104) como se analizó anteriormente con respecto a la Figura 1.

El intercambiador de calor 104 en el ejemplo de la Figura 2 incluye una entrada de agua de enfriamiento 108 y una salida de agua de enfriamiento 110. El intercambiador de calor también incluye una entrada de corriente de proceso 112 y una salida de corriente de proceso 114. Una corriente de agua de enfriamiento 116 puede entrar en el intercambiador de calor 104 a través de la entrada de agua de enfriamiento 108, fluir a través de una o más trayectorias divididas dentro del intercambiador de calor y salir del intercambiador de calor a través de la salida de agua de enfriamiento 110. Asimismo, una corriente de proceso 118 puede entrar en el intercambiador de calor 104 a través de la entrada de corriente de proceso 112, fluir a través de una o más trayectorias divididas dentro del intercambiador de calor que se separan de la corriente de agua de enfriamiento y salir del intercambiador de calor a través de la salida de corriente de proceso 114. En algunas configuraciones, la corriente de agua de enfriamiento y la corriente de proceso fluyen en direcciones equicorrientes a través del intercambiador de calor. En otras configuraciones, la corriente de agua de enfriamiento en la corriente de proceso fluye en direcciones contracorriente a través del intercambiador de calor. En general, el intercambiador de calor 104 se puede implementar mediante el uso de cualquier tipo deseado de diseño de intercambiador de calor, tal como un intercambiador de calor de carcasa y tubos, un intercambiador de calor de placas u otro tipo de dispositivo de transferencia térmica.

En la configuración ilustrada, la corriente de agua de enfriamiento 116 se envía al intercambiador de calor 104 desde una torre de enfriamiento aguas arriba 102 y se recicla de nuevo a la torre de enfriamiento después de pasar por el intercambiador de calor. Como se indicó anteriormente, la corriente de agua de enfriamiento 116 puede pasar a través de uno o más intercambiadores de calor antes de entrar en el intercambiador de calor 104 antes de regresar a la torre de enfriamiento 102. En la torre de enfriamiento 102, la energía térmica transferida a la corriente de agua de enfriamiento que fluye a través del circuito de transferencia de calor se puede eliminar y descargarse a la atmósfera. Por ejemplo, la torre de enfriamiento 102 puede poner la corriente de agua de enfriamiento en contacto directo con el aire, lo que da como resultado una reducción de la temperatura de la corriente de agua de enfriamiento a través del enfriamiento por evaporación. El agua de enfriamiento se puede entregar a un sumidero o depósito antes de extraerse y pasar a través de la red de intercambiadores de calor.

Además de la pérdida de agua por evaporación, el agua de enfriamiento se puede eliminar periódicamente del sistema de intercambio de calor. Se puede usar una línea de descarga 120 para drenar (o "purgar") una porción del agua del sumidero o del depósito mientras el sistema está funcionando. En cualquier caso, una línea de agua de "reposición" 122 puede suministrar agua dulce al sistema de enfriamiento para compensar las pérdidas de agua por evaporación o vertido deliberado.

En la práctica, una variedad de problemas puede afectar el rendimiento térmico del intercambiador de calor 104 desde el lado del agua de enfriamiento del intercambiador de calor. Por ejemplo, si el agua de enfriamiento contiene un alto nivel de sólidos (por ejemplo, limo, escombros), los sólidos pueden obstruir parcial o totalmente la trayectoria de fluido del agua de enfriamiento a través del intercambiador de calor 104. Como ejemplo, el agua de enfriamiento puede hacer que se formen depósitos en las superficies internas del intercambiador de calor 104 en contacto con el agua de enfriamiento.

Por ejemplo, la evaporación del agua de enfriamiento puede conducir a la concentración de sales (por ejemplo, calcio, sodio, magnesio) en la corriente de agua de enfriamiento reciclada a través del sistema. Estas sales pueden formar depósitos de incrustaciones en las superficies del intercambiador de calor 104 en contacto con el agua de enfriamiento. Como otro ejemplo, si el agua de enfriamiento contiene materiales orgánicos y microbios, se pueden depositar biopelículas en las superficies del intercambiador de calor 104 en contacto con el agua de enfriamiento. Como otro ejemplo adicional, se pueden desarrollar productos de corrosión dentro de la corriente de agua de enfriamiento, por ejemplo, debido a la oxidación del componente metálico (por ejemplo, hierro, aluminio y/o zinc). Estos productos de corrosión también se pueden depositar en las superficies del intercambiador de calor 104 en contacto con el agua de enfriamiento. Independientemente del mecanismo o causa del ensuciamiento, la acumulación de una capa de barrera en las superficies del intercambiador de calor 104 en contacto con el agua de enfriamiento puede reducir la eficiencia de la transferencia térmica a través del intercambiador de calor.

Para ayudar a reducir o eliminar las condiciones de ensuciamiento potenciales en la corriente de agua de enfriamiento que pasa a través de la red de transferencia de calor, se pueden agregar uno o más productos químicos al agua de enfriamiento para inhibir la formación y/o deposición de ensuciamiento. En la configuración de la Figura 2, el sistema 10 incluye una o más bombas 106A-106Z (denominadas colectivamente "bomba 106") conectadas de forma fluida a uno o más depósitos de aditivos químicos respectivos 124A-124Z (denominados colectivamente "depósito químico 124"). La bomba 106 puede operar para agregar uno o más productos químicos al agua de enfriamiento que se seleccionan para inhibir la formación y/o la deposición de incrustaciones en las superficies en contacto con el agua de enfriamiento. Ejemplos de aditivos químicos que se pueden inyectar en el agua de enfriamiento incluyen, pero no se limitan a polímeros (dispersantes e inhibidores de incrustaciones), compuestos organofosforados tales como oligómero fosfínosuccínico (PSO, inhibidor de incrustaciones y corrosión), zinc (inhibidor de corrosión), ortofosfato (inhibidor de corrosión), polifosfatos (inhibidores de incrustaciones y corrosión), biocidas y sus combinaciones. Adicional o alternativamente, se pueden inyectar uno o más aditivos químicos en el agua de enfriamiento para ajustar el pH del agua de enfriamiento. Los ejemplos de compuestos para ajustar el pH incluyen ácidos minerales, ácidos orgánicos y bases inorgánicas.

En la configuración ilustrada de la Figura 2, la bomba 106 se ilustra como aditivo químico añadido al agua de enfriamiento entre la torre de enfriamiento 102 y el intercambiador de calor 104. En la práctica, el aditivo químico se puede introducir en la corriente de agua de enfriamiento en cualquier lugar adecuado, tal como un sumidero asociado con la torre de enfriamiento. Además, mientras que el sistema 10 en la Figura 2 ilustra una sola bomba 106 acoplada de forma fluida a un solo depósito de aditivo químico 124, la bomba 106 puede estar en comunicación de fluidos selectiva con múltiples depósitos que contienen diferentes productos químicos y/o el sistema 10 puede incluir múltiples bombas, cada una configurada para introducir un producto químico diferente en el agua de enfriamiento. Al proporcionar múltiples aditivos químicos diferentes, incluidos algunos o todos los analizados anteriormente, el tipo de químico introducido en el agua de enfriamiento se puede cambiar en base a las condiciones cambiantes del agua de enfriamiento.

Para controlar la adición de aditivo químico al agua de enfriamiento en el sistema 10, se puede monitorear el rendimiento térmico del intercambiador de calor 104. Los rendimientos térmicos del intercambiador de calor 104 se pueden monitorear para evaluar la eficiencia con la que la energía térmica se transfiere desde la corriente de proceso comparativamente caliente a la corriente de agua de enfriamiento comparativamente fría. La eficiencia de transferencia de calor del intercambiador de calor 104 puede ser mayor cuando el intercambiador de calor es nuevo o se ha limpiado. Por ejemplo, el intercambiador de calor 104 se puede limpiar periódicamente mediante el uso de implementos de limpieza químicos y/o mecánicos para eliminar el ensuciamiento en el proceso y/o el lado de enfriamiento del intercambiador, al proporcionar que las superficies de intercambio de calor del intercambiador de calor estén limpias y sustancial o completamente sin suciedad. Con el tiempo en servicio, los depósitos de ensuciamiento se pueden acumular en el lado de la corriente de proceso y/o en el lado de la corriente de agua de enfriamiento de las superficies de transferencia de calor del intercambiador de calor. Como resultado, la eficiencia de transferencia de calor del intercambiador de calor 104 se puede deteriorar durante el transcurso del servicio de una limpieza a la siguiente.

Para ayudar a monitorear la eficiencia de transferencia de calor del intercambiador de calor 104, se pueden implementar múltiples sensores para monitorear diferentes aspectos operativos del intercambiador de calor. En el ejemplo de la Figura 2, el sistema 10 incluye un sensor de temperatura 126 que mide una temperatura de la corriente de agua de enfriamiento 116 que entra en el intercambiador de calor 104 y un sensor de temperatura 128 que mide la temperatura de la corriente de agua de enfriamiento que sale del intercambiador de calor. El sistema también incluye un sensor de temperatura 130 que mide la temperatura de la corriente de proceso 118 que entra en el intercambiador de calor 104, y un sensor de temperatura 132 que mide la temperatura de la corriente de proceso que sale del intercambiador de calor. Mientras los sensores de temperatura se ilustran esquemáticamente colocados inmediatamente adyacentes al intercambiador de calor 104, los sensores de temperatura se pueden colocar en una ubicación aguas arriba o aguas abajo del intercambiador de calor, siempre que los sensores de temperatura proporcionen una medida adecuadamente precisa de la temperatura de la corriente respectiva que entra o sale del intercambiador de calor.

El sistema 10 puede incluir sensores adicionales y/o diferentes para medir diferentes parámetros operativos del intercambiador de calor 104. Por ejemplo, el sistema puede incluir uno o más sensores de flujo para medir el caudal de la corriente de agua de enfriamiento 116 y/o la corriente de proceso 118. En el ejemplo ilustrado, el sistema 10 muestra un sensor de flujo 134 colocado para medir el caudal de la corriente de agua de enfriamiento que sale del intercambiador de calor 104. En otros ejemplos, los caudales de la corriente de agua de enfriamiento 116 y/o la corriente de proceso 118 se pueden determinar en base a las velocidades de la bomba u otra información dentro del entorno operativo que indica el fluido masivo transportado a través del intercambiador de calor. Otros sensores que se pueden emplear de manera útil en el sistema 10 incluyen los sensores de presión (por ejemplo, para medir una presión diferencial de la corriente de agua de enfriamiento y/o corriente de proceso a través del intercambiador de calor).

Además de monitorear las características del intercambiador de calor 104, el sistema 10 puede monitorear en línea y/o recibir datos desde fuentes de análisis fuera de línea con respecto a las características del agua de enfriamiento

que fluye a través del sistema, incluido el intercambiador de calor 104. Los datos pueden proporcionar información indicativa de la característica de ensuciamiento potencial y la(s) causa(s) de ensuciamiento correspondiente(s) en el lado del agua de enfriamiento del intercambiador de calor 104. Esto se puede usar en combinación con la información de la eficiencia de transferencia de calor del intercambiador de calor 104 para controlar el agua de enfriamiento en el sistema 10.

Las causas típicas de ensuciamiento que se pueden observar en la práctica incluyen el ensuciamiento causado por incrustaciones, el ensuciamiento causado por corrosión y/o el ensuciamiento causado por fuentes biológicas (el llamado bioensuciamiento).

Tal como se usa en el presente documento, el término "ensuciamiento por incrustaciones" se refiere al ensuciamiento de una superficie de intercambio de calor por partículas formadas en el agua de enfriamiento, que incluye pero no se limita a, componentes tales como carbonato de calcio, fosfato de calcio, silicato de magnesio, sílice, manganeso óxidos, fosfatos de aluminio, limo y arena.

El término "ensuciamiento por corrosión" se refiere al ensuciamiento de una superficie de intercambio de calor por depósitos formados por corrosión, tales como principalmente óxidos metálicos, que se pueden formar in situ o por rotura y redistribución desde cualquier otra parte del sistema.

El término "bioensuciamiento" se refiere al ensuciamiento de una superficie de intercambio de calor por organismos biológicos, sus moléculas extracelulares o subproductos metabólicos.

Para obtener información indicativa de una o más causas de ensuciamiento potenciales en el lado del agua de enfriamiento del intercambiador de calor 104, el sistema 10 puede generar y/o el controlador 136 puede recibir información asociada con diferentes mecanismos potenciales de ensuciamiento. Cada mecanismo potencial de ensuciamiento puede estar asociado con un solo parámetro que se mide o puede estar asociado con múltiples parámetros que se miden, lo que colectivamente proporciona información sobre la probabilidad de que un mecanismo potencial de ensuciamiento sea el mecanismo de ensuciamiento subyacente real. Por ejemplo, múltiples parámetros diferentes asociados con cada mecanismo potencial de ensuciamiento que se evalúa en el sistema 10 se pueden medir y considerar colectivamente para determinar si el mecanismo potencial de ensuciamiento asociado es probable que realmente destaque el mecanismo de ensuciamiento.

Para obtener datos indicativos de diferentes condiciones de ensuciamiento en mecanismos dentro del agua de enfriamiento que fluye a través del intercambiador de calor 104, el sistema 10 puede incluir múltiples sensores diferentes 135A-135Z (colectivamente "sensor 135") que proporcionan información sobre las condiciones de ensuciamiento en el lado del agua de enfriamiento del intercambiador de calor 104. Por ejemplo, en la Figura 2, el sistema 10 se ilustra con al menos un sensor 135A que proporciona información indicativa del ensuciamiento por incrustaciones en el lado del agua de enfriamiento del intercambiador de calor 104, al menos un sensor 135B que proporciona información indicativa de ensuciamiento por corrosión en el lado del agua de enfriamiento del intercambiador de calor, y al menos un sensor 135C que proporciona información indicativa de bioensuciamiento en el lado del agua de enfriamiento del intercambiador de calor.

Dichos sensores se pueden implementar de varias maneras diferentes en el sistema 10. Por ejemplo, uno o más de los sensores se pueden colocar en línea con el agua de enfriamiento que fluye a través del intercambiador de calor 104 (por ejemplo, aguas arriba o aguas abajo del intercambiador) ya sea directamente o a través de una estela extraída de la corriente de agua de enfriamiento principal. Alternativamente, uno o más de los sensores se pueden implementar como una herramienta de monitoreo fuera de línea que no está en comunicación de fluidos directa con el agua de enfriamiento que fluye a través del intercambiador de calor 104. En estas aplicaciones, el agua de enfriamiento que fluye a través del intercambiador de calor 104 se puede extraer del sistema y transportarse a un sistema de análisis fuera de línea. Dicho análisis fuera de línea puede implicar la evaluación directa de la muestra, por ejemplo, mediante el uso de uno o más sensores, o puede implicar un procesamiento adicional de la muestra, tal como realizar un procesamiento de química húmeda en la muestra para generar datos asociados con la muestra. En cualquier caso, el controlador 136 puede recibir los datos generados por el sensor 135 y/o asociados de cualquier otra manera con el agua de enfriamiento que se está evaluando, por ejemplo, para almacenamiento en la memoria y/o procesamiento adicional.

Por ejemplo, la siguiente tabla ilustra un ejemplo de datos de agua de enfriamiento que se pueden obtener mediante el uso de técnicas de monitoreo en línea y fuera de línea junto con un ejemplo de frecuencias de captura para los datos:

Pruebas de Química húmeda (Frecuencia de Ejemplo)	
Parámetro	Frecuencia
m-Alcalinidad	Semanalmente
Dureza Total	Semanalmente
Dureza Suspendida	Semanalmente
Dureza del Calcio	Semanalmente
Dureza del Magnesio	Semanalmente
Ortofosfato Total	Semanalmente
Ortofosfato Soluble	Semanalmente
Zinc Total	Semanalmente
Zinc Soluble	Semanalmente
Cloro Total	Semanalmente
pH	Semanalmente
Nivel de Producto Rastreado (ppm)	Semanalmente
ORP	Semanalmente
Conductividad	Semanalmente
Nitrito	Semanalmente
Nitrato	Semanalmente
Polímero Dispersante	Semanalmente
Triazol	Semanalmente
Ciclos de Calcio	Semanalmente
Pruebas Microbianas (Frecuencia de Ejemplo)	
Bacteria Aeróbica	Semanalmente
Bacteria Anaeróbica	Semanalmente
Monitoreo en Línea (Frecuencia de Ejemplo)	
Temperatura (°F)	5 minutos
Conductividad (µS/cm)	5 minutos
pH	5 minutos
ORP (mV)	5 minutos
Corrosión del Acero Caudal (mpy)	5 minutos
Corrosión de Cobre Caudal (mpy)	5 minutos
Nivel de Producto Rastreado (ppm)	5 minutos
Nivel de Polímero Dispersante (ppm)	5 minutos
Turbidez (NTU)	5 minutos
Canal de Fondo (ppm)	5 minutos
% de Ensuciamiento de la Celda	5 minutos

Los datos de análisis tales como los ejemplificados en la tabla anterior pueden entrar y/o almacenarse en un medio legible por ordenador accesible por el controlador 136 para realizar las técnicas de análisis y control descritas en la presente descripción. Se debe apreciar que la funcionalidad informática atribuida al controlador 136 en el sistema 100 se puede realizar en uno o más controladores asociados con el sistema, ya sea físicamente en el sitio o ubicados de forma remota, y las funcionalidades descritas en la presente descripción no se limitan a realizarse en cualquier dispositivo de hardware específico o una combinación de dispositivos de hardware. En consecuencia, la descripción de ciertas funcionalidades informáticas que se realizan en el controlador 136 es con fines de análisis, y la descripción no se limita a este respecto.

Para evaluar la probabilidad de que la incrustación provoca las condiciones de ensuciamiento en el sistema 10, el controlador 136 puede recibir datos asociados con un mecanismo de ensuciamiento por incrustaciones. El sensor 135 del sistema 10 puede generar, y el controlador 136 puede recibir, los datos relativos a la concentración de fosfato en el agua de enfriamiento, una concentración de calcio en el agua de enfriamiento, una concentración de manganeso en el agua de enfriamiento, una concentración de aluminio en el agua de enfriamiento, una concentración de hierro en el agua de enfriamiento, una concentración de fosfato en el agua de enfriamiento, una concentración de alcalinidad en el agua de enfriamiento y/o una concentración de sílice en el agua de enfriamiento. El aumento de las concentraciones de uno o más de estos componentes se puede asociar con un mayor riesgo de ensuciamiento por incrustaciones.

Como otro ejemplo, el sensor 135 se puede implementar mediante el uso de un sensor óptico para proporcionar una medida indicativa de una concentración y/o tamaño de partículas en el agua de enfriamiento. Por ejemplo, se puede usar un sensor óptico para medir la turbidez y/o las características de dispersión de la luz del agua de enfriamiento. Una mayor concentración de partículas en el agua de enfriamiento se puede asociar con componentes de ensuciamiento por incrustaciones, que sugiere un mecanismo de ensuciamiento por incrustaciones. Adicional o alternativamente, se puede usar un sensor óptico para medir la formación del ensuciamiento en una superficie del lado de la corriente de agua de enfriamiento del intercambiador de calor 104 o un análogo del mismo, tal como un cupón de metal o una tira de prueba expuesta a las mismas condiciones de agua de enfriamiento a las que se

expone el intercambiador de calor. El sensor óptico puede evaluar ópticamente el ensuciamiento formado en la superficie que se está monitoreando para determinar las características del ensuciamiento y, en consecuencia, si el ensuciamiento se asocia con un mecanismo de ensuciamiento por incrustaciones (o corrosión o bioensuciamiento).

5 El controlador 136 puede recibir datos adicionales o diferentes que indiquen un mecanismo potencial de ensuciamiento por incrustaciones y utilizar la información para controlar el sistema de agua de enfriamiento. Como ejemplo, el controlador 136 puede recibir datos correspondientes a la caída de presión a través del intercambiador de calor 104 en el lado del agua de enfriamiento y calcular un factor C (factor de conductancia térmica) en base a la caída de presión. Una disminución en el factor C con el tiempo puede incluir la formación de ensuciamiento por incrustaciones.

10 Para evaluar la probabilidad de que la corrosión provoca las condiciones de ensuciamiento en el sistema 10, el controlador 136 puede recibir datos asociados con un mecanismo de ensuciamiento por corrosión. El sensor 135 en el sistema 10 puede generar, y el controlador 136 puede recibir, datos relativos a una concentración de hierro en el agua de enfriamiento y/o una concentración de cobre en el agua de enfriamiento. Las concentraciones aumentadas de uno o más de estos componentes se pueden asociar con componentes de ensuciamiento por corrosión. Como otro ejemplo, se puede utilizar una sonda de polarización lineal para realizar mediciones de resistencia indicativas de las condiciones de corrosión en el agua de enfriamiento.

15 Como otro ejemplo adicional, se puede usar un sensor óptico para medir la formación de ensuciamiento en una superficie del lado de la corriente de agua de enfriamiento del intercambiador de calor 104 o un análogo del mismo, tal como un cupón de metal o una tira de prueba expuesta a las mismas condiciones del agua de enfriamiento a las que se expone el intercambiador de calor. El sensor óptico puede evaluar ópticamente el ensuciamiento formado en la superficie que está siendo monitoreada para determinar las características del ensuciamiento y, en consecuencia, si el ensuciamiento está asociado con un mecanismo de ensuciamiento por corrosión. Cuando se utiliza un análogo para medir las condiciones de ensuciamiento dentro del sistema 10 en lugar de realizar mediciones directas en una superficie del lado del agua de enfriamiento del intercambiador de calor 104, el análogo puede o no estar formado por la misma metalurgia que el metal que define el lado de la corriente del agua de enfriamiento del intercambiador de calor.

20 En un ejemplo de configuración del sistema 10, se puede usar un intercambiador de calor modelo o de prueba junto con el intercambiador de calor 104 para proporcionar conocimientos sobre el comportamiento de la corrosión que ocurre en el intercambiador de calor 104. El intercambiador de calor modelo puede ser un intercambiador de calor diferente al intercambiador de calor principal 104 y puede tener una capacidad menor. Un tubo o cupón de metal que funciona como un análogo del lado del agua de enfriamiento del intercambiador de calor 104 se puede colocar dentro de la carcasa. El intercambiador de calor modelo se puede conectar de forma fluida al agua de enfriamiento y/o a las corrientes de proceso que pasan a través del intercambiador de calor 104, por ejemplo, al tomar una(s) corriente(s) deslizante(s).

25 Para evaluar la probabilidad de que el bioensuciamiento provoca las condiciones de ensuciamiento en el sistema 10, el controlador 136 puede recibir datos asociados con un mecanismo de bioensuciamiento. El sensor 135 en el sistema 10 puede generar, y el controlador 136 puede recibir, datos relativos a una concentración de trifosfato de adenosina en el agua de enfriamiento, una cantidad de carbono orgánico total en el agua de enfriamiento y/o un potencial de oxidación-reducción del agua de enfriamiento. Estos componentes pueden estar asociados con la actividad biológica en el agua de enfriamiento que puede causar bioensuciamiento.

30 Adicional o alternativamente, se puede usar un sensor óptico para medir la formación de ensuciamiento en una superficie del lado de la corriente de agua de enfriamiento del intercambiador de calor 104 o un análogo del mismo, tal como un cupón de metal o una tira de prueba expuesta a las mismas condiciones de agua de enfriamiento a las que se expone el intercambiador de calor. El sensor óptico puede evaluar ópticamente el ensuciamiento formado en la superficie que se monitorea para determinar las características del ensuciamiento y, en consecuencia, si el ensuciamiento se asocia con un mecanismo de bioensuciamiento. Como otro ejemplo adicional, se puede usar un fluorómetro para medir la fluorescencia provocada por la excitación de moléculas biológicas en el agua de enfriamiento, que proporciona una indicación de la actividad biológica en el agua de enfriamiento.

35 El controlador 136 puede recibir datos adicionales o diferentes que indiquen un mecanismo potencial de ensuciamiento por incrustaciones y utilizar la información para controlar el sistema de agua de enfriamiento. Como ejemplo, el controlador 136 puede recibir datos correspondientes a un ensayo biológico realizado en el agua de enfriamiento, tal como un ensayo de actividad planctónica y/o séstil. Los resultados del ensayo pueden proporcionar una medición del nivel de los organismos biológicos en el agua de enfriamiento y, en consecuencia, la probabilidad de un mecanismo de bioensuciamiento.

40 El sistema 10 puede incluir otros sensores 135 que proporcionan información sobre el estado del agua de enfriamiento en el sistema y un mecanismo potencial de ensuciamiento que se produce en el lado del agua de ensuciamiento del intercambiador de calor. Por ejemplo, además de monitorear la temperatura del agua de enfriamiento que fluye a través del intercambiador de calor 104, un sensor de pH puede monitorear el pH del agua

de enfriamiento. Como otro ejemplo, en situaciones donde se introduce un aditivo químico en la corriente de agua de enfriamiento para contrarrestar una causa de ensuciamiento potencial, el aditivo puede incluir un polímero marcado con fluorescencia o un marcador fluorescente inerte que se puede analizar fluorométricamente para determinar una concentración del químico en el agua de enfriamiento. El controlador 136 puede evaluar el caudal de consumo del aditivo químico en base a la respuesta fluorométrica para ayudar a determinar si el ensuciamiento del agua de enfriamiento detectado se asocia con un mecanismo de ensuciamiento que se ha tratado o con un mecanismo de ensuciamiento potencialmente diferente.

El sistema 10 en el ejemplo de la Figura 2 también incluye el controlador 136. El controlador 136 se puede conectar comunicativamente a los componentes del sensor y los componentes controlables del sistema 10 para gestionar el funcionamiento general del sistema. Por ejemplo, el controlador 136 se puede conectar comunicativamente a la bomba 106, el sensor de temperatura de entrada del agua de enfriamiento 126, el sensor de temperatura de salida del agua de enfriamiento 128, el sensor de temperatura de entrada de la corriente de proceso 130, el sensor de temperatura de salida de la corriente de proceso 132, el sensor de flujo 134, y los sensores 135.

El controlador 136 incluye el procesador 138 y la memoria 140. El controlador 136 se comunica con componentes conectados comunicativamente a través de una conexión por cable o inalámbrica, que en el ejemplo de la Figura 2 se ilustra como una conexión por cable. Las señales de control enviadas desde el controlador 136 y recibidas por el controlador pueden viajar a través de la conexión. La memoria 140 almacena software para ejecutar el controlador 136 y también puede almacenar datos generados o recibidos por el procesador 138, por ejemplo, de sensores de temperatura 126, 128, 130, 132 y sensor de flujo 134. El procesador 138 ejecuta el software almacenado en la memoria 140 para gestionar el funcionamiento del sistema 10.

El controlador 136 se puede implementar mediante el uso de uno o más controladores, que se pueden ubicar en el sitio de la instalación que contiene el intercambiador de calor 104. El controlador 136 se puede comunicar con uno o más dispositivos informáticos remotos 142 a través de una red 144. Por ejemplo, el controlador 136 se puede comunicar con una red informática en la nube distribuida geográficamente, que puede realizar cualquiera o todas las funciones atribuidas al controlador 136 en esta descripción.

La red 144 se puede configurar para acoplar un dispositivo informático a otro dispositivo informático para permitir que los dispositivos se comuniquen entre sí. La red 144 se puede habilitar para emplear cualquier forma de medio legible por ordenador para comunicar información de un dispositivo electrónico a otro. Además, la red 144 puede incluir una interfaz inalámbrica y/o una interfaz por cable, tal como la Internet, además de redes de área local (LAN), redes de área amplia (WAN), conexiones directas, tal como a través de un puerto bus serie universal (USB), otras formas de medios legibles por ordenador, o cualquier otra de sus combinaciones. En un conjunto interconectado de LAN, incluidas aquellas basadas en diferentes arquitecturas y protocolos, un enrutador puede actuar como enlace entre las LAN, permitiendo que los mensajes se envíen de una a otra. Los enlaces de comunicación dentro de las LAN pueden incluir par trenzado o cable coaxial, mientras que los enlaces de comunicación entre redes pueden utilizar líneas telefónicas analógicas, líneas digitales dedicadas completas o fraccionadas, Redes Digitales de Servicios Integrados (ISDN), Líneas de Suscriptor Digital (DSL), enlaces inalámbricos que incluyen celulares y enlaces satelitales u otros enlaces de comunicaciones. Además, los ordenadores remotos y otros dispositivos electrónicos relacionados se pueden conectar de forma remota a LAN o WAN a través de un módem y un enlace telefónico temporal.

En funcionamiento, los sensores de temperatura 126, 128, 130 y 132 pueden generar datos indicativos de la temperatura de una corriente de fluido respectiva que entra o sale del intercambiador de calor 104. Asimismo, el sensor de flujo 134 puede generar datos indicativos de un caudal de agua de enfriamiento que sale del intercambiador de calor 104. El controlador 136 puede recibir datos de los sensores implementados en todo el sistema 10 y usar los datos generados por los sensores para determinar la eficiencia de transferencia de calor del intercambiador de calor 104. Con referencia a la información almacenada en la memoria que relaciona la información de temperatura recibida y/o la información del caudal con los valores de la eficiencia de transferencia de calor, el controlador 136 puede determinar los valores de la eficiencia de la transferencia de calor para el intercambiador de calor.

En algunos ejemplos, el controlador 136 puede determinar la eficiencia de transferencia de calor del intercambiador de calor 104 mediante el uso de la Ecuación (1) a continuación:

$$\text{Ecuación 1: Valor U: } \frac{\dot{m} C_p \Delta T_{\text{agua}}}{\Delta T_{\text{LMTD}} \times \text{Calor Tr. Área} \times F_t}$$

En la Ecuación (1) anterior, Valor U es la eficiencia de transferencia de calor, m es el caudal másico de la corriente del agua de enfriamiento, C_p es el calor específico de la corriente del agua de enfriamiento, ΔT_{agua} es una diferencia entre la temperatura de la corriente del agua de enfriamiento que sale del intercambiador de calor y la temperatura de la corriente de agua de enfriamiento que entra en un intercambiador de calor, Heat Tr. Área es una cantidad de área superficial del intercambiador de calor sobre la cual se transfiere energía térmica entre la corriente de proceso y

la corriente de agua de enfriamiento, F_t es un factor de corrección correspondiente a la geometría del intercambio de calor y ΔT_{LMTD} es una diferencia de temperatura media logarítmica. Parámetros tales como el calor específico de la corriente de agua de enfriamiento, el área de transferencia de calor del intercambiador de calor 104 y un factor de corrección se pueden almacenar en una memoria y/o calcularse en base a la información almacenada en la memoria. Por ejemplo, un usuario puede usar un dispositivo de entrada de usuario para almacenar información en la memoria 140 del controlador 136 correspondiente al calor específico de la corriente de agua de enfriamiento (por ejemplo, el calor específico del agua) y las características correspondientes a la geometría del intercambiador de calor 104.

La diferencia de temperatura media logarítmica en la Ecuación (1) anterior se puede calcular mediante el uso de la Ecuación (2) o (3) a continuación.

$$\text{Ecuación 2: } \Delta T_{LMTD} = \frac{(T_{\text{proceso,ent}} - t_{\text{agua,sal}}) - (T_{\text{proceso,sal}} - t_{\text{agua,ent}})}{\log_e \frac{T_{\text{proceso,ent}} - t_{\text{agua,sal}}}{T_{\text{proceso,sal}} - t_{\text{agua,ent}}}}$$

$$\text{Ecuación 3: } \Delta T_{LMTD} = \frac{(T_{\text{proceso,ent}} - t_{\text{agua,ent}}) - (T_{\text{proceso,sal}} - t_{\text{agua,sal}})}{\log_e \frac{T_{\text{proceso,ent}} - t_{\text{agua,ent}}}{T_{\text{proceso,sal}} - t_{\text{agua,sal}}}}$$

La Ecuación (2) se puede utilizar en circunstancias donde la corriente de agua de enfriamiento y la corriente de proceso fluyen en dirección contraria a la corriente. La Ecuación (3) se puede utilizar en circunstancias donde la corriente de agua de enfriamiento y la corriente de proceso fluyen en una dirección equicorriente. En ambas Ecuaciones (2) y (3), $T_{\text{Proceso,ent}}$ es la temperatura de la corriente de agua de proceso que entra en el intercambiador de calor medida por el sensor de temperatura 130, $T_{\text{Proceso,sal}}$ es la temperatura de la corriente de proceso que sale del intercambiador de calor medida por el sensor de temperatura 132, $t_{\text{agua,ent}}$ es la temperatura de la corriente de agua de enfriamiento que entra en el intercambiador de calor medida por el sensor de temperatura 126, y $t_{\text{agua,sal}}$ es la temperatura de la corriente de agua de enfriamiento que sale del intercambiador de calor, medida por sensor de temperatura 128.

El controlador 136 puede recibir datos de los sensores en el sistema 10 y determinar la eficiencia de transferencia de calor del intercambiador de calor 104 de forma continua o periódica. Por ejemplo, el controlador 136 puede determinar la eficiencia de transferencia de calor del intercambiador de calor 104 al menos una vez al día, tal como al menos una vez por hora, al menos una vez por minuto o al menos una vez por segundo. La frecuencia con la que el controlador 136 calcula la eficiencia de transferencia de calor del intercambiador de calor 104 puede variar en dependencia del caudal de muestreo de los sensores en el sistema 10, la capacidad de procesamiento del controlador 136, y/o una entrada del operador que selecciona la frecuencia con la que se debe calcular la eficiencia de transferencia de calor.

En la práctica, es conveniente que el intercambiador de calor 104 muestre una alta eficiencia de transferencia de calor que permanezca alta (por ejemplo, sustancialmente constante) durante el intervalo de servicio del intercambiador de calor. En la práctica, sin embargo, la eficiencia de transferencia de calor del intercambiador de calor 104 puede disminuir con el tiempo a medida que se acumula el ensuciamiento en el lado de la corriente de proceso del intercambiador de calor y/o en el lado del agua de enfriamiento del intercambiador de calor. Al monitorear el caudal en el que se acumula el ensuciamiento en el intercambiador de calor y la velocidad correspondiente a la que cambia la eficiencia térmica del intercambiador de calor, se pueden tomar acciones de intervención en el lado del agua de enfriamiento mediante la bomba 106 para controlar la adición de uno o más aditivos químicos a la corriente de agua de enfriamiento en respuesta a la detección de cambios en la eficiencia térmica.

En algunos ejemplos, el controlador 136 establece una tendencia de la eficiencia de transferencia de calor para el intercambiador de calor 104 durante un período de tiempo. El período de tiempo durante el cual se establece la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor puede comenzar cuando el intercambiador de calor se pone en servicio por primera vez (por ejemplo, si es nuevo o después de limpiarlo). Esto es cuando es menos probable que se ensucie el intercambiador de calor 104. Alternativamente, el período de tiempo durante el cual se establece la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor puede comenzar después de que el intercambiador de calor se haya puesto en servicio durante un período de tiempo. Por ejemplo, la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor puede comenzar cuando se realizan cambios en la corriente de agua de enfriamiento (por ejemplo, después de la purga) y/o se realizan cambios en la corriente de proceso (por ejemplo, cambio de temperatura, presión, composición) que fluye a través de intercambiador de calor 104.

Independientemente de cuándo comience el período de tiempo para medir la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor para el intercambiador de calor 104, el controlador 136 puede medir la eficiencia de transferencia de calor durante un período de tiempo efectivo para proporcionar una tendencia estadísticamente

razonable del comportamiento de la eficiencia de transferencia de calor. Por ejemplo, el controlador 136 puede medir la eficiencia de transferencia de calor del intercambiador de calor 104 durante al menos 1 día, tal como al menos 5 días, al menos 10 días, al menos 20 días, o al menos 30 días. En algunos ejemplos, el controlador 136 mide la eficiencia de transferencia de calor del intercambiador de calor 104 durante un período de tiempo que oscila de 1 a 120 días, tal como de 5 a 100 días, de 10 a 45 días, o de 5 a 30 días. En algunos ejemplos, el controlador 136 mide la eficiencia de transferencia de calor como un promedio móvil durante un cierto número de días anteriores, tal como un período anterior que oscila de 5 a 50 días.

El controlador 136 puede generar valores de la eficiencia de transferencia de calor en base a la información del sensor recibida durante el período de medición. El controlador 136 puede realizar además un análisis de tendencia estadística sobre los valores de la eficiencia de transferencia de calor determinados durante el período de medición para identificar una tendencia para la eficiencia de transferencia de calor del intercambiador de calor 104.

En algunos ejemplos, el controlador 136 puede ajustar una curva a los valores de la eficiencia de transferencia de calor representados en el eje y de un gráfico con el tiempo de medición correspondiente representado en el eje x del gráfico. En un ejemplo, la curva es una ecuación de primer orden que tiene la forma $y=m*x+b$, donde y es la eficiencia de transferencia de calor, x es el tiempo, m es la pendiente de la curva y b es la intersección de la curva. La pendiente de la curva "m" se puede almacenar en una memoria asociada con el controlador 136 como una tendencia correspondiente a la eficiencia de transferencia de calor del intercambiador de calor 104. En otros ejemplos, se puede ajustar una curva polinomial de orden superior a los datos.

En algunos ejemplos, el controlador 136 procesa los datos de temperatura recibidos de los sensores 126, 128, 130 y 132 y/o los datos de flujo recibidos del sensor 134 antes de calcular la eficiencia de transferencia de calor. Por ejemplo, el controlador 136 puede suavizar los datos mediante el uso de un algoritmo de suavizado estadístico para eliminar el ruido y los valores atípicos de los datos. El controlador 136 puede entonces determinar la eficiencia de transferencia de calor mediante el uso de valores de temperatura suavizados. Alternativamente, el controlador 136 puede calcular los valores de la eficiencia de transferencia de calor para los datos en bruto y aplicar el algoritmo de suavizado a los valores de la eficiencia de transferencia de calor calculados. El análisis de tendencia posterior y la detección de cambios se pueden realizar mediante el uso de los datos suavizados.

El controlador 136 puede continuar recibiendo mediciones de los sensores en el sistema 10 y generando valores de la eficiencia de transferencia de calor en base a los datos recibidos del sensor después de establecer una tendencia de la eficiencia de transferencia de calor. El controlador 136 puede comparar la información de la eficiencia de transferencia de calor para el intercambiador de calor 104 con la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor determinada para el intercambiador de calor y detectar si hay un cambio en la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor. Por ejemplo, el controlador 136 puede determinar una tendencia de la eficiencia de transferencia de calor para un período de medición y comparar esa tendencia con la tendencia establecida anteriormente. El período de medición puede ser comparativamente corto (por ejemplo, un día o menos) o más largo (por ejemplo, un día o más, tal como una semana o más). En aplicaciones donde el controlador 136 ajusta una ecuación de primer orden a los datos de la eficiencia de transferencia de calor calculados en base a los datos recibidos del intercambiador de calor 104, el controlador puede determinar una pendiente de la eficiencia de transferencia de calor durante el período de medición. El controlador 136 puede comparar la pendiente de la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor del intercambiador de calor 104 durante el período de medición (período de comparación) con la pendiente de la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor establecida anteriormente (período de referencia).

Se puede usar una variedad de indicadores diferentes para dividir un conjunto de datos de la eficiencia de transferencia de calor en un período de referencia y un período de comparación con fines de comparación relativa y cuantificación del cambio de tendencia. En algún ejemplo, los datos de la eficiencia de transferencia de calor se dividen en base a un evento que impacta en la operación del sistema 10 en un período de referencia antes del evento y un período de comparación después del evento. Ejemplos de eventos incluyen: apagado y puesta en marcha de la planta (por ejemplo, cambio), el cambio de una pieza del equipo en contacto con el agua de enfriamiento (por ejemplo, la bomba, el intercambiador de calor), un trastorno químico del agua en el agua de la torre de enfriamiento y/o alimentaciones químicas asociadas (por ejemplo, un cambio en la concentración de una especie química en el agua superior al 10 %, tal como superior al 20 %, superior al 50 % o superior al 100 %), un cambio en la temperatura de funcionamiento, un cambio en las condiciones o en la composición de la corriente de proceso, y sus combinaciones. Los datos de las tendencias de la eficiencia de transferencia de calor antes del evento pueden formar el período de referencia, y los datos de las tendencias de la eficiencia de transferencia de calor después del evento pueden formar el período de comparación. El controlador 136 se puede informar del evento a través de la entrada del usuario mediante una interfaz de usuario u otros datos monitoreados recibidos por el controlador que indican la ocurrencia del evento.

Como otro ejemplo, el controlador 136 puede establecer un promedio móvil (por ejemplo, que tenga un período que oscila entre 10 días y 3 meses) de datos de las tendencias de la eficiencia de transferencia de calor como referencia y comparar los datos de las tendencias de la eficiencia de transferencia de calor posteriores con el promedio móvil para proporcionar la comparación. Como otro ejemplo adicional, el controlador 136 puede dividir los datos de la

eficiencia de transferencia de calor monitoreados en dos períodos (por ejemplo, un período de referencia y un período de comparación) en base a la duración y comparar los dos períodos entre sí. Por ejemplo, el controlador 136 puede dividir los datos de la eficiencia de transferencia de calor monitoreados en un período de referencia generado durante una duración de referencia y un período de comparación generado durante una duración de comparación.

5 La duración de referencia y la duración de comparación pueden ser iguales o diferentes entre sí. En algunos ejemplos, la duración de referencia y la duración de comparación oscila cada uno desde un período de una semana de los datos de las tendencias de la eficiencia de transferencia de calor monitoreados hasta 6 meses de los datos de las tendencias de la eficiencia de transferencia de calor monitoreados, tal como desde 2 semanas de los datos de las tendencias de la eficiencia de transferencia de calor monitoreados hasta 4 semanas de los datos de las tendencias de la eficiencia de transferencia de calor monitoreados, o desde 1 mes de los datos de las tendencias de la eficiencia de transferencia de calor monitoreados hasta 3 meses de los datos de las tendencias de la eficiencia de transferencia de calor monitoreados.

10

Independientemente de la técnica utilizada por el controlador 136 para dividir los datos correspondientes a la eficiencia de transferencia de calor en un período de referencia y un período de comparación, en algunas aplicaciones, el controlador 136 compara el cambio en la eficiencia de transferencia de calor entre los dos períodos. Por ejemplo, el controlador 136 puede determinar un cambio porcentual en la eficiencia de transferencia de calor durante el período de referencia y el período de comparación al comparar las pendientes de las líneas de tendencia ajustadas para cada período.

15

Como la duración o extensión del período de referencia puede ser diferente del período de comparación, el controlador 136 puede normalizar el cambio de la eficiencia de transferencia de calor calculado durante cada período a una duración estandarizada. Por ejemplo, el controlador 136 puede ajustar (por ejemplo, extrapolar linealmente) el cambio calculado a un período anualizado (12 meses) o a un período de otra duración. A manera de ilustración, cuando la duración del período de referencia es de 3 meses, el controlador 136 puede multiplicar el cambio de la eficiencia de transferencia de calor calculado para el período de referencia por 4 para anualizar el cambio a una base de 12 meses.

20

El controlador 136 puede comparar la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor desde el período de referencia con la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor para el período de comparación. El controlador 136 puede realizar la comparación al comparar el cambio ajustado en el tiempo (por ejemplo, anualizado) en la eficiencia de la transferencia de calor durante el período de referencia con el cambio ajustado en el tiempo en la eficiencia de la transferencia de calor durante el período de comparación. En diferentes ejemplos, el controlador 136 puede calcular una diferencia entre los dos valores (por ejemplo, al restar el cambio ajustado en el tiempo en la eficiencia de la transferencia de calor durante el período de referencia al cambio ajustado en el tiempo en la eficiencia de la transferencia de calor durante el período de comparación), una relación de los dos valores, u otro parámetro que represente una comparación entre los dos valores.

25

El controlador 136 puede determinar si la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor durante el período de medición difiere de la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor establecida anteriormente en más de una cantidad umbral. La cantidad umbral puede ser superior o igual al 1 % del valor de la eficiencia de transferencia de calor establecido anteriormente (por ejemplo, pendiente), tal como superior o igual al 5 % del valor de la eficiencia de transferencia de calor establecido anteriormente, superior o igual al 10 % del valor de la eficiencia de transferencia de calor establecido anteriormente, mayor o igual al 25 % del valor de la eficiencia de transferencia de calor establecido anteriormente, o mayor o igual al 50 % del valor de la eficiencia de transferencia de calor establecido anteriormente. Por ejemplo, la cantidad umbral puede oscilar entre el 1 por ciento y el 50 por ciento del valor de la eficiencia de transferencia de calor establecido anteriormente, tal como entre el 2 por ciento y el 25 por ciento, o entre el 5 por ciento y el 20 por ciento.

30

Donde el controlador 36 determina un parámetro que representa una comparación de la eficiencia de transferencia de calor durante dos períodos, por ejemplo, una diferencia entre un cambio ajustado en el tiempo en la eficiencia de transferencia de calor durante un período de referencia y un cambio ajustado en el tiempo en la eficiencia de transferencia de calor durante un período de comparación -el umbral puede ser uno o más valores discretos en lugar de un porcentaje. Cuando el parámetro es una diferencia en el valor-U anualizado (por ejemplo, el cambio en el valor-U anualizado durante el período de comparación menos el cambio en el valor-U anualizado durante el período de referencia), el valor umbral puede ser cero o menos BTU/hr/ft²/degF por año, tal como -10 o menos BTU/hr/ft²/degF por año, -25 o menos BTU/hr/ft²/degF por año.

35

Si la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor se desvía de la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor establecida anteriormente, puede ser indicativo de que el intercambiador de calor se ensucia más rápido durante el período de medición que durante la operación anterior. Si no se trata, el ensuciamiento más rápido puede reducir la eficiencia operativa del intercambiador de calor 104, lo que puede requerir una parada costosa y no planificada para limpiar el intercambiador antes de la siguiente limpieza programada. Por ejemplo, cuando se determina que el parámetro correspondiente a la comparación entre los dos períodos de tiempo monitoreados está en el umbral o por debajo del mismo, el controlador 136 puede determinar que es probable que ocurra un ensuciamiento del agua de enfriamiento problemático. Por el contrario, si se determina que el parámetro está por

40

encima del umbral, el controlador 136 puede determinar que es probable que no ocurra un ensuciamiento del agua de enfriamiento problemático.

Para ayudar a responder al cambio detectado en la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor, el controlador 136 puede determinar una causa predictiva del cambio en la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor y controlar el sistema de agua de enfriamiento en base a la causa predictiva. El controlador 136 puede determinar una causa predictiva del cambio en la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor en base a los datos recibidos correspondientes a diferentes causas de ensuciamiento potenciales en el lado del agua de enfriamiento del intercambiador de calor 140. Por ejemplo, el controlador 136 puede recibir datos correspondientes a una causa potencial fundamental de ensuciamiento por incrustaciones, una causa potencial fundamental de ensuciamiento por corrosión y datos correspondientes a una causa fundamental de bioensuciamiento. A partir de los diferentes datos recibidos, el controlador 136 puede determinar una causa de ensuciamiento predictiva o más probable a partir de las diferentes causas que se evalúan en base a los datos recibidos. El controlador 136 puede entonces controlar el sistema de agua de enfriamiento 10 en base a la causa de ensuciamiento predictiva.

En algunos ejemplos, el controlador 136 aplica un factor de ponderación a cada parámetro de datos recibido que corresponde a los diferentes tipos de mecanismos de ensuciamiento que se evalúan para determinar una causa de ensuciamiento principal o predictiva. Cada factor de ponderación puede corresponder a la fuerza predictiva y el valor probatorio que tiene un parámetro de datos particular que determina la causa fundamental subyacente de un problema de ensuciamiento del lado del agua de enfriamiento. Un factor de ponderación particular se puede determinar en base al análisis causal de datos empíricos que relacionan un parámetro particular con un mecanismo de ensuciamiento particular. El factor de ponderación se puede ajustar hacia arriba o hacia abajo en base a los factores específicos de la aplicación relacionados con el proceso de agua de enfriamiento en particular que se está monitoreando y controlando. El controlador 136 puede determinar los factores de ponderación que se utilizarán para cada parámetro de datos en particular, o los factores de ponderación se pueden programar en una memoria asociada con el controlador 136 y utilizar por el controlador para determinar una causa de ensuciamiento predictiva asociada con el cambio detectado en la tendencia de eficiencia de transferencia de calor.

Aunque los factores de ponderación específicos aplicados por el controlador 136 pueden variar en base a la aplicación, las Tablas 1, 2 y 3 proporcionan intervalos de factores de ponderación ilustrativos que se pueden aplicar a diferentes parámetros que se pueden asociar con diferentes tipos de mecanismos de ensuciamiento. En la tabla, el porcentaje de la referencia se refiere al parámetro medido después de detectar un cambio en la eficiencia de la transferencia de calor (por ejemplo, un aumento en el caudal de ensuciamiento) en comparación con el parámetro medido durante condiciones de funcionamiento con un caudal de ensuciamiento bajo (por ejemplo, referencia). Igualmente, el porcentaje de KPI (indicador clave de rendimiento) se refiere al valor del parámetro medido después de detectar un cambio en la eficiencia de transferencia de calor (por ejemplo, en un estado de ensuciamiento) en comparación con el valor objetivo del parámetro para las condiciones de funcionamiento del sistema objetivo (por ejemplo, referencia). Además, se debe apreciar que los parámetros de ensuciamiento enumerados en las tablas anteriores son ejemplos y la descripción no se limita a este respecto.

Tabla 1: Ejemplos de parámetros correspondientes a ensuciamiento por incrustaciones y ejemplos de factores de ponderación asociados.

Parámetro de Ensuciamiento por Incrustaciones	Número	Peso
Medición de Ensuciamiento Óptico de Superficie	% > Referencia	0,5 a 4
Turbidez	% > Referencia	0,25 a 1
Dispersión de la luz	% > Referencia	0,25 a 1
Temperatura	% > Referencia	0,5 a 4
pH	% > Referencia	0,5 a 4
Concentración de PO4	% > Referencia	0,5 a 2
Concentración de Ca	% > Referencia	0,25 a 1
Concentración de Mg	% > Referencia	0,25 a 1
Concentración de Al	% > KPI	0,5 a 2
Concentración de Mn	% > KPI	0,5 a 2
Concentración de Fe	% > KPI	0,5 a 2
Concentración de Sílice	% > Referencia	0,5 a 2
Concentración de Alcalinidad	% > Referencia	0,25 a 4
Concentración Química de Tratamiento de Agua	% < Referencia	0,5 a 2
Factor C del lado del agua	% > Referencia	0,5 a 2
Consumo de Polímero Dispersante	% > Referencia	0,5 a 2
Caudales de Alimentación de Tratamiento de Agua de Enfriamiento	% > Referencia	0,5 a 4

Tabla 2: Ejemplos de parámetros correspondientes al ensuciamiento por corrosión y ejemplos de factores de ponderación asociados.

Parámetro de Ensuciamiento por Corrosión	Número	Peso
Medidas de Polarización Lineal	% > KPI	0,5 a 2
Índice de Picaduras	% > KPI	0,5 a 2
Mediciones de Corrosión Óptica	% > Referencia	0,25 a 1
Caudal de Corrosión del Cupón	% > KPI	0,5 a 2
Penetración de Cupones Localizada	% > KPI	0,5 a 2
Temperatura	% > Referencia	0,25 a 1
pH	% <Referencia	0,5 a 4
Concentración de Hierro	% > KPI	0,5 a 4
Concentración de Cobre	% > KPI	0,5 a 2
Concentración Química de Tratamiento de Agua	% <KPI	0,5 a 2

Tabla 3: Ejemplos de parámetros correspondientes al bioensuciamiento y ejemplos de factores de ponderación asociados.

Estado de los Indicadores de Control Microbiano	Número	Peso
Ensuciamiento de las Superficies de Prueba (sensor de microbios)	% > Referencia	0,5 a 4
Turbidez	% > Referencia	0,25 a 1
Dispersión de la luz	% > Referencia	0,25 a 1
Actividad Microbiana Observada con Fluorescencia	% > Referencia	0,5 a 4
Detección de ATP	% > Referencia	0,5 a 2
Métodos de Ensayo Planctónicos	% > KPI	0,5 a 4
Métodos de Ensayo Sésiles	% > KPI	0,5 a 4
Temperatura Ambiente	% > Referencia	0,25 a 1
Concentración de TOC	% > KPI	0,5 a 2
Niveles de Residuales de Oxidantes	% <KPI	0,5 a 4
Niveles Residuales de Oxígeno	% <KPI	0,25 a 1
Potencial de Reducción de Oxidación	% <Referencia	0,5 a 4
Medidas Amperométricas	% <Referencia	0,5 a 4
Tiempo de descomposición de los residuos de oxidantes	% > Referencia	0,5 a 2
Consumo de Oxidante	% > Referencia	0,5 a 4
Relación de Concentración de Sondas de Bioactividad Fluorescente	% > Referencia	0,5 a 2
Caudales de Alimentación de Tratamiento de Agua de Enfriamiento	% <Referencia	0,5 a 4

El controlador 136 puede aplicar un factor de ponderación al multiplicar un parámetro de datos respectivo por su factor de ponderación correspondiente. En dependencia del número de puntos de datos disponibles para un parámetro particular, el controlador 136 puede promediar múltiples mediciones del parámetro y aplicar el factor de ponderación a un valor promediado del parámetro. Por ejemplo, el controlador 136 puede determinar una media, mediana o modo de los múltiples puntos de datos para proporcionar un promedio del parámetro y luego aplicar el factor de ponderación al parámetro promediado. El período durante el cual se toman los parámetros medidos que se promedian puede comenzar al detectar el cambio en la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor para el intercambiador de calor 104. El cambio en la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor puede indicar un cambio en las condiciones del agua de enfriamiento correspondiente a las condiciones de ensuciamiento modificadas. En consecuencia, las mediciones realizadas antes de detectar el cambio en la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor se pueden omitir en algunos casos en los que los datos pueden no reflejar las condiciones de ensuciamiento modificadas del agua de enfriamiento.

Para identificar una causa predictiva del ensuciamiento potencial que puede provocar el cambio detectado en la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor, el controlador 136 puede determinar una puntuación de ensuciamiento total para cada mecanismo de ensuciamiento que se evalúa como causa fundamental potencial. El controlador 136 puede determinar la puntuación de ensuciamiento total sumando el parámetro ponderado asociado con un mecanismo de ensuciamiento de parámetros. Por ejemplo, el controlador 136 puede determinar una puntuación de ensuciamiento por incrustaciones total sumando cada parámetro de datos ponderado indicativo del ensuciamiento por incrustaciones. El controlador 136 puede determinar una puntuación de ensuciamiento por corrosión total sumando cada parámetro de datos ponderado indicativo del ensuciamiento por corrosión. Además, el controlador 136 puede determinar una puntuación de bioensuciamiento total sumando cada parámetro de datos ponderado indicativo de bioensuciamiento.

En la práctica, la cantidad de parámetros de datos asociados con cada tipo de ensuciamiento que se evalúa como causa fundamental del cambio detectado en la eficiencia de la transferencia de calor puede variar. Por ejemplo, el número de parámetros medidos correspondientes a una causa potencial de ensuciamiento por incrustaciones puede ser diferente del número de parámetros medidos correspondientes a una causa potencial de ensuciamiento por corrosión, cada uno de los cuales puede ser igual o diferente al número de parámetros medidos correspondientes a

una causa potencial de bioensuciamiento. En una situación en la que exista esta discrepancia, la suma total de los parámetros ponderados correspondientes a cada tipo de mecanismo de ensuciamiento se puede normalizar en base al número de parámetros. Por ejemplo, el controlador 136 puede dividir la suma total de los parámetros ponderados correspondientes a cada tipo de mecanismo de ensuciamiento por el número de parámetros. Esto puede proporcionar una puntuación de ensuciamiento total para cada tipo de mecanismo de ensuciamiento potencial que se está evaluando y que se normaliza para permitir la comparación cruzada entre las diferentes puntuaciones de ensuciamiento.

El controlador 136 puede determinar una causa predictiva de ensuciamiento atribuible al cambio detectado en la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor al comparar la puntuación de ensuciamiento total para cada tipo de mecanismo de ensuciamiento potencial entre sí. Por ejemplo, en dependencia de cómo se ajustan los factores de ponderación, el controlador 136 puede identificar la menor (mínima) o la mayor (máxima) de las puntuaciones de ensuciamiento totales. El controlador 136 puede entonces establecer una causa de ensuciamiento asociada con la puntuación de ensuciamiento total identificada como la causa predictiva del cambio detectado en la eficiencia de transferencia de calor. El controlador 136 puede entonces controlar uno más de los aditivos químicos introducidos en el sistema de agua de enfriamiento en base a la causa predictiva.

En algunos ejemplos, el controlador 136 compara cada uno de las puntuaciones de ensuciamiento totales correspondientes a diferentes mecanismos potenciales de ensuciamiento con uno o más valores de umbral. El controlador 136 puede determinar una causa predictiva de ensuciamiento, o que no es probable que ocurra el ensuciamiento, en base a la comparación. El(los) valor(es) de umbral específicos con el (los) que el controlador 136 compara cada una de las puntuaciones de ensuciamiento totales pueden variar, por ejemplo, en base a la magnitud de los factores de ponderación aplicados. Sin embargo, en algunas aplicaciones, el controlador 136 compara cada una de las puntuaciones de ensuciamiento totales con un primer umbral, tal como un primer umbral de 0,25. Este valor umbral puede variar en dependencia de la magnitud de los factores de ponderación utilizados y las tolerancias de ensuciamiento del usuario que implementa los sistemas. Independientemente del valor específico utilizado, si una puntuación de ensuciamiento total está por debajo del primer umbral, el controlador 136 puede indicar que es poco probable que el mecanismo de ensuciamiento asociado con la puntuación de ensuciamiento provoque ensuciamiento y no se necesita ninguna acción. Por ejemplo, cuando el intercambiador de calor se bloquea con residuos sueltos en el agua de enfriamiento que no están relacionados con el ensuciamiento, la comparación de las puntuaciones de ensuciamiento totales con el umbral puede revelar que el cambio correspondiente en la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor no lo provoca el ensuciamiento por incrustaciones, corrosión o microbiano.

Adicional o alternativamente, el controlador 136 puede comparar cada una de las puntuaciones de ensuciamiento totales con un segundo umbral. El segundo umbral puede variar del primer umbral por un factor de al menos 2. En algunos ejemplos, el segundo umbral es mayor que el primer umbral. Por ejemplo, en un ejemplo donde el primer umbral es 0,25, el segundo umbral puede ser 0,5. Sin embargo, una vez más, se pueden usar diferentes valores de umbral en dependencia de los factores de ponderación específicos aplicados a los datos. Si una puntuación de ensuciamiento total está por encima del segundo umbral, el controlador 136 puede indicar que el mecanismo de ensuciamiento asociado con la puntuación de ensuciamiento es como causar ensuciamiento y se necesita una acción correctiva. Si la puntuación de ensuciamiento total está entre los dos umbrales, el controlador puede emitir una advertencia a una interfaz de usuario (por ejemplo, con o sin tomar acciones), al indicar que se necesita un monitoreo estricto del ensuciamiento potencial.

El controlador 136 puede controlar el sistema 10 en base a la causa de ensuciamiento predictiva al tomar acciones para contrarrestar la causa de ensuciamiento predictiva. Como ejemplo, el controlador 136 puede controlar el sistema 10 para purgar la torre de enfriamiento 102. Como otro ejemplo, el controlador 136 puede controlar el sistema 10 al controlar la adición de un aditivo químico seleccionado para contrarrestar la causa de ensuciamiento predictiva. Por ejemplo, cuando la causa predictiva es el ensuciamiento de incrustaciones, el controlador 136 puede controlar la adición de un inhibidor de incrustaciones y/o un agente de control del pH para inhibir el formato de ensuciamiento por incrustaciones en el sistema. Como otro ejemplo, cuando la causa predictiva es el ensuciamiento por corrosión, el controlador 136 puede controlar la adición de un inhibidor de la corrosión y/o un agente de control del pH para inhibir el ensuciamiento por corrosión en el sistema. Como otro ejemplo adicional, cuando la causa predictiva es el bioensuciamiento, el controlador 136 puede controlar la adición de un biocida y/o biodispersante para inhibir el bioensuciamiento en el sistema.

Mientras las acciones correctivas anteriores se describen como realizadas por el controlador 136, se apreciará que la intervención del operador puede o no ser necesaria para realizar algunas o todas las acciones. Por ejemplo, en la práctica, el controlador 136 puede emitir una alerta de usuario (por ejemplo, texto visual y/o gráficos) en una interfaz de usuario de ordenador que proporciona instrucciones de control y/o un curso de acción recomendado para abordar una causa de ensuciamiento predictiva. Un operador puede interactuar con el equipo de la planta, ya sea manualmente o a través de una interfaz de controlador (por ejemplo, un ordenador) que controle el equipo de la planta, para implementar las acciones deseadas que contrarresten la causa de ensuciamiento predictiva.

En aplicaciones donde hay múltiples aditivos químicos diferentes disponibles para introducirlos en el agua de enfriamiento, el controlador 136 puede seleccionar uno o más de los diferentes aditivos químicos para introducirlos

5 en el agua de enfriamiento al controlar la(las) válvula(s) y/o bomba(s) que acoplan de forma fluida uno o más aditivos químicos diferentes a la corriente de agua de enfriamiento. Por ejemplo, el controlador 136 puede variar el tipo de aditivo químico introducido en el agua de enfriamiento y/o el caudal en el que se introduce el aditivo químico en el agua de enfriamiento en base al cambio detectado en la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor y la causa de ensuciamiento predictiva.

10 En algunos ejemplos, el controlador 136 enciende la bomba 106 o aumenta la velocidad de funcionamiento de la bomba 106 en respuesta a la detección de un cambio que indica que la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor para el intercambiador de calor 104 ha disminuido en más de un umbral en comparación con la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor establecida anteriormente en base a la causa de ensuciamiento predictiva. Adicional o alternativamente, el controlador 136 puede detener la bomba 106 o disminuir la velocidad de funcionamiento de la bomba 106 en respuesta a la detección del cambio y en base a la causa de ensuciamiento predictiva (por ejemplo, cuando el producto químico que se introduce en el sistema puede aumentar hasta la causa de ensuciamiento predictiva).

15 El controlador 136 puede continuar recibiendo datos de los sensores en el sistema 10 y calculando una eficiencia de transferencia de calor para el intercambiador de calor 104 después de controlar el sistema (por ejemplo, al ajustar el aditivo químico introducido en el agua de enfriamiento) en base a la causa de ensuciamiento predictiva. El controlador 136 puede monitorear la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor para el intercambiador de calor 104 siguiendo los cambios realizados en el(los) aditivo(s) químico(s) (por ejemplo, tipo y/o caudal). El controlador 136 puede determinar si la eficiencia de transferencia de calor se estabiliza (por ejemplo, permanece sustancialmente constante), vuelve hacia la tendencia previamente establecida o se desvía más de la tendencia previamente establecida. En aplicaciones donde la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor permanece constante después de tomar la acción contrarrestante, que puede corresponder a una desviación negativa inicialmente detectada, o la tendencia disminuye aún más, el controlador 136 puede determinar que la causa de ensuciamiento predictiva no es la causa real probable. Por ejemplo, el controlador 136 puede monitorear la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor después de tomar una acción contrarrestante para abordar la causa de ensuciamiento predictiva y determinar si la tendencia cambió en más de una cantidad de umbral (por ejemplo, mayor que más o menos 5 %, tal como mayor que más o menos 10 %). En los casos en que el ensuciamiento continúa existiendo en el proceso, la tendencia puede seguir siendo negativa pero tener una pendiente diferente (más superficial o más baja) que antes de tomar la acción de intervención.

20 25 30 En dichas aplicaciones, el controlador 136 puede determinar una causa alternativa predictiva del cambio detectado en la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor. El controlador 136 puede determinar una causa alternativa predictiva del ensuciamiento al comparar la puntuación de ensuciamiento total asociada con los mecanismos de ensuciamiento potenciales restantes (por ejemplo, al excluir la puntuación de ensuciamiento total para el mecanismo de ensuciamiento ya identificado como la causa de ensuciamiento predictiva). En dependencia de cómo se ajustan los factores de ponderación, el controlador 136 puede identificar el más pequeño (mínimo) o el más grande (máximo) de las puntuaciones de ensuciamiento totales restantes y establecer una causa de ensuciamiento asociada con la puntuación de ensuciamiento total identificada como la causa alternativa predictiva del cambio detectado en la eficiencia de transferencia de calor. El controlador 136 puede entonces controlar uno más de los aditivos químicos introducidos en el sistema de agua de enfriamiento en base a la causa de ensuciamiento alternativa predictiva.

35 40 45 El controlador 136 puede monitorear la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor en respuesta a las acciones tomadas para contrarrestar la causa de ensuciamiento alternativa predictiva. El controlador 136 puede repetir el proceso hasta que se identifique una causa de ensuciamiento predictiva que parece ser la causa fundamental del cambio en la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor detectada originalmente. Adicional o alternativamente, el controlador 136 puede emitir una salida (por ejemplo, una alerta de usuario) que indica que el cambio detectado en la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor probablemente no esté asociado con el ensuciamiento del lado del agua de enfriamiento (por ejemplo, causado por el ensuciamiento por incrustaciones, el ensuciamiento por corrosión o el bioensuciamiento). Por ejemplo, el cambio en la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor lo puede provocar desechos a granel que entran al intercambiador de calor 104 y obstruyen el intercambiador. Como otra alternativa, el cambio detectado en la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor lo puede provocar el ensuciamiento del lado del proceso en el intercambiador de calor 104 y no el ensuciamiento del lado del agua de enfriamiento.

50 55 60 65 El controlador 136 puede tomar una variedad de acciones de control diferentes dentro del sistema 10 además o en lugar de controlar la bomba 106 para cambiar un tipo o concentración de aditivo químico en el agua de enfriamiento. Como ejemplo, el controlador 136 puede aumentar el caudal en el que fluye el agua de enfriamiento a través del intercambiador de calor 104 en respuesta a la detección de un cambio en la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor para el intercambiador de calor. Por ejemplo, si el controlador 136 detecta un cambio repentino en la magnitud absoluta de la eficiencia de transferencia de calor del intercambiador de calor 104 y/o una disminución significativa en la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor (por ejemplo, al indicar un ensuciamiento rápido), eso puede ser indicativo del taponamiento del intercambiador de calor debido a sedimentos, desechos y otras materias. En consecuencia, aumentar el caudal de agua de enfriamiento que pasa a través del intercambiador puede ayudar a eliminar las partículas alojadas en el interior del intercambiador de calor. El

controlador 136 puede controlar una bomba (no ilustrada) que suministra agua de enfriamiento desde un sumidero asociado con la torre de enfriamiento 102 al intercambiador de calor 104 para controlar el caudal del suministro de agua de enfriamiento al intercambiador de calor.

5 Un sistema de monitoreo y control de agua de enfriamiento de acuerdo con la descripción se puede implementar en cualquier proceso donde se utilice un fluido de intercambio térmico para transferir energía térmica con una o más corrientes de proceso a través de un intercambiador de calor. Ejemplos de corrientes de proceso que pueden fluir a través del lado caliente del intercambiador de calor 104 incluyen, pero no se limitan a productos químicos de base orgánica, petróleo crudo, derivados del petróleo crudo (por ejemplo, productos de petróleo crudo refinado o parcialmente refinado) y productos intermedios o finales en el proceso de producción de amoníaco. Por ejemplo, el intercambiador de calor se puede integrar en una planta de producción de polímeros, el monómero orgánico, el oligómero y/o el polímero fluye a través del lado del proceso del intercambiador de calor. Como otro ejemplo, el intercambiador de calor se puede integrar en una central eléctrica que genera electricidad a partir de una fuente renovable o no renovable. Las corrientes de proceso que fluyen a través del lado caliente del intercambiador de calor 104 pueden ser generalmente de fase líquida, aunque pueden ser de fase de vapor y/o una corriente multifásica de líquido-vapor. Por ejemplo, el intercambiador de calor 104 se puede integrar en una planta de separación de aire de manera que una corriente de proceso en el lado de la corriente de proceso del intercambiador de calor sea un gas.

Aunque la Figura 2 ilustra un ejemplo del sistema de monitoreo y control que contiene solo un único intercambiador de calor, como se analizó anteriormente con respecto a la Figura 1, el ejemplo de las aplicaciones puede incluir múltiples intercambiadores de calor en serie y/o en paralelo. El controlador 136 puede recibir datos de los sensores y determinar una tendencia de la eficiencia de transferencia de calor para cada uno de los intercambiadores de calor conectados. El controlador 136 puede detectar un cambio en la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor de al menos uno, y opcionalmente múltiples, de los intercambiadores de calor que se están monitoreando y controlar la adición del aditivo químico a la corriente de agua de enfriamiento en base a la tendencia detectada. En algunos de dichos ejemplos, el controlador 136 puede determinar una causa de ensuciamiento predictiva y controlar el sistema de agua de enfriamiento 10 en base a la causa de ensuciamiento predictiva al detectar un cambio en la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor (por ejemplo, al exceder una cantidad umbral) de múltiples intercambiadores de calor. En este caso, la detección de tendencias de la eficiencia de transferencia de calor modificadas para múltiples intercambiadores de calor puede indicar que las condiciones de ensuciamiento realmente están cambiando en lugar de recibir datos de sensor erróneos de un intercambiador de calor en particular.

La Figura 3 es un diagrama de flujo que ilustra un ejemplo de proceso de producción de amoníaco. Como se muestra en el ejemplo ilustrado, el ejemplo de ejemplo incluye múltiples intercambiadores de calor de enfriamiento a través de los cuales se puede transportar agua de enfriamiento. Uno o más (por ejemplo, todos) de estos ejemplos de intercambiadores de calor se pueden monitorear mediante el uso de las técnicas y sistemas descritos en la presente descripción, y el aditivo químico a la corriente de agua de enfriamiento se puede controlar en base a las tendencias de la eficiencia del intercambiador de calor.

Las técnicas descritas en esta descripción se pueden implementar, al menos en parte, en hardware, software, firmware o cualquiera de sus combinaciones. Por ejemplo, varios aspectos de las técnicas descritas se pueden implementar dentro de uno o más procesadores, incluyendo uno o más microprocesadores, procesadores de señales digitales (DSP), circuitos integrados específicos de aplicación (ASIC), arreglos de puertas programables en campo (FPGA) o cualquier otro circuito lógico integrado o discreto equivalente, así como también cualquier combinación de dichos componentes. El término "procesador" se puede referir generalmente a cualquiera de los circuitos lógicos anteriores, solo o en combinación con otros circuitos lógicos, o cualquier otro circuito equivalente. Una unidad de control que comprende hardware también puede realizar una o más de las técnicas de esta descripción.

Tales hardware, software y firmware se pueden implementar dentro del mismo dispositivo o dentro de dispositivos separados para soportar las diversas operaciones y funciones descritas en esta descripción. Además, cualquiera de las unidades, módulos o componentes descritos se pueden implementar juntos o por separado como dispositivos lógicos discretos pero interoperables. La descripción de diferentes características como módulos o unidades pretende resaltar diferentes aspectos funcionales y no implica necesariamente que tales módulos o unidades deban realizarse mediante componentes de hardware o software separados. Más bien, la funcionalidad asociada con uno o más módulos o unidades se puede realizar mediante componentes de hardware o software separados o integrarse dentro de componentes de hardware o software comunes o separados.

Las técnicas descritas en esta descripción también se pueden incorporar o codificar en un medio legible por ordenador, tal como un medio de almacenamiento no transitorio legible por ordenador, que contenga instrucciones. Las instrucciones incorporadas o codificadas en un medio de almacenamiento legible por ordenador pueden provocar que un procesador programable, u otro procesador, realice el método, por ejemplo, cuando se ejecutan las instrucciones. Los medios de almacenamiento no transitorios legibles por ordenador pueden incluir formas de memoria volátiles y/o no volátiles que incluyen, por ejemplo, memoria de acceso aleatorio (RAM), memoria de solo lectura (ROM), memoria de solo lectura programable (PROM), memoria de solo lectura programable borrable

(EPROM), memoria de sólo lectura programable y borrable electrónicamente (EEPROM), memoria flash, un disco duro, un CD-ROM, un disquete, un casete, medio magnético, medio óptico u otro medio legible por ordenador.

Los siguientes ejemplos pueden proporcionar detalles adicionales sobre los sistemas y técnicas de monitoreo y control del agua de enfriamiento de acuerdo con la descripción.

Ejemplos

Ejemplo 1 - Planta de Amoníaco

Se instalaron sensores de temperatura en un intercambiador de calor en una planta de amoníaco para medir las temperaturas de entrada y salida de las corrientes de flujo al intercambiador de calor, así como el caudal de agua de enfriamiento a través de la entrada del intercambiador de calor. El intercambiador de calor era un enfriador de gas de síntesis que pasaba el gas de síntesis por el lado caliente o de proceso del intercambiador de calor mientras el agua de enfriamiento fluía por el lado frío del intercambiador de calor. El intercambiador de calor era un intercambiador de carcasa y tubos en contracorriente. El gas de síntesis se suministró al lado de la carcasa del intercambiador de calor a un caudal objetivo de aproximadamente 99 000 lb/h, mientras que el agua de enfriamiento se suministró a un caudal objetivo de aproximadamente 1 000 000 lb/h.

El agua de enfriamiento se suministró desde una torre de enfriamiento que tenía un caudal de recirculación de aproximadamente 80 000 galones por minuto. La torre de enfriamiento tenía una capacidad de aproximadamente 500 000 galones y exhibió un diferencial de temperatura de 12 grados Fahrenheit. El agua de enfriamiento exhibió un FRC de 0,5 ppm como Cl_2 . El agua de enfriamiento se controló inicialmente con una combinación de tres aditivos químicos: un inhibidor de corrosión (Nalco® 3DT129) proporcionado a una concentración de 35 ppm, un inhibidor de incrustaciones (Nalco® 3DT191) proporcionado a una concentración de 75 ppm, y un inhibidor de metal amarillo (Nalco® 3DT199) proporcionado a una concentración de 10 ppm.

Los datos de los cuatro sensores de temperatura y un sensor de flujo ultrasónico se comunicaron mediante una conexión por cable a un registrador de datos de terceros. El registrador de datos transmitió de forma inalámbrica estos datos sin procesar a un servidor en la nube. Desde el servidor en la nube, se accedió a los datos y se analizaron en una computadora personal utilizando un software de hoja de cálculo.

Los datos de temperatura del intercambiador de calor se suavizaron mediante el uso de una regresión local con un intervalo de 0,1. La Figura 4 es un gráfico de la temperatura de entrada del agua de enfriamiento (grados Fahrenheit) frente al tiempo que muestra los datos de medición en bruto 200 junto con los datos suavizados superpuestos 202. La Figura 5 es un gráfico de la temperatura de salida del agua de enfriamiento (grados Fahrenheit) frente al tiempo que muestra los datos de medición en bruto 204 junto con los datos suavizados superpuestos 206. La Figura 6 es un gráfico de la temperatura de entrada de la corriente de proceso (grados Fahrenheit) frente al tiempo que muestra los datos de medición en bruto 208 junto con los datos suavizados superpuestos 210. La Figura 7 es un gráfico de la temperatura de salida de la corriente del proceso (grados Fahrenheit) frente al tiempo que muestra los datos de medición en bruto 212 junto con los datos suavizados superpuestos 214. La Figura 8 es un gráfico que muestra caudales de agua de enfriamiento (galones por minuto) para un período de tiempo de ejemplo.

Los valores y las tendencias de la eficiencia de la transferencia de calor se calcularon mediante el uso de los datos de temperatura suavizados producidos por los sensores de temperatura instalados en el intercambiador de calor. Las tendencias de la eficiencia de transferencia de calor se utilizaron para controlar el sistema de agua de enfriamiento, incluidos los aditivos químicos introducidos en el agua de enfriamiento. La Figura 9 es un gráfico que muestra los coeficientes de transferencia de calor calculados utilizando los datos de temperatura suavizados durante el período de tiempo del ejemplo. Los valles pronunciados en estos datos corresponden a cuando se redujo el caudal de agua.

La Figura 10 muestra los coeficientes de transferencia de calor calculados para el intercambiador de calor en base a los datos recibidos de temperatura y caudal durante un intervalo de fechas de ejemplo. La Figura 11 muestra el potencial de oxidación-reducción (ORP) para la corriente de agua de enfriamiento en el mismo intervalo de fechas de ejemplo, que es indicativo de la concentración de aditivo químico en el agua de enfriamiento. Los datos en las Figuras 10 y 11 se dividen en cinco períodos de análisis experimental. En el primer período, se establecieron datos que establecen una tendencia de eficiencia de transferencia de calor. Los datos mostraron una tendencia a la baja en la eficiencia de transferencia de calor. En el segundo período, se incrementó el caudal de agua de enfriamiento, lo que resultó en un aumento en el coeficiente de transferencia de calor para el intercambiador de calor proporcional al cambio en el caudal. En el tercer período, se controló la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor y se observó que disminuía.

Una tendencia cambiante en el coeficiente de transferencia de calor, particularmente hacia el final del tercer período, indicó condiciones de ensuciamiento aceleradas. En consecuencia, se inició la acción intervencionista. Se evaluó el agua de enfriamiento y se sugirieron bioensuciamientos microbianos como la causa del ensuciamiento. En la fase 4,

se aumentó la dosis de biocida al agua de enfriamiento, lo que resultó en un aumento del coeficiente de transferencia de calor. Para entender si esta mejora en la transferencia de calor fue en respuesta al aumento de la dosis de biocida iniciado al detectar la tendencia cambiante en el coeficiente de transferencia de calor o algún otro factor, la dosis de biocida se redujo en la fase 5. Los datos muestran que el coeficiente de transferencia de calor volvió a disminuir.

Ejemplo 2 - Planta de Vinilo

Se instalaron sensores de temperatura en un intercambiador de calor en una planta de vinilo para medir las temperaturas de entrada y salida de las corrientes de flujo al intercambiador de calor, así como el caudal de agua de enfriamiento a través de la entrada del intercambiador de calor. El intercambiador de calor tenía una corriente de propileno que pasaba por el lado caliente o de proceso del intercambiador de calor mientras que el agua de enfriamiento fluía por el lado frío del intercambiador de calor. El intercambiador de calor era un intercambiador de carcasa y tubos en contracorriente. El propileno se suministró al lado de la carcasa del intercambiador de calor a un caudal objetivo de aproximadamente 270 000 lb/h, mientras que el agua de enfriamiento se suministró a un caudal objetivo de aproximadamente 4 600 000 lb/h.

El agua de enfriamiento se suministró desde una torre de enfriamiento que tenía un caudal de recirculación de aproximadamente 85 000 galones por minuto. La torre de enfriamiento tenía una capacidad de aproximadamente 1 000 000 de galones y exhibía un diferencial de temperatura de 10 grados Fahrenheit. El agua de enfriamiento exhibió un FRC de 0,5 ppm como Cl_2 . El agua de enfriamiento se controló inicialmente con una combinación de tres aditivos químicos: un inhibidor de corrosión (Nalco® 3DT177) proporcionado a una concentración de 37 ppm, un inhibidor de incrustaciones (Nalco® 3DT390) proporcionado a una concentración de 28 ppm y un metal amarillo inhibidor (Nalco® 3DT197) proporcionado a una concentración de 10 ppm.

Los datos de los cuatro sensores de temperatura y un sensor de flujo ultrasónico se comunicaron mediante una conexión por cable a un registrador de datos de terceros. El registrador de datos transmitió de forma inalámbrica estos datos sin procesar a un servidor en la nube. Desde el servidor en la nube, se accedió a los datos y se analizaron en una computadora personal utilizando un software de hoja de cálculo.

Los datos de temperatura del intercambiador de calor se suavizaron mediante una regresión local con un intervalo de 0,05. La Figura 12 es un gráfico de la temperatura de entrada del agua de enfriamiento (grados Fahrenheit) frente al tiempo que muestra los datos de medición sin procesar 220 junto con los datos suavizados 222 superpuestos. La Figura 13 es un gráfico de la temperatura de salida del agua de enfriamiento (grados Fahrenheit) frente al tiempo que muestra los datos de medición en bruto 224 junto con los datos suavizados 226 superpuestos. La Figura 14 es un gráfico de la temperatura de entrada de la corriente de proceso (grados Fahrenheit) frente al tiempo que muestra los datos de medición en bruto 228 junto con los datos suavizados superpuestos 230. La Figura 15 es un gráfico de la temperatura de salida de la corriente del proceso (grados Fahrenheit) frente al tiempo que muestra los datos de medición en bruto 232 junto con los datos suavizados superpuestos 234. La Figura 16 es un gráfico que muestra los caudales de agua de enfriamiento (galones por minuto) para un ejemplo de período de tiempo. Una disminución intencional en el caudal de agua provocó el cambio de etapa en el flujo de agua.

Los valores y las tendencias de la eficiencia de la transferencia de calor se calcularon mediante el uso de los datos de temperatura suavizados producidos por los sensores de temperatura instalados en el intercambiador de calor. Las tendencias de la eficiencia de transferencia de calor se utilizaron para controlar el sistema de agua de enfriamiento, incluidos los aditivos químicos introducidos en el agua de enfriamiento. La Figura 17 es un gráfico que muestra los coeficientes de transferencia de calor calculados mediante el uso de los datos de temperatura suavizados durante el ejemplo de período de tiempo.

En este ejemplo, la tendencia del coeficiente de transferencia de calor durante el período de medición fue sustancialmente plana a pesar de que se realizó un cambio operativo para reducir el caudal de agua de enfriamiento a su valor de diseño original durante el período de monitoreo. En este ejemplo, el período de referencia utilizado en el análisis se definió como el período anterior al cambio operativo en el caudal de agua; el período de comparación utilizado en el análisis se definió como el período posterior al cambio operativo. Los datos de la tendencia de transferencia de calor en este ejemplo no mostraron un cambio significativo entre el período de referencia y la comparación. Esto sugiere que el agua adicional y los costos asociados de bombeo eléctrico incurridos por el operador para realizar el cambio de operación probablemente no estén justificados y el operador puede volver a las condiciones operativas de referencia.

Ejemplo 3 - Monitoreo Ampliado de la Operación de la Planta de Amoniaco

En la planta de amoniaco descrita en el Ejemplo 1 se realizaron pruebas experimentales y de monitoreo ampliadas siguiendo los principios de la presente descripción durante un período experimental de cinco meses. Los datos de temperatura del intercambiador de calor se suavizaron mediante el uso de una regresión local. Los valores y las tendencias de la eficiencia de la transferencia de calor se calcularon mediante el uso de los datos de temperatura suavizados producidos por los sensores de temperatura instalados en el intercambiador de calor. La Figura 18 es un

gráfico que muestra los coeficientes de transferencia de calor calculados mediante el uso de los datos de temperatura suavizados durante el ejemplo de período de tiempo.

Los datos de la tendencia de transferencia de calor monitoreados que se muestran en la Figura 18 se analizaron mediante el uso de Excel para detectar un cambio en la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor igual o superior a un valor de umbral, lo que puede ser indicativo de un problema de ensuciamiento. Los datos del coeficiente de transferencia de calor se dividieron en dos períodos para un análisis comparativo entre sí, lo que permitió la detección del cambio. El primer período osciló entre 1 de febrero y el 15 de abril en el ejemplo, mientras que el segundo período osciló entre el 16 de abril y el 30 de junio en el ejemplo. Los datos del primer período se representan con símbolos triangulares en la Figura 18, mientras que los datos del segundo período se representan por símbolos cuadrados. El tiempo de división entre los dos períodos se determinó en base a la inspección visual de los datos con fines del ejemplo de trabajo. En otras aplicaciones, los datos monitoreados se pueden dividir en base a la ocurrencia de eventos externos, la comparación de nuevos datos con un promedio móvil u otras técnicas comparativas acorde con los principios descritos en la presente descripción.

En el presente ejemplo, las tendencias del coeficiente de transferencia de calor para los dos períodos de tiempo se caracterizaron al ajustar una curva de primer orden que tiene una pendiente y una intersección para cada tendencia del coeficiente de transferencia de calor. El cambio porcentual anualizado en la pendiente del coeficiente de transferencia de calor durante el período monitoreado también se calculó comparando la pendiente de la línea de tendencia del coeficiente de transferencia de calor anualizado para cada período. Luego se calculó el cambio porcentual en la tendencia del coeficiente de transferencia de calor anualizado al restar el período de referencia anualizado (primer período) del período de comparación anualizado (segundo período). Los datos para el ejemplo se proporcionan en la siguiente tabla:

	Inicio	Fin	Cambio Porcentual Real	Cambio Porcentual Anualizado
	Primer Período			
Tiempo (eje X)	1-febrero	15-abril		
Valor U (Eje Y)	113,82	121,21	6 %	31,2 %
	Segundo Período			
Tiempo (eje X)	16-abril	30-junio		
Valor U (Eje Y)	124,42	113,65	-9 %	-41,5 %
			Diferencia en el Cambio Anualizado (Pendiente de Comparación - Pendiente de Referencia)	-73 %

Una comparación entre el período de referencia anualizado (primer período) y el período de comparación anualizado (segundo período) fue negativa, que indica un deterioro de la eficiencia de transferencia de calor para el intercambio de calor, por ejemplo, que puede ser indicativo de acumulación de ensuciamiento. En este ejemplo de trabajo en particular, la diferencia fue de -73 % sobre una base anualizada, lo que indicó un deterioro significativo en la eficiencia de la transferencia de calor dadas las condiciones operativas esperadas. Se pueden establecer diferentes umbrales para aplicaciones específicas contra las cuales se puede comparar el cambio porcentual en la eficiencia de transferencia de calor monitoreada para decidir si se garantiza un análisis más profundo de las causas de ensuciamiento.

Para determinar un mecanismo de ensuciamiento predictivo para el intercambiador de calor dada la magnitud del cambio en la tendencia de transferencia de calor, se obtuvieron y analizaron datos indicativos de ensuciamiento por incrustaciones de agua de enfriamiento, ensuciamiento por corrosión y bioensuciamiento para el período de tiempo de interés. Los datos se obtuvieron mediante el uso de una combinación de sensores en línea, sensores fuera de línea y pruebas de química húmeda, con los resultados almacenados en un medio legible por ordenador accesible por un programa computacional que realiza el análisis de ensuciamiento predictivo. Las lecturas individuales de los parámetros monitoreados se promediaron durante el período de referencia (primer período) y se promediaron por separado durante el período de comparación (segundo período) y se determinó el cambio porcentual entre el período de comparación y el período de referencia. Para este ejemplo de trabajo en particular, los parámetros de ejemplo en la siguiente tabla fueron monitoreados durante el período de tiempo de interés:

ES 2 933 502 T3

	Período de Tiempo	Referencia	Comparación	Cambio
		01 de febrero - 15 de abril	16 de abril - 30 de junio	
5	Triazol	2,21	1,52	-31 %
	Turbidez (NTU)	5,75	4,22	-27 %
	Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	4958,12	3981,24	-20 %
	Corrosión del Acero Caudal (mpy)	1,11	0,93	-16 %
10	Polímero Dispersante	11,21	9,79	-13 %
	Zinc Soluble (ppm Zn)	1,46	1,34	-8 %
	Dosis química de tratamiento trazada (ppm)	38,75	35,96	-7 %
	ORP (mV)	423,98	397,31	-6 %
	Zinc Total (ppm Zn)	1,55	1,46	-6 %
15	% de Ensuciamiento de la Celda	5,41	5,22	-3 %
	Polímero Dispersante (ppm)	71,73	69,46	-3 %
	Ortofosfato Total (ppm PO_4)	12,05	11,70	-3 %
	pH	7,71	7,62	-1 %
20	Ortofosfato Soluble (ppm PO_4)	11,05	11,00	0 %
	Nitrito (ppm NO_2)	41,82	43,50	4 %
	Ciclos de Calcio	5,34	5,72	7 %
	Dureza del Calcio (ppm como CaCO_3)	151,09	166,00	10 %
	Temperatura ($^{\circ}\text{F}$)	64,52	71,04	10 %
25	Bacteria Aeróbica (cfu/ml)	3,12	3,44	10 %
	Dureza Total (ppm como CaCO_3)	403,64	468,60	16 %
	Nitrato (ppm NO_3)	140,64	164,85	17 %
	m-Alcalinidad (ppm como CaCO_3)	74,00	86,80	17 %
	Dureza del Magnesio (ppm Mg)	253,82	302,60	19 %
30	Corrosión de Cobre Caudal (mpy)	0,02	0,02	22 %
	Cloro Total (ppm Cl_2)	1,81	2,37	31 %
	Bacteria Anaeróbica (cfu/ml)	0,22	0,41	87 %

A partir del ejemplo de datos reproducidos anteriormente, se calculó una puntuación de ensuciamiento por incrustaciones total mediante el uso de parámetros indicativos de ensuciamiento por incrustaciones, se calculó una puntuación de ensuciamiento por corrosión total mediante el uso de parámetros indicativos de ensuciamiento por corrosión y se calculó una puntuación de bioensuciamiento total mediante el uso de parámetros indicativos de bioensuciamiento. Las puntuaciones se calcularon aplicando factores de ponderación a cada cambio porcentual determinado de acuerdo con la tabla anterior para cada parámetro de interés entre el período de comparación y el período de referencia. A continuación, se calculó una puntuación total para cada mecanismo de ensuciamiento potencial promediando todos los parámetros ponderados designados como asociados con ese mecanismo de ensuciamiento potencial. Los resultados del análisis se proporcionan en la siguiente tabla:

45
50
55
60
65

	Indicadores de Bioincrustación	Ponderación	Valor (% Cambio x Ponderación)
	ORP	-4,00	0,25
5	Turbidez	0,25	-0,07
	Bacteria Aeróbica	4,00	0,41
	Bacteria Anaeróbica	4,00	3,49
	Nitrito	2,50	0,10
	Nitrato	2,50	0,43
		Puntuación	0,77
10	Indicadores de Ensuciamiento por Incrustaciones		
	Turbidez	1,00	-0,27
	Temperatura	2,50	0,25
	pH	4,00	-0,05
15	PO4	2,00	-0,01
	Ca	1,00	0,10
	Mg	1,00	0,19
		Puntuación	0,04
20	Indicadores de Ensuciamiento por Corrosión	Ponderación	
	Temperatura	1	0,10
	pH	-4	0,05
	Tasa de Corrosión de Acero	4	-0,64
	Tasa de Corrosión de Cobre	4	0,90
25	Azol	-2,5	0,78
	PO4	-2,5	0,01
	Zn	-2,5	0,21
		Puntuación	0,20

30 Como se observó anteriormente, se determinó una puntuación de bioensuciamiento total de 0,77, que fue significativamente mayor que la puntuación de ensuciamiento por incrustaciones y la puntuación de ensuciamiento por corrosión de 0,04 y 0,20, respectivamente. La Figura 19 es un gráfico de barras que muestra las puntuaciones de ensuciamiento totales para los diferentes mecanismos de ensuciamiento potenciales. Los datos indican que el mecanismo de ensuciamiento predicado asociado con el cambio detectado en la tendencia de transferencia de calor para el intercambiador de calor es el bioensuciamiento. En consecuencia, se puede emprender una acción correctiva para mitigar el bioensuciamiento, que incluye el control de la adición de uno o más productos químicos al agua de enfriamiento para reducir o eliminar la contaminación biológica incipiente.

40 El resultado del análisis predictivo de la causa y tratamiento descrito anteriormente para este ejemplo coincidió con nuestra hipótesis en base a nuestro conocimiento del dominio de la planta de amoníaco y los retos conocidos con respecto a la fuga de amoníaco en la torre de enfriamiento. Esta fuente de amoníaco crea una fuente de nitrógeno para que las biopelículas y los sistemas microbianos crezcan en el agua. El caso de referencia tenía un valor ORP alto ~ 424 mV (durante el período en el que el Valor U tenía una tendencia creciente) y el caso de comparación tenía un valor más bajo ~397 mV. Los datos sugieren que una puntuación de bioensuciamiento total mayor o igual a 0,5 puede ser un umbral apropiado, para algunos casos operativos, para determinar que el bioensuciamiento es problemático y tomar las medidas correctivas correspondientes.

50 El ejemplo experimental también fue útil también para cuantificar un punto de ajuste de ORP en el sistema real, que suele ser un proceso de prueba y error. Con el presente análisis de los coeficientes de transferencia de calor, pudimos demostrar que un ORP de alrededor de 425 mV es un mejor punto de ajuste para inhibir el crecimiento microbiano (para el sistema experimental en particular). Al mismo tiempo, no observamos mucha diferencia en las puntuaciones de corrosión entre los casos de referencia y de comparación, lo que confirma nuestra hipótesis de que un punto de ajuste de ORP de 425 mV no causó estrés por corrosión. Es muy interesante señalar, sin embargo, que a medida que el ORP desciende de 424 mV a 397 mV entre los casos de referencia y de comparación, el estrés por corrosión parece aumentar. Esto podría sugerir corrosión inducida microbiológicamente. Esto es contrario a la intuición ya que menos ORP generalmente significa tasas de corrosión más bajas, donde MIC no es un factor.

Ejemplo 4 - Monitoreo Ampliado de la Operación de la Planta de Vinilo

60 En la planta de vinilo descrita en el Ejemplo 2 también se realizaron pruebas experimentales y de monitoreo ampliadas siguiendo los principios de la presente descripción durante un período experimental de cuatro meses. Los datos de temperatura del intercambiador de calor se suavizaron mediante el uso de una regresión local. Los valores y las tendencias de la eficiencia de la transferencia de calor se calcularon mediante el uso de los datos de temperatura suavizados producidos por los sensores de temperatura instalados en el intercambiador de calor. La Figura 20 es un gráfico que muestra los coeficientes de transferencia de calor calculados mediante el uso de los datos de temperatura suavizados durante el período de tiempo del ejemplo.

Los datos de tendencia de transferencia de calor monitoreados que se muestran en la Figura 20 se analizaron con Excel para detectar un cambio en la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor igual o superior a un valor de umbral, lo que puede ser indicativo de un problema de ensuciamiento. Los datos del coeficiente de transferencia de calor se dividieron en dos períodos para el análisis comparativo entre sí para la detección del cambio. El primer período osciló entre el 16 de noviembre y el 16 de enero, mientras que el segundo período osciló entre el 17 de enero y el 16 de marzo en el ejemplo. Los datos del primer período se representan con símbolos triangulares en la Figura 20, mientras que los datos del segundo período se representan por símbolos cuadrados.

Las tendencias del coeficiente de transferencia de calor para los dos períodos de tiempo se caracterizaron ajustando una curva de primer orden que tiene una pendiente y una intersección para cada tendencia del coeficiente de transferencia de calor. El cambio porcentual en el coeficiente de transferencia de calor durante el período monitoreado también se calculó comparando el coeficiente de transferencia de calor al comienzo de la tendencia monitoreada para cada período con el coeficiente de transferencia de calor al final de la tendencia monitoreada. El cambio porcentual para cada período se amplió posteriormente del período de tiempo monitoreado a una base anualizada (12 meses), por ejemplo, para permitir que los dos períodos se comparen entre sí de forma estandarizada, incluso si los períodos reales tuvieran una duración diferente. Luego se calculó el cambio porcentual en la tendencia del coeficiente de transferencia de calor restando el período de referencia anualizado (primer período) del período de comparación anualizado (segundo período). Los datos para el ejemplo se proporcionan en la siguiente tabla:

	Inicio	Fin	Cambio Porcentual Real	Cambio Porcentual Anualizado
	Primer Período			
Tiempo (eje X)	16-noviembre	16-enero		
Valor U (Eje Y)	75,16	67,58	-10 %	-61 %
	Segundo Período			
Tiempo (eje X)	17-enero	16-marzo		
Valor U (Eje Y)	68,58	68,13	-1 %	-4 %
			Diferencia en el Cambio Anualizado (Pendiente de Comparación - Pendiente de Referencia)	57 %

Una comparación entre el período de referencia anualizado (primer período) y el período de comparación anualizado (segundo período) fue positiva, que indica que la eficiencia de transferencia de calor para el intercambio de calor tiene una tendencia ascendente (en una dirección conveniente). En este caso, el período de referencia y el período de comparación se separaron por un evento de mantenimiento del intercambiador (por ejemplo, limpieza del intercambiador) que encontró ensuciamiento de desechos. En consecuencia, las técnicas descritas en la presente descripción se utilizaron para determinar si el ensuciamiento por desechos podía distinguirse o no de otros tipos de ensuciamiento, en particular el ensuciamiento por incrustaciones, el ensuciamiento por corrosión y el ensuciamiento microbiano.

Para explorar esta hipótesis en base a la fecha de tendencia, se obtuvieron y analizaron datos indicativos de ensuciamiento por incrustaciones, ensuciamiento por corrosión y bioensuciamiento para el período de tiempo de interés. Los datos se obtuvieron mediante el uso de una combinación de sensores en línea, sensores fuera de línea y pruebas de química húmeda, con los resultados almacenados en un medio legible por ordenador accesible por un programa computacional que realiza el análisis de ensuciamiento predictivo. Las lecturas individuales de los parámetros monitoreados se promediaron durante el período de referencia (primer período) y se promediaron por separado durante el período de comparación (segundo período) y se determinó el cambio porcentual entre el período de comparación y el período de referencia. Para este ejemplo de trabajo en particular, los parámetros de ejemplo en la siguiente tabla fueron monitoreados durante el período de tiempo de interés:

ES 2 933 502 T3

Período de Tiempo	Referencia	Comparación	Cambio	
	16 de noviembre - 16 de enero	17 de enero - 16 de marzo		
5	pH	7,72	7,93	3 %
	CONDUCTIVIDAD, (μS/cm)	2865,17	2930,00	2 %
	DUREZA DE CALCIO (ppm como CaCO ₃)	874,17	850,17	-3 %
	CLORO LIBRE (ppm cl ₂)	0,63	0,65	4 %
10	O-PO4 (filtrado) (ppm PO ₄)	6,81	6,36	-7 %
	HIERRO (ppm Fe)	0,46	0,26	-44 %
	COBRE (ppm Cu)	0,01	0,02	49 %
15	TASA DE CORROSIÓN GENERAL DE ACERO DULCE (mpy)	0,35	0,23	-35 %
	TASA DE CORROSIÓN GENERAL DE COBRE (mpy)	0,06	0,03	-51 %
	TURBIDEZ, (NTU)	5,23	1,85	-65 %
	TRIAOL (ppm)	0,42	0,67	60 %
20	ORP (mV)	745,35	676,91	-9 %
	TEMPERATURA (def F)	79,16	78,13	-1 %

A partir del ejemplo de datos reproducidos anteriormente, se calculó una puntuación de ensuciamiento por incrustaciones total mediante el uso de parámetros indicativos de ensuciamiento por incrustaciones, se calculó una puntuación de ensuciamiento por corrosión total mediante el uso de parámetros indicativos de ensuciamiento por corrosión y se calculó una puntuación de bioensuciamiento total mediante el uso de parámetros indicativos de bioensuciamiento. Las puntuaciones se calcularon aplicando factores de ponderación a cada cambio porcentual determinado de acuerdo con la tabla anterior para cada parámetro de interés entre el período de comparación y el período de referencia. A continuación, se calculó una puntuación total para cada mecanismo de ensuciamiento potencial promediando todos los parámetros ponderados designados como asociados con ese mecanismo de ensuciamiento potencial. Los resultados del análisis se proporcionan en la siguiente tabla:

35	Indicadores de Bioincrustación	Ponderación	
	ORP	-4,00	0,37
	Turbidez	0,25	0,46
	Bacteria Aeróbica	4,00	0,00
	Bacteria Anaeróbica	4,00	0,00
40	Nitrito	2,50	0,00
	Nitrato	2,50	0,00
		Puntuación	0,14
	Indicadores de Ensuciamiento por Incrustaciones	Ponderación	
45	Turbidez	1,00	-0,65
	Temperatura	2,50	-0,03
	pH	4,00	0,11
	PO4	2,00	-0,13
	Ca	1,00	-0,03
	Mg	1,00	0,00
50		Puntuación	-0,12
	Indicadores de Ensuciamiento por Corrosión	Ponderación	
	Temperatura	1	-0,013
	pH	-4	-0,112
55	Tasa de Corrosión de Acero	4	-1,38
	Tasa de Corrosión de Cobre	4	1,96
	Azol	-2,5	-1,5
	PO4	-2,5	0,17
	Cu	4	1,96
	Fe	4	-1,78
60		Puntuación	-0,09

Como se observó anteriormente, se determinaron puntuaciones de bioensuciamiento totales, ensuciamiento por incrustaciones y ensuciamiento por corrosión de 0,14, -0,12 y -0,09, respectivamente. La Figura 21 es un gráfico de

5 barras que muestra las puntuaciones de ensuciamiento totales para los diferentes mecanismos de ensuciamiento potenciales. En general, cuanto menor sea el valor de una puntuación de ensuciamiento total particular (incluidos los valores negativos) para este ejemplo, es menos probable que el mecanismo de ensuciamiento correspondiente esté causando el ensuciamiento en el sistema que se evalúa. Como las puntuaciones de ensuciamiento son todas inferiores a 0,25 en este ejemplo particular, los datos confirman la hipótesis de que ni el ensuciamiento por incrustaciones, ni el ensuciamiento por corrosión, ni el ensuciamiento microbiano eran un mecanismo de ensuciamiento operativo en este intercambiador de calor.

REIVINDICACIONES

1. Un método para controlar el tratamiento del agua de enfriamiento que comprende:
 - 5 monitorear, por parte de uno o más procesadores, una eficiencia de transferencia de calor de al menos un intercambiador de calor y establecer una tendencia de eficiencia de transferencia de calor para el intercambiador de calor, teniendo el intercambiador de calor un lado de corriente de proceso y un lado de corriente de agua de enfriamiento;
 - 10 recibir, por parte de uno o más procesadores, datos indicativos de ensuciamiento por incrustaciones en el lado de la corriente de agua de enfriamiento;
 - recibir, por parte de uno o más procesadores, datos indicativos de ensuciamiento por corrosión en el lado de la corriente de agua de enfriamiento;
 - 15 recibir, por parte de uno o más procesadores, datos indicativos de bioensuciamiento en el lado de la corriente de agua de enfriamiento;
 - caracterizado por detectar, por parte de uno o más procesadores, un cambio en la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor;
 - 20 determinar, por parte de uno o más procesadores, una causa predictiva del cambio detectado en la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor en base al menos a los datos recibidos indicativos de ensuciamiento por incrustaciones, ensuciamiento por corrosión y bioensuciamiento; y
 - controlar la adición de un aditivo químico en un agua de enfriamiento que está en comunicación de fluidos con el lado de la corriente de agua de enfriamiento de al menos un intercambiador de calor en base a la causa predictiva.
2. El método de la reivindicación 1, en donde recibir datos indicativos de ensuciamiento por incrustaciones comprende recibir datos seleccionados del grupo que consiste en una concentración de fosfato en el agua de enfriamiento, una concentración de calcio en el agua de enfriamiento, una concentración de manganeso en el agua de enfriamiento, una concentración de aluminio en el agua de enfriamiento, una concentración de hierro en el agua de enfriamiento, una concentración de sílice en el agua de enfriamiento, una medida óptica indicativa de partículas en el agua de enfriamiento, una medida óptica indicativa de ensuciamiento en una superficie del lado de la corriente de agua de enfriamiento del intercambiador de calor o un análogo del mismo, y sus combinaciones.
3. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde recibir datos indicativos de ensuciamiento por incrustaciones comprende recibir datos de uno o más sensores en línea con el lado de la corriente de agua de enfriamiento del intercambiador de calor.
4. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde recibir datos indicativos de ensuciamiento por corrosión comprende recibir datos seleccionados del grupo que consiste en una concentración de hierro en el agua de enfriamiento, una concentración de cobre en el agua de enfriamiento, una medición óptica indicativa de corrosión en una superficie del lado de la corriente de agua de enfriamiento del intercambiador de calor o un análogo del mismo, una medición de resistencia de polarización lineal indicativa de la tasa de corrosión en una superficie de una sonda en el lado de la corriente de agua de enfriamiento del intercambiador de calor, y sus combinaciones.
5. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que recibir datos indicativos de ensuciamiento por corrosión comprende recibir datos de uno o más sensores en línea con el lado de la corriente de agua de enfriamiento del intercambiador de calor.
6. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la recepción de datos indicativos de ensuciamiento por corrosión comprende la recepción de datos de uno o más sensores asociados con un intercambiador de calor modelo diferente al intercambiador de calor para el cual se monitorea la eficiencia de transferencia de calor, en donde el intercambiador de calor modelo recibe y pasa a través del agua de enfriamiento que también pasa a través del intercambiador de calor para el cual se monitorea la eficiencia de transferencia de calor.
7. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde recibir datos indicativos de bioensuciamiento comprende recibir datos seleccionados del grupo que consiste en una concentración de trifosfato de adenosina en el agua de enfriamiento, una cantidad de carbono orgánico total en el agua de enfriamiento, una concentración residual de un agente oxidante en el agua de enfriamiento, un potencial de oxidación-reducción del agua de enfriamiento, una medición óptica indicativa de partículas en el agua de enfriamiento, una medición óptica indicativa de ensuciamiento en una superficie del lado de la corriente de agua de enfriamiento del intercambiador de calor o un análogo del mismo, una medición de fluorescencia indicativa de actividad microbiana y sus combinaciones.

8. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde recibir datos indicativos de bioensuciamiento comprende recibir datos de uno o más sensores en línea con el lado de la corriente de agua de enfriamiento del intercambiador de calor.
- 5 9. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, recibir además, por parte de uno o más procesadores, datos indicativos de al menos uno de la temperatura del agua de enfriamiento y el pH del agua de enfriamiento.
- 10 10. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde determinar la causa predictiva del cambio detectado en la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor comprende además determinar, por parte de uno o más procesadores, una puntuación de ensuciamiento por incrustaciones total en base a los datos recibidos indicativos del ensuciamiento por incrustaciones, una puntuación de ensuciamiento por corrosión total en base a los datos recibidos indicativos del ensuciamiento por corrosión y una puntuación de bioensuciamiento total en base a los datos recibidos indicativos de bioensuciamiento.
- 15 11. El método de la reivindicación 10, en donde
- determinar la puntuación de ensuciamiento por incrustaciones total comprende sumar cada parámetro de datos ponderado indicativo de ensuciamiento por incrustaciones y determinar un promedio de los mismos;
- 20 determinar la puntuación de ensuciamiento por corrosión total comprende sumar cada parámetro de datos ponderado indicativo de ensuciamiento por corrosión y determinar un promedio de los mismos;
- determinar la puntuación de bioensuciamiento total comprende sumar cada parámetro de datos ponderado indicativo de bioensuciamiento y determinar un promedio de los mismos; y
- 25 determinar la causa predictiva del cambio detectado en la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor comprende identificar un máximo de la puntuación de ensuciamiento por incrustaciones total, la puntuación de ensuciamiento por corrosión total y la puntuación de bioensuciamiento total.
- 30 12. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde determinar la causa predictiva del cambio detectado en la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor comprende aplicar un factor de ponderación a cada parámetro de datos recibido indicativo de ensuciamiento por incrustaciones, ensuciamiento por corrosión y bioensuciamiento.
- 35 13. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde controlar la adición del aditivo químico comprende controlar un aditivo químico seleccionado para contrarrestar la causa predictiva, en donde la causa predictiva se selecciona del grupo que consiste en ensuciamiento por incrustaciones, ensuciamiento por corrosión, y bioensuciamiento.
- 40 14. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además:
- determinar una causa alternativa predictiva del cambio detectado en la tendencia de eficiencia de transferencia de calor si la tendencia de eficiencia de transferencia de calor no cambia más allá de una cantidad umbral en respuesta a la adición controlada del aditivo químico seleccionado para contrarrestar la causa predictiva; y
- 45 controlar la adición de un aditivo químico alternativo al agua de enfriamiento que está en comunicación de fluidos con el lado de la corriente de agua de enfriamiento del intercambiador de calor, el aditivo químico alternativo que se selecciona para contrarrestar la causa predictiva alternativa.
- 50 15. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende, además, antes de monitorear la eficiencia de transferencia de calor del intercambiador de calor, inspeccionar una pluralidad de intercambiadores de calor dentro de una red de intercambiadores de calor para identificar al menos un intercambiador de calor crítico,
- 55 en donde monitorear la eficiencia de transferencia de calor del intercambiador de calor y establecer la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor comprende monitorear la eficiencia de transferencia de calor del intercambiador de calor crítico y establecer la tendencia de la eficiencia de transferencia de calor del intercambiador de calor crítico.

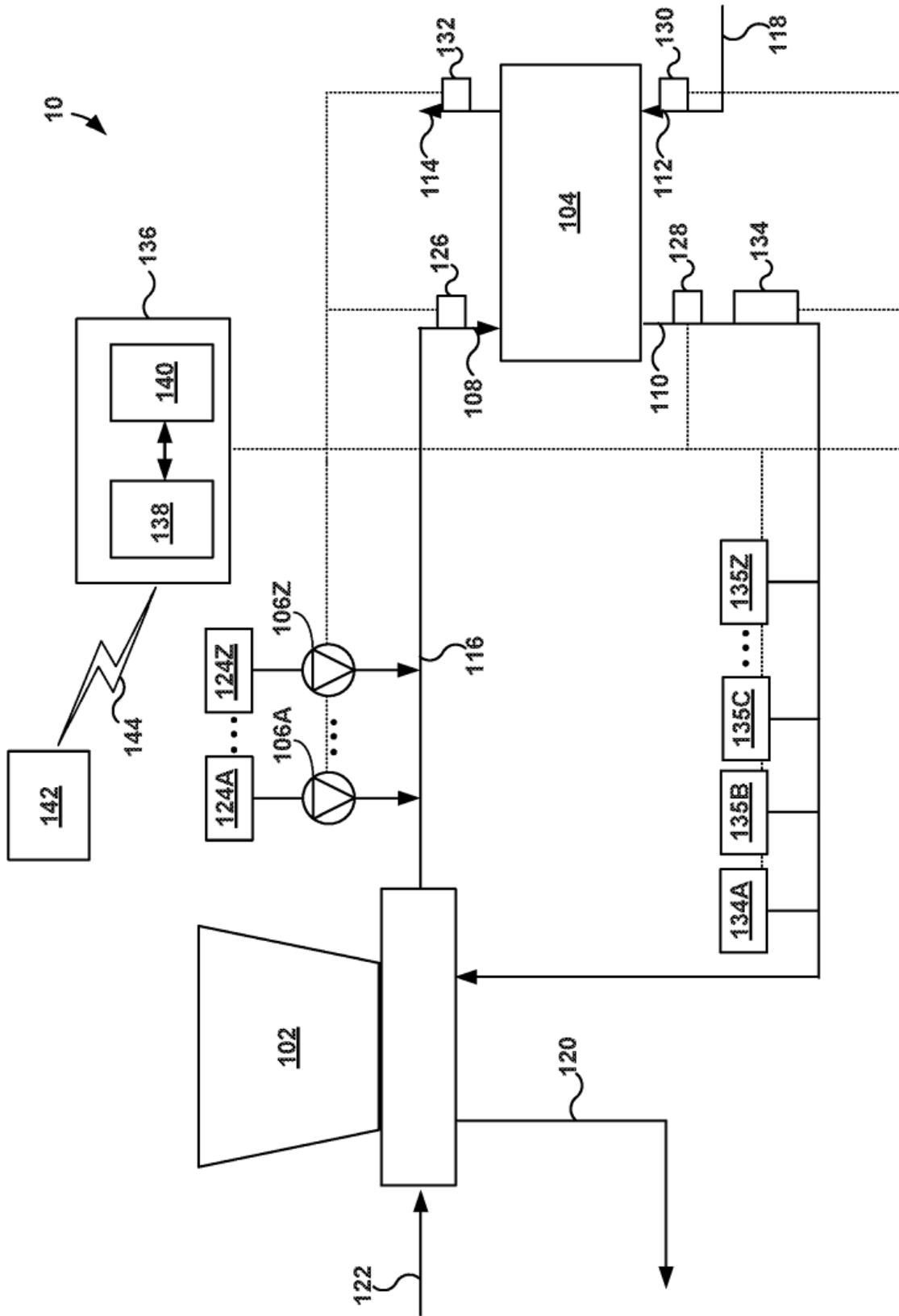


Figura 2

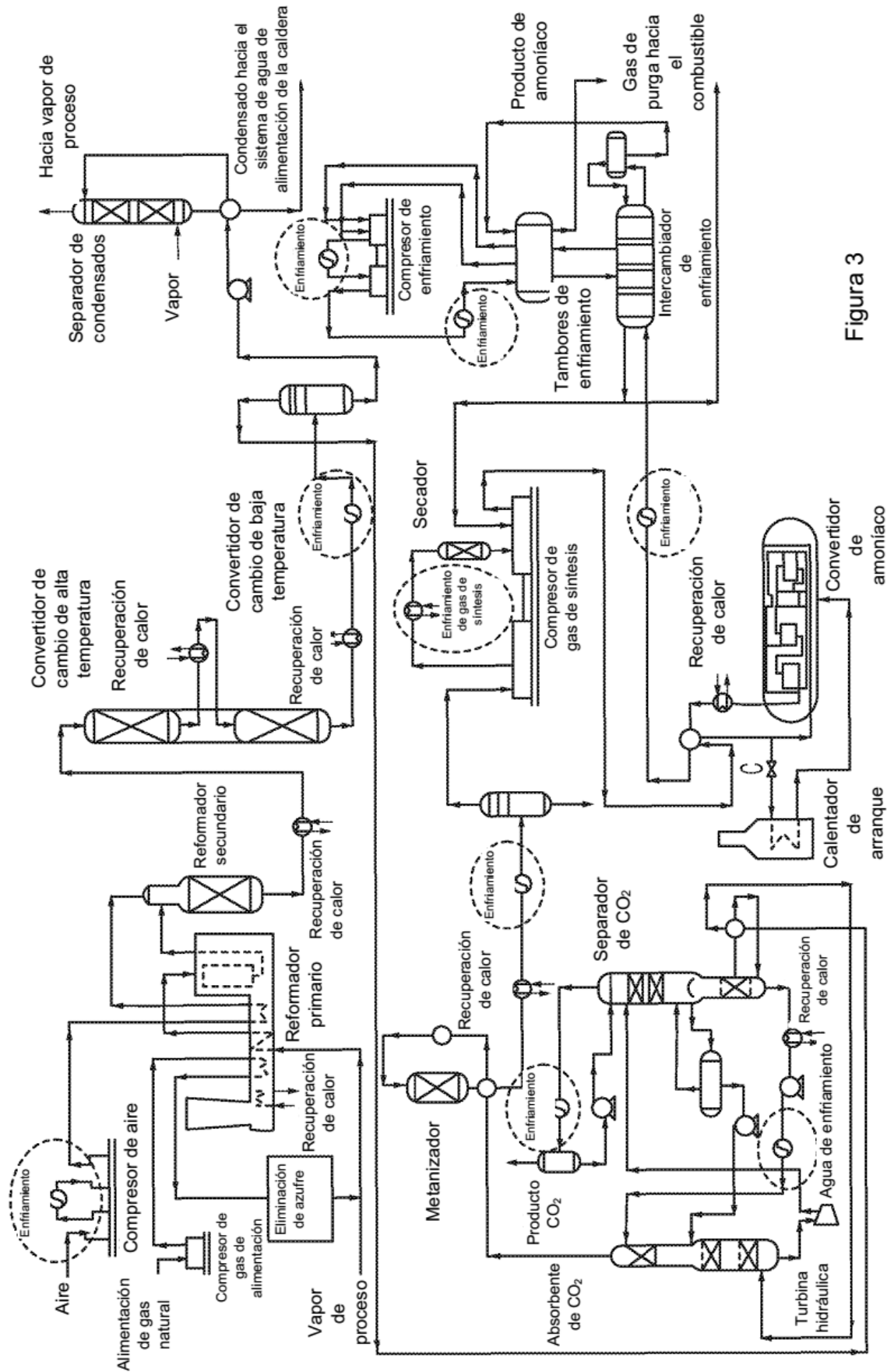


Figura 3

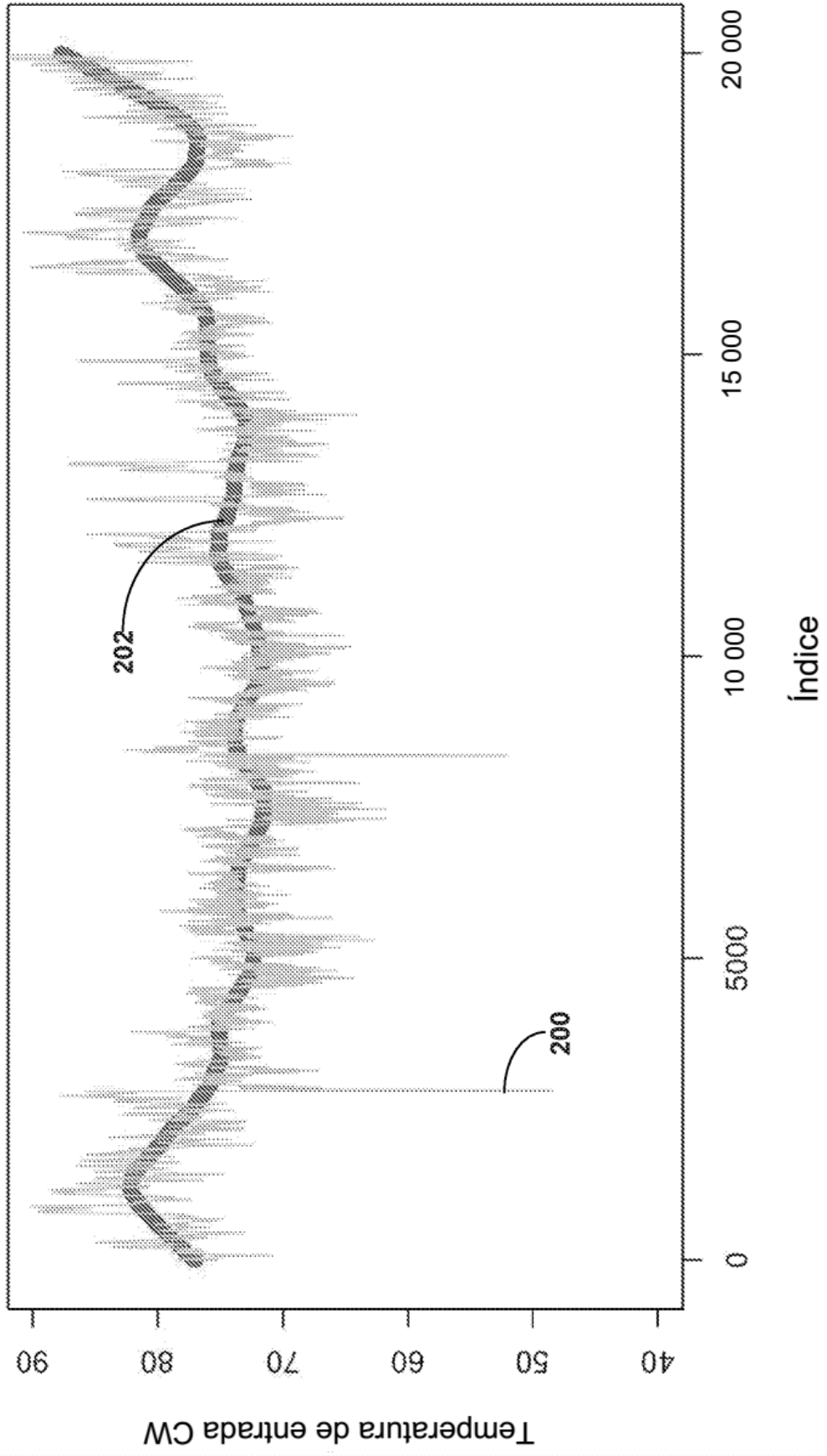


Figura 4

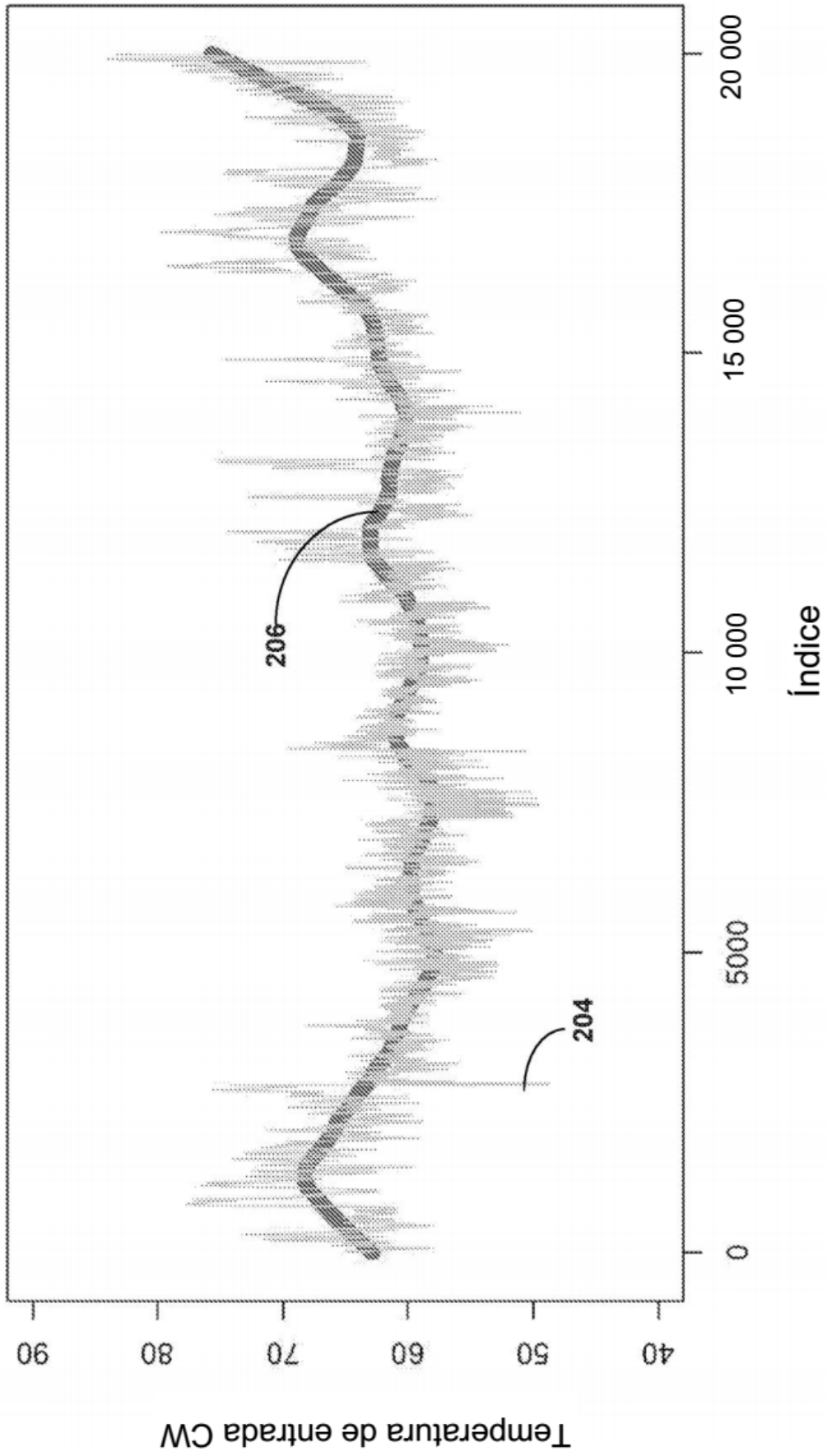


Figura 5

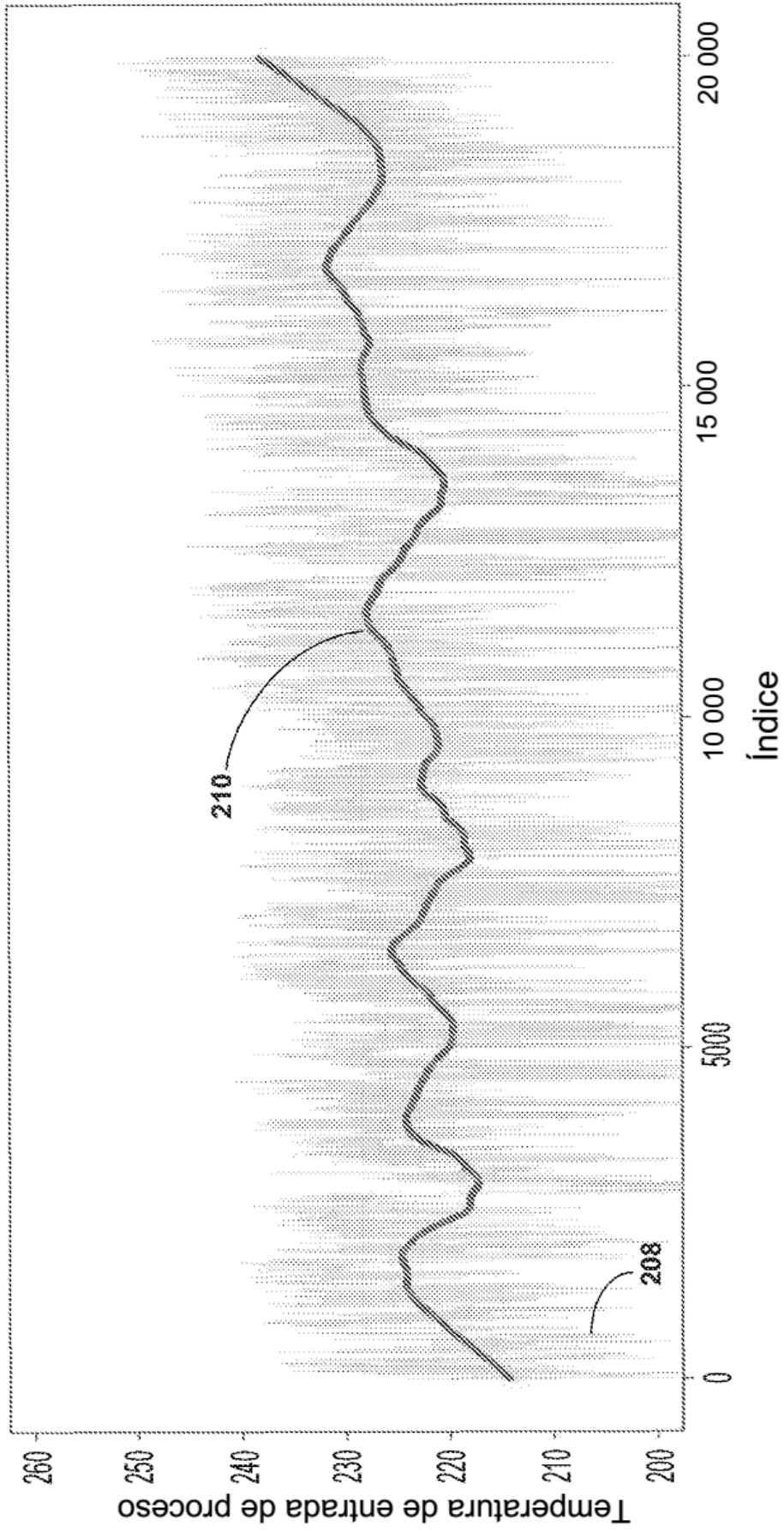


Figura 6

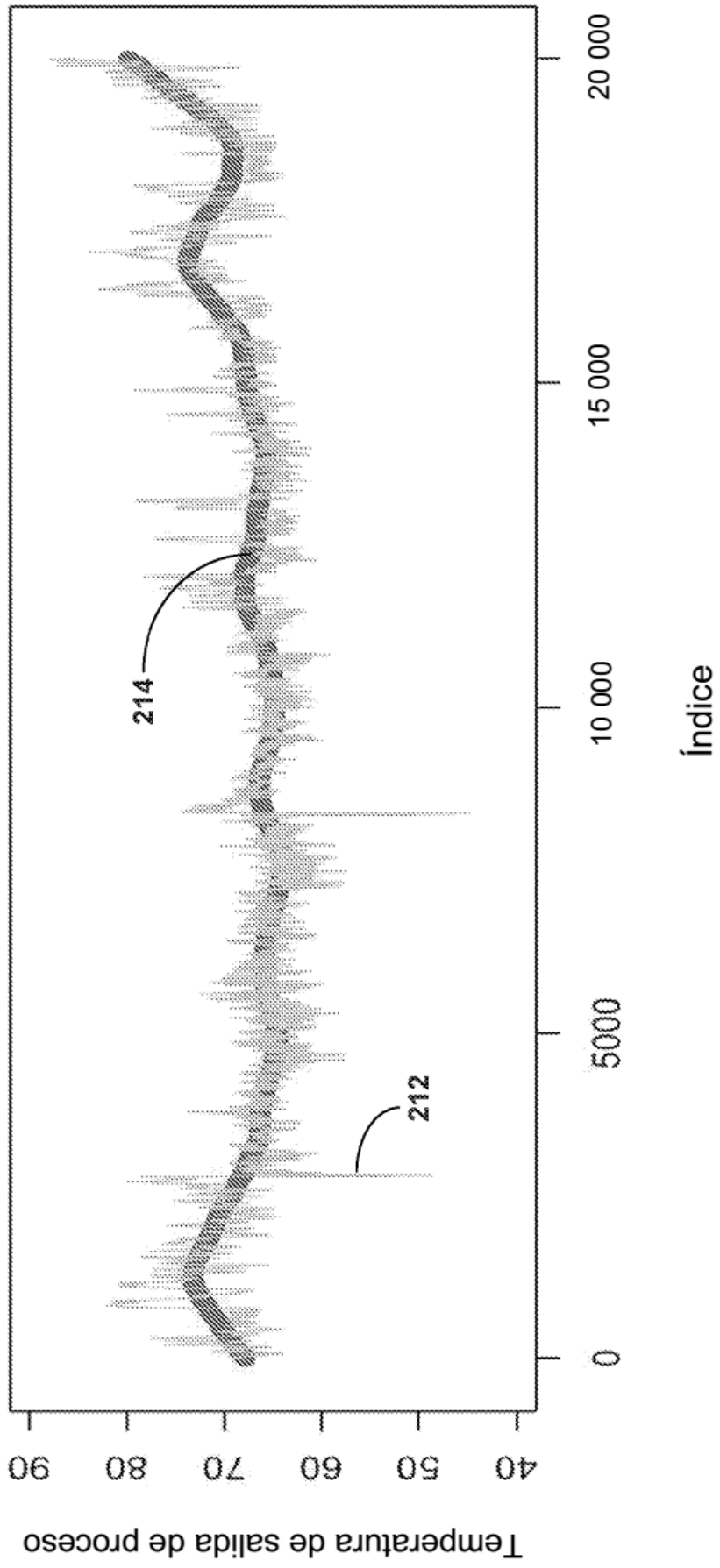


Figura 7

Caudal de Agua de Enfriamiento

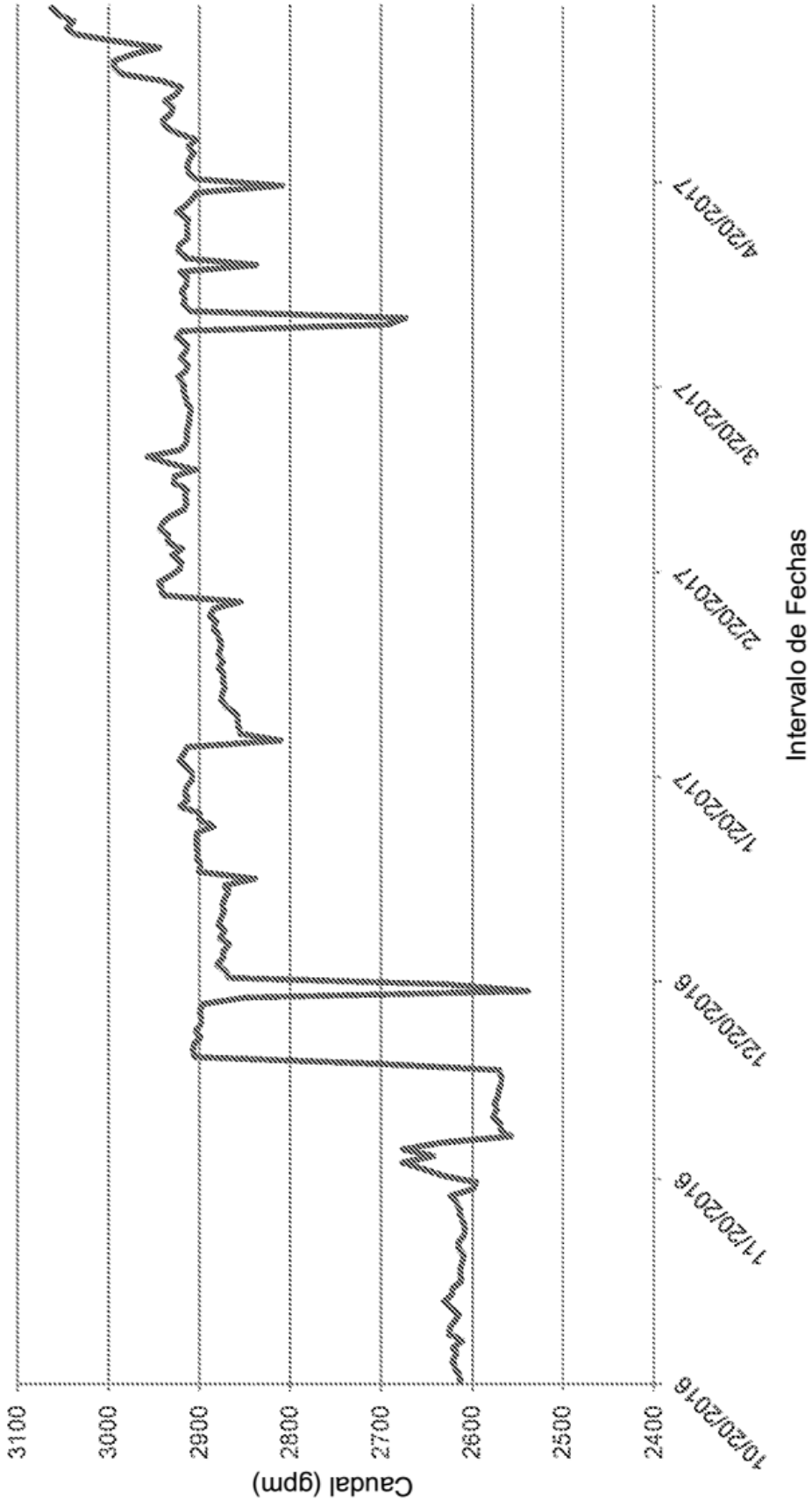


Figura 8

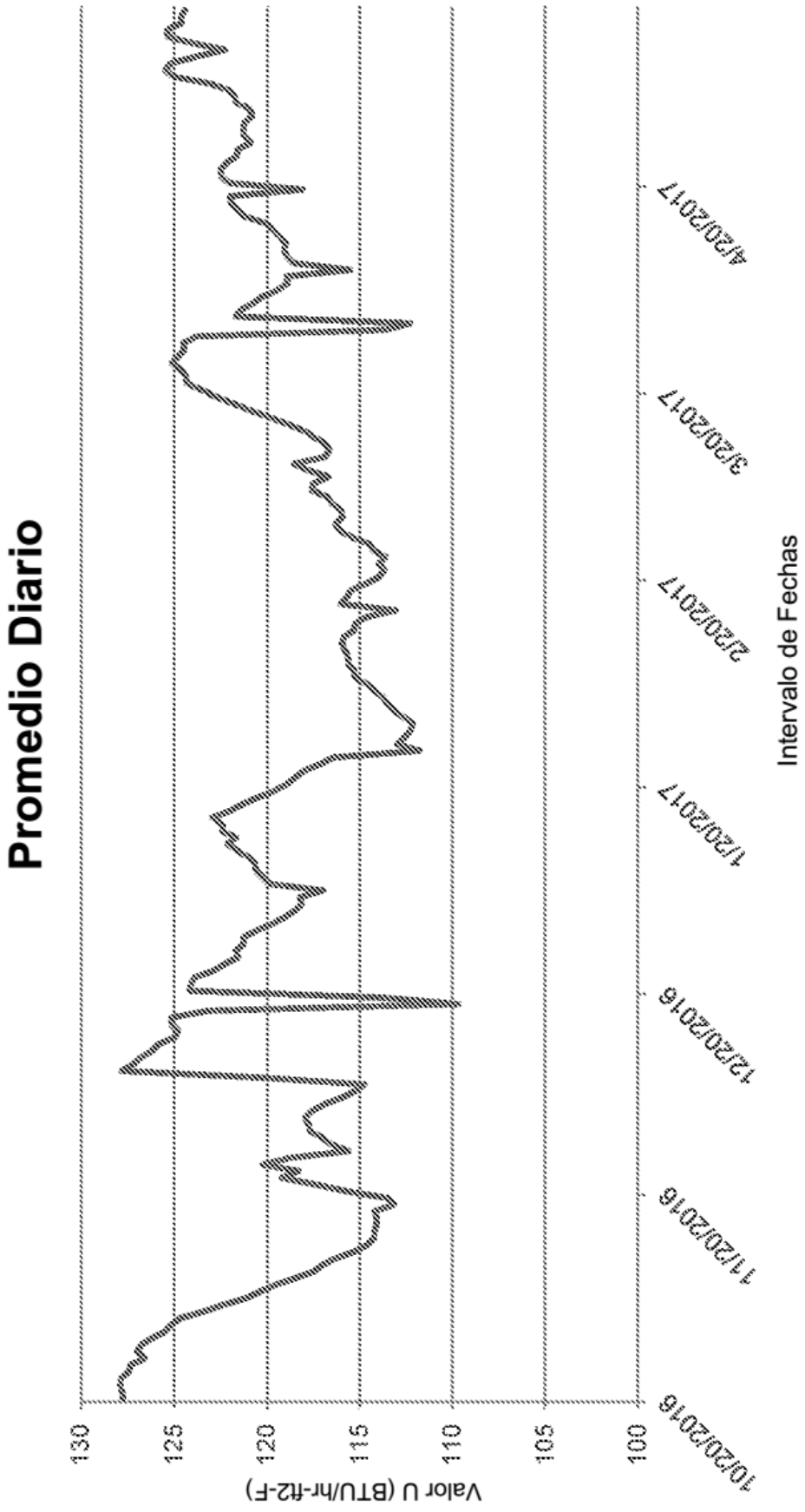
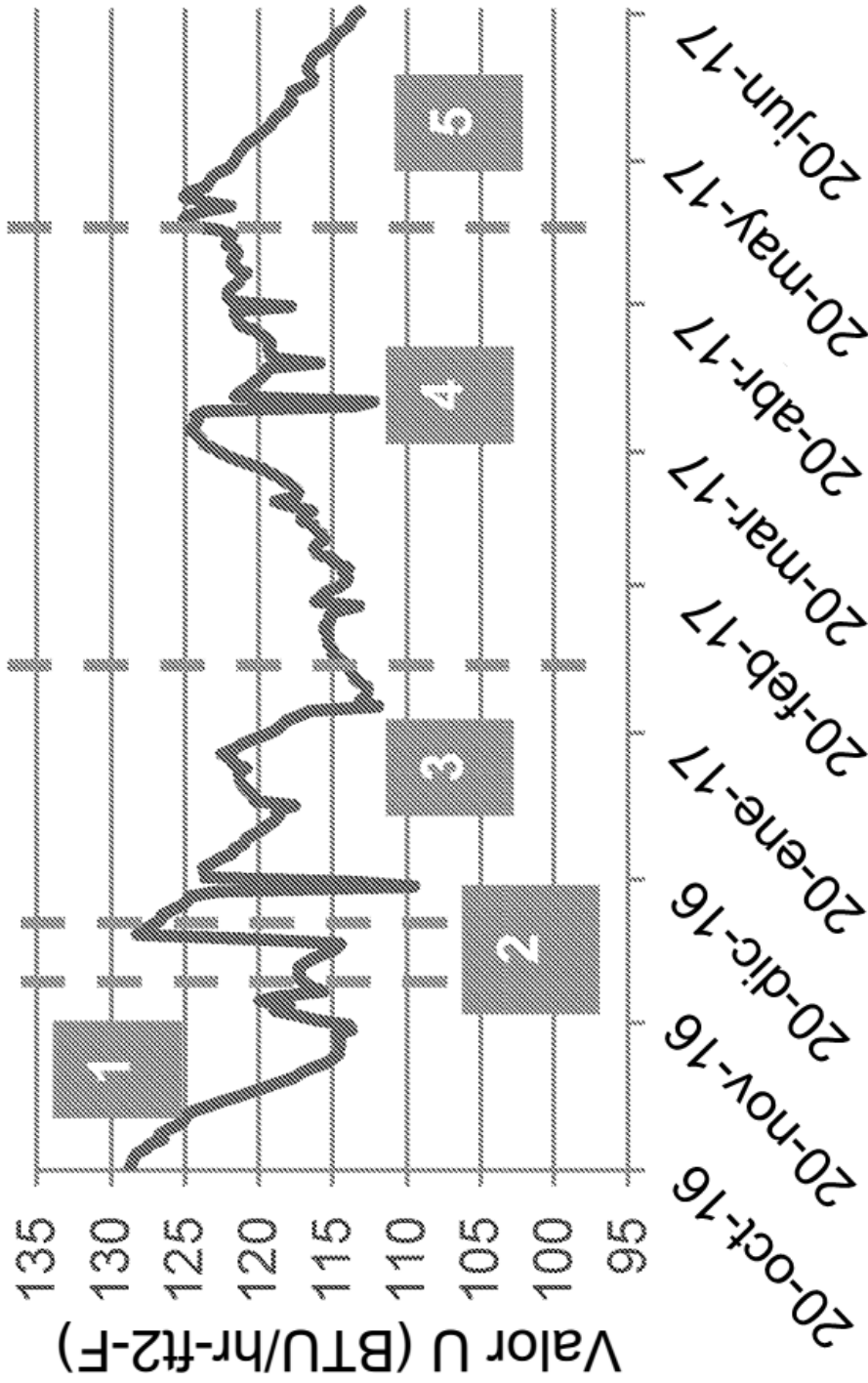


Figura 9

Coeficiente de Transferencia de Calor



Intervalo de Fechas

Figura 10

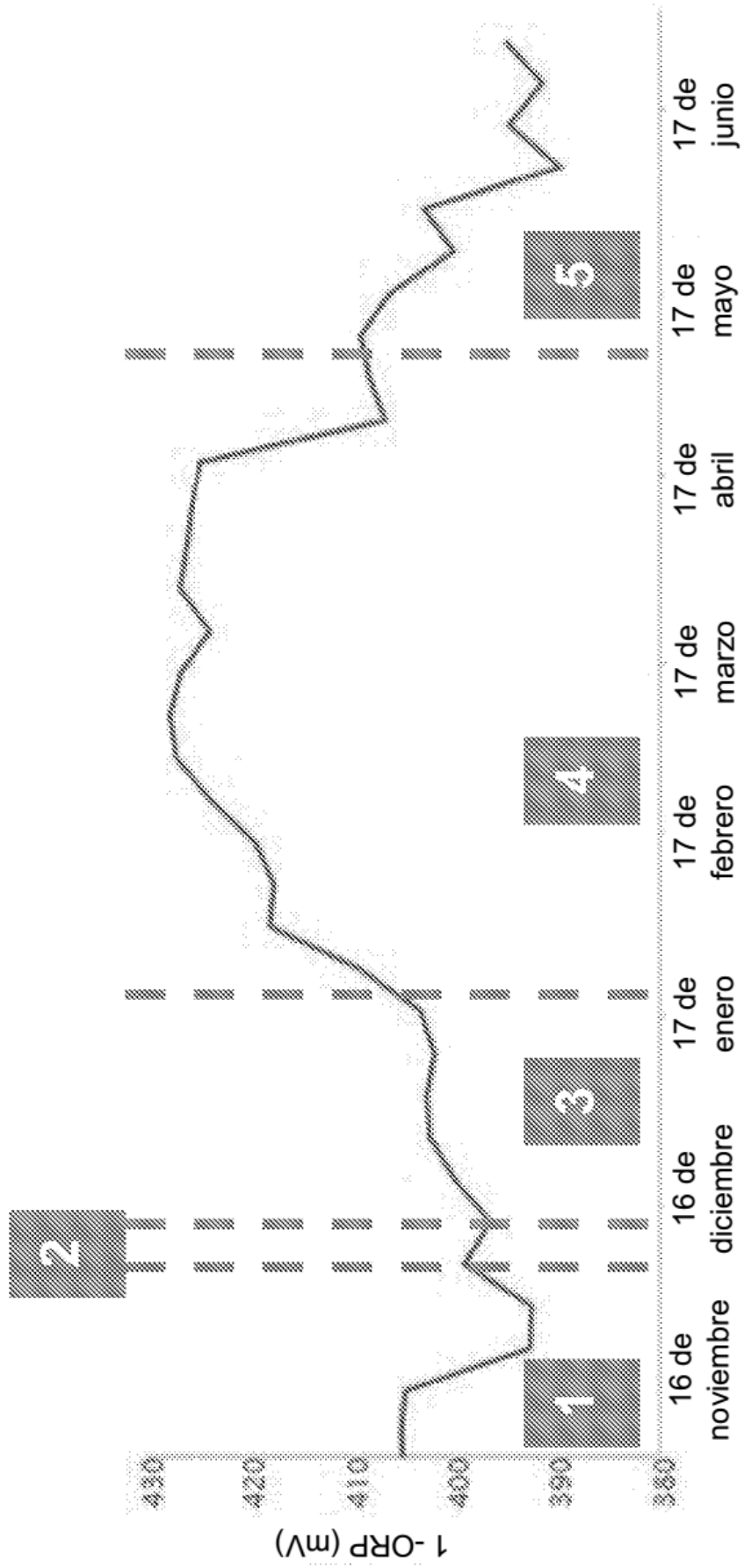


Figura 11

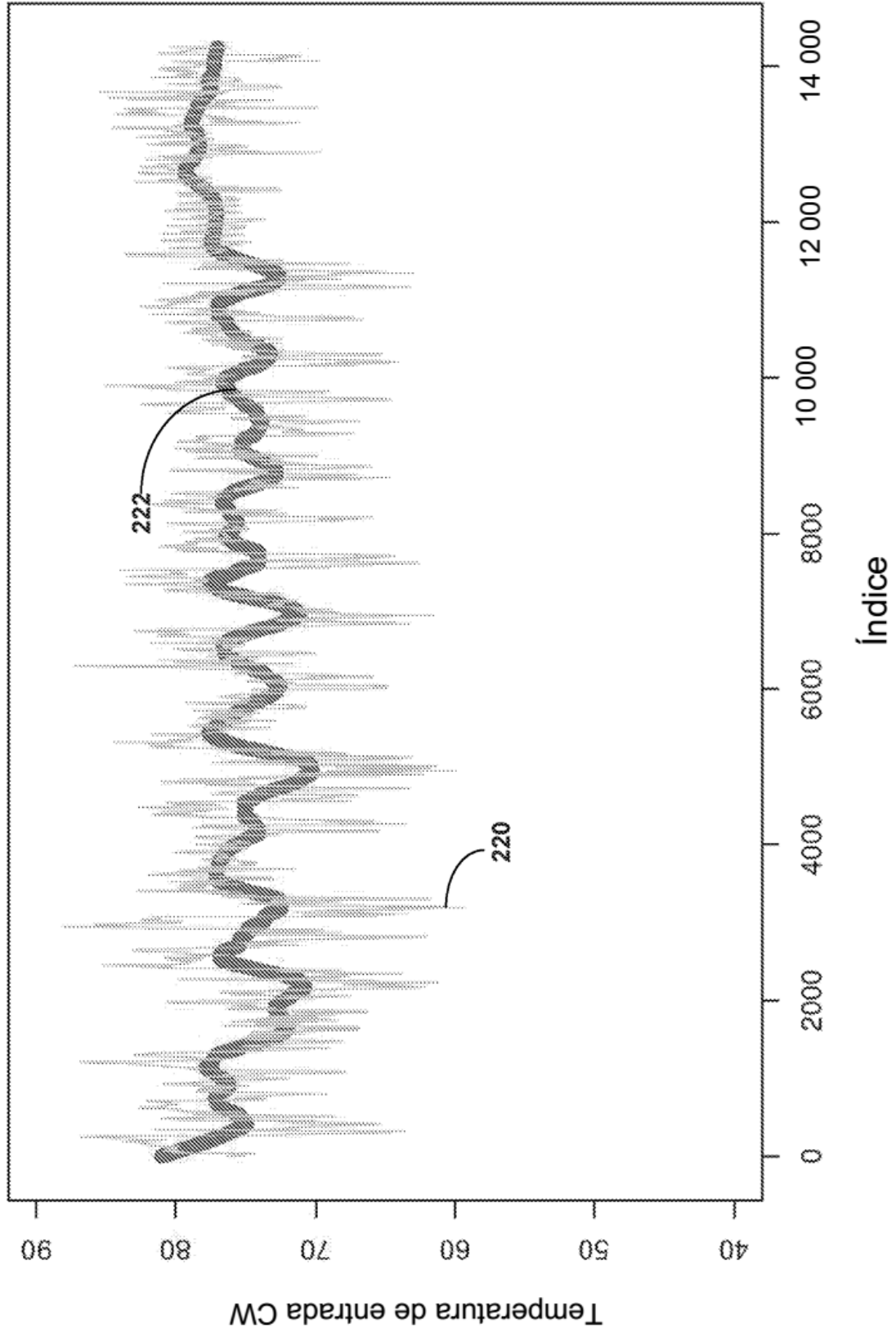


Figura 12

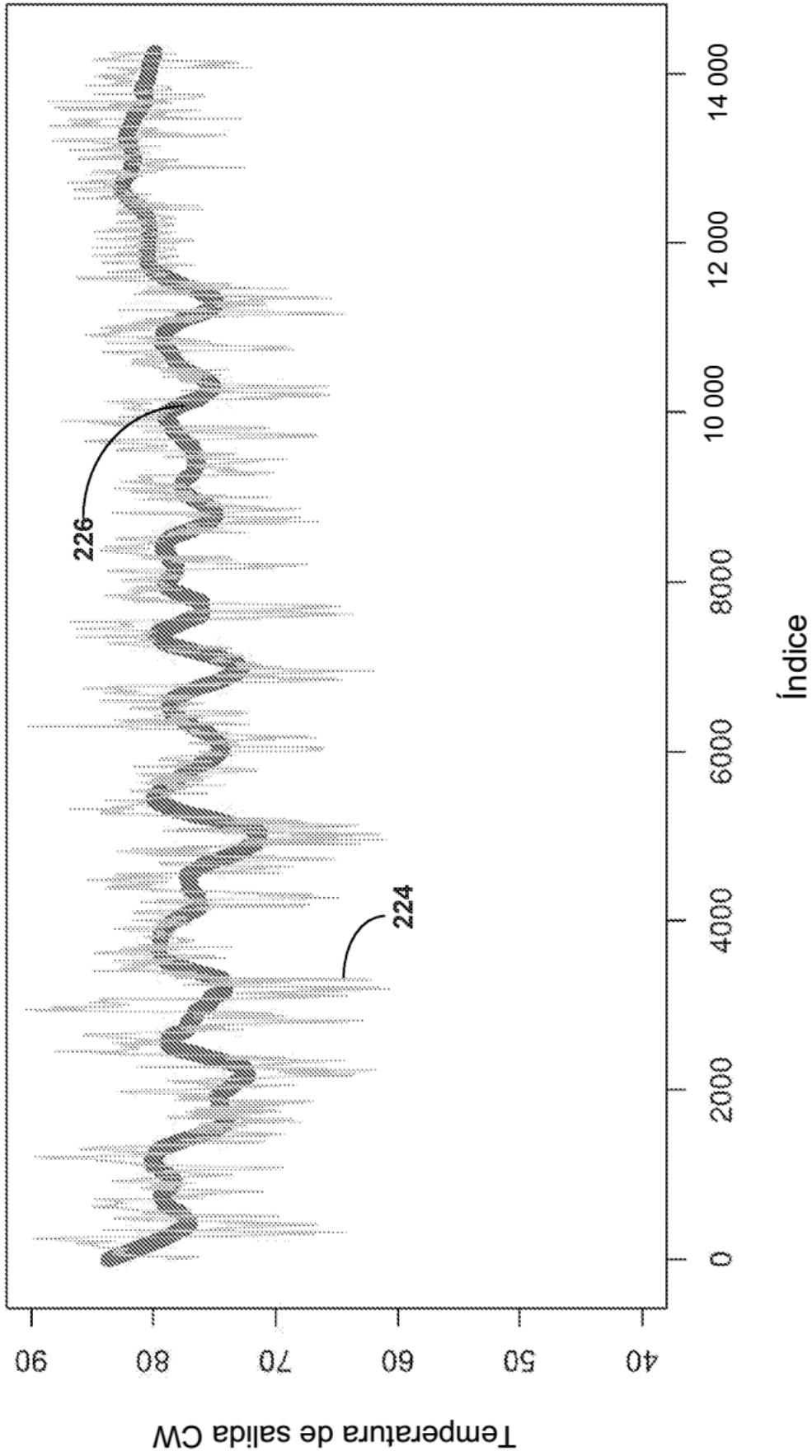


Figura 13

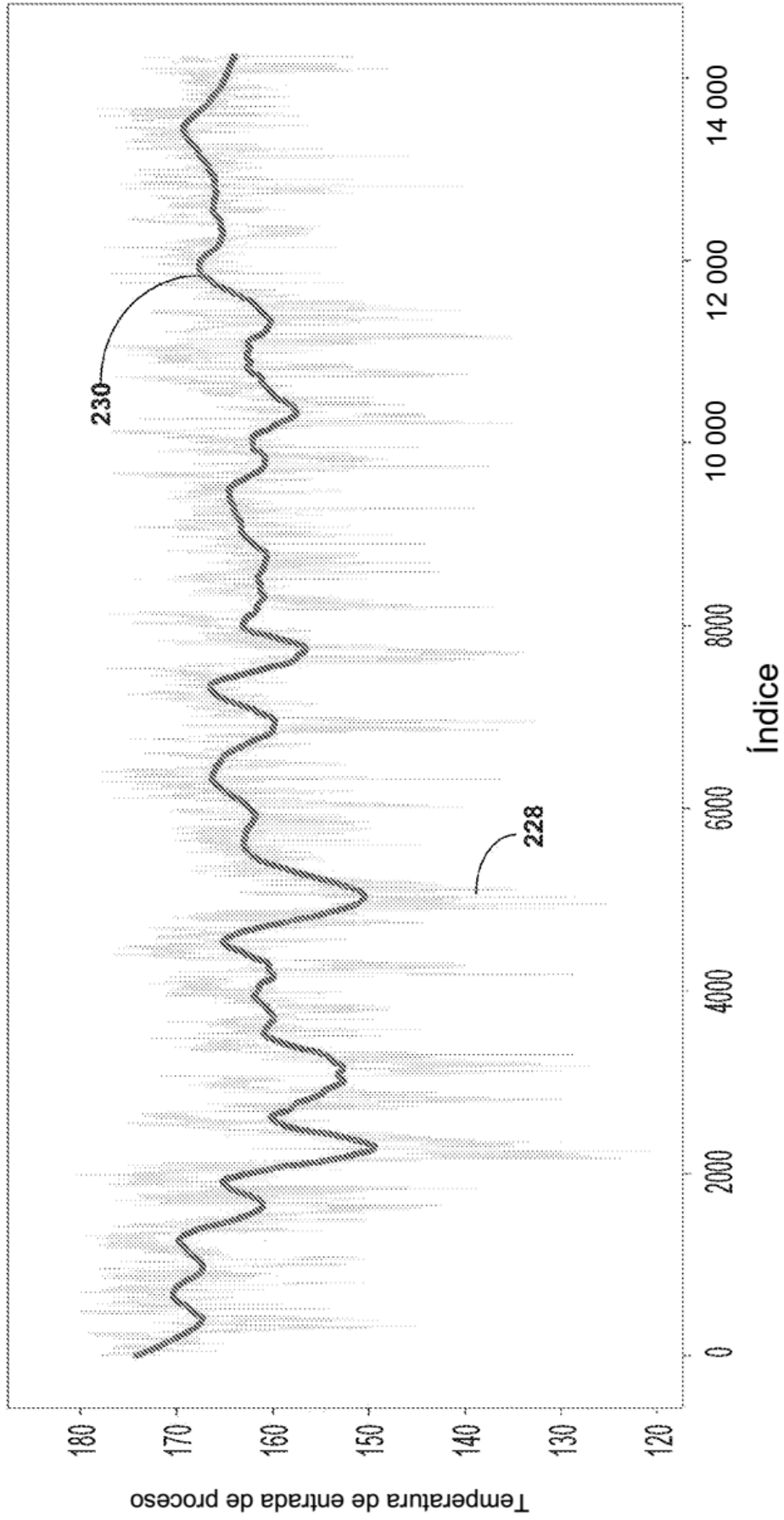


Figura 14

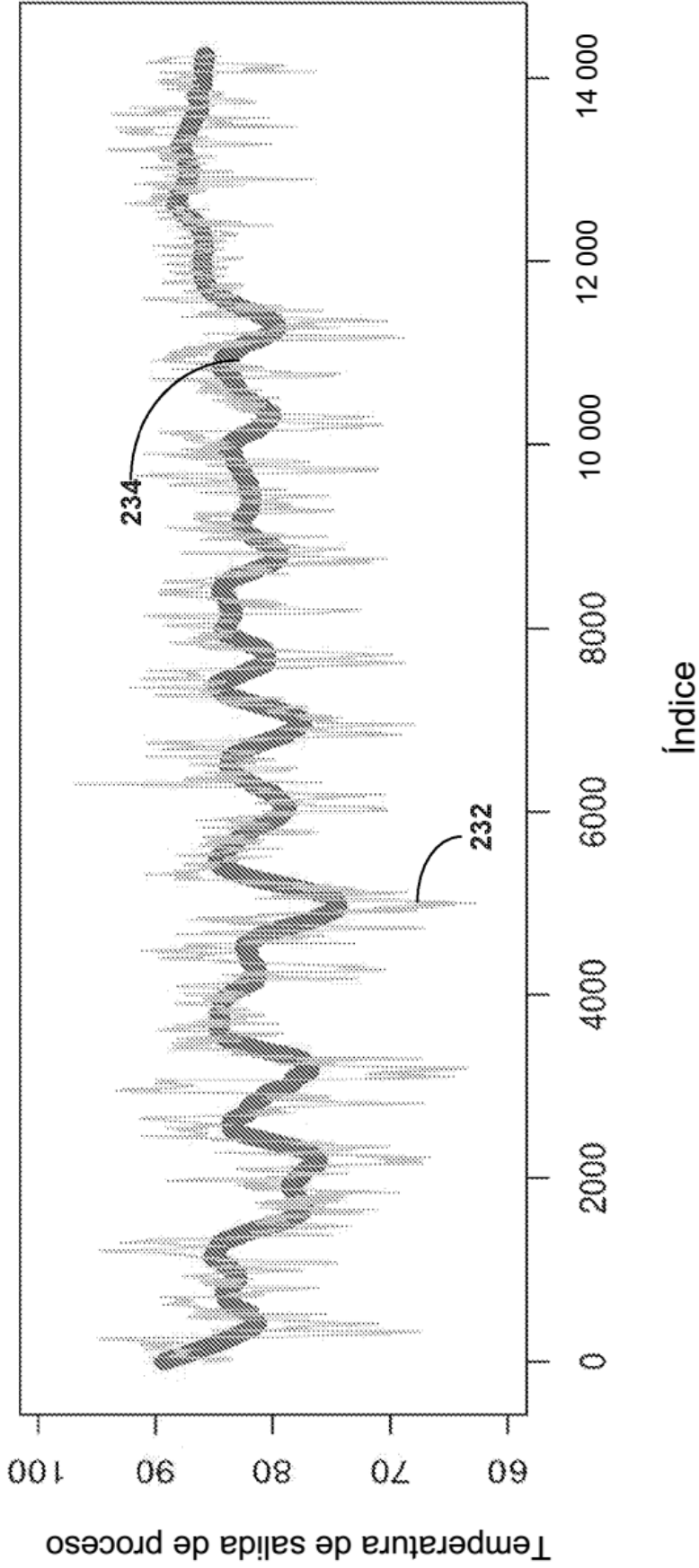


Figura 15

Caudal de Agua de Enfriamiento

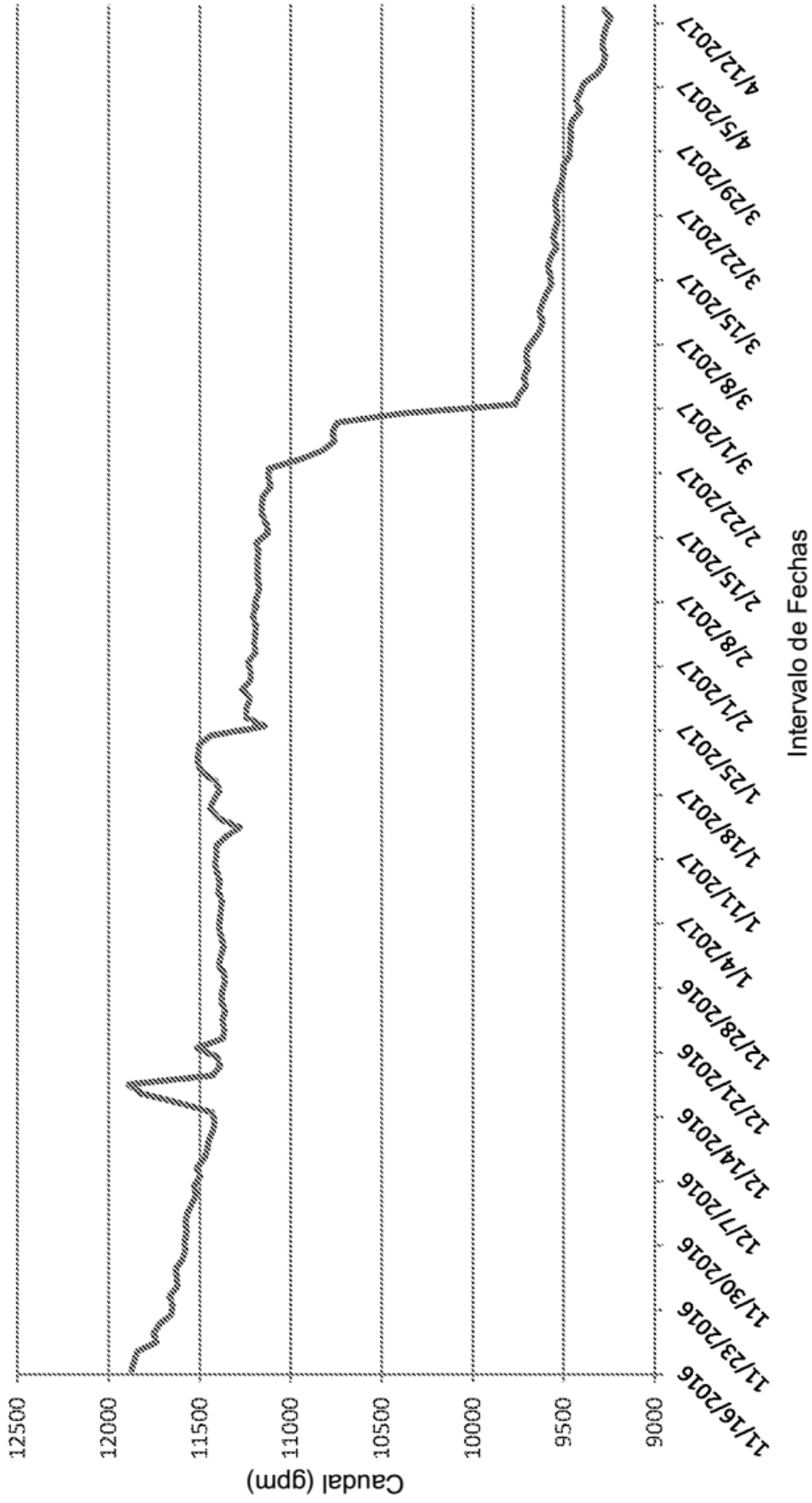


Figura 16

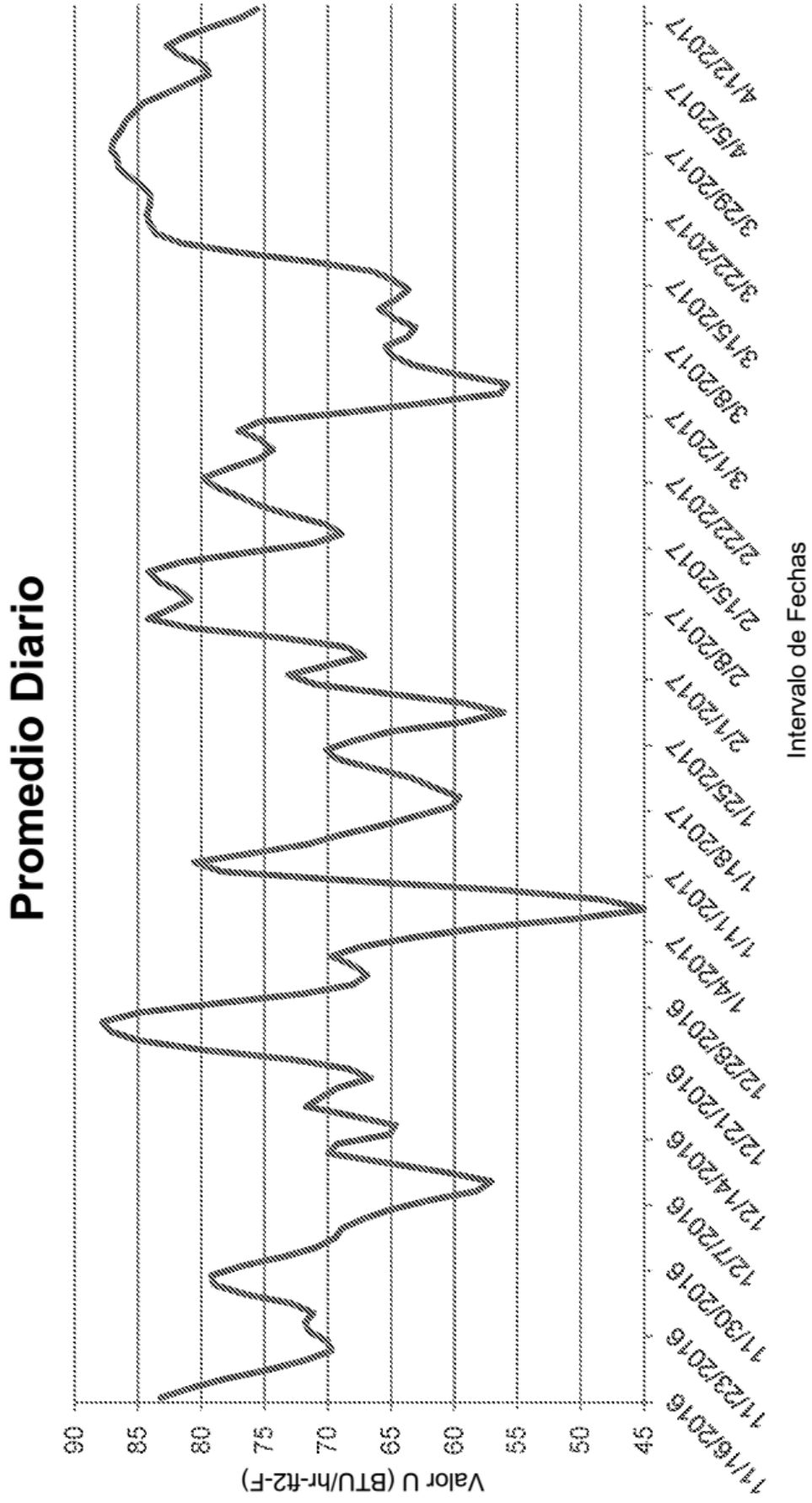


Figura 17

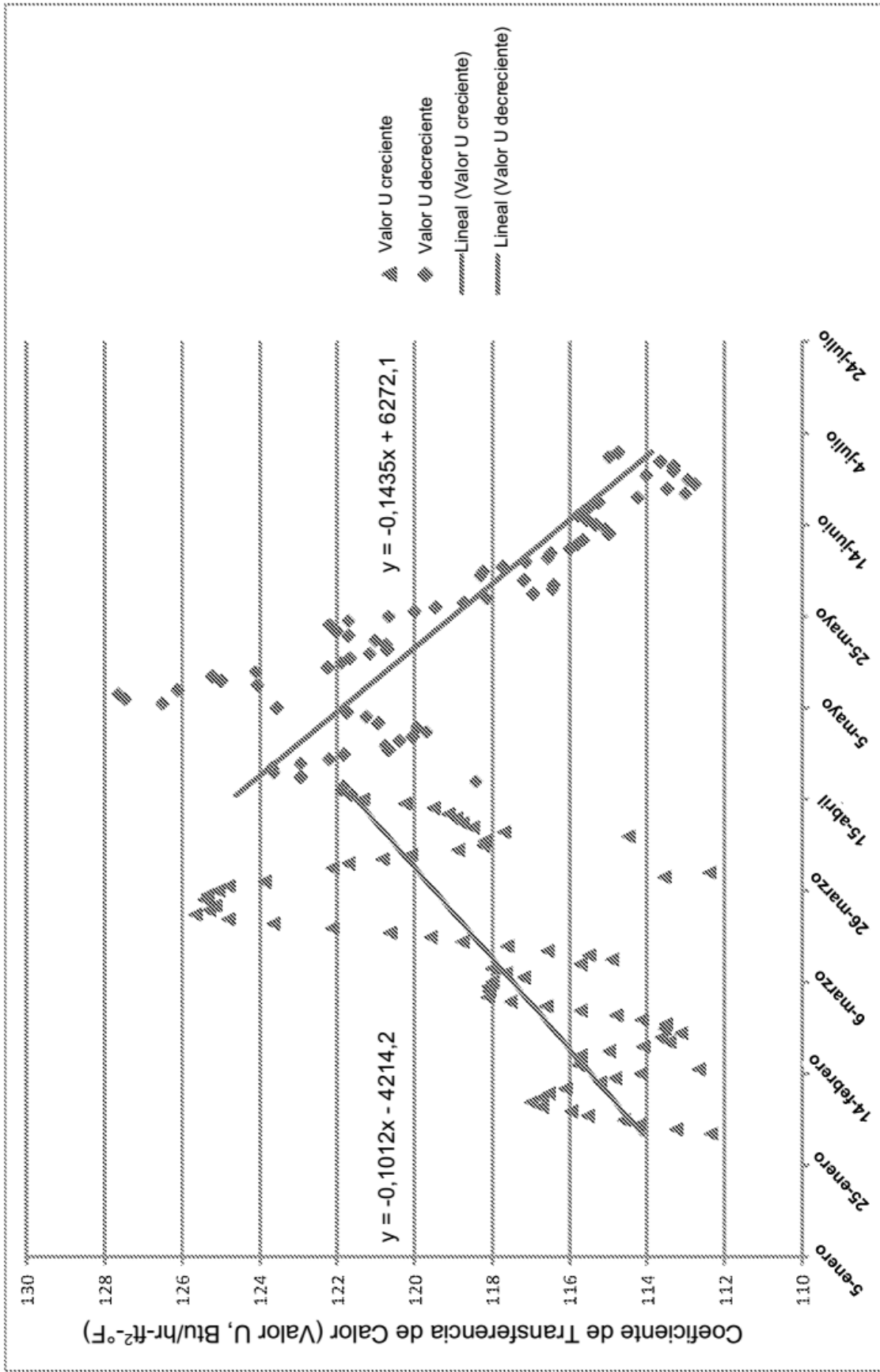


Figura 18

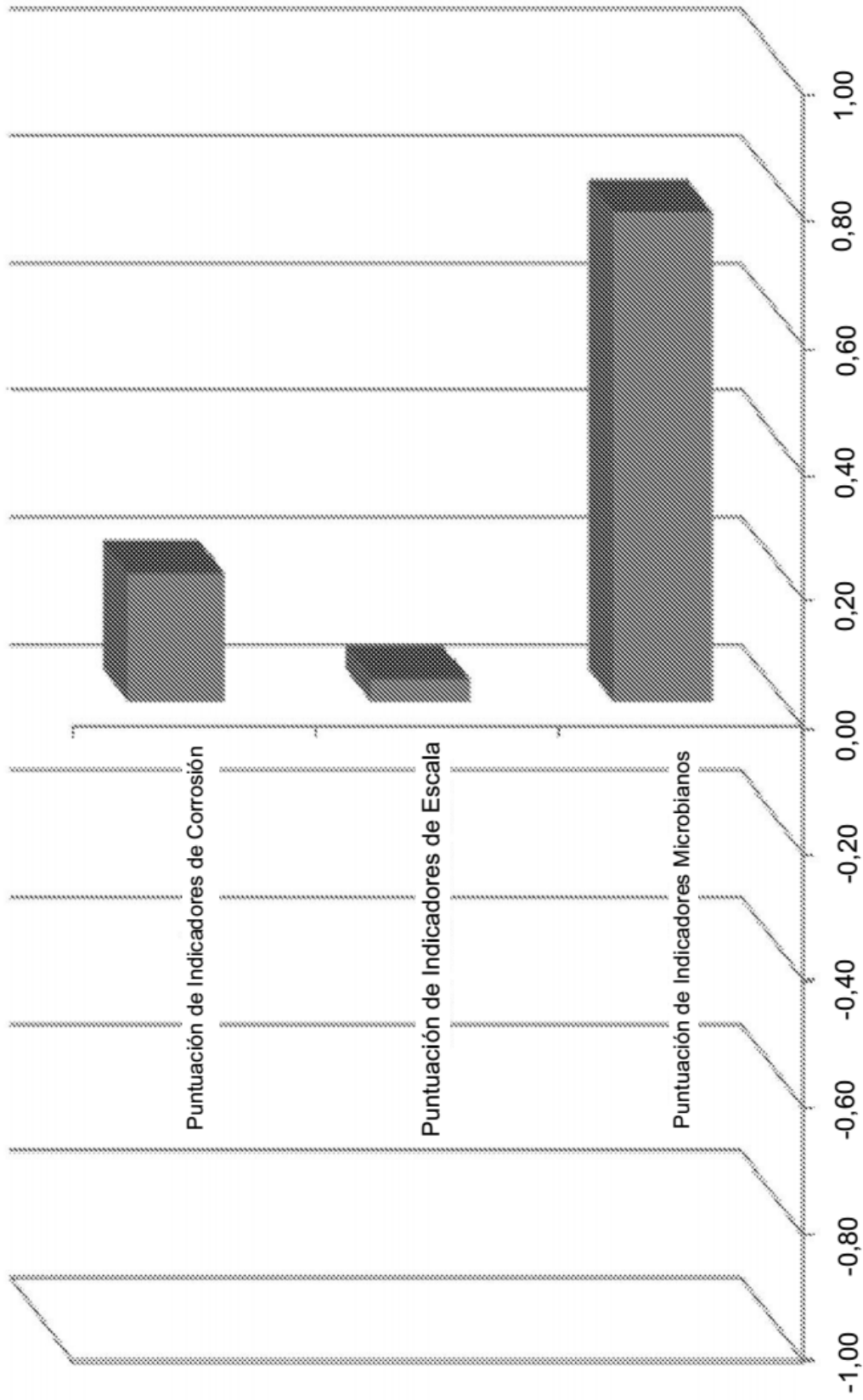


Figura 19

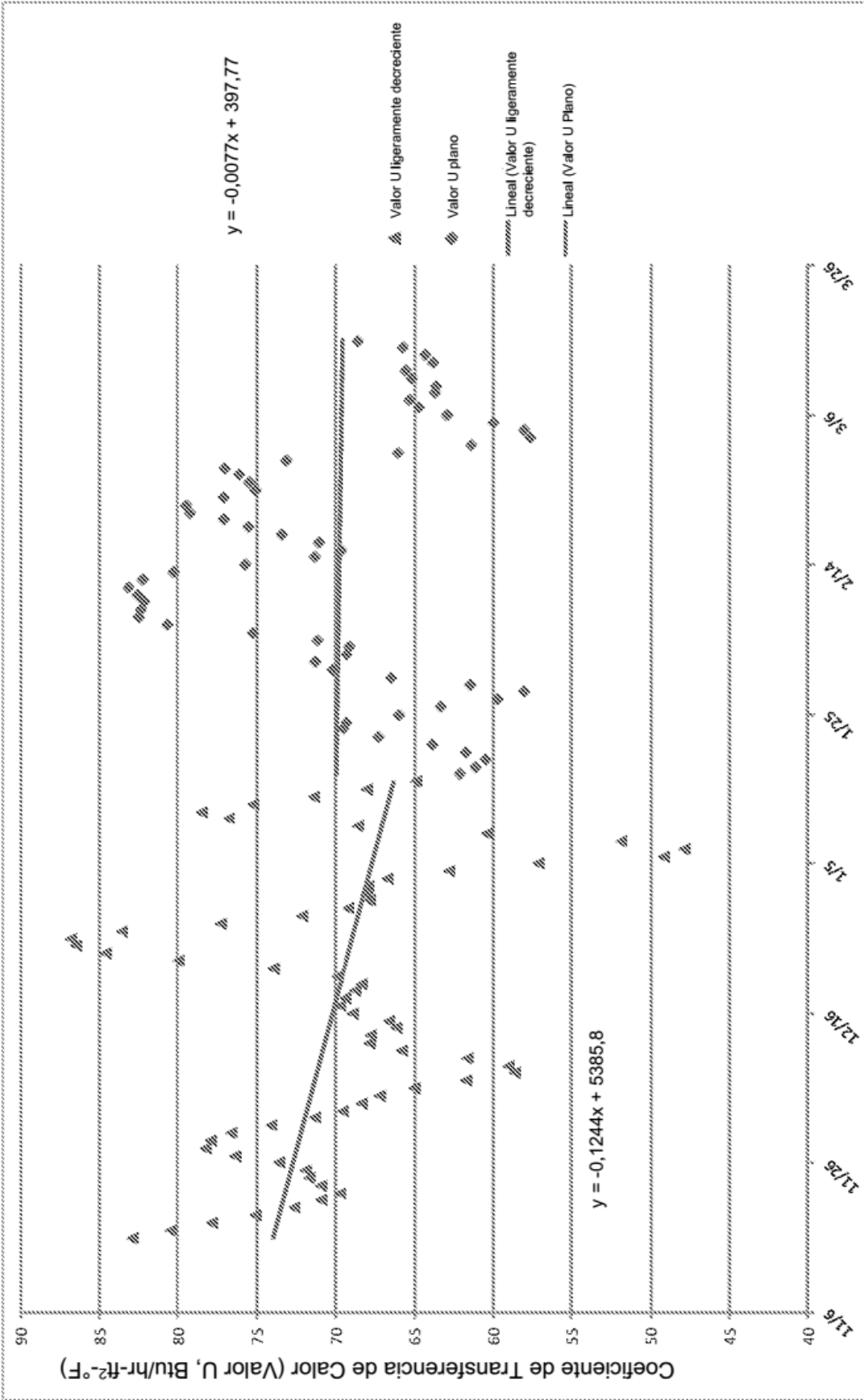


Figura 20

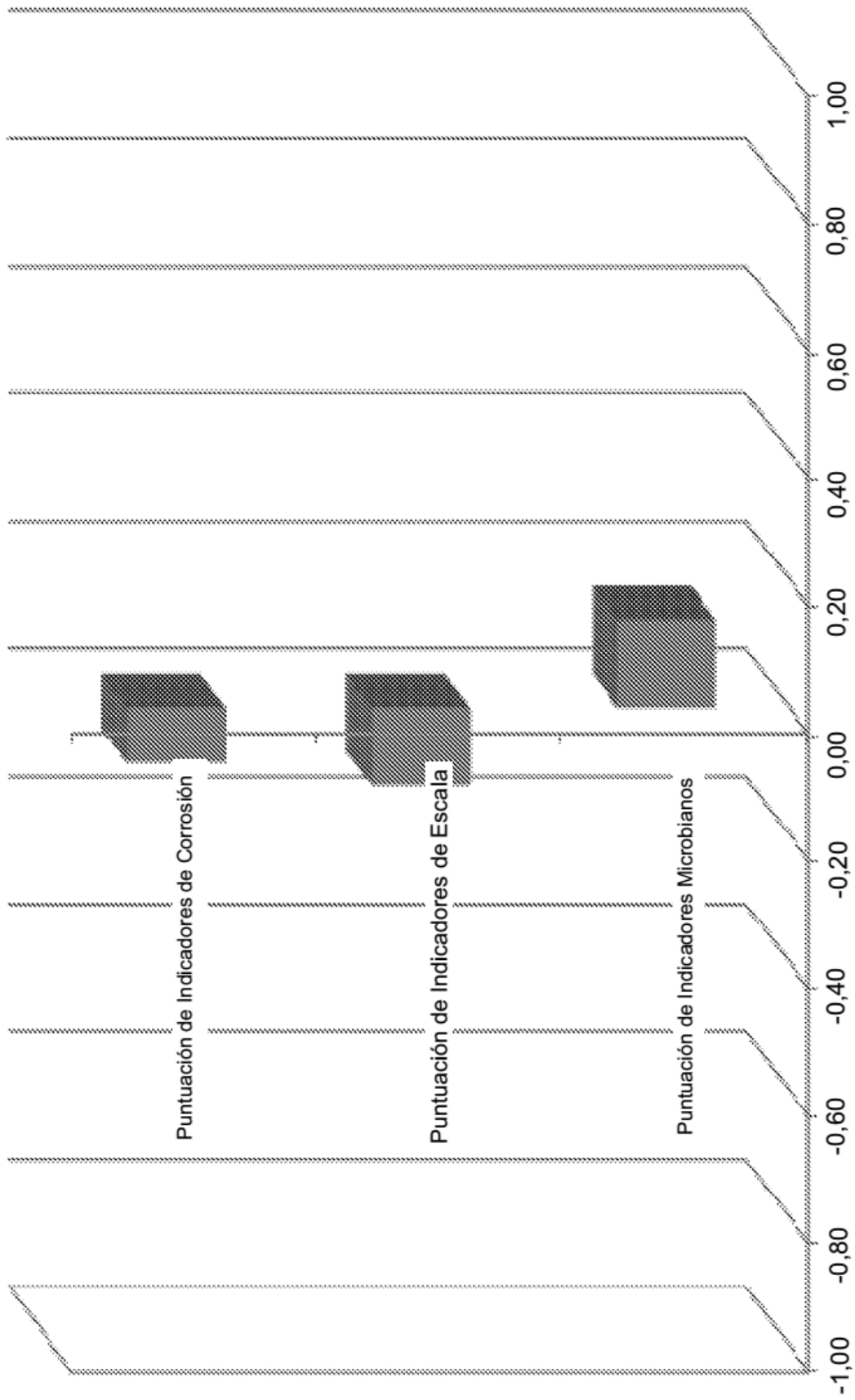


Figura 21