

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 786 301**

51 Int. Cl.:

F02C 7/057 (2006.01)

F02C 7/143 (2006.01)

F02C 7/052 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.12.2015 E 15197954 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.02.2020 EP 3109441**

54 Título: **Sistema para reducir la temperatura del aire de entrada de un dispositivo**

30 Prioridad:

24.06.2015 US 201514749154

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

09.10.2020

73 Titular/es:

**AAF LTD. (100.0%)
Bassington Lane
Cramlington, Northumberland NE23 8AF, GB**

72 Inventor/es:

OWEN, CHARLES MELVIN

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 786 301 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

Sistema para reducir la temperatura del aire de entrada de un dispositivo

Campo de la invención

5 La presente invención está relacionada con un sistema para reducir la temperatura del aire de entrada de un dispositivo. En particular, la presente invención está relacionada con sistemas de nebulización para el enfriamiento del aire de entrada a una turbina de gas, un motor diésel, un soplante de proceso, u otra fuerza motriz. Además, estas realizaciones están relacionadas con el método de control para estos sistemas de nebulización.

Antecedentes de la invención

10 Las turbinas de gas y los motores diésel proporcionan fuerza motriz al comprimir un volumen casi constante de aire y encender combustible para generar potencia en el eje. Esta energía se puede utilizar para impulsar generadores utilizados en la producción de electricidad o se puede utilizar para impulsar compresores o soplantes utilizados en la transmisión de petróleo y gas u otros procesos. Cuando la temperatura del aire ambiente aumenta, la densidad del aire disminuye, provocando que el flujo másico a través de la turbina de gas también disminuya. La consecuencia de esto es que, a medida que aumenta la temperatura ambiente, las turbinas de gas y los motores diésel son propensos a pérdida de entrega de potencia, mientras que el caudal de combustible aumenta. Típicamente, las turbinas de gas perderán de aproximadamente el 0,7% a aproximadamente el 0,9% de su entrega de potencia nominal por cada grado centígrado de aumento de la temperatura de entrada.

20 Actualmente, la solución a este problema generalizado es instalar un sistema de enfriamiento de entrada para corregir la temperatura del aire de entrada. Métodos comunes para esta reducción de temperatura incluyen: la instalación de bobinas de enfriamiento; la instalación de enfriadores evaporativos de tipo de medio; y, la instalación de sistemas de nebulización, los cuales generalmente reducen la temperatura del aire por medio de la evaporación de agua pulverizada al interior del sistema después de la etapa de filtro. Del documento US 2013 0067922 A se conoce un sistema ultrasónico de atomización de agua para enfriamiento de la entrada de turbinas de gas y compresión húmeda. Del documento US 2006 0254282 A se conoce un grupo turbo de gas con un sistema de nebulización dispuesto en un ramal de baja presión de un sistema de suministro de agua. Del documento US 2010 0263541 A se conoce un sistema de lavado de filtros para motores de turbina de gas. Sin embargo, cada uno de estos tipos de sistemas tiene ciertas desventajas.

30 Las bobinas de enfriamiento y la planta asociada son caras, y proporcionan un nivel de complejidad adicional a las operaciones de la planta. Además, estos tipos de sistemas provocan un diferencial de presión en la corriente de aire, incluso cuando no están en uso.

35 Los enfriadores evaporativos de tipo de medio son relativamente simples, pero no se pueden ajustar para adaptarse a cambios en las condiciones del aire ambiente. Además, los medios utilizados en estos sistemas son propensos a sufrir daños, y también presentan una causa de diferencial de presión en la corriente de aire durante todo el año. Además, el mantenimiento o la sustitución de los medios requiere que se pare la turbina de gas u otro proceso situado aguas abajo.

40 Los sistemas de nebulización introducen niebla, en forma de gotitas de agua, en el aire. A continuación las gotitas de agua introducidas se pueden evaporar en el aire, lo que crea un nuevo equilibrio - una temperatura menor y una humedad relativa mayor. Desde cualquier punto de partida dado, la entalpía del sistema permanece sin cambios; y, limitando la cantidad de agua disponible, se puede lograr una temperatura entre la temperatura ambiente inicial y la temperatura de bulbo húmedo correspondiente. Este proceso, conocido como nebulización, es conocido y utilizado en la técnica para combatir la pérdida de entrega de potencia que se produce cuando aumenta la temperatura ambiente. Sin embargo, los sistemas del estado del arte tienen muchas limitaciones y desventajas. Para tratar de solucionar algunas de estas limitaciones y desventajas, la presente descripción divide la nebulización en dos etapas independientes (una ubicada antes del filtro, y otra después del filtro), y proporciona sistemas de control independientes para cada etapa de nebulización.

45 Algunos sistemas de nebulización del estado del arte anterior se ubicaban aguas arriba de los filtros de entrada. Debido a problemas de mayor pérdida de carga en el filtro, el estado del arte actual ubica los sistemas de nebulización aguas abajo de la etapa de filtración final. Estos sistemas de nebulización del estado del arte actual requieren un gran número de boquillas de alta presión situadas aguas abajo en la corriente de aire limpio (la corriente de aire después de la filtración) para evitar el empapamiento de los elementos del filtro y para proporcionar suficiente agua para pasar de la temperatura ambiente a la temperatura de bulbo húmedo. Debido a la colocación de estas boquillas en la corriente de aire limpio, el sistema debe detenerse y fragmentarse, o desmontarse parcialmente, para cualquier modificación o reparación. Además, estos sistemas sólo se pueden controlar a un nivel basto. Por ejemplo, un sistema de bombeo de cuatro etapas ofrece una resolución de aproximadamente el 25% de reducción. Además, estos sistemas recomiendan el uso de agua desmineralizada para evitar la calcificación de las finas aberturas de las boquillas. Finalmente, el gran número de boquillas en el conducto de aire limpio presenta un riesgo de daños por objetos extraños, en caso de que una boquilla o parte de ella se afloje y caiga al interior de la corriente de aire, hacia el equipo situado aguas abajo.

Por lo tanto, existe la necesidad en la técnica de un sistema de nebulización controlado con precisión que no afecte al rendimiento de filtración y que minimice, o elimine, el hardware en el conducto de aire limpio. Existe la necesidad en la técnica de un sistema que pueda minimizar, o eliminar, la utilización de agua desmineralizada en los conductos de admisión. Además, dicha minimización, o eliminación, del uso de agua desmineralizada minimizaría los efectos perjudiciales del agua libre que se puede acumular del suelo del conducto cerca de la boca acampanada del compresor 10.

Compendio de la invención

La presente descripción está dirigida particularmente a un sistema para reducir la temperatura del aire de entrada de un sistema de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende: un sistema de nebulización que proporciona enfriamiento del aire, en donde el sistema de nebulización comprende al menos un atomizador de baja presión. En lo que sigue, se define que un atomizador de baja presión es un atomizador que trabaja a baja presión de agua, que está entre 0,5 y 6 bar, preferiblemente entre 1 y 4 bar. Estos atomizadores pueden proporcionar gotas de agua en las cuales el tamaño de las gotitas es principalmente independiente del caudal de agua a través del atomizador. La boquilla atomizadora de estos atomizadores rompe los líquidos, en particular el agua, en micro gotitas finas que van de 20 micras a 1 micra. El atomizador de acuerdo con la invención está diseñado para ser un atomizador rotativo.

Este sistema de acuerdo con la invención será particularmente ventajoso cuando la humedad del aire de entrada sea baja, preferiblemente inferior al 80% de humedad relativa. Entonces, existe un efecto de enfriamiento extrafuerte por evaporación de gotas de agua del al menos un atomizador de baja presión, en particular del atomizador rotativo. La invención permite utilizar baja presión de agua y un diseño de boquilla simple. Además, se pueden utilizar diferentes tipos de agua.

El dispositivo está protegido por filtración de aire incluyendo uno o más filtros de aire de entrada, y el sistema de nebulización está ubicado aguas arriba del uno o más filtros de aire de entrada. En el sistema de acuerdo con la invención, el tamaño de las gotitas es función de una forma de pantalla giratoria y de su velocidad de rotación (RPM). Es principalmente independiente del caudal de agua enviado a los atomizadores rotativos. Por lo tanto, el caudal de agua se puede ajustar de forma independiente, o cambios en el caudal de agua no afectarán al tamaño de las gotitas, no afectando por lo tanto al tiempo que requieren las gotitas para evaporarse por completo. De esta forma, de acuerdo con la invención, las gotas no terminarán en el dispositivo a enfriar o en filtros que siguen al sistema de nebulización.

Los atomizadores rotativos de acuerdo con la invención pueden tener una alta capacidad de agua (de aproximadamente 3 l/min) en comparación con las boquillas de nebulización de alta presión (de aproximadamente 0,1 l/min). Por lo tanto, se requieren muchas menos unidades atomizadoras.

El sistema de nebulización está ubicado aguas arriba del uno o más filtros de aire de entrada. Los filtros de aire de entrada se pueden utilizar a continuación para eliminar por filtrado todas las gotas de agua restantes del aire de entrada que se entregará al dispositivo. Si los atomizadores están posicionados delante de los filtros, estos filtros pueden eliminar por filtrado además los componentes sólidos del agua de baja pureza, que de lo contrario entrarían en la turbina en sistemas de nebulización instalados detrás de los filtros. En las turbinas, para acceder a un lado de aire limpio de una toma de aire de la turbina aguas abajo de los filtros, se requiere una parada de la turbina. Sin embargo, las paradas programadas de turbinas de este tipo son raras. Dos veces al año ya es frecuente, pero también podría ser sólo una vez cada tres años. Para el sistema preferido propuesto, no es necesario ninguna parada de su turbina para inspección del área de instalación, para instalación y para mantenimiento de los atomizadores rotativos. Por esa razón, el sistema de nebulización se puede instalar rápidamente, mientras que otros sistemas de enfriamiento (enfriadores evaporativos, sistemas de nebulización de alta presión, o enfriadores) requieren esperar hasta la siguiente parada para inspeccionar el área de instalación, y luego es necesario esperar a la segunda siguiente parada para la instalación. Durante este tiempo de espera, el sistema propuesto ya genera beneficios y su gasto de capital instalado ya se ha recuperado, incluso antes de que se instale un sistema convencional.

Preferiblemente, el sistema de nebulización comprende además una fuente de agua no desmineralizada. De acuerdo con la invención, no se requiere agua desmineralizada debido a los atomizadores rotativos y, entre otras cosas, debido a la posibilidad de utilizar baja presión de agua y un diseño de boquilla simple. Por lo tanto, en la desmineralización del agua no se requieren gastos de capital ni gastos operativos. El agua desmineralizada podría crear problemas de corrosión, ya que extrae minerales de los metales. Por esa razón, sería necesario construir el sistema con acero inoxidable caro, de alta calidad, si se usara agua desmineralizada. Esto aplica a tuberías de alta presión, boquillas, una carcasa del filtro y sus componentes y, en particular, a piezas internas de la turbina de gas, p. ej., a los álabes de la turbina. La experiencia ha demostrado que el agua desmineralizada a menudo requiere un tratamiento adicional si se va a utilizar para enfriamiento del aire de entrada de la turbina de gas. La desmineralización generalmente elimina material iónico (minerales que están disueltos en el agua en forma de iones) pero no elimina material coloidal. Para algunas instalaciones, ni siquiera es posible instalar unidades de desmineralización de agua. Por ejemplo, en plataformas de petróleo y de gas, existe espacio limitado y el peso de la parte superior de la plataforma también podría estar limitado. Por otro lado, estas plataformas tienen cantidades excedentes de agua salada que se pueden utilizar. En consecuencia, en una solución alternativa, el sistema de nebulización comprende además una fuente de agua salada, una fuente de agua de baja pureza, o una fuente de agua filtrada para eliminar las partículas no submicrométricas. No es necesario eliminar por filtrado las partículas sólidas submicrométricas, ya que las boquillas

de baja presión de los atomizadores rotativos de acuerdo con la invención no son sensibles al desgaste. El desgaste afectaría al tamaño de las gotitas en las boquillas de alta presión. En cambio, el tamaño de gotita del sistema innovador está determinado por una rotación de la pantalla de sus atomizadores rotativos.

5 El dispositivo está protegido por filtración de aire, y el sistema de nebulización se ubica entonces preferiblemente aguas arriba de uno o más filtros de aire de entrada hidrofóbicos. Los filtros hidrofóbicos se proporcionan ventajosamente para impedir la penetración de agua salada en una turbina. Los filtros se podrían mojar debido a una alta humedad relativa ambiental o a un fallo del sistema de control de nebulización. Entonces la sal capturada en los filtros se podría licuar y penetrar en los filtros. Filtros de resistencia al agua o de estanqueidad impiden esto.

10 Preferiblemente, el dispositivo está además protegido por filtración de aire, y los filtros de aire de entrada se fabrican entonces preferiblemente de la clase EPA, HEPA, o ULPA, en particular de acuerdo con la norma EN1822: 2009 para capturar cristales de sal que se pueden formar cuando se evaporan las gotitas de agua.

La pluralidad de atomizadores rotativos está equipada preferiblemente con una impulsión de frecuencia.

15 Preferiblemente el sistema de nebulización comprende además: una fuente de agua a baja presión; y una válvula de control de modulación para proporcionar un caudal variable de agua de manera sustancialmente continua. El agua a baja presión permite que el sistema de la invención requiera menores gastos de capital en tuberías y menores gastos operativos debido al menor consumo de energía de las bombas de baja presión, y que tenga una instalación más rápida. El caudal de agua se puede controlar de manera continua mediante una válvula de flujo controlado proporcional. Los sistemas de nebulización de alta presión necesitan una presión de línea constante para mantener el mismo tamaño de gotitas. Por lo tanto, estos sistemas están separados en hasta 24 subsistemas individuales, conteniendo cada uno de ellos una cierta cantidad de boquillas y una bomba individual de alta presión con caudal constante. El contenido de agua emitida se controla mediante la activación o desactivación de un cierto número de subsistemas. Por lo tanto, el flujo de agua total emitido al interior de la corriente de aire se controla mediante cambios escalonados. Por esa razón, de acuerdo con la invención, la humedad del aire de entrada se puede controlar con mayor precisión por medio de atomizadores rotativos, en comparación con los sistemas de nebulización de alta presión.

25 De forma más preferida, el sistema de nebulización comprende: un tanque de almacenamiento de agua con controles de nivel automáticos; y una bomba de circulación de agua de baja presión con impulsión de frecuencia variable para proporcionar una cantidad variable de agua de manera sustancialmente continua.

30 Ventajosamente, el sistema de nebulización comprende además: un sistema de nebulización de primera etapa de alta capacidad situado aguas arriba de uno o más filtros de aire de entrada que proporciona la mayoría del enfriamiento total del aire, en donde un primer sistema de control modula de forma sustancialmente continua el caudal de agua que entra en el sistema de nebulización de primera etapa para lograr una humedad relativa establecida para reducir la temperatura del aire de entrada en comparación con la temperatura ambiente; y un sistema de nebulización de segunda etapa de baja capacidad situado aguas abajo del uno o más filtros de aire de entrada que proporciona enfriamiento suplementario a la mayoría del enfriamiento total del aire del sistema de nebulización de primera etapa, en donde un segundo sistema de control controla el enfriamiento suplementario hasta la temperatura de bulbo húmedo.

35 El sistema de nebulización de primera etapa de alta capacidad comprende preferiblemente la pluralidad de atomizadores rotativos.

40 Preferiblemente, el sistema de nebulización de primera etapa de alta capacidad comprende además: una pluralidad de boquillas de media presión; una fuente de agua a baja presión; un tanque de almacenamiento de agua con controles de nivel automáticos; y una bomba de circulación de agua con impulsión de frecuencia variable para proporcionar una cantidad variable de agua de manera sustancialmente continua.

45 El sistema de nebulización de segunda etapa de baja capacidad comprende preferiblemente: una pluralidad de atomizadores asistidos por aire; una fuente de agua a baja presión; una válvula de control de modulación para proporcionar una cantidad variable de agua de manera sustancialmente continua; una fuente de aire a baja presión; y, una válvula de control de modulación para proporcionar una cantidad variable de aire de manera sustancialmente continua.

Preferiblemente, el sistema de nebulización de segunda etapa de baja capacidad comprende además: una pluralidad de boquillas de alta presión; y una bomba de circulación de agua de velocidad fija.

50 El dispositivo se selecciona preferiblemente de un grupo que consiste en una turbina de gas, un motor diésel, un soplante de proceso, otra fuerza motriz, ventilación general, o una sala limpia.

55 La presente descripción está dirigida más particularmente hacia un sistema de nebulización de dos etapas, y un método para controlar dicho sistema, diseñado para enfriamiento del aire de entrada a una turbina de gas, un motor diésel, un soplante de proceso, otra fuerza motriz, ventilación general o una sala limpia. El sistema de dos etapas comprende un sistema de nebulización de primera etapa de alta capacidad que se instala aguas arriba de uno o más filtros de aire de entrada, donde un sistema de control de primera etapa evita un aumento de la presión diferencial del

- 5 filtro, y un sistema de nebulización de segunda etapa de baja capacidad que se instala aguas abajo de uno o más filtros de aire de entrada, donde un segundo sistema de control controla el enfriamiento suplementario a la mayoría del enfriamiento total del aire del sistema de nebulización de primera etapa hasta la temperatura de bulbo húmedo. La temperatura de bulbo húmedo es la temperatura a la que estaría el aire si se enfriara hasta la saturación completa, o humedad relativa del 100%, por evaporación de agua al interior del aire.
- 10 En algunas realizaciones, la primera etapa del sistema puede contener una pluralidad de atomizadores rotativos con impulsión de frecuencia variable, una fuente de agua a baja presión, y una válvula de control de modulación para proporcionar una cantidad variable de agua. En otras realizaciones, la primera etapa del sistema puede contener lo anterior y un tanque de almacenamiento de agua con controles de nivel automáticos, una válvula de control de modulación y una bomba de circulación de agua de velocidad fija o de baja presión.
- 15 En otras realizaciones, la primera etapa del sistema puede contener una pluralidad de atomizadores rotativos con impulsión de frecuencia variable, una fuente de agua a baja presión, un tanque de almacenamiento de agua con controles de nivel automáticos, y una bomba de circulación de agua con impulsión de frecuencia variable que puede proporcionar una cantidad variable de agua de manera sustancialmente continua.
- 20 En otras realizaciones adicionales, la primera etapa del sistema puede contener una pluralidad de boquillas de media presión, una fuente de agua a baja presión, un tanque de almacenamiento de agua con controles de nivel automáticos, y una bomba de circulación de agua con impulsión de frecuencia variable que puede proporcionar una cantidad variable de agua de manera sustancialmente continua.
- 25 En algunas realizaciones, la segunda etapa del sistema puede contener una pluralidad de atomizadores asistidos por aire, una fuente de agua a baja presión, una válvula de control de modulación que puede proporcionar una cantidad variable de agua de manera sustancialmente continua, una fuente de aire a baja presión, y una válvula de control de modulación para proporcionar una cantidad variable de aire de manera sustancialmente continua. En algunas realizaciones, la fuente del aire a baja presión puede ser un compresor. En otras realizaciones, la segunda etapa del sistema puede contener además un tanque de almacenamiento de agua con controles de nivel automáticos y una bomba de circulación de agua de velocidad fija.
- 30 En otras realizaciones, la segunda etapa del sistema puede contener una pluralidad de boquillas de alta presión y una bomba de circulación de agua de velocidad fija.
- 35 En algunas realizaciones, el sistema de control de primera etapa del sistema de nebulización de dos etapas puede utilizar un valor de consigna de humedad relativa que se calcula de acuerdo con las curvas de presión diferencial del filtro y humedad relativa. El sistema de control puede utilizar un valor de consigna de presión diferencial dentro de un rango operativo esperado. El sistema de control puede utilizar un valor de consigna de temperatura de aguas abajo entre la temperatura ambiente y la temperatura de bulbo húmedo. En todos los casos, se utiliza un sistema de control de circuito cerrado para lograr el valor de consigna deseado ajustando el caudal de agua enviado a los atomizadores.
- 40 En algunas realizaciones, el segundo sistema de control del sistema de nebulización de dos etapas puede utilizar un interruptor de encendido/apagado operado por preferencia del operador para enfriamiento suplementario hasta la temperatura de bulbo húmedo.
- 45 La presente descripción también incluye un método de control para un sistema de nebulización de dos etapas que incluye añadir gotitas de agua al aire ambiente suministrado a un dispositivo a través de una carcasa del filtro. El método de control para la primera etapa del sistema de nebulización puede incluir: controlar el caudal de agua enviado a una pluralidad de atomizadores de la primera etapa, medir la presión diferencial, y ajustar el caudal de agua enviado a los atomizadores de la primera etapa de acuerdo con un valor de consigna de humedad relativa. El método de control para la primera etapa del sistema de nebulización puede incluir: controlar el caudal de agua enviado a una pluralidad de atomizadores de la primera etapa, y ajustar el caudal del agua enviado a los atomizadores de la primera etapa de acuerdo con un valor de consigna predeterminado de humedad relativa. El método de control para la primera etapa del sistema de nebulización puede incluir: controlar el caudal de agua enviado a una pluralidad de atomizadores de la primera etapa, medir la temperatura de aguas abajo, y ajustar el caudal de agua enviado a los atomizadores de la primera etapa de acuerdo con un valor de consigna de temperatura de aguas abajo. El método de control para la segunda etapa del sistema de nebulización puede comprender encender/apagar una pluralidad de boquillas de segunda etapa de acuerdo con la preferencia del operador para el enfriamiento suplementario hasta la temperatura de bulbo húmedo.
- 50 En algunas realizaciones, el dispositivo que se combinará con el sistema de dos etapas se puede seleccionar de un grupo que consiste en una turbina de gas, un motor diésel, un soplante de proceso, otra fuerza motriz, ventilación general o una sala limpia.
- 55 En algunas realizaciones, la pluralidad de atomizadores de la primera etapa puede estar posicionada aproximadamente 1 metro aguas arriba de la carcasa del filtro. En otras realizaciones, una pluralidad de atomizadores de la primera etapa puede estar posicionada aguas arriba y adyacentes a la carcasa del filtro. En otras realizaciones, una pluralidad de atomizadores de la primera etapa puede estar posicionada aguas abajo de varias etapas de filtro, y aguas arriba de la etapa de filtro final.

En algunas realizaciones, la pluralidad de nebulizadores de segunda etapa de baja capacidad (p. ej., atomizador o boquillas) puede estar posicionada aguas abajo de la carcasa del filtro.

5 Se describe un sistema de dos etapas para reducir la temperatura del aire de entrada de una turbina de gas, donde una primera etapa comprende un sistema de nebulización de alta capacidad posicionado aguas arriba de un filtro que es capaz de alcanzar hasta aproximadamente el 90% del potencial de enfriamiento de aire entre la temperatura ambiente y la temperatura de bulbo húmedo, y una segunda etapa comprende un sistema de nebulización de baja capacidad posicionado aguas abajo de un filtro que es capaz de lograr aproximadamente el 10% de enfriamiento.

10 Un sistema de nebulización de dos etapas para reducir la temperatura del aire de entrada de una turbina de gas que incluye uno o más filtros. Una primera etapa posicionada aguas arriba del uno o más filtros y que incluye uno o más atomizadores rotativos que es capaz de alcanzar hasta aproximadamente el 90% del potencial de enfriamiento de aire entre la temperatura ambiente y la temperatura de bulbo húmedo. Una segunda etapa posicionada aguas abajo del uno o más filtros y que incluye una o más boquillas que es capaz de lograr aproximadamente el 10% del enfriamiento de aire suplementario hacia la temperatura de bulbo húmedo.

15 Se describe una realización adicional que incluye un método de control para un sistema de nebulización para reducir la temperatura del aire de entrada de una turbina de gas, en donde el método puede comprender: introducir gotitas de agua en el aire aguas arriba del filtro; medir la temperatura ambiente, la humedad relativa ambiental, y la presión del aire ambiente; medir la temperatura, la humedad relativa, y la presión del aire inmediatamente después del filtro; calcular el valor de la presión diferencial; mantener una humedad relativa establecida después del filtro, donde la humedad relativa establecida se determina de acuerdo con la curva de presión diferencial/humedad relativa; y controlar un caudal de agua para lograr la humedad relativa establecida, donde incrementar el caudal de agua incrementa la humedad relativa, y reducir el caudal de agua reduce la humedad relativa.

20 Se describe una realización adicional que incluye un método de control para un sistema de nebulización para reducir la temperatura del aire de entrada de una turbina de gas, en donde el método puede comprender: introducir gotitas de agua en el aire aguas arriba del filtro; medir la temperatura ambiente, la humedad relativa ambiental, y la presión del aire ambiente; medir la temperatura, la humedad relativa y la presión del aire inmediatamente después del filtro; calcular el valor de la presión diferencial; mantener una temperatura establecida después del filtro, donde la temperatura establecida está en un valor entre la temperatura ambiente y la temperatura de bulbo húmedo; y controlar un caudal de agua para alcanzar la temperatura establecida, donde incrementar el caudal de agua reduce la temperatura de aguas abajo, y reducir el caudal de agua incrementa la temperatura de aguas abajo.

25 En algunas realizaciones la humedad relativa establecida puede ser de aproximadamente el 80% a aproximadamente el 95%. En otras realizaciones, la humedad relativa establecida puede ser de aproximadamente el 90%.

En algunas realizaciones, controlar el caudal de agua puede comprender además el accionamiento de una válvula de control de modulación.

30 En algunas realizaciones, controlar el caudal de agua puede comprender además el accionamiento de una bomba de impulsión de frecuencia variable.

35 En algunas realizaciones, un sistema para reducir la temperatura del aire de entrada de una fuerza motriz protegida por filtración de aire puede incluir un sistema de nebulización de primera etapa de alta capacidad y un sistema de nebulización de segunda etapa de baja capacidad. El sistema de nebulización de primera etapa de alta capacidad situado aguas arriba de uno o más filtros de aire de entrada proporciona la mayoría del enfriamiento total del aire en donde un primer sistema de control modula de manera sustancialmente continua el caudal de agua que entra en el sistema de nebulización de primera etapa para lograr una humedad relativa establecida para reducir la temperatura del aire de entrada en comparación con la temperatura ambiente. El sistema de nebulización de segunda etapa de baja capacidad situado aguas abajo del uno o más filtros de aire de entrada proporciona enfriamiento suplementario a la mayoría del enfriamiento total del aire del sistema de nebulización de primera etapa, en donde un segundo sistema de control controla el enfriamiento suplementario hasta la temperatura de bulbo húmedo. El sistema de nebulización de primera etapa logra de aproximadamente el 80% a aproximadamente el 95% de la mayoría del enfriamiento total del aire. Una humedad relativa establecida del primer sistema de control se puede calcular mediante la selección de un punto con la humedad relativa más alta en una curva de presión diferencial y humedad relativa antes de un aumento exponencial de la presión diferencial en la curva. Se puede seleccionar un valor de consigna de temperatura mínima después del enfriamiento del primer sistema de control para evitar problemas de limitación de capacidad en equipos situados aguas abajo debido a la alta temperatura ambiente. Se puede seleccionar un valor de consigna de temperatura mínima después del enfriamiento del primer sistema de control para evitar problemas de formación de hielo en la boca acampanada del compresor. Se puede seleccionar un valor de consigna de presión diferencial máxima del filtro del primer sistema de control como un mecanismo de seguridad en caso de un aumento repentino de la presión diferencial debido a condiciones ambientales tales como una entrada de material higroscópico en los filtros. El segundo sistema de control puede utilizar un interruptor de encendido/apagado operado por una preferencia del operador para enfriamiento adicional hasta temperatura de bulbo húmedo. El sistema de nebulización de primera etapa de alta capacidad puede incluir una pluralidad de atomizadores rotativos con impulsión de frecuencia variable, una fuente de agua a baja presión, y una válvula de control de modulación para proporcionar un caudal variable de agua

de manera sustancialmente continua. El sistema de nebulización de primera etapa de alta capacidad puede incluir un tanque de almacenamiento de agua con controles de nivel automáticos y una bomba de circulación de agua de baja presión con impulsión de frecuencia variable para proporcionar una cantidad variable de agua de manera sustancialmente continua. La fuente de aire a baja presión puede ser un compresor. El sistema de nebulización de primera etapa de alta capacidad puede incluir una pluralidad de boquillas de media presión, una fuente de agua a baja presión, un tanque de almacenamiento de agua con controles de nivel automáticos y una bomba de circulación de agua con impulsión de frecuencia variable para proporcionar una cantidad variable de agua de manera sustancialmente continua. El sistema de nebulización de segunda etapa de baja capacidad puede incluir una pluralidad de atomizadores asistidos por aire, una fuente de agua a baja presión, una válvula de control de modulación para proporcionar una cantidad variable de agua de manera sustancialmente continua, una fuente de aire a baja presión, y una válvula de control de modulación para proporcionar una cantidad variable de aire de manera sustancialmente continua. El sistema de nebulización de segunda etapa de baja capacidad puede incluir una pluralidad de boquillas de alta presión y una bomba de circulación de agua de velocidad fija.

Otra realización puede incluir un sistema de nebulización de dos etapas para reducir la temperatura del aire de entrada de una turbina de gas. El sistema de nebulización de dos etapas puede incluir uno o más filtros, una primera etapa, y una segunda etapa. La primera etapa puede estar posicionada aguas arriba del uno o más filtros e incluir uno o más atomizadores rotativos que sean capaces de lograr aproximadamente el 90% del enfriamiento del aire hacia la temperatura de bulbo húmedo. La segunda etapa puede estar posicionada aguas abajo del uno o más filtros e incluir una o más boquillas que sean capaces de lograr aproximadamente el 10% del enfriamiento de aire suplementario hacia la temperatura de bulbo húmedo.

Otra realización puede incluir un método de control para un sistema de nebulización para reducir la temperatura del aire de entrada de un dispositivo. El método puede incluir medir la temperatura ambiente, la humedad relativa ambiental, y la presión del aire ambiente, introducir gotitas de agua en el aire aguas arriba del filtro, medir la temperatura, la humedad relativa, y la presión del aire aguas abajo del filtro, y calcular un valor de presión diferencial, manteniendo una humedad relativa establecida después del filtro, en donde la humedad relativa establecida se determina de acuerdo con curvas de presión diferencial y humedad relativa, y controlando un caudal de agua para lograr la humedad relativa establecida de tal manera que incrementar el caudal de agua incrementa la humedad relativa y reducir el caudal de agua reduce la humedad relativa. La humedad relativa establecida puede ser de aproximadamente el 80% a aproximadamente el 95%. La humedad relativa establecida puede ser de aproximadamente el 90%. El paso de controlar el caudal de agua puede incluir girar una válvula un cuarto de vuelta cada vez. El dispositivo se puede seleccionar de un grupo que consiste en una turbina de gas, un motor diésel, un soplante de proceso, otra fuerza motriz, ventilación general o una sala limpia. Además, el valor de consigna de humedad relativa se puede calcular seleccionando un punto con la humedad relativa más alta en una curva de presión diferencial y humedad relativa antes de un aumento exponencial de la presión diferencial en la curva.

De acuerdo con eso, en una realización preferida del sistema de acuerdo con la invención, el sistema de nebulización de primera etapa logra de aproximadamente el 80% a aproximadamente el 95% de la mayoría del enfriamiento total del aire.

En otra realización preferida, la humedad relativa establecida del primer sistema de control se calcula mediante la selección de un punto con la humedad relativa más alta en una curva de presión diferencial y humedad relativa antes de un aumento pronunciado de la presión diferencial o antes de un aumento exponencial de presión diferencial en la curva.

En otra realización adicional, se selecciona un valor de consigna de temperatura mínima después del enfriamiento del primer o del segundo sistema de control para evitar problemas de limitación de capacidad en los equipos situados aguas abajo debido a la alta temperatura ambiente.

De acuerdo con una realización preferida adicional, se selecciona un valor de consigna de temperatura mínima después del enfriamiento del primer o del segundo sistema de control para evitar problemas de formación de hielo en la boca acampanada del compresor.

En una realización adicional, se selecciona un valor de consigna de presión diferencial máxima del filtro del primer sistema de control como mecanismo de seguridad en el caso de un aumento repentino de la presión diferencial debido a condiciones ambientales tales como una entrada de material higroscópico en los filtros .

De forma más preferida, el segundo sistema de control utiliza un interruptor de encendido/apagado operado por una preferencia del operador para enfriamiento suplementario hasta la temperatura de bulbo húmedo.

Finalmente, de forma preferida, la invención se refiere a un sistema para reducir la temperatura del aire de entrada de un dispositivo protegido por filtración de aire, que comprende: un sistema de nebulización de primera etapa situado aguas arriba de uno o más filtros de aire de entrada que proporciona enfriamiento del aire de entrada, en donde un primer sistema de control controla el enfriamiento para lograr una humedad relativa establecida del aire de entrada; y un sistema de nebulización de segunda etapa situado aguas abajo del uno o más filtros de aire de entrada que

proporciona enfriamiento suplementario al sistema de nebulización de primera etapa, en donde un segundo sistema de control controla el enfriamiento suplementario hasta la temperatura de bulbo húmedo del aire de entrada.

Breve descripción de los dibujos

5 La figura 1 es una vista esquemática de un motor de turbina de gas con un sistema de nebulización de dos etapas como se puede describir en esta memoria;

La figura 2 es una gráfica que muestra medidas de humedad relativa de aguas abajo en función de la posición de la válvula de modulación, a una humedad relativa ambiental del 70% antes, durante, y después de la nebulización de primera etapa utilizando el sistema de nebulización de dos etapas descrito en esta memoria;

10 La figura 3 es una gráfica que muestra la curva de relación entre presión diferencial del filtro y humedad relativa, para un filtro en servicio típico que estaría aguas abajo de la nebulización de primera etapa utilizando el sistema de nebulización de dos etapas descrito en esta memoria;

La figura 4 es una gráfica que muestra curvas de presión diferencial del filtro y humedad relativa utilizando el sistema de nebulización de dos etapas descrito en esta memoria;

15 La figura 5 es una gráfica que muestra medidas de la temperatura de aguas abajo en función de la posición de la válvula de modulación, a una temperatura ambiente de bulbo húmedo de 14,3 grados centígrados antes, durante y después de la nebulización de primera etapa utilizando el sistema de nebulización de dos etapas descrito en esta memoria;

20 La figura 6 es una gráfica que muestra medidas de la aproximación a la temperatura de bulbo húmedo en función de la posición de la válvula de modulación, a una temperatura ambiente de bulbo húmedo de 14,3 grados centígrados antes, durante y después de la nebulización de primera etapa utilizando el sistema de nebulización de dos etapas descrito en esta memoria;

La figura 7 es una vista en perspectiva de una realización del sistema de nebulización de dos etapas descrito en esta memoria para la realización del atomizador giratorio y el panel de control.

25 La figura 8 es una gráfica que muestra medidas de las condiciones del aire de entrada antes, durante y después de la nebulización de primera etapa utilizando el sistema de nebulización de dos etapas descrito en esta memoria;

Descripción detallada de las realizaciones preferidas

30 La presente invención se describirá ahora más completamente en lo que sigue. Sin embargo, esta invención se puede implementar de muchas formas diferentes y no se debería interpretar como limitada a las realizaciones descritas en esta memoria; más bien, estas realizaciones se proporcionan de modo que esta descripción será exhaustiva y completa, y transmitirá completamente el alcance de la invención a los expertos en la técnica.

35 Como se muestra en la figura 1, el sistema de enfriamiento de aire de entrada 100 comprende dos etapas de nebulización. La primera etapa de la nebulización de dos etapas introduce agua, en forma de gotitas, en la corriente de aire antes del uno o más filtros de aire 120. Esta introducción de gotitas de agua se puede producir mediante el uso de uno o más atomizadores rotativos 110 de alta capacidad. Estos atomizadores rotativos 110 de alta capacidad pueden incluir un motor eléctrico con una jaula de alambre alrededor del exterior del motor, de tal manera que cuando el agua pasa a través de la jaula de alambre, la jaula de alambre hace que el agua se rompa en pequeñas partículas o gotitas. Debido a su naturaleza de alta capacidad, los atomizadores rotativos son capaces de proporcionar un mayor caudal de agua, por ejemplo, medido en litros de agua por minuto, a la corriente de aire, en comparación con las boquillas de alta presión tradicionales. Por ejemplo, los atomizadores rotativos pueden proporcionar de 40 aproximadamente 0,5 a aproximadamente 3,0 litros de agua por minuto a la corriente de aire con un tamaño de gotita de aproximadamente 40 a aproximadamente 70 micras, en comparación con las boquillas de alta presión tradicionales utilizadas para la nebulización dentro de conductos donde la capacidad promedio es de aproximadamente 0,18 litros por minuto. Además, los atomizadores rotativos son capaces de aceptar un rango de calidad del agua sin efectos perjudiciales. Por lo tanto, los atomizadores rotativos no requieren agua desmineralizada y pueden utilizar cualquier fuente de agua potable disponible. Estos atomizadores rotativos tienen impulsiones de frecuencia variable y son capaces de funcionar a una capacidad del 0% al 100% sin afectar al tamaño de las gotitas.

50 De forma alternativa, se pueden utilizar otros dispositivos de generación de niebla para la introducción de gotitas de agua durante la primera etapa de nebulización. Por ejemplo, las boquillas de media presión o los atomizadores asistidos por aire que operan entre aproximadamente 5 y aproximadamente 20 bares se pueden controlar dentro de las limitaciones aceptables para el tamaño de las gotitas, por ejemplo de 40 a 70 micras. Los atomizadores rotativos del estado del arte actual pueden no ser adecuados para su uso en algunos entornos, como por ejemplo, pero no limitado a, entornos a prueba de explosiones (p. ej., refinerías). En estos tipos de entornos, se puede utilizar de forma alternativa una boquilla de alta capacidad con una bomba a prueba de explosiones para lograr el enfriamiento de primera etapa.

Los atomizadores rotativos 110, o dispositivos alternativos de generación de niebla de primera etapa, se colocan aguas arriba del uno o más filtros 120. En general, los atomizadores rotativos 110 se colocan aproximadamente 1 metro aguas arriba de los filtros, lo que puede colocarlos dentro de una cubierta de protección ambiental o incluso en la carcasa del filtro, dependiendo de las dimensiones de la configuración particular. El posicionamiento de los atomizadores aproximadamente 1 metro antes de los medios de filtración permite que el agua se evapore antes de chocar contra el filtro, evitando que el filtro se sature con agua. Sin embargo, si el filtro utiliza un capturador de gotitas (como, por ejemplo, el sistema AmerDrop de AAF International) o una rejilla de protección ambiental (como, por ejemplo, el producto AmerVane de AAF International), entonces la colocación del atomizador puede ser inmediatamente aguas arriba del filtro dentro de la carcasa del filtro. Además, cuando un filtro tiene un medio coalescente hidrofóbico (como por ejemplo los productos AMERSHIELD y AMERKOOL de AAF International), que contiene fibras de vidrio y aceites, la humedad se unirá para formar gotitas más grandes que se salen de la corriente de aire, lo que también puede permitir que la colocación del atomizador sea inmediatamente aguas arriba del filtro dentro de la carcasa del filtro. Preferiblemente, el filtro contiene algún dispositivo o recubrimiento que protege el filtro de la condensación, de las gotitas, o del agua que choca contra el filtro, lo que puede provocar un aumento de la presión diferencial. Más preferiblemente, el filtro contiene una parte coalescente o una rejilla de protección ambiental, de tal manera que se impide que pase agua a través del filtro sin una disminución de la presión diferencial. El uso de estos filtros hidrofóbicos permite que el sistema de nebulización de primera etapa realice el enfriamiento por evaporación con un riesgo despreciable de presencia de agua aguas abajo del uno o más filtros 120, protegiendo la admisión del compresor 10.

A diferencia de las boquillas de alta presión convencionales utilizadas aguas abajo de la carcasa del filtro, el volumen y el caudal de agua suministrados al nebulizador de primera etapa (como, por ejemplo, un atomizador rotativo) se pueden controlar por medio de una válvula de control de modulación 140, por ejemplo, una válvula de globo o un tanque pequeño con una bomba de impulsión de frecuencia variable conectada él, sin afectar al tamaño de partícula de las gotitas. El primer controlador o sistema de control 150 recibe señales, en forma de, por ejemplo, medidas de temperatura, humedad relativa y presión tanto de uno o más sensores 152, 154 ubicados antes del filtro 120 como de uno o más sensores 156 situados después del filtro 120. La medida de la presión antes y después del filtro permite que el controlador calcule la presión diferencial. La presión diferencial es un cálculo de la diferencia entre las presiones medidas en dos puntos, aquí, los puntos están antes del filtro y después del filtro. El primer controlador 150 utiliza estas medidas para controlar el caudal de agua suministrado a fin de alcanzar una humedad relativa deseada, con un efecto reducido en la presión diferencial. La presión diferencial es un cálculo de la diferencia entre las presiones medidas en dos puntos; aquí, los dos puntos están antes del filtro y después del filtro. Por ejemplo, en un sistema en el que la presión se mide antes y después de la etapa del filtro, el agua que choca contra el filtro puede provocar un aumento de la presión diferencial. Un circuito cerrado controla o modula de manera sustancialmente continua el caudal de agua a partir de las medidas de humedad relativa. Además, también es posible controlar el sistema para regular la temperatura y la presión diferencial de aguas abajo. El control de la temperatura de aguas abajo se puede desear debido a las limitaciones de capacidad de los equipos situados aguas abajo (por ejemplo, un alternador) a temperatura ambiente alta. Por ejemplo, la selección de un valor de consigna de temperatura mínima después del enfriamiento del primer sistema de control puede evitar problemas de limitación de capacidad en los equipos situados aguas abajo debido a la alta temperatura ambiente. Además, por ejemplo, seleccionar un valor de consigna de temperatura mínima después del enfriamiento del primer sistema de control puede evitar problemas de formación de hielo en la boca acampanada del compresor. Asimismo, se selecciona un valor de consigna de presión diferencial máxima del filtro del primer sistema de control como un mecanismo de seguridad en el caso de un aumento repentino de la presión diferencial debido a condiciones ambientales tales como una entrada de material higroscópico en los filtros.

En general, el sistema de nebulización de primera etapa se controla mediante el mantenimiento de un valor de consigna de humedad relativa, determinado de acuerdo con curvas de presión diferencial del filtro y humedad relativa. Se ha observado que la humedad relativa de aguas abajo se puede controlar con precisión controlando de forma manual o automática el caudal de agua. La figura 2 muestra una relación en línea recta entre la humedad relativa y la posición de la válvula. La figura 2 es una observación de ejemplo donde la humedad relativa ambiental era del 70%, y la humedad relativa aguas abajo se ajustó hasta el 90%. Esta humedad relativa establecida se calcula mediante la selección de un punto a partir de las curvas de presión diferencial del filtro y humedad relativa, como se muestra en la figura 3 y en la figura 4. La curva de presión diferencial y humedad relativa de la figura 3 se genera dibujando la humedad relativa (eje x) en función de la presión diferencial (eje y). La curva muestra la relación entre estas dos variables, por ejemplo, la presión diferencial puede permanecer constante mientras aumenta la humedad relativa. Estas curvas indican en qué medida de humedad relativa, o rango de medidas, puede aumentar la presión diferencial. Esto permite que el controlador establezca el punto con una humedad relativa máxima lo más alta posible sin afectar a la presión diferencial. La figura 3 muestra la relación entre la presión diferencial y la humedad relativa para un filtro de mini pliegues con medios hidrofóbicos, con datos recopilados entre 4000 y 5000 horas de funcionamiento.

Como se muestra en la figura 4, las curvas de presión diferencial del filtro y humedad relativa pueden ser diferentes para diferentes tipos de filtros, como por ejemplo el filtro 410 HydroVee de AAF o el filtro 420 AstroCel de AAF o el filtro 430 DuraCel de AAF. Sin embargo, como se generaliza en las figuras 3 y 4, hay un aumento de la presión diferencial del filtro cuando la humedad relativa alcanza aproximadamente el 90%. Por lo tanto, la humedad relativa objetivo se debería establecer preferiblemente en de aproximadamente el 80% a aproximadamente el 95%. Incluso más preferiblemente, la humedad relativa objetivo se debería establecer en aproximadamente el 90%. El sistema de

nebulización de primera etapa, el cual puede controlar con precisión la humedad relativa, se puede utilizar para controlar la temperatura y la humedad relativa sin provocar picos de presión diferencial. Para lograr este control de temperatura, el caudal de agua se puede controlar con precisión mediante pequeños giros incrementales de la válvula de control de modulación 140. Este control preciso del caudal de agua, combinado con la humedad relativa máxima establecida (según lo determinado por las curvas de presión diferencial y humedad relativa) permite que el primer controlador 150 controle con precisión la temperatura, de tal manera que cuando el caudal de agua se incrementa ligeramente, la humedad relativa aumenta ligeramente y, por lo tanto, la temperatura también disminuye ligeramente.

La figura 5 muestra una relación en línea recta entre la temperatura de aguas abajo y la posición de la válvula para un conjunto dado de condiciones ambientales. Esto indica que una temperatura de valor de consigna entre la temperatura ambiente y la temperatura de bulbo húmedo se puede controlar ajustando el caudal de agua por medio del controlador 150. Por lo tanto, el sistema de control se puede configurar para proporcionar una temperatura deprimida después del enfriamiento, con una humedad relativa máxima automática que evita efectos perjudiciales sobre la presión diferencial del filtro.

Una medida de eficiencia térmica indica la eficiencia del enfriamiento evaporativo de la nebulización de primera etapa (p. ej., atomizadores rotativos). La eficiencia térmica se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Eficiencia Térmica} = \frac{\text{temperatura ambiente} - \text{temperatura medida}}{\text{temperatura ambiente} - \text{temperatura de bulbo húmedo}}$$

A medida que aumenta el caudal de agua, la humedad relativa aumenta en proporción, ya que la eficiencia térmica crece con la humedad relativa. Además, la relación entre la eficiencia térmica y el caudal de agua es principalmente lineal, de tal manera que cuando aumenta el caudal de agua, también lo hace la eficiencia térmica. Por lo tanto, en este sistema de enfriamiento de dos etapas, aproximadamente el 90% del enfriamiento total logrado por el sistema se puede conseguir por medio del sistema de nebulización de primera etapa (por ejemplo, mediante el uso de atomizadores rotativos). Se ha demostrado que el sistema de nebulización de primera etapa logra una eficiencia térmica del 100% a una humedad relativa alta. Controlando la humedad relativa del valor de consigna a aproximadamente el 90%, la nebulización de primera etapa se limita deliberadamente a una eficiencia de aproximadamente el 90%.

Una medida alternativa de la eficiencia de enfriamiento evaporativo, particularmente útil en climas moderados, es la aproximación a la temperatura de bulbo húmedo. La figura 6 muestra que el sistema de nebulización de primera etapa logra una aproximación de menos de 0,5 grados Celsius, con una relación lineal entre la posición de la válvula (caudal de agua) y la aproximación a la temperatura de bulbo húmedo.

En casos particulares, puede ser preferible mantener una cierta temperatura aguas abajo del filtro, en estos casos el primer sistema de control puede limitar el caudal de agua para lograr una temperatura de aguas abajo particular en base a necesidades del emplazamiento en cada etapa. Esto permite un control preciso en situaciones en las que la temperatura ambiente es alta y se desea potencia adicional, pero la salida del generador es la variable limitante en un conjunto de generación de energía por turbina de gas. Además, cuando hay un marcado cambio en la presión diferencial, o cuando la presión diferencial cae fuera de un rango especificado, el sistema de control 150 se puede programar para establecer una alarma o, de forma alternativa, realizar modificaciones en línea proactivas, tales como recortar el flujo de agua. Esta alarma o indicador puede ser cualquier tipo de alarma o notificación, incluyendo visual, audible, o cualquier combinación de las dos. Sin embargo, debido a la acumulación de polvo y partículas procedentes del aire entrante en el filtro, la presión diferencial aumenta con la edad. Por ejemplo, la presión diferencial puede aumentar unos pocos Pascales con respecto a cuando el filtro estaba nuevo en comparación con un filtro envejecido de aproximadamente 12 a aproximadamente 24 meses. Por lo tanto, un control estático que utiliza una presión diferencial establecida no es preferible.

En algunas realizaciones, el sistema de nebulización de primera etapa puede tener una fuente de agua a baja presión y una válvula de control de modulación 140 para proporcionar cantidades variables de agua de manera sustancialmente continua. En otras realizaciones, el sistema puede comprender además un tanque de almacenamiento de agua con controles de nivel automáticos y una bomba de circulación de velocidad fija.

En algunas realizaciones, el sistema de nebulización de primera etapa puede tener una fuente de agua a baja presión, un tanque de almacenamiento de agua con control de nivel automático, y una bomba de circulación de agua de baja presión con impulsión de frecuencia variable para proporcionar una cantidad variable de agua de forma sustancialmente continua.

Los sistemas de nebulización frontales o de primera etapa pueden instalarse o añadirse como modernización en carcasas de filtro existentes. Para añadirlos como modernización, se puede colocar un bastidor dentro de la cubierta de protección ambiental o dentro de la carcasa del filtro a la que están fijados los nebulizadores de primera etapa. De forma alternativa, los nebulizadores de primera etapa se pueden apoyar directamente en la misma tubería que suministra agua a cada unidad de nebulización. Sensores que miden la humedad relativa, la temperatura y la presión se pueden colocar antes del uno o más filtros 703, por ejemplo con los sensores 152, 154 y después del uno o más filtros con el sensor 156. Los sensores pueden estar conectados al sistema de control 150 o en comunicación con el

mismo. Como se muestra en la figura 7, cuando se añaden como modernización, los dispositivos de nebulización de primera etapa 702 pueden estar soportados en la tubería de suministro 50 dentro de las cubiertas de protección ambiental 701 o de una carcasa del filtro 704. Una realización utiliza una válvula de control de modulación 707, accionada por medio del sistema de control 150. La adición como modernización permite el uso de sistemas existentes, reduce el tiempo de instalación, y elimina la necesidad de parar la turbina de gas para instalación o para inspección de los nebulizadores frontales. El sistema de nebulización de primera etapa logra un control preciso de la humedad relativa y la temperatura del aire de entrada, manteniendo al mismo tiempo la presión diferencial del filtro aguas abajo en un rango aceptable. Además, el control preciso del sistema de nebulización de primera etapa puede evitar los problemas con el exceso de suministro de agua que a menudo se observan en los sistemas del estado del arte.

La segunda etapa de la nebulización de dos etapas introduce agua, en forma de gotitas, en la corriente de aire después de que los filtros de aire 120 desde una o más pluralidad de boquillas de baja capacidad 160 para proporcionar enfriamiento suplementario hacia la temperatura de bulbo húmedo. Estas boquillas de baja capacidad pueden ser boquillas de alta presión, o de forma alternativa pueden ser boquillas asistidas por aire. En realizaciones que utilizan boquillas de alta presión, se pueden utilizar un tanque de agua con control de nivel automático y una bomba de circulación de velocidad fija. En realizaciones que utilizan boquillas asistidas por aire, se puede utilizar una fuente de aire a baja presión, tal como un compresor de aire, y una válvula de control de modulación 140 para proporcionar una cantidad variable de aire de manera sustancialmente continua. En general, sin embargo, estos sistemas de suministro de la segunda etapa proporcionan agua a un caudal significativamente reducido en comparación con la primera etapa.

Debido a la eficiencia de la nebulización de primera etapa, utilizando, por ejemplo, uno o más atomizadores rotativos 110 que logran aproximadamente el 90% del enfriamiento total del sistema de dos etapas, sólo se puede utilizar una pequeña pluralidad de boquillas de baja capacidad 160 en la segunda etapa de nebulización para complementar el enfriamiento hasta la temperatura de bulbo húmedo. Se puede desear que la segunda etapa del enfriamiento logre solo aproximadamente el 10% del enfriamiento total, esta carga de enfriamiento reducida utiliza una pequeña pluralidad de boquillas para lograrlo.

Estas boquillas de baja capacidad 160 se pueden controlar por medio de un segundo controlador o sistema de control 170 reducido a una función binaria (encendido/apagado). La decisión de encender o apagar la nebulización de la segunda etapa puede depender de la humedad relativa ambiental o de una decisión del operador de la planta con relación a si la entrada de aire a la impulsión requiere un enfriamiento adicional hasta la temperatura de bulbo húmedo del sistema de la segunda etapa. Por ejemplo, este sistema de control binario se puede encender o apagar cuando la temperatura, medida por el sensor 156 después del filtro 120, está por encima de un valor establecido. Las boquillas de baja capacidad 160, debido a su pequeña pluralidad, se pueden posicionar alrededor de la periferia del conducto en la ubicación aguas abajo de uno o más filtros 120. El posicionamiento de las boquillas 160 alrededor de la periferia del conducto disminuye la complejidad del sistema, lo que reduce el coste y el tiempo de inactividad necesarios para la instalación y el mantenimiento de las boquillas. Además, la minimización de hardware en la corriente de aire limpio reduce el riesgo de que un objeto extraño (por ejemplo, metal procedente de una boquilla) caiga en el interior del motor o sistema de turbina de gas 20.

Aunque en esta memoria se han descrito e ilustrado varias realizaciones innovadoras, las personas con experiencia ordinaria en la técnica concebirán fácilmente una variedad de otros medios y/o estructuras para realizar la función y/u obtener los resultados y/o una o más de las ventajas descritas en esta memoria. De manera más general, los expertos en la técnica apreciarán fácilmente que todos los parámetros, dimensiones, materiales y configuraciones descritos en esta memoria están concebidos para ser ejemplares y que los parámetros, dimensiones, materiales y/o configuraciones reales dependerán de la aplicación o aplicaciones específicas para las cuales se utilizan las enseñanzas innovadoras. Los expertos en la técnica reconocerán, o podrán determinar utilizando nada más que experimentación de rutina, muchos equivalentes a las realizaciones innovadoras específicas descritas en esta memoria. Por lo tanto, se debe entender que las realizaciones anteriores se presentan sólo a modo de ejemplo y que, dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas, se pueden poner en práctica realizaciones innovadoras de una forma distinta a la descrita y reivindicada específicamente. Además, se debe entender que de forma continua o sustancialmente continua puede incluir una o más interrupciones, retrasos, etc., en el control de características tales como, pero no limitadas a, las cantidades, proporciones, medidas descritas en esta memoria y estar todavía dentro del alcance de las realizaciones. De forma alternativa, el control o los ajustes se pueden considerar o proporcionar de manera intermitente.

Se debería entender que todas las definiciones, tal como se definen y utilizan en esta memoria, controlan las definiciones de diccionario, las definiciones en documentos incorporados por referencia y/o los significados ordinarios de los términos definidos. Se debería entender que los artículos indefinidos "un" y "una", tal como se usan en esta memoria en la especificación y en las reivindicaciones, a menos que se indique claramente lo contrario, significan "al menos uno". Cuando se usa en esta descripción y en las reivindicaciones como un adjetivo en lugar de una preposición, "alrededor" significa "aproximadamente" y comprende el valor establecido y cualquier valor dentro del 10% de ese valor. Por ejemplo, "alrededor del 100%" incluiría medidas del 90% y del 110%, así como todos los valores entre ambos. Se debería entender que la frase "y/o", tal como se usa en esta memoria en la especificación y en las reivindicaciones, significa "cualquiera o ambos" de los elementos unidos de esta manera, es decir, elementos que están presentes conjuntamente en algunos casos y que están presentes disyuntivamente en otros casos.

Elementos múltiples enumerados con "y/o" se deberían interpretar de la misma manera, es decir, "uno o más" de los elementos unidos de esta manera. Opcionalmente, pueden estar presentes otros elementos diferentes a los elementos específicamente identificados por la locución "y/o", ya sean relacionados o no relacionados con aquellos elementos específicamente identificados. Por lo tanto, como ejemplo no limitativo, una referencia a "A y/o B", cuando se usa en conjunto con lenguaje de composición abierta tal como "que comprende" se puede referir, en una realización, sólo a A (incluyendo opcionalmente elementos distintos a B); en otra realización, sólo a B (incluyendo opcionalmente elementos distintos a A); en otra realización adicional, tanto a A como a B (incluyendo opcionalmente otros elementos); etc.

Tal como se usa en esta memoria en la especificación y en las reivindicaciones, se debería entender que "o" tiene el mismo significado que "y/o" como se definió anteriormente. Por ejemplo, cuando se separan artículos de una lista, "o" o "y/o" se deberán interpretar como inclusivos, es decir, la inclusión de al menos uno, pero incluyendo también más de uno, de un número o una lista de elementos, y, opcionalmente, artículos adicionales no incluidos en la lista. Sólo términos que indican claramente lo contrario, como "sólo uno de" o "exactamente uno de" o, cuando se usa en las reivindicaciones, "que consiste en", se referirán a la inclusión de exactamente un elemento de un número o una lista de elementos. En general, el término "o", tal como se usa en esta memoria, deberá interpretarse sólo como indicativo de alternativas exclusivas (es decir, "uno u otro, pero no ambos") cuando esté precedido por términos de exclusividad, tales como "uno de los dos", "uno de", "sólo uno de" o "exactamente uno de". La expresión "que consiste esencialmente en", cuando se usa en las reivindicaciones, tendrá su significado ordinario como se usa en el campo de la ley de patentes.

Tal como se usa en esta memoria en la especificación y en las reivindicaciones, se debería entender que la frase "al menos uno", en referencia a una lista de uno o más elementos, significa al menos un elemento seleccionado de uno o más cualesquiera de los elementos de la lista de elementos, pero sin incluir necesariamente al menos uno de todos y cada uno de los elementos enumerados específicamente dentro de la lista de elementos y sin excluir ninguna combinación de elementos de la lista de elementos. Esta definición también permite que puedan estar presentes opcionalmente elementos diferentes a los elementos específicamente identificados dentro de la lista de elementos a los que se refiere la frase "al menos uno", ya sea relacionados o no relacionados con esos elementos específicamente identificados. Por lo tanto, como ejemplo no limitativo, "al menos uno de A y B" (o, de manera equivalente, "al menos uno de A o B", o, de manera equivalente "al menos uno de A y/o B") se puede referir, en una realización, a al menos un, incluyendo opcionalmente más de uno, A, sin B presente (e incluyendo opcionalmente elementos distintos a B); en otra realización, a al menos un, incluyendo opcionalmente más de uno, B, sin A presente (e incluyendo opcionalmente elementos distintos a A); en otra realización más, a al menos un, incluyendo opcionalmente más de uno, A, y a al menos un, incluyendo opcionalmente más de uno, B (e incluyendo opcionalmente otros elementos); etc.

En las reivindicaciones, así como en la especificación anterior, todas las frases de transición tales como "que comprende", "que incluye", "que lleva", "que tiene", "que contiene", "que implica", "que sostiene", "compuesto por", y similares se deben entender como de final abierto, es decir, que significan incluyendo, pero no limitadas a. Sólo las frases de transición "que consiste en" y "que consiste esencialmente en" deberán ser frases de transición cerradas o semicerradas, respectivamente, como se describe en el Manual de Procedimientos de Examen de Patentes de la Oficina de Patentes de los Estados Unidos, Sección 2111.03.

La descripción anterior de varios métodos y realizaciones se ha presentado con fines ilustrativos. No pretende ser exhaustiva ni limitar los pasos y/o formas precisos descritos, y obviamente son posibles muchas modificaciones y variaciones a la luz de la enseñanza anterior. Se pretende que el alcance esté definido por las reivindicaciones adjuntas a la presente memoria.

Ejemplos

EJEMPLO 1

Se realizó un ensayo de enfriamiento de entrada en planta que demostró que la nebulización de primera etapa, y el sistema de control asociado, pueden controlar la temperatura y la humedad relativa simplemente ajustando el caudal de agua enviado al primer sistema de nebulización (p. ej., un atomizador rotativo). El ensayo comenzó permitiendo en primer lugar que las condiciones de entrada se estabilizaran antes de encender el atomizador rotativo. Después de que las condiciones de entrada se estabilizaron, se arrancó el atomizador giratorio con un caudal de agua de 0,5 litros por minuto (A de la figura 8), en este punto la temperatura comienza a descender inmediatamente de alrededor de 19,5°C a alrededor de 18,2°C y la humedad relativa del aire de entrada aumenta de alrededor del 76% a alrededor del 84%. Se ensaya un aumento adicional del caudal de agua a 0,7 litros por minuto (B de la figura 8), y después de este aumento del caudal de agua, la temperatura continúa disminuyendo hasta alrededor de 17,5°C y la humedad relativa del aire de entrada aumenta hasta alrededor del 92%. Disminuciones incrementales en el caudal de agua a 0,5 litros por minuto (C de la figura 8) y luego a 0,3 litros por minuto (D de la figura 8), y cada una provoca una ligera disminución de la temperatura, mientras que la humedad relativa permaneció constante. Estos cambios incrementales en el caudal de agua permiten un control más preciso de la temperatura y de la humedad relativa. Una vez que se cierra el flujo de agua (E de la figura 8), la humedad relativa y la temperatura vuelven lentamente a las medidas del aire de entrada ambiental. Estos datos indican que el sistema de nebulización de primera etapa (por ejemplo, atomizadores rotativos) produce una reducción casi inmediata de la temperatura y la humedad relativa. Este ensayo en planta indica que se

puede lograr una humedad relativa de alrededor del 97% dentro de los 10 minutos posteriores a que se arranque el sistema.

EJEMPLO 2

5 Se tomaron medidas de presión tanto antes como después de la carcasa del filtro durante el ensayo de enfriamiento de entrada en planta como se realizó en el ejemplo 1, lo que permitió calcular la presión diferencial. Cuando se incrementó el caudal del agua de 0,5 litros por minuto a 0,7 litros por minuto (B de la figura 8), la presión diferencial comienza a aumentar hasta su pico de 460 pascales. Este máximo se alcanza y comenzó a disminuir antes de la disminución incremental del caudal de agua a 0,5 litros por minuto (C de la figura 8). La presión diferencial continuó disminuyendo hasta que se corta el flujo de agua (E de la figura 8), donde se estabiliza a alrededor de 434 pascales. 10 Las medidas de presión diferencial se pueden dibujar frente a la humedad relativa para generar una curva que muestre a qué medida de humedad relativa aumenta la presión diferencial. La curva de presión diferencial y humedad relativa para los EJEMPLOS 1 y 2 se representa en la figura 4. La presión diferencial permaneció constante a aproximadamente 430 Pascales mientras que la humedad relativa aumentaba, hasta que la humedad relativa alcanzó un valor de aproximadamente el 87%, punto en el cual la presión diferencial comienza a aumentar a un ritmo exponencial. 15

EJEMPLO 3

En una realización del sistema de enfriamiento de dos etapas de la presente memoria, se midió la temperatura ambiente en la entrada del sistema de enfriamiento de aire, siendo de alrededor de 50°C. Se utilizaron atomizadores rotativos para generar niebla en la primera etapa de nebulización. Una humedad relativa máxima del 90% (según lo determinado por la curva de presión diferencial y humedad relativa) enfrió el aire a alrededor de 26°C (una caída de temperatura de 24°C desde la temperatura del aire ambiente). La nebulización de la segunda etapa utilizó una pequeña pluralidad de boquillas de alta presión y de baja capacidad, que proporcionaron un enfriamiento adicional del aire a alrededor de 24°C (una disminución adicional de temperatura de 2°C). La temperatura del aire disminuyó en un total de 26°C mediante el uso del sistema de dos etapas, la mayoría (alrededor del 92%) de lo cual se produjo en la primera etapa de nebulización. Además, debido a la capacidad de enfriamiento de la nebulización de primera etapa, no había necesidad de proporcionar enfriamiento por sobrepulverización en el compresor axial en la entrada del compresor. 20 25

Finalmente, resumiendo, la invención también se refiere a un sistema para reducir la temperatura del aire de entrada de una fuerza motriz protegida por filtración de aire, que comprende: un sistema de nebulización de primera etapa de alta capacidad situado aguas arriba de uno o más filtros de aire de entrada que proporciona la mayoría del enfriamiento total del aire, en donde un primer sistema de control modula de manera sustancialmente continua el caudal de agua que entra en el sistema de nebulización de primera etapa para lograr una humedad relativa establecida para reducir la temperatura del aire de entrada en comparación con la temperatura ambiente; y un sistema de nebulización de segunda etapa de baja capacidad situado aguas abajo del uno o más filtros de aire de entrada que proporciona enfriamiento suplementario a la mayoría del enfriamiento total del aire del sistema de nebulización de primera etapa, en donde un segundo sistema de control controla el enfriamiento suplementario hasta la temperatura de bulbo húmedo. 30 35

El sistema de nebulización de primera etapa preferiblemente logra de alrededor del 80% a alrededor del 95% de la mayoría del enfriamiento total del aire.

La humedad relativa establecida del primer sistema de control se calcula preferiblemente mediante la selección de un punto con la humedad relativa más alta en una curva de presión diferencial y humedad relativa antes de un aumento exponencial de la presión diferencial en la curva. 40

Se selecciona preferiblemente un valor de consigna de temperatura mínima después del enfriamiento del primer sistema de control para evitar problemas de limitación de capacidad en los equipos situados aguas abajo debido a una alta temperatura ambiente.

Se selecciona preferiblemente un valor de consigna de temperatura mínima después del enfriamiento del primer sistema de control para evitar problemas de formación de hielo en la boca acampanada del compresor. 45

Se selecciona preferiblemente un valor de consigna de presión diferencial máxima del filtro del primer sistema de control como mecanismo de seguridad en el caso de un aumento repentino de la presión diferencial debido a condiciones ambientales tales como una entrada de material higroscópico en los filtros.

El segundo sistema de control utiliza preferiblemente un interruptor de encendido/apagado operado por una preferencia del operador para enfriamiento adicional hasta la temperatura de bulbo húmedo. 50

El sistema de nebulización de primera etapa de alta capacidad comprende preferiblemente: una pluralidad de atomizadores rotativos con impulsión de frecuencia variable;

una fuente de agua a baja presión; y una válvula de control de modulación para proporcionar un caudal variable de agua de manera sustancialmente continua.

El sistema de nebulización de primera etapa de alta capacidad comprende preferiblemente además: un tanque de almacenamiento de agua con controles de nivel automáticos; y una bomba de circulación de agua de baja presión con impulsión de frecuencia variable para proporcionar una cantidad variable de agua de manera sustancialmente continua.

5 La fuente de aire a baja presión preferiblemente es un compresor.

El sistema de nebulización de primera etapa de alta capacidad comprende preferiblemente: una pluralidad de boquillas de media presión; una fuente de agua a baja presión; un tanque de almacenamiento de agua con controles de nivel automáticos; y una bomba de circulación de agua con impulsión de frecuencia variable para proporcionar una cantidad variable de agua de manera sustancialmente continua.

10 El sistema de nebulización de segunda etapa de baja capacidad comprende preferiblemente: una pluralidad de atomizadores asistidos por aire; una fuente de agua a baja presión; una válvula de control de modulación para proporcionar una cantidad variable de agua de manera sustancialmente continua; una fuente de aire a baja presión; y una válvula de control de modulación para proporcionar una cantidad variable de aire de manera sustancialmente continua.

15 El sistema de nebulización de segunda etapa de baja capacidad comprende preferiblemente: una pluralidad de boquillas de alta presión; y una bomba de circulación de agua de velocidad fija.

20 Un sistema de nebulización de dos etapas para reducir la temperatura del aire de entrada de una turbina de gas que comprende: uno o más filtros; una primera etapa posicionada aguas arriba del uno o más filtros y que incluye uno o más atomizadores rotativos que es capaz de lograr alrededor del 90% del enfriamiento del aire hacia la temperatura de bulbo húmedo; y una segunda etapa posicionada aguas abajo del uno o más filtros y que incluye una o más boquillas que es capaz de lograr alrededor del 10% del enfriamiento de aire suplementario hacia la temperatura de bulbo húmedo.

25 Además, las invenciones también se refieren a un método de control para un sistema de nebulización para reducir la temperatura del aire de entrada de un elemento de impulsión, en donde el método comprende: medir la temperatura ambiente, la humedad relativa ambiental, y la presión del aire ambiente; introducir gotitas de agua en el aire aguas arriba del filtro; medir la temperatura, la humedad relativa, y la presión del aire aguas abajo del filtro; calcular un valor de presión diferencial; mantener una humedad relativa establecida después del filtro, en donde la humedad relativa establecida se determina de acuerdo con curvas de humedad relativa y presión diferencial; y controlar un caudal de agua para lograr una humedad relativa establecida, de tal manera que incrementar el caudal de agua incrementa la
30 humedad relativa y reducir el caudal de agua reduce la humedad relativa.

La humedad relativa establecida es preferiblemente de alrededor del 80% a alrededor del 95%.

La humedad relativa establecida es preferiblemente de alrededor del 90%.

El control del caudal de agua comprende además preferiblemente girar una válvula un cuarto de vuelta cada vez.

35 El elemento de impulsión se selecciona preferiblemente de un grupo que consiste en una turbina de gas, un motor diésel, un soplante de proceso, u otra fuerza motriz.

El valor de consigna de la humedad relativa se calcula preferiblemente seleccionando un punto con la humedad relativa más alta en una curva de presión diferencial y humedad relativa antes de un aumento exponencial de la presión diferencial en la curva.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema para reducir la temperatura del aire de entrada de un dispositivo, que comprende:
5 un conducto de admisión, un sistema de nebulización que proporciona enfriamiento de aire, en donde el sistema de nebulización comprende al menos un atomizador de baja presión configurado para trabajar a baja presión de agua, que está entre 0,5 y 6 bar,
el atomizador de baja presión es un atomizador rotativo (110), comprendiendo el sistema filtración de aire, el dispositivo está protegido por la filtración de aire que incluye uno o más filtros de aire de entrada (120), y el sistema de nebulización está ubicado aguas arriba del uno o más filtros de aire de entrada (120).
2. El sistema de la reivindicación 1, en donde el al menos un atomizador rotativo (110) incluye un motor eléctrico y está equipado con una impulsión de frecuencia variable.
3. El sistema de la reivindicación 1 o 2, en donde el sistema de nebulización comprende además:
una fuente de agua no desmineralizada.
4. El sistema de una de las reivindicaciones 1 a 3, en donde el sistema de nebulización comprende además:
una fuente de agua salada.
- 15 5. El sistema de una de las reivindicaciones 1 a 4, en donde el sistema de nebulización comprende además:
una fuente de agua de baja pureza de agua o una fuente de agua filtrada para eliminar las partículas no submicrométricas.
6. El sistema de una de las reivindicaciones 3 a 5, en donde el dispositivo está protegido por la filtración de aire, y el sistema de nebulización está ubicado aguas arriba de uno o más filtros de aire de entrada hidrofóbicos.
- 20 7. El sistema de una de las reivindicaciones 1 a 6, en donde el dispositivo está protegido por la filtración de aire, y los filtros de aire de entrada están fabricados de la clase EPA, HEPA o ULPA de acuerdo con la norma EN1822:2009.
8. El sistema de una de las reivindicaciones 1 a 7, en donde el sistema de nebulización comprende además:
una fuente de agua a baja presión; y
una válvula de control de modulación (707) para proporcionar un caudal variable de agua de manera sustancialmente
25 continua.
9. El sistema de la reivindicación 8, en donde el sistema de nebulización comprende además:
un tanque de almacenamiento de agua con controles de nivel automáticos; y
una bomba de circulación de agua de baja presión con impulsión de frecuencia variable para proporcionar una cantidad variable de agua de manera sustancialmente continua.
- 30 10. El sistema de una de las reivindicaciones 1 a 9, en donde el sistema de nebulización comprende además:
un sistema de nebulización de primera etapa de alta capacidad situado aguas arriba de uno o más filtros de aire de entrada (120) que proporciona la mayoría del enfriamiento total del aire, en donde un primer sistema de control modula de manera sustancialmente continua el caudal de agua que entra en el sistema de nebulización de primera etapa para lograr una humedad relativa establecida para reducir la temperatura del aire de entrada en comparación con la
35 temperatura ambiente; y el sistema comprende además:
un sistema de nebulización de segunda etapa de baja capacidad situado aguas abajo del uno o más filtros de aire de entrada (120) que proporciona enfriamiento suplementario a la mayoría del enfriamiento total de aire del sistema de nebulización de primera etapa, en donde un segundo sistema de control controla el enfriamiento adicional hasta la temperatura de bulbo húmedo.
- 40 11. El sistema de la reivindicación 10, en donde el sistema de nebulización de primera etapa de alta capacidad comprende:
el al menos un atomizador rotativo.
12. El sistema de la reivindicación 10 u 11, en donde el sistema de nebulización de primera etapa de alta capacidad comprende:

- una pluralidad de boquillas de media presión;
 - una fuente de agua a baja presión;
 - un tanque de almacenamiento de agua con controles de nivel automáticos; y
- 5 una bomba de circulación de agua con impulsión de frecuencia variable para proporcionar una cantidad variable de agua de manera sustancialmente continua.
13. El sistema de una de las reivindicaciones 10 a 12, en donde el sistema de nebulización de segunda etapa de baja capacidad comprende:
- una pluralidad de atomizadores asistidos por aire;
 - una fuente de agua a baja presión;
- 10 una válvula de control de modulación para proporcionar una cantidad variable de agua de manera sustancialmente continua;
- una fuente de aire a baja presión; y,
 - una válvula de control de modulación para proporcionar una cantidad variable de aire de manera sustancialmente continua.
- 15 14. El sistema de una de las reivindicaciones 10 a 13, en donde el sistema de nebulización de segunda etapa de baja capacidad comprende:
- una pluralidad de boquillas de alta presión; y
 - una bomba de circulación de agua de velocidad fija.
- 20 15. El sistema de una de las reivindicaciones 1 a 14, en donde el dispositivo se selecciona de un grupo que consiste en una turbina de gas, un motor diésel, un soplante de proceso, otra fuerza motriz, ventilación general y una sala limpia.
16. El sistema de una de las reivindicaciones 1 a 15 para reducir la temperatura del aire de entrada de un dispositivo protegido por filtración de aire, comprendiendo el sistema de nebulización:
- 25 un sistema de nebulización de primera etapa situado aguas arriba de uno o más filtros de aire de entrada que proporciona enfriamiento del aire de entrada, en donde un primer sistema de control controla el enfriamiento para lograr una humedad relativa establecida del aire de entrada; y el sistema comprende además
- un sistema de nebulización de segunda etapa situado aguas abajo del uno o más filtros de aire de entrada que proporciona enfriamiento suplementario al sistema de nebulización de primera etapa, en donde un segundo sistema de control controla el enfriamiento suplementario hasta la temperatura de bulbo húmedo del aire de entrada.

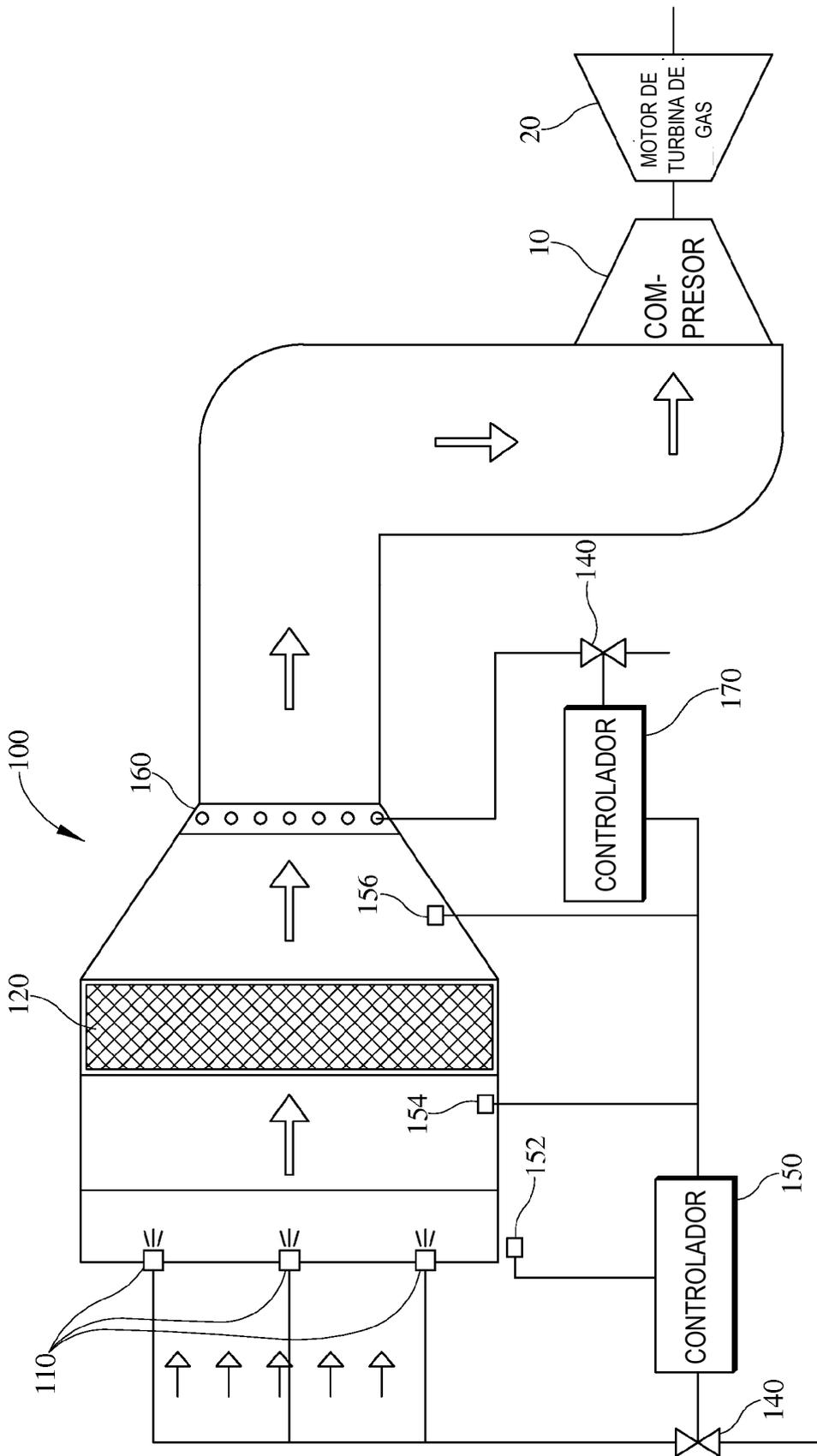


FIG. 1

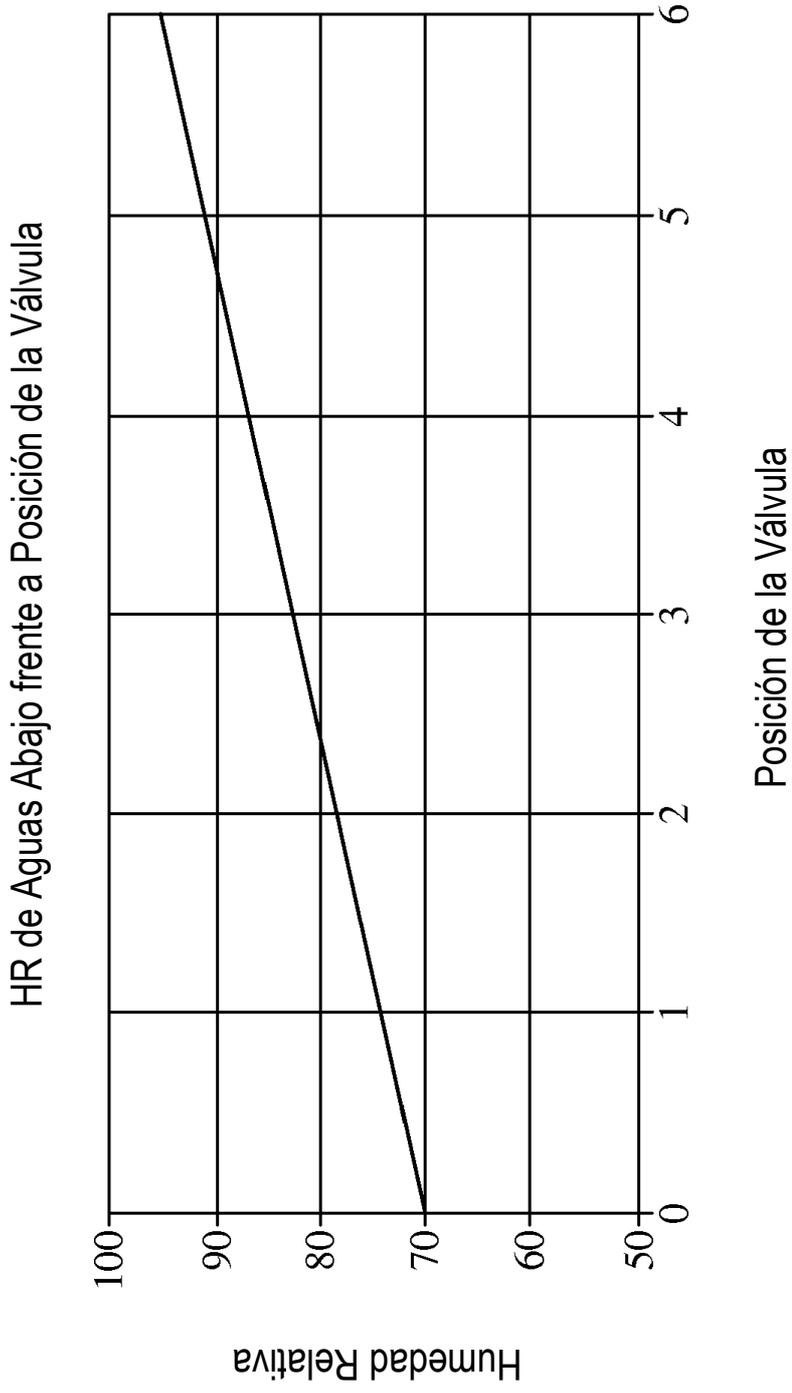


FIG. 2

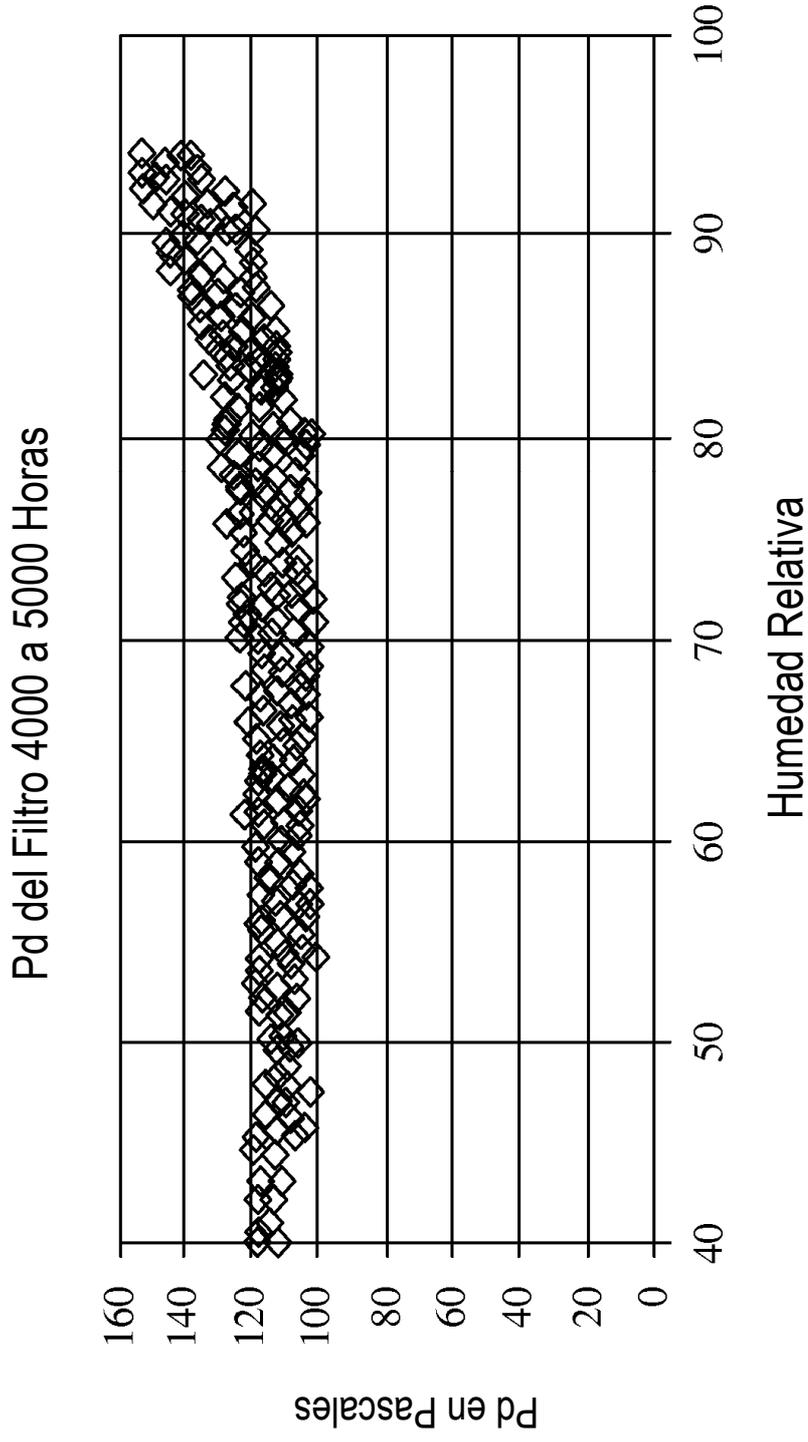


FIG. 3

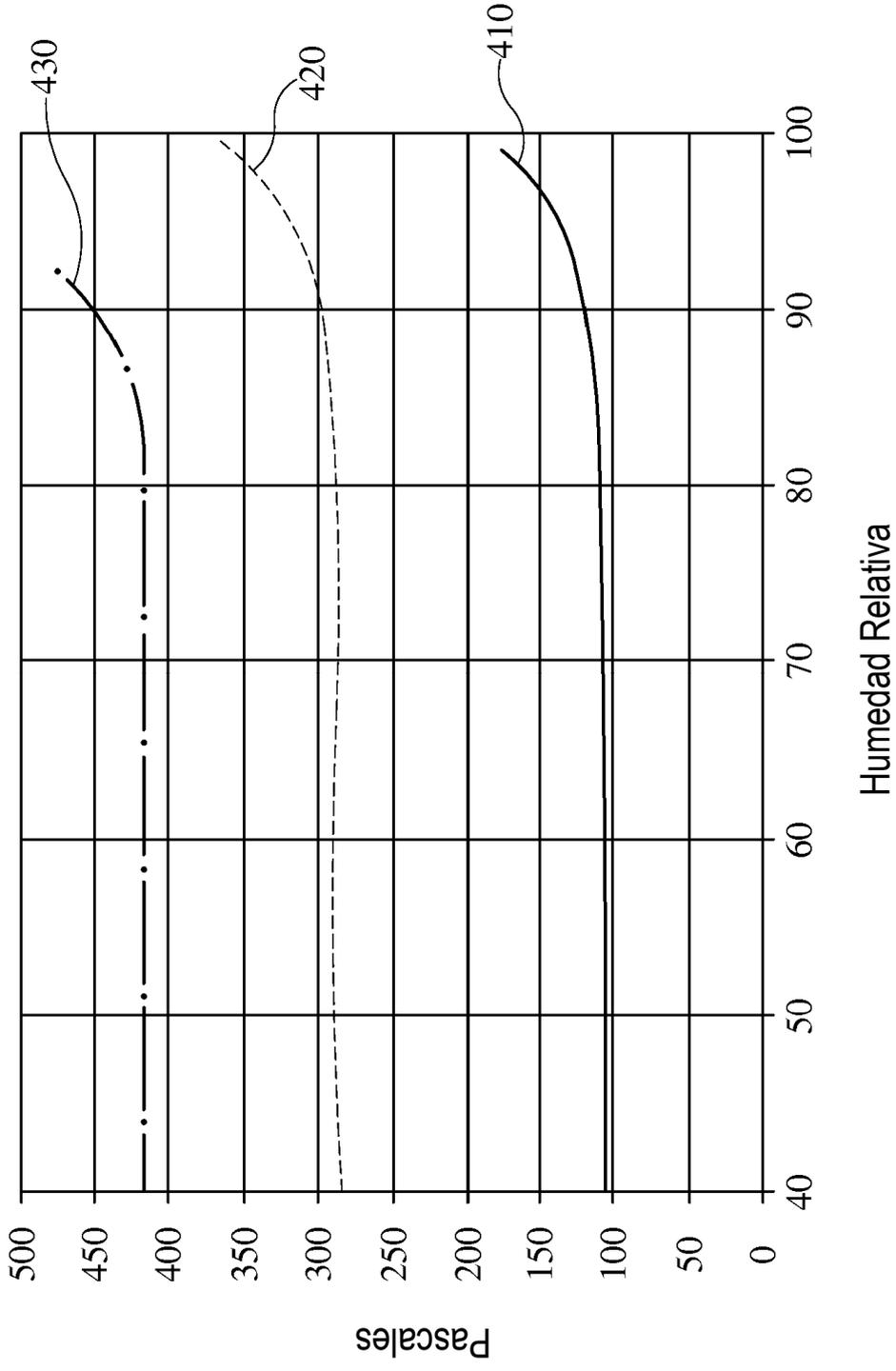


FIG. 4

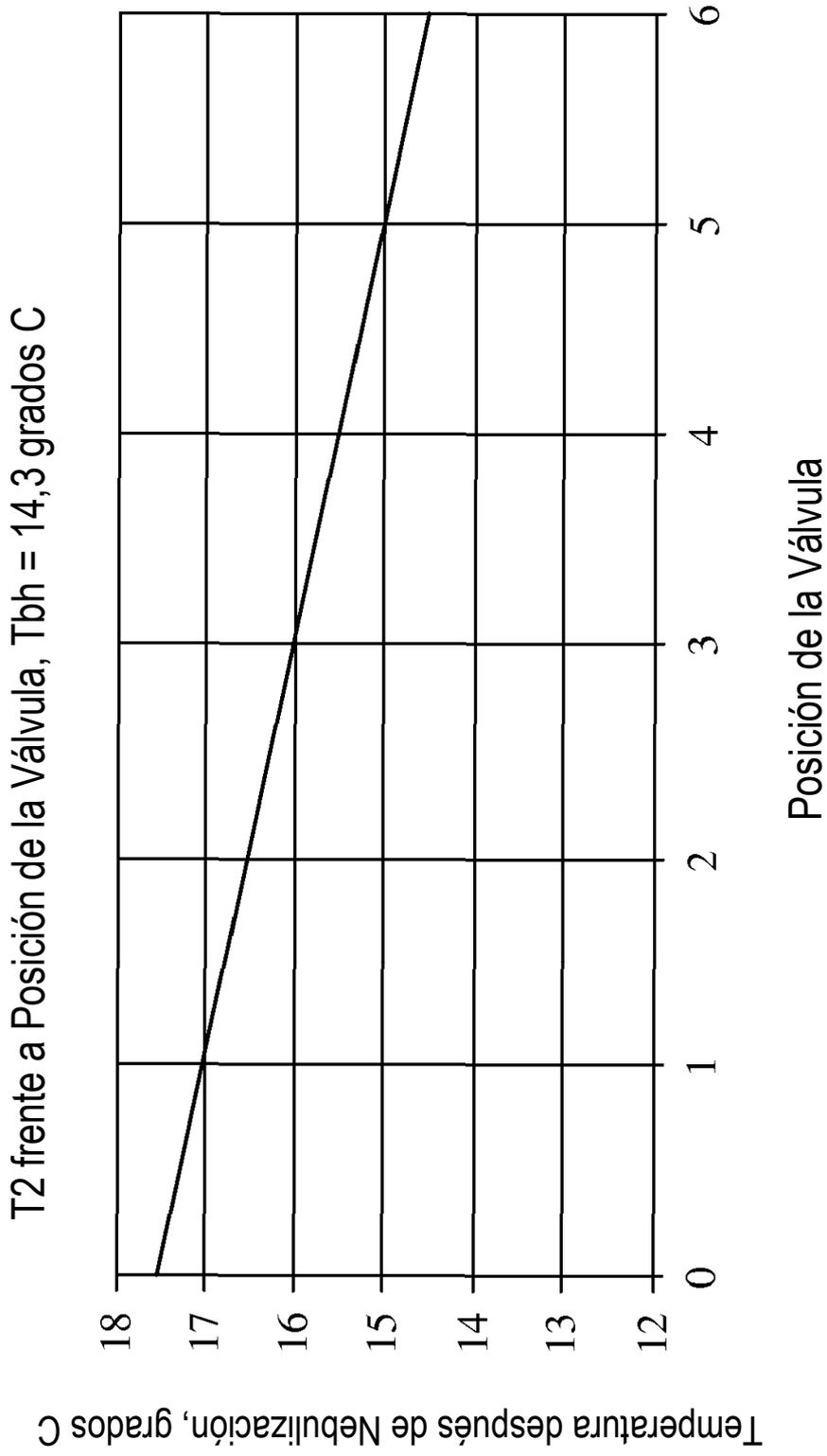


FIG. 5

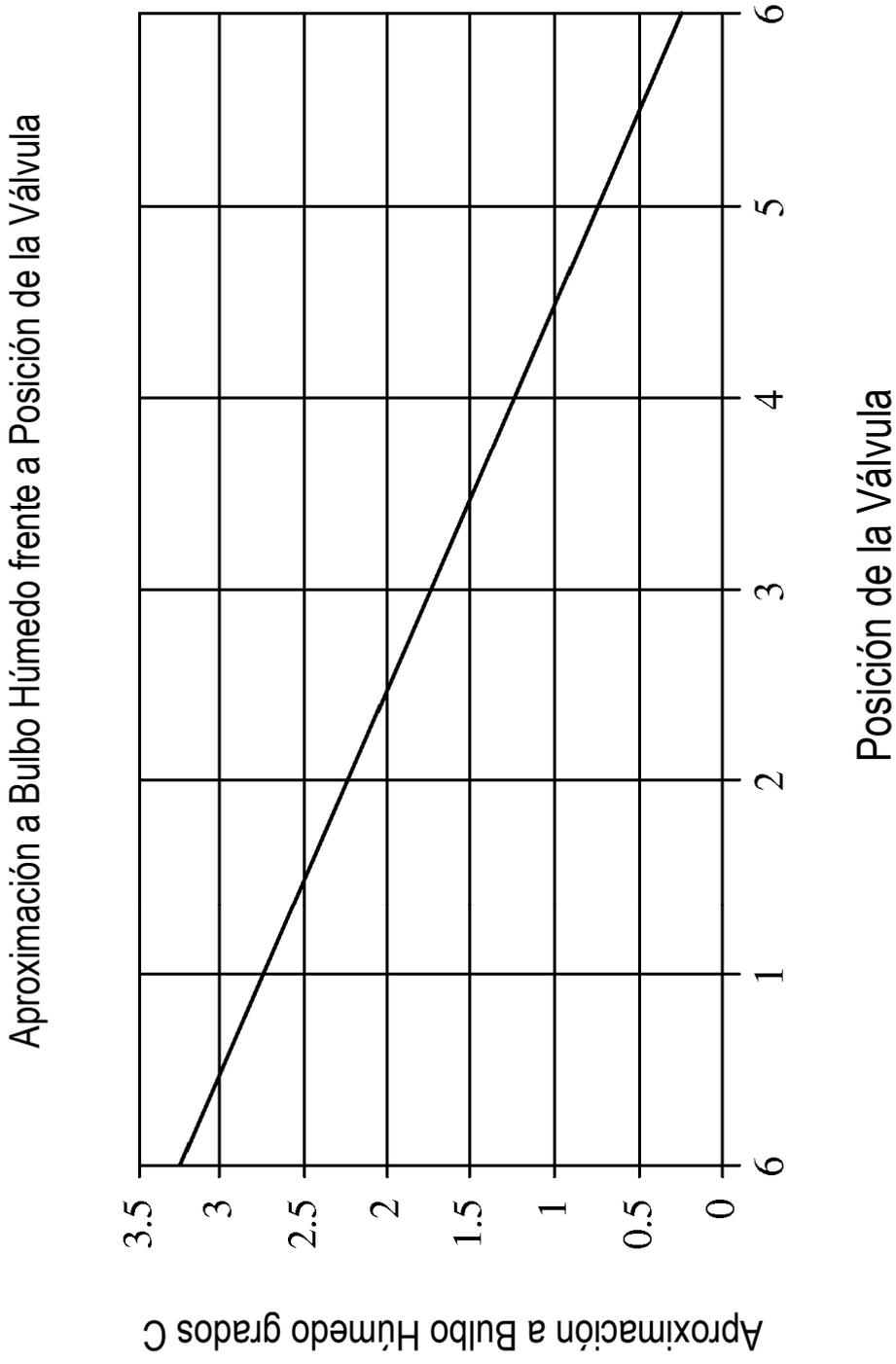


FIG. 6

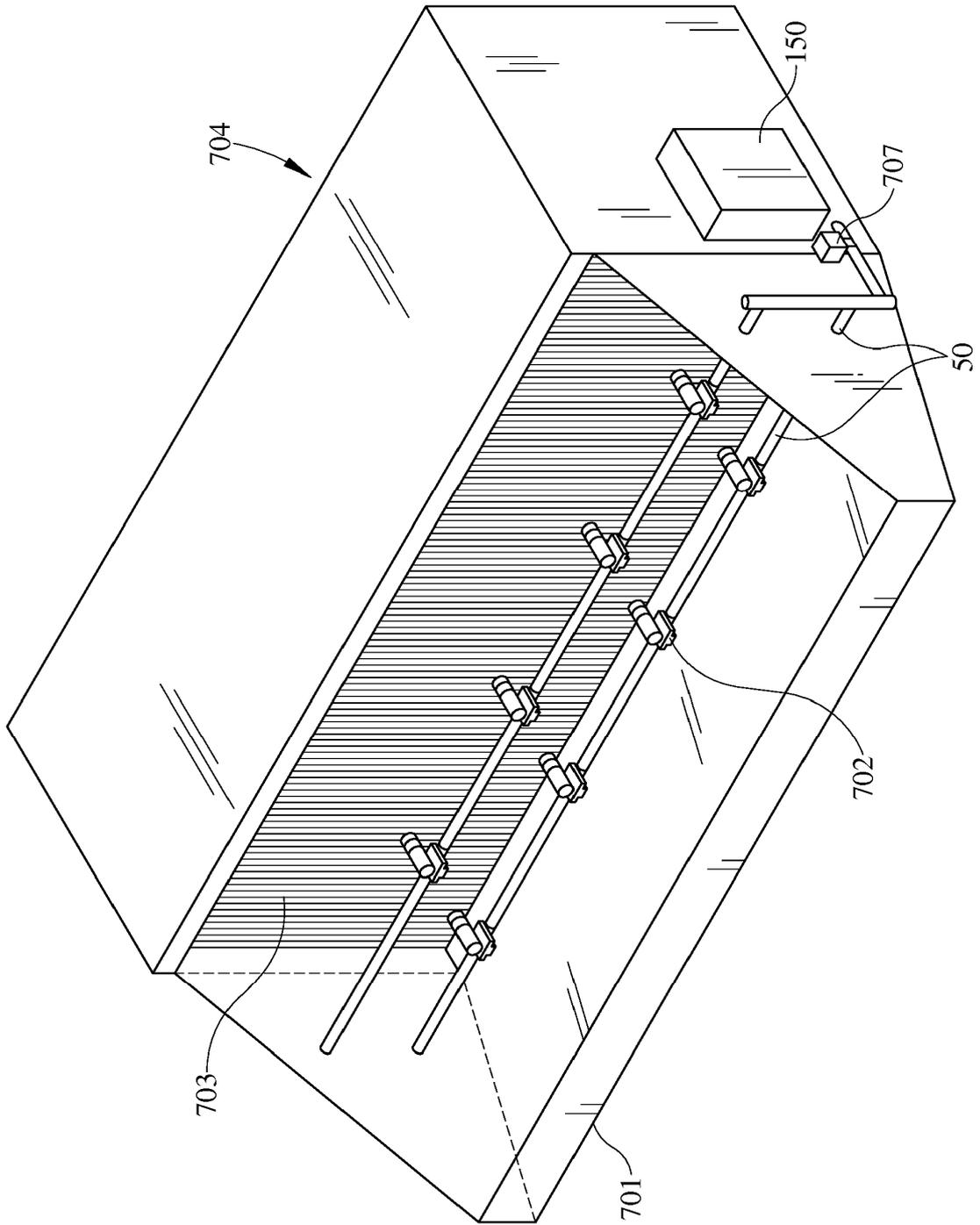


FIG. 7

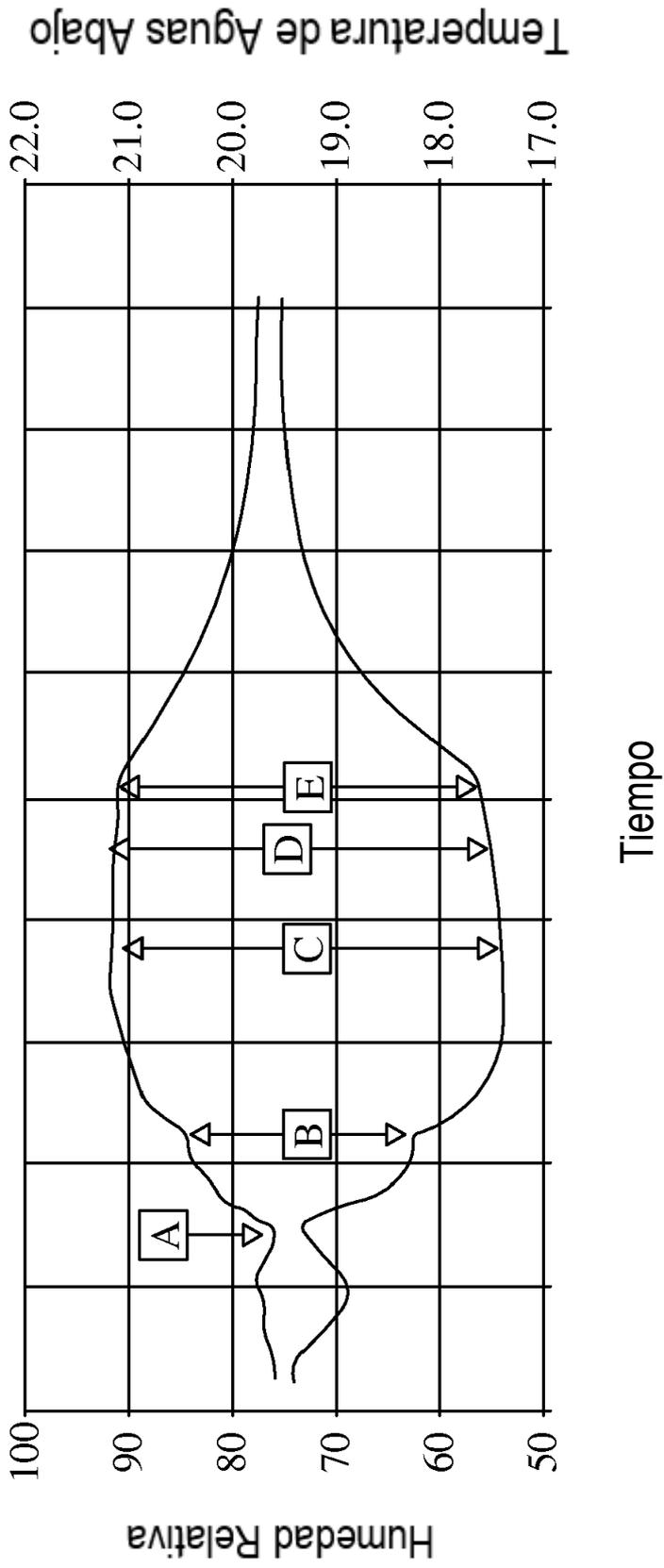


FIG. 8