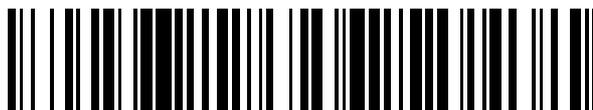


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 770 524**

51 Int. Cl.:

G05D 16/20	(2006.01)
G05B 13/04	(2006.01)
F04B 51/00	(2006.01)
F04B 49/00	(2006.01)
F04B 49/06	(2006.01)
F04B 41/06	(2006.01)
F04D 27/00	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **01.10.2014 PCT/EP2014/071053**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **16.04.2015 WO15052055**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.10.2014 E 14781142 (6)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.12.2019 EP 3055570**

54 Título: **Equipo de control electrónico para un componente de la generación de aire comprimido, tratamiento de aire comprimido, almacenamiento de aire comprimido y/o distribución de aire comprimido**

30 Prioridad:

10.10.2013 DE 102013111218

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
01.07.2020

73 Titular/es:

KAESER KOMPRESSOREN SE (50.0%)
Carl-Kaesar-Strasse 26
96450 Coburg, DE y
WAGNER, FLORIAN (50.0%)

72 Inventor/es:

WAGNER, FLORIAN

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 770 524 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

Equipo de control electrónico para un componente de la generación de aire comprimido, tratamiento de aire comprimido, almacenamiento de aire comprimido y/o distribución de aire comprimido

5 La invención se refiere a un equipo de control electrónico para un componente de la generación de aire comprimido, tratamiento de aire comprimido, almacenamiento de aire comprimido y/o distribución de aire comprimido así como un procedimiento para el control, regulación, diagnóstico y/o monitorización de un componente de la generación de aire comprimido, tratamiento de aire comprimido, almacenamiento de aire comprimido y/o distribución de aire comprimido según las características de la reivindicación 1 o las características de la reivindicación 26.

10 Por el estado de la técnica, compárese el documento WO 2010/072803 o DE 198 26 169 A1 ya se conocen procedimientos para el control de una instalación de compresor completa. A este respecto un equipo de control central controla y monitoriza una pluralidad de componentes de la generación de aire comprimido y/o tratamiento de aire comprimido, realizándose en parte un flujo de datos considerable desde y hacia el equipo de control.

15 Por el documento DE 10 2011 079 732 A1 se conoce finalmente un procedimiento y un dispositivo para el control o regulación de varias bombas en un gaseoducto.

20 Con respecto al estado de la técnica mencionado en primer lugar el objetivo de la presente invención se basa en indicar un equipo de control electrónico así como un procedimiento para el control, regulación, diagnóstico y/o monitorización en relación con la generación de aire comprimido, tratamiento de aire comprimido, almacenamiento de aire comprimido y/o distribución de aire comprimido, en el que un equipo de control central previsto en el estado de la técnica puede someterse a menos carga o en el que el control, monitorización, evaluación, diagnóstico, etc. es posible de manera más exacta.

25 Este objetivo se resuelve de acuerdo con la invención con un equipo de control electrónico según las características de la reivindicación 1 o un procedimiento para el control, regulación, diagnóstico y/o monitorización de un componente de la generación de aire comprimido, tratamiento de aire comprimido, almacenamiento de aire comprimido y/o distribución de aire comprimido según las características de la reivindicación 26. En las reivindicaciones dependientes se indican configuraciones ventajosas.

30 En cuanto a la técnica de dispositivos, según una primera reflexión clave de la presente invención está previsto un equipo de control electrónico para un componente de la generación de aire comprimido, tratamiento de aire comprimido, almacenamiento de aire comprimido y/o distribución de aire comprimido, en donde el equipo de control electrónico está configurado para recurrir, para la determinación, reproducción o evaluación de datos relevantes para el funcionamiento, a uno o varios modelos, que como modelos referidos al componente contienen informaciones relevantes para la estructura o el comportamiento del componente, y mediante los modelos como fin de la evaluación en una rutina de evaluación concreta efectuar o un control, regulación, diagnóstico y/o monitorización del componente o una determinación, facilitación, predicción u optimización de datos de funcionamiento, estados operativos, modos de funcionamiento, comportamiento de funcionamiento y/o repercusiones de funcionamiento, y en donde como valores iniciales se emplean informaciones de infraestructura, datos de funcionamiento, estados operativos y/o valores de medición/sensor del componente, actuales o históricos, disponibles al menos parcialmente en el equipo de control electrónico, en donde el equipo de control electrónico está configurado además, para llevar a cabo, para el diagnóstico de funcionamientos incorrectos y defectos, evaluaciones alternativas con configuraciones de modelos, que contienen diferentes funcionamientos incorrectos o defectos posibles, en donde se consulta el grado de similitud respectivo entre resultados de evaluación alternativos y valores de medición/sensor reales, actuales o históricos en una etapa de comparación para la identificación del funcionamiento incorrecto más probable o del defecto más probable o al menos se descartan causas de errores poco probables o improbables (funcionamientos incorrectos y defectos) como resultado de la etapa de comparación.

35 En este sentido el comportamiento típico del componente para un defecto o un funcionamiento incorrecto se modela y se compara con el comportamiento real. En particular, mediante la comparación con varias evaluaciones alternativas para evoluciones de modelos de diferentes causas de error con el comportamiento de funcionamiento real puede deducirse una causa de error más probable vista relativamente. Sin embargo es posible también igualmente, comparar solo una evolución de modelo para una causa de error determinada con un comportamiento funcional real y a este respecto emitir una valoración, de si o con qué probabilidad se presenta un error respectivo en el que se basa el modelo.

40 Según otra reflexión clave de la presente invención, que puede estar prevista alternativa o acumulativamente, se propone un equipo de control electrónico para un componente de la generación de aire comprimido, tratamiento de aire comprimido, almacenamiento de aire comprimido y/o distribución de aire comprimido, en donde el equipo de control electrónico está configurado para recurrir, para la determinación, reproducción o evaluación de datos relevantes para el funcionamiento, a uno o varios modelos, que como modelos referidos al componente contienen informaciones relevantes para la estructura o el comportamiento del componente, y mediante los modelos como fin de la evaluación en una rutina de evaluación concreta efectuar o un control, regulación, diagnóstico y/o monitorización del componente

5 o una determinación, facilitación, predicción u optimización de datos de funcionamiento, estados operativos, modos de funcionamiento, comportamiento de funcionamiento y/o repercusiones de funcionamiento, y en donde como valores iniciales se emplean informaciones de infraestructura, datos de funcionamiento, estados operativos y/o valores de medición/sensor del componente, actuales o históricos, disponibles al menos parcialmente en el equipo de control electrónico, en donde el equipo de control electrónico está configurado además con el fin de detectar funcionamientos incorrectos o defectos a partir de modelos estructurales, para deducir criterios de plausibilidad para valores de medición/sensor y comprobar el cumplimiento de estos criterios de plausibilidad para valores de medición/sensor reales, actuales o históricos.

10 Si los valores reales se desvían, por ejemplo, en más de un valor umbral predeterminado de los valores válidos como plausibles en función de los modelos, esto puede valorarse como funcionamiento incorrecto o emitirse un mensaje de error correspondiente. Los criterios de plausibilidad de este tipo pueden incluir en particular la comparación de temperaturas y/o presiones en puntos de medición, que en trayectos de flujo de medios (aire comprimido, aire de refrigeración, agua de refrigeración, ...) están dispuestos aguas arriba o aguas abajo entre sí, en donde en el
15 funcionamiento sin averías de los componentes entre los puntos de medición aparecen o han de esperarse sistemáticamente aumentos o disminuciones de temperaturas y/o presiones.

En cuanto a la técnica de procedimientos, de acuerdo con la invención se propone un procedimiento para el control, regulación, diagnóstico y/o monitorización de un componente de la generación de aire comprimido, tratamiento de aire comprimido, almacenamiento de aire comprimido y/o distribución de aire comprimido, interactuando el componente con un control electrónico en particular según una de las reivindicaciones 1 a 26, en donde para la determinación, reproducción o evaluación de datos relevantes para el funcionamiento se recurre a modelos, que como modelos referidos al componente contienen informaciones relevantes para la estructura del componente, y como valores
20 iniciales se emplean informaciones de infraestructura, datos de funcionamiento, estados operativos y/o valores de medición/sensor del componente, actuales o históricos, disponibles al menos parcialmente en el equipo de control electrónico y llevándose a cabo, para el diagnóstico de funcionamientos incorrectos y defectos, evaluaciones alternativas con configuraciones de modelos, que contienen diferentes funcionamientos incorrectos o defectos posibles, en donde se consulta el grado de similitud respectivo entre resultados de evaluación alternativos y valores de medición/sensor reales, actuales o históricos en una etapa de comparación para la identificación del funcionamiento incorrecto más probable o del defecto más probable o al menos se descartan causas de errores poco probables o
25 improbables (funcionamientos incorrectos y defectos) como resultado de la etapa de comparación.

En combinación o de forma independiente, en cuanto a la detección y diagnóstico de funcionamientos incorrectos o defectos puede ser ventajoso comparar las evoluciones en el tiempo, obtenidas a partir de evaluaciones para periodos de tiempo pasados o predeterminados de otro modo, en particular calculadas, de datos de funcionamiento, estados operativos y/o magnitudes de estado del componente con valores de medición/sensor reales, actuales o históricos, pudiendo deducirse a partir de desviaciones entre los resultados de evaluación y valores de medición/sensor la presencia de funcionamientos incorrectos o defectos.
35

40 En lugar de la comparación propagada entre varias evaluaciones alternativas, dado el caso también adicionalmente a la comparación propagada entre evaluaciones alternativas, también en el caso de solo una evolución modelada, suponiendo la presencia un funcionamiento incorrecto o de un defecto para la comparación con la evolución de funcionamiento real, puede deducirse la presencia de un defecto o de un funcionamiento incorrecto dado el caso indicando cualitativa o cuantitativamente la probabilidad de la presencia de un funcionamiento incorrecto.
45

En cuanto a la técnica de procedimientos se propone de acuerdo con la invención, también de manera alternativa o acumulativa un procedimiento para el control, regulación, diagnóstico y/o monitorización de un componente de la generación de aire comprimido, tratamiento de aire comprimido, almacenamiento de aire comprimido y/o distribución de aire comprimido, interactuando el componente con un control electrónico en particular según una de las reivindicaciones 1 a 26, en donde para la determinación, reproducción o evaluación de datos relevantes para el funcionamiento se recurre a modelos, que como modelos referidos al componente contienen informaciones relevantes para la estructura del componente, que como valores iniciales se empleen informaciones de infraestructura, datos de funcionamiento, estados operativos y/o valores de medición/sensor del componente, actuales o históricos disponibles al menos parcialmente en el equipo de control electrónico, y que para detectar funcionamientos incorrectos o defectos a partir de modelos estructurales se deduzcan criterios de plausibilidad para valores de medición/sensor reales y se compruebe el cumplimiento de estos criterios de plausibilidad para valores de medición/sensor reales, actuales o históricos.
50
55

60 El equipo de control electrónico puede estar implementado a este respecto por completo dentro del componente respectivo y estar previsto en el componente de manera autárquica o en cooperación con otro equipo de control, por ejemplo un equipo de control de una instalación general o un equipo de control previsto aún más externamente.

65 La invención puede estar implementada ya entonces, cuando de manera autárquica en otro componente está previsto el equipo de control propuesto o se lleva a cabo el procedimiento propuesto. En otra alternativa la invención sin embargo también está realizada cuando el equipo de control electrónico actúa sobre el componente o se lleva a cabo el procedimiento propuesto, cuando el componente está integrado en una instalación general y posiblemente se

intercambie también con un equipo de control de la instalación general. En esta posibilidad de realización el equipo de control electrónico del componente puede estar realizado por completo o casi por completo eventualmente también en el equipo de control de la instalación general.

5 Por equipo de control de la instalación general o por equipo de control central puede entenderse en el sentido de la presente solicitud, por ejemplo, (solo) un equipo de control de la instalación general de orden superior de los componentes conectados entre sí de la generación de aire comprimido, tratamiento de aire comprimido, almacenamiento de aire comprimido y/o distribución de aire comprimido o también un equipo de control asentado en un nivel aún superior. A este respecto dicho equipo de control de orden superior puede estar realizado - eventualmente también solo parcialmente- en un centro de cálculo externo (data center) y/o en una nube.

10 En este sentido la presente invención resuelve el objetivo planteado al principio, de reducir la carga de un equipo de control central previsto en el estado de la técnica, y en concreto independientemente de si a este respecto se trata de un equipo de control de orden superior de la instalación o de un equipo de control asentado en un nivel aún superior, por ejemplo un sistema (de dirección) de orden superior.

15 Por un componente de la generación de aire comprimido, tratamiento de aire comprimido, almacenamiento de aire comprimido y/o distribución de aire comprimido se entiende en lo sucesivo un aparato individual, como un compresor, un filtro de aire comprimido, un secador de aire comprimido o un acumulador de aire comprimido. En una observación general, por un componente, puede entenderse también una unidad formada por al menos dos aparatos individuales, por ejemplo una unidad de limpieza y generación de aire comprimido formada por un compresor y un filtro de aire comprimido. Finalmente por un componente puede entenderse también una parte de un aparato, como por ejemplo una parte de un compresor. En el caso de un compresor de varias etapas por ejemplo también puede considerarse una única etapa de compresor como componente.

20 Por modelos de un componente se considera una observación aproximada o sencilla idealizada del comportamiento real y/o de la estructura real de un componente. Tanto la expresión estructura como la expresión comportamiento pueden entenderse en la presente memoria con relativa amplitud. Por estructura puede entenderse una construcción puramente real de un componente. Sin embargo, la estructura puede comprender también la interconexión en cuanto a la técnica de circuitos o jerarquía de componentes secundarios. Por comportamiento del componente ha de entenderse también el comportamiento bajo influencias dadas externas, por ejemplo un consumo de corriente expresado en precios de mercado, por ejemplo comparando entre dos situaciones, en las que el comportamiento técnico propiamente dicho del componente es igual, los precios de mercado de la corriente necesaria se diferencian sin embargo entre una primera situación y una segunda situación.

25 La expresión modelo comprende también modelos parciales. Entre los componentes, como se ha comentado al principio, también se incluyen componentes parciales. Siempre que se trate del control, regulación, diagnóstico y/o monitorización de un componente, puede ser suficiente recurrir a un modelo de componente parcial representativo para el fin de la evaluación y para el componente parcial. El modelo de componente parcial sin embargo puede ser también más extenso, es decir puede reproducir más de un solo componente parcial o ser más específico, es decir describir menos de un componente parcial.

30 En un diseño preferido concreto el equipo de control electrónico, dependiendo del fin de la evaluación toma diferentes configuraciones de los modelos de componente o también modelos de componente parcial y/o del tipo, del número, de la sucesión y/o de los escenarios de la evaluación.

35 En un diseño posible además, facultativa, el modelo de componente o también el modelo de componente parcial se adapta mediante parametrización o configuración a las propiedades y/o parámetros de funcionamiento del o de los componentes parciales que van a considerarse concretamente en la evaluación respectiva, en donde esta adaptación puede realizarse en particular de forma manual, parcialmente automática o automáticamente.

40 Una adaptación es necesaria o al menos útil por ejemplo en parámetros de funcionamiento y/o propiedades de los componentes modificados y/o iniciales, conocidos solo aproximadamente y/o propiedades de los componentes parciales. En el sentido de una adaptación automática pueden aplicarse a su vez modelos (el que va a adaptarse u otro/otros), en particular al determinarse mediante aplicación adaptativa iterativamente de modelos las propiedades y/o parámetros de funcionamiento que van a actualizarse de modo que se alcanza la mejor coincidencia posible entre comportamiento de modelo y el comportamiento observado realmente y/o comportamiento supuesto para el futuro.

45 Según un aspecto adicional ventajoso de la presente invención, en el proceso de evaluación mediante los modelos también se toman y/o se deducen datos de funcionamiento, estados operativos y/o magnitudes de estado del componente, para los cuales no o todavía no están disponibles valores de medición/sensor. En particular en esta configuración se recurre a un "sensor virtual", es decir datos de funcionamiento, estados operativos y/o magnitudes de estado se deducen o facilitan empleando modelos, sin que para ello un sensor físico necesite explorar las relaciones reales. Mediante este modo de proceder es posible ahorrar sensores o también recurrir a valores, para los cuales no están disponible sensores o solo podrían implementarse con un esfuerzo desproporcionalmente alto.

En una configuración adicional del equipo de control electrónico está previsto que, dependiendo del fin de la evaluación se recurra a diferentes valores iniciales y/o se seleccionen diferentes momentos de inicialización. En un diseño posible de la presente invención está previsto que el proceso de evaluación tenga lugar durante el funcionamiento del componente, en particular interactuando directamente, es decir considerando el comportamiento de funcionamiento actual del componente antes, durante o seguidamente al comportamiento de funcionamiento correspondiente del componente.

En un diseño posible de la presente invención las evaluaciones constan total o parcialmente del análisis de modelos, particularmente del análisis de modelos lógicos. Los modelos de componente pueden presentarse por ejemplo como modelos valorados físicos, lógicos, estructurales, estocásticos, monetarios, empíricos, y/o combinados a partir de estas categorías.

El equipo de control electrónico, como ya se ha comentado al principio, puede estar configurado al menos parcialmente, pero en particular también completamente, como control integrado en el componente de la generación de aire comprimido, tratamiento de aire comprimido, almacenamiento de aire comprimido y/o distribución de aire comprimido. Sin embargo también es posible que esté configurado al menos parcialmente no dentro del componente de la generación de aire comprimido, tratamiento de aire comprimido, almacenamiento de aire comprimido y/o distribución de aire comprimido. Es posible por ejemplo que el equipo de control electrónico esté implementado al menos parcialmente en un control de orden superior, y concretamente por ejemplo en un control de orden superior de la instalación que comprende componentes de la generación de aire comprimido, tratamiento de aire comprimido, almacenamiento de aire comprimido y/o distribución de aire comprimido conectados entre sí y/o en un sistema (de dirección) de orden superior. Cada una o también todas las etapas de cálculo o evaluación pueden llevarse a cabo a este respecto también externamente en un centro de cálculo (data center) y/o en una nube.

No obstante, el equipo de control electrónico en un diseño posible puede constar también de una multitud de controles electrónicos conectados entre sí mediante intercambio de datos. En un diseño posible concreto los modelos están realizados exclusivamente en el equipo de control electrónico mismo. Sin embargo también es posible que los modelos estén distribuidos en una multitud de equipos de control electrónicos conectados entre sí mediante intercambio de datos.

La realización, preparación y/o uso de las evaluaciones puede estar realizados en el equipo de control electrónico mismo. No obstante, también es posible distribuir la realización, preparación y/o uso de las evaluaciones en una multitud de equipos de control electrónicos conectados mediante intercambio de datos, en particular también en la forma de que se realiza un proceso respectivo en cooperación de varios controles electrónicos conectados entre sí en el intercambio de datos.

En un diseño posible las evaluaciones constan total o parcialmente del análisis de modelos, en particular del análisis de modelos estructurales.

En un diseño posible de la presente invención las rutinas de evaluación que pueden realizarse en concreto comprenden la realización de simulaciones mediante cálculo o estimación del desarrollo en el tiempo de datos de funcionamiento, estados operativos y/o magnitudes de estado de los componentes, en particular mediante integración de tiempo numérica de ecuaciones de modelos.

En un diseño posible los datos de funcionamiento empleados y/o derivados en la realización de la evaluación, estados operativos y/o magnitudes de estado de los componentes, para los cuales no o todavía no están disponibles valores de medición/sensor, en el estado de mantenimiento, desgaste o envejecimiento del componente, y/o magnitudes de estado, para los que no pueden medirse o solo de manera limitada valores actuales y/o sus valores dependen de toda la evolución en el tiempo del funcionamiento del componente desde el último mantenimiento o puesta en marcha y/o magnitudes de estado, que pueden registrarse, en particular medirse directamente solo de manera inexacta, muy costosa y/o propensa a errores, en particular. En este sentido a través del concepto "sensor virtual" pueden realizarse las más diversas evaluaciones, sin que tengan que registrarse físicamente las magnitudes de estado propiamente dichas mediante sensores concretos.

En un diseño posible la configuración de los modelos puede realizarse de tal modo que mediante adaptación de la estructura de modelo dependiendo de los componentes parciales obtenidos en el componente según las circunstancias (opcionalmente) o que se encuentran en funcionamiento e incluye una parametrización. Según el fin de la evaluación los componentes parciales del componente durante la configuración de un modelo pueden dejarse de lado totalmente, representarse en un modelo parcial muy simplificado o también tenerse en cuenta en otro modelo parcial o en el modelo que va a configurarse mediante una parametrización.

En un diseño concreto la configuración de los modelos puede realizarse mediante adaptación de la estructura de modelo dependiendo de los componentes parciales obtenidos en el componente según las circunstancias (opcionalmente) o que se encuentran en funcionamiento, incluyendo la adaptación de la estructura de modelo, en particular una parametrización. Como se ha comentado al principio, uno o varios modelos de componente parcial pueden ser representativos para un componente parcial respectivo. Sin embargo también es posible que modelos

parciales se tomen de forma más amplia o más estrecha, es decir, que vayan más allá de la descripción de un componente parcial o menor medida que la estructura y/o reproduzcan el comportamiento de un componente parcial. En un diseño concreto, no obstante está previsto que la configuración de los modelos se realice enlazando modelos parciales, a los que están asociados componentes parciales, que siempre y/o según las circunstancias u opcionalmente están incluidos en el componente o están en funcionamiento.

En un diseño concreto la adaptación de la estructura de modelo puede realizarse mediante introducción manual, en particular en el equipo de control electrónico y/o mediante la transmisión de juegos de datos de configuración y de parametrización en el equipo de control electrónico y/o mediante autoaprendizaje mediante simulación a base modelos adaptados iterativamente y/o a base de un esquema R&I del componente almacenado en el control electrónico. El esquema R&I está realizado preferentemente como modelo estructural valorable automáticamente, por ejemplo como representación gráfica o lista de red.

La configuración de modelos físicos puede realizarse preferentemente a base modelos estructurales, en particular teniendo en cuenta esquemas R&I o a base de los esquemas R&I.

A este respecto es también posible que los esquemas R&I se adapten o se reconfiguren dependiendo de los componentes parciales incluidos en el componente según las circunstancias (opcionalmente) o que se encuentran funcionando.

En un diseño posible los resultados de las evaluaciones llevadas a cabo con uno o varios modelos se emplean para la inicialización de y/o como magnitudes de influencia predeterminadas para evaluaciones con otros modelos.

Preferentemente la configuración del tipo, del número, de la sucesión y/o de los escenarios de la evaluación comprende la realización simultánea o secuencial de varias evaluaciones para evoluciones alternativas futuras de magnitudes de influencia predeterminadas, particularmente de órdenes de control para la modificación del modo de funcionamiento o del estado operativo, ejecutándose a consecuencia de una valoración de los resultados de evaluación una selección de las evoluciones más favorables de magnitudes de influencia predeterminadas. A este respecto la selección de las evoluciones más favorables puede realizarse en un proceso de una etapa o de varias etapas. En particular es concebible descartar en una selección previa evoluciones relativamente desfavorables e incluir solo evoluciones relativamente más favorables en una última selección. En un diseño concreto de la presente invención la valoración de los resultados de evaluación y la selección de las evoluciones futuras más favorables de magnitudes de influencia predeterminadas se realiza utilizando al menos una función objetivo, que contiene uno o varios de los siguientes criterios:

- consumo de energía, coste de energía,
- valor máximo de la energía eléctrica consumida,
- número de las modificaciones de estado operativo,
- cantidad de calor perdido utilizable y/o nivel de temperatura del calor perdido,
- costes de mantenimiento provocados proporcionalmente en el horizonte de simulación,
- punto de rocío de presión,
- calidad de presión.

En un diseño posible concreto está previsto que el control y/o regulación del componente comprenda la implementación de las evoluciones más favorables seleccionadas de magnitudes de influencia predeterminada.

En un diseño preferido está previsto comparar las evoluciones en el tiempo, obtenidas a partir de evaluaciones para periodos de tiempo pasados o predeterminadas de otro modo, en particular calculadas, de datos de funcionamiento, estados operativos y/o magnitudes de estado del componente con valores de medición/sensor reales, actuales o históricos, en donde se emplean desviaciones entre resultados de evaluación y valores de medición/sensor para la detección y diagnóstico de funcionamientos incorrectos o defectos. De este modo es posible una detección y diagnóstico de funcionamientos incorrectos o defectos del componente muy universal y simultáneamente fiable.

En una configuración de la presente invención las rutinas de evaluación se inicializan, realizan, evalúan y emplean impulsadas por eventos. Hablando en general las rutinas de evaluación por tanto se accionan o ejecutan impulsadas por eventos, en donde a este respecto posiblemente no todas las etapas individuales se realizan impulsadas por eventos, se recurre por ejemplo a una inicialización ya dada, sin embargo la rutina de evaluación se realiza, se evalúa o se emplea impulsada por eventos. Igualmente es posible evaluar rutinas de evaluación ya realizadas solo impulsadas por eventos (sobre determinados criterios), etc. Sin embargo, los motivos para realizar rutinas de evaluación impulsadas por eventos no pueden ser por ejemplo, en modo alguno definitivos: El cambio de parámetros de influencia predeterminados, estados operativos y/o modos de funcionamiento del componente o un diagnóstico impulsado automáticamente, solicitado o impulsado de otro modo. Otros ejemplos para los eventos de este tipo son un funcionamiento incorrecto o la aparición de un defecto, se presenta una petición de un sistema de dirección, un usuario solicita una evaluación a través de la pantalla de visualización, el explotador solicita calor (utilización de la recuperación de calor), ...

- 5 No obstante en otra configuración las evaluaciones pueden llevarse a cabo, inicial izarse, evaluarse y emplearse también cíclicamente, en particular en el cálculo de acciones de ajuste con una frecuencia de $1 \cdot 10^{-3}$ s o por debajo hasta 1 min, de manera especialmente preferente de $2 \cdot 10^{-3}$ s a 10 s. Puede considerarse una evaluación con alta frecuencia por ejemplo, cuando se trata del cálculo de acciones de ajuste o de monitorización del componente, al menos en los casos, en los que los tiempos de reacción del sistema son relativamente cortos. En cambio se consideran frecuencias de evaluación bajas, cuando se trata de optimización. En este caso con frecuencia basta una frecuencia relativamente baja, por ejemplo un ciclo diario, semanal o mensual.
- 10 En particular en el cálculo de acciones de ajuste puede fijarse un horizonte de simulación según la necesidad y puede ascender por ejemplo de 1 s a 15 min, más en particular de 1 min a 5 min. No obstante en la evaluación, basándose en modelos sucede también que en determinados criterios de aborto también puede abortarse ya con previamente una simulación, sin que se recorra todo el horizonte de simulación, por ejemplo, cuando los parámetros y/o resultados abandonan una fase de trabajo predeterminada, se sitúan por encima o por debajo de un valor límite predeterminado y/o ya se alcanzaron un resultado deseado (por ejemplo superación/no alcanzar un valor límite, cumplimiento de una fase de trabajo objetivo, etc.).
- 15 En un diseño preferido pueden llevarse a cabo a petición evaluaciones especiales mediante un control electrónico de orden superior.
- 20 En el procedimiento previsto de acuerdo con la invención para el control, regulación, diagnóstico y/o monitorización de un componente de la generación de aire comprimido puede estar previsto convenientemente que en el marco del diagnóstico y/o para el control, regulación y/o monitorización también se realiza una determinación, facilitación, predicción u optimización de datos de funcionamiento, estados operativos, modos de funcionamiento, comportamiento de funcionamiento y/o repercusiones de funcionamiento. Por una optimización se entiende en general que datos de funcionamiento, estados operativos, modos de funcionamiento, comportamiento de funcionamiento y/o repercusiones de funcionamiento se mejoran con respecto a una situación dada hasta la fecha, sin que se alcance (ya) realmente un estado óptimo pretendido de todos modos.
- 25 Más en general cabe indicar que los aspectos descritos sin averías ventajosos pueden condicionar tanto un perfeccionamiento del equipo de control electrónico como un perfeccionamiento del procedimiento y en este sentido pueden transmitirse aspectos ventajosos descritos en relación con el equipo de control también al procedimiento o viceversa.
- 30 En una configuración igualmente preferida del procedimiento en el proceso de evaluación mediante los modelos también se toman y/o deducen datos de funcionamiento, estados operativos y/o magnitudes de estado de los componentes, para los cuales no o todavía no están disponibles valores de medición/sensor. En particular también el procedimiento de acuerdo con la invención puede recurrir a denominados sensores virtuales, es decir, a datos de funcionamiento, estados operativos, magnitudes de estado, que posiblemente serían mensurables físicamente, pero su factor no se registra físicamente, sino se deducen mediante uno o varios modelos.
- 35 En un diseño preferido adicionalmente, en el proceso de evaluación se llevan a cabo (también) simulaciones mediante cálculo de la estimación del desarrollo en el tiempo de datos de funcionamiento, estados operativos y/o magnitudes de estado de los componentes en particular mediante integración de tiempo numérica de ecuaciones de modelos.
- 40 Además en el procedimiento de acuerdo con la invención puede estar previsto que los resultados de las evaluaciones llevadas a cabo con uno o varios modelos se empleen para la inicialización de y/o como magnitudes de influencia predeterminadas para evaluaciones con otros modelos.
- 45 Según un aspecto posible, facultativo del procedimiento presente el proceso de evaluación se lleva a cabo durante el funcionamiento del componente. En particular el proceso de evaluación puede llevarse a cabo también simultáneamente para un funcionamiento del componente, en particular puede existir una interacción directa entre el funcionamiento del componente y la evaluación. En un diseño posible del procedimiento presente el proceso de evaluación para un determinado comportamiento de funcionamiento del componente se lleva a cabo mediante un modelo de componente en el tiempo antes del comportamiento de funcionamiento mencionado, durante el comportamiento de funcionamiento mencionado o posteriormente al comportamiento de funcionamiento mencionado. El proceso de evaluación puede estar antepuesto al comportamiento de funcionamiento, tener lugar simultáneamente al comportamiento de funcionamiento o realizarse posteriormente.
- 50 En un diseño posible facultativo está previsto que los datos de funcionamiento, estados operativos y/o magnitudes de estado de los componentes empleados y/o derivados en la realización de la evaluación, para los cuales no o todavía no están disponibles valores de medición/sensor,
- 55 - el estado de mantenimiento, desgaste o envejecimiento del componente,
- 60 - magnitudes de estado, para los que no pueden medirse o solo de manera limitada valores actuales, y/o sus valores dependen de toda la evolución en el tiempo del funcionamiento del componente desde el último mantenimiento o puesta en marcha, o
- 65

- magnitudes de estado, que pueden registrarse, en particular medirse directamente solo de manera inexacta, muy costosa y/o propensa a errores.

5 Además puede estar previsto que la configuración del tipo, del número, de la sucesión y/o de los escenarios de las evaluaciones comprenda la realización simultánea o secuencial de varias evaluaciones para evoluciones alternativas futuras de magnitudes de influencia predeterminadas, en particular de órdenes de control para la modificación del modo de funcionamiento o del estado operativo, y que a consecuencia de una valoración de los resultados de evaluación se efectúa una selección de las evoluciones más favorables de magnitudes de influencia predeterminadas.

10 En un diseño posible la valoración de los resultados de evaluación y la selección de las evoluciones futuras más favorables de magnitudes de influencia predeterminadas se realiza utilizando al menos una función objetivo, que contiene uno o varios de los siguientes criterios para el horizonte de simulación:

- consumo de energía, coste de energía,
- 15 - valor máximo de la energía eléctrica consumida,
- número de las modificaciones de estado operativo,
- cantidad de calor perdido utilizable y/o nivel de temperatura del calor perdido,
- costes de mantenimiento provocados proporcionalmente en el horizonte de simulación.

20 En un diseño preferido está previsto que las evaluaciones se lleven a cabo a petición mediante un control electrónico de orden superior. Es posible en particular en este sentido que el control electrónico de orden superior realice la petición y/o lleve a cabo también la evaluación. Un desarrollo a modo de ejemplo podría ser el siguiente:

25 Etapa 1: El control de orden superior realiza una petición para la evaluación (petición de evaluación)

Etapa 2: El control de componente lleva a cabo la evaluación.

Etapa 3 opcional: El resultado de evaluación se emplea por parte del control de componente y/o se transmite al control de orden superior.

30 El experto en la materia puede constatar si algunos elementos de la siguiente descripción no entran dentro del alcance de validez de las reivindicaciones. En caso de existir una discrepancia de este tipo esta divulgación ha de entenderse como mera información de apoyo, que no forma parte de la invención. La invención se define solamente por las reivindicaciones.

35 La invención se explica con más detalle a continuación también en cuanto a características y ventajas adicionales mediante la descripción de ejemplos de realización y con referencia a los dibujos adjuntos. En este sentido muestran:

40 Figura 1 diagrama para la ilustración esquemática de una simulación previa mediante un ejemplo de realización.

Figura 2 diagrama para la ilustración esquemática de una simulación en paralelo mediante un segundo ejemplo de realización.

45 Figura 3 diagrama para la ilustración esquemática de una simulación posterior mediante un tercer ejemplo de realización.

Figura 4 estructura e integración de un componente según la presente invención, en este caso concretamente de un compresor de hélice estacionario, de inyección de aceite.

50 Figura 5 un diagrama, que ilustra los diferentes estados operativos de un compresor de hélice estacionario, de inyección de aceite (estado de la técnica).

55 Figura 6 un diagrama, que ilustra la evolución en el tiempo de la energía eléctrica consumida de un compresor de hélice a modo de modelo.

Figura 7 ilustración del control de un compresor de hélice estacionario, de inyección de aceite (estado de la técnica).

60 Figura 8 un diagrama, que ilustra la relación principal entre grado de utilización y distancia óptima entre p_o y p_u .

Figura 9 una forma de realización de un modelo de simulación.

65 Figuras. 10-13 distintos ejemplos de realización posibles, de cómo puede procesarse un modelo estructural, en particular un modelo de simulación en un equipo de control.

- Figura 14 un diagrama, que ilustra diferencias de presión en el cambio de establecimiento de presión a funcionamiento con carga o en el cambio de funcionamiento con carga a disminución de presión.
- 5 Figura 15 una aproximación modelo de las circunstancias ilustradas en la figura 14.
- Figuras. 16-18 distintas formas de observación, con las que pueden valorarse o categorizarse los casos es lo que no se alcanza un límite inferior de presión p_{\min} .
- 10 Figura 19 la ilustración de un regulador para fijar un compromiso individual entre eficiencia energética y cumplimiento de límite de presión.
- Figura 20 un diagrama de flujo, que ilustra un ejemplo de realización de la presente invención, en el que se aplica un ciclo de algoritmos.
- 15 Figura 21 una ilustración de una forma de realización de un modelo según la presente invención.
- Figura 22 una ilustración de un ejemplo de realización de un modelo de simulación.
- 20 Figura 23 una ilustración de un ejemplo de realización de un modelo de simulación en paralelo.

A continuación va a indicarse más exactamente, lo que ha de entenderse por un modelo de un componente o qué aplicaciones son concebibles, cuando se ejecutan evaluaciones basándose en un modelo en un componente de la generación de aire comprimido, almacenamiento de aire comprimido y/o distribución de aire comprimido.

25 En general por un modelo ha de entenderse la simplificación o la reproducción simplificada de un sistema, es decir, en este caso concretamente un componente de la generación de aire comprimido, almacenamiento de aire comprimido y/o distribución de aire comprimido.

30 1. Propiedades de un modelo de un componente en general

a) La simplificación significa que el modelo en algunas propiedades/aspectos no coincide con el componente que va a evaluarse. Un modelo, que en todas propiedades/aspectos coincide con el componente que va a evaluarse no es ningún modelo del componente, sino el componente mismo que va a evaluarse.

35 b) Un modelo permite evaluar datos de funcionamiento, estados operativos, modos de funcionamiento, comportamiento de funcionamiento y/o repercusiones de funcionamiento de un componente, sin recurrir para este análisis al componente mismo. En este sentido es esencial que las propiedades/aspectos relevantes para la evaluación en cuestión del componente que va a evaluarse se reproduzcan con suficiente exactitud en el modelo en cuestión.

40 c) Dado que un modelo siempre representa una simplificación del componente que va a evaluarse, no puede haber "ese modelo" de un componente. Para un componente habrá siempre varios modelos o modelos parciales. A qué modelo se recurre para una evaluación, depende del objetivo de la evaluación (planteamiento). En este sentido puede ser que para distintos objetivos de evaluación pueda emplearse el mismo modelo. Así para un compresor de hélice estacionario, de inyección de aceite pueden crearse varios modelos:

- 45
- c.1. modelo del circuito de aceite
 - c.2. modelo del circuito de aire
 - 50 c.3. modelo térmico del motor de compresor
 - c.4. modelo de estado de funcionamiento
 - c.5....

55 En un modelo también pueden considerarse varios de los aspectos mencionados anteriormente.

Todos estos modelos describen diferentes propiedades/aspectos de un compresor de hélice estacionario, de inyección de aceite. Ninguno de estos modelos describe todas las propiedades/aspectos de un compresor de hélice estacionario, de inyección de aceite (sino serían un compresor de hélice estacionario, de inyección de aceite y no un modelo). De manera correspondiente para diferentes evaluaciones deben seleccionarse fundamentalmente diferentes modelos.

60 2. Los modelos procesan diferentes magnitudes de manera diferente

Los modelos pueden diferenciarse según, qué tipos de efectos describe el modelo.

65 a) Modelos físicos: Para la utilización de modelos en un control de componente es evidente los modelos describen efectos físicos, que aparecen en el funcionamiento del componente. Como ejemplos pueden mencionarse:

a.1. Control en tiempo real: aplicación múltiple de un modelo de simulación del componente para determinar acciones de ajuste por así decirlo óptimas para, con respecto a uno o varios efectos físicos, el funcionamiento óptimo del componente. -> Modelo de simulación previa

a.2. Monitorización: Ejecución continua de un modelo de simulación del componente para comparar la evolución de valor de medición esperada con la evolución de valor de medición observada realmente. Si el comportamiento (modelo) esperado y comportamiento observado realmente difieren significativamente, entonces puede deducirse un comportamiento erróneo del componente. -> Modelo de simulación en paralelo

a.3. Diagnóstico: aplicación múltiple de un modelo de simulación del componente para determinar, qué error de un componente que pueda simularse en el modelo coincide mejor con evoluciones de valor de medición registradas en el componente real antes de la aparición de un error. -> Modelo de simulación posterior

a.4. Sensores virtuales: En muchos casos técnicamente o económicamente no es posible, o al menos no vale la pena registrar en la máquina valores de medición, que pueden emplearse por ejemplo ventajosamente para el control. Mediante la aplicación de un modelo de simulación del componente, que se compara continuamente con el comportamiento real del componente, es posible determinar tales valores de medición. -> igualmente modelo de simulación en paralelo

b) Modelos monetarios: Para el explotador de un componente los efectos físicos en el componente son de interés solo indirectamente (realmente siempre solo cuando con algo pasa con el componente). De interés directo son modelos, que procesan magnitudes monetarias. Son por ejemplo concebibles las siguientes aplicaciones para este tipo de modelos:

b.1. Cálculo de coste de energía: A partir de la evolución en el tiempo del comportamiento del componente (registrado en el pasado o calculado mediante simulación previa) pueden calcularse los costes de energía para el funcionamiento del componente a partir de la energía eléctrica consumida a través de un modelo para los costes para energía eléctrica (modelo de tarifa de electricidad).

b.2. Cálculo de costes de mantenimiento: A partir de la evolución en el tiempo del comportamiento del componente (registrado en el pasado o calculado mediante simulación) pueden calcularse los costes para el mantenimiento del componente aplicando un modelo de mantenimiento.

b.2.1. En una variante sencilla se calculan los costes de mantenimiento a base las horas de servicio del componente.

b.2.2. En una variante más compleja los costes de mantenimiento se calculan a base de modelos de desgaste de las piezas de mantenimiento (estos consideran las condiciones del entorno físicas, bajo las cuales el componente se hace funcionar).

b.2.3. Es realmente interesante (pero también muy complejo), cuando en el caso de máquinas integradas en un sistema se tienen en cuenta el mantenimiento simultáneo de varios componentes (y con ello ahorro de costes de transporte).

b.3. Funcionamiento del componente de coste total óptimo: En el sentido de una optimización de costes sería interesante controlar y realizar un mantenimiento del componente de modo que los costes totales del componente se minimicen. Podría imaginarse que en un componente para el control existen grados de libertad, que permiten un funcionamiento con poco desgaste y eficiente energéticamente. En compresores de hélices estacionarios, de inyección de aceite con recuperación de calor (WRG, por sus siglas en alemán) por ejemplo la temperatura VET (VET = temperatura fina de compresor) podría ser tal grado de libertad. Cuanto más alta sea la VET, más alto será el rendimiento de calor potencial mediante la WRG. Cuanto más alta sea la VET, con más rapidez podría desgastarse por ejemplo el aceite. Mediante un cálculo de recuperación WRG con los costes de mantenimiento de aceite puede calcularse una VET óptima en cuanto a costes.

c) Modelos valorados: Para la minimización de los costes de mantenimiento de un componente pueden emplearse modelos valorados. Por modelos valorados han de entenderse modelos, que contienen de una u otra manera valoraciones subjetivas de magnitudes físicas o monetarias (ejemplo en este caso es la presión acústica valorada). Los modelos de desgaste para componentes o sustancias operacionales son por ejemplo para modelos valorados.

c.1. Ejemplo filtro de aire en compresores de hélice estacionarios, de inyección de aceite:

c.1.1. Variante primitiva: El grado de desgaste del filtro de aire se calcula fácilmente a base de las horas de servicio del compresor. Si se ha alcanzado un valor umbral para las horas de servicio, debe cambiarse el filtro.

c.1.2. Variante algo más compleja: El grado de desgaste de un filtro se indica en un campo característico a través del caudal volumétrico y diferencia de presión. El campo característico se determina empíricamente.

c.2. Ejemplo de aceite en compresores de hélice estacionarios, de inyección de aceite:

c.2.1. Variante primitiva: El grado de desgaste del aceite se calcula fácilmente a base de las horas de servicio del compresor. Si se ha alcanzado un valor umbral para las horas de servicio, debe cambiarse el aceite.

5 c.2.2. Variante compleja: El desgaste del aceite se calcula dependiendo de la VET, por ejemplo como integral de la VET a lo largo del tiempo. Si la superficie VET- tiempo supera un valor umbral predeterminado, debe cambiarse el aceite.

10 d) Los modelos lógicos reproducen el comportamiento de algoritmos de control ("correspondencia de la técnica de control con respecto a modelos físicos")

e) Los modelos estocásticos reproducen hechos que pueden describirse determinísticamente.

15 3. Los modelos describen diferentes hechos

Los modelos pueden diferenciarse según, lo que se describa mediante el modelo.

20 a) Un modelo puede describir informaciones sobre la estructura de un componente. Así con un esquema R&I puede describirse de qué componentes parciales consta un componente y cómo los componentes parciales están unidos entre sí en el componente. De la lista de piezas de un componente sigue pudiendo determinarse, de qué componentes parciales consta un componente. En este sentido puede recurrirse a un esquema R&I y/o una lista de piezas para crear un modelo. Los modelos, que contienen informaciones de infraestructura, son muy adecuados como modelos de partida. Mediante aplicación de algoritmos de análisis a partir de modelos de partida pueden deducirse nuevos modelos.

25 b) Un modelo puede describir informaciones sobre el comportamiento de un componente.

30 b.1. Los modelos estáticos describen el comportamiento de un componente en un punto de funcionamiento dado dejando de lado operaciones transitorias que describen, cómo ha llegado el componente al punto de funcionamiento. Los modelos estáticos son directamente accesibles para una valoración en muchos casos (planteamiento por ejemplo ¿punto de funcionamiento con el mejor rendimiento específico?).

35 b.2. Los modelos dinámicos describen el comportamiento del componente a lo largo del tiempo (comportamiento transitorio). Estos modelos suministran evoluciones de valor de medición, que no son directamente accesibles para una valoración. Las evoluciones de valor de medición deben calcularse inicialmente en índices, antes de que sea posible una valoración (mediante los índices).

40 4. Aplicación de modelos

Los modelos pueden aplicarse/ejecutarse de distintos modos en un control de un componente. El modo de aplicarse/ejecutarse un modelo, depende también del tipo del modelo.

45 a) Los modelos pueden emplearse para deducir nuevos modelos. En particular los modelos con información de estructura (por ejemplo esquemas R&I) son candidatos para modelos, a partir de los cuales se deducen nuevos modelos. La derivación sucede al interpretar un algoritmo de análisis el modelo de partida y al generarse un nuevo modelo aplicando el conocimiento depositado en el algoritmo de análisis.

50 b) Los modelos pueden emplearse para imitar el comportamiento de un componente. En este caso se emplea el modelo como modelo de simulación, para calcular un comportamiento del componente posible en el futuro u observado en el pasado como evolución en el tiempo. Mediante un núcleo de algoritmos se decide qué simulaciones se llevan a cabo con el modelo de simulación y cómo se interpretan los resultados de simulación.

55 c) Los modelos pueden emplearse también directamente para la optimización. Para ello debe existir un procedimiento de optimización para el tipo del modelo, que pueda analizar el modelo directamente en cuanto a un planteamiento dado. Las curvas características sencillas son un ejemplo para tales modelos (por ejemplo rendimiento específico a través de grado de utilización).

60 d) Es especialmente interesante una aplicación de modelos combinada.

d.1. A partir de un esquema R&I del componente (modelo de partida) se deduce un modelo de simulación del componente.

65 d.2. Mediante el modelo de simulación previa se determina cómo el componente se hace funcionar bajo determinadas condiciones marginales. El resultado de la simulación previa es la evolución en el tiempo de magnitudes de medición en el componente.

d.3. Mediante la evolución en el tiempo de magnitudes de medición del componente, averiguados mediante

simulación previa, mediante aplicación de modelos de desgaste para piezas de mantenimiento se determinan los costes de mantenimiento para el funcionamiento para los próximos meses.

5. Tres escenarios de aplicación para modelos (modelos de comportamiento)

5

a) Simulación previa

10

En caso de un compresor de hélice estacionario, de inyección de aceite con arranque de estrella triángulo la presión en la salida de compresor debe mantenerse por encima de 6,5bar y por debajo de 8bar. Mediante la aplicación de un modelo (modelo de simulación) partiendo del estado actual del compresor y de la presión en la caldera suponiendo una evolución de consumo de aire comprimido constante se determina en qué presión de desconexión superior se produce el mejor rendimiento específico. Para ello se reflejan distintas alternativas, compárese figura 1. Los resultados de simulación se emplean entonces (de manera útil también solo se determinan), cuando el compresor se encuentra bajo carga:

15

- si la presión actual se sitúa por debajo de la presión de desconexión con el mejor rendimiento específico, el compresor permanece bajo carga.
- si la presión actual se sitúa por encima de la presión de desconexión con el mejor rendimiento específico, el compresor sale de la carga.

20

Respuesta a las preguntas:

25

- ¿Qué es el momento inicial? Presente
- ¿Qué es el valor inicial de las magnitudes de estado? Es el estado de compresor real (por ejemplo compresor en carga; presión interna 7,2bar; Tiempo de encendido de motor de compresión 403 segundos; Presión en la caldera 7,0bar = presión en la salida de compresor)
- ¿Qué periodo de simulación se evalúa? 10 minutos (fijación arbitraria) -> horizonte de simulación completo
- ¿Qué transcurso de tiempo de las magnitudes de entrada marco? El consumo de aire comprimido constante (por ejemplo determinado a partir del gradiente de presión en el pasado)

30

- ¿Qué parámetros de modelo se emplean?

- o Volumen (eficaz) del acumulador de aire comprimido
- o cantidad suministrada del compresor predeterminado por el usuario como valor característico
- o energía funcionamiento con carga y funcionamiento en vacío predeterminada por el usuario como valor característico

35

b) simulación en paralelo (o "simulación simultánea")

40

En el caso de un compresor de hélice estacionario, de inyección de aceite debe estimarse el contenido de humedad en el aceite. Para ello se emplea un modelo del circuito de aceite/aire combinado. El modelo se ejecuta simultáneamente, es decir, tiempo real y tiempo de simulación discurren sincrónicamente, compárese figura 2. El modelo de simulación se inicia una vez y transcurre entonces inicialmente sin limitaciones.

45

Respuesta a las preguntas:

50

- ¿Qué es el momento inicial? Es el momento en el que el control comienza a trabajar.
- ¿Qué es el valor inicial de las magnitudes de estado? La masa de agua en el circuito de aceite asciende al 10 % de la masa de aceite en el circuito de aceite (fijación arbitraria, pensamiento conservador: el compresor la última vez no marchó en seco)
- ¿Qué periodo de simulación se evalúa? El periodo de simulación evaluado comienza en el momento, en el que el control comienza a trabajar y termina, cuando el control deja de trabajar (pérdida del suministro de tensión)
- ¿Qué transcurso de tiempo de las magnitudes de entrada marco?

55

- o temperatura de aspiración actual
- o presión interna actual
- o VET actual
- o velocidad de giro de compresor actual

60

- ¿Qué parámetros de modelo se emplean?

- o volumen de aceite en el circuito de aceite
- o humedad del aire relativa del aire aspirado

65

En este sentido según un aspecto facultativo de la presente invención también se propone determinar den contenido de humedad en el aceite mediante aplicación de un modelo de simulación.

A continuación va a explicarse más detalladamente un modelo para estimar el contenido de humedad en el aceite en un compresor de hélice estacionario, de inyección de aceite:

A este respecto se parte de un diseño del compresor de hélice en el que se introduce una válvula de control eléctrica en el circuito de aceite. La válvula de control eléctrica ofrece a control la posibilidad de influir en la potencia de refrigeración de la instalación. El objetivo de la influencia es evitar la formación de condensado en el compresor de hélice, acelerar la descarga de condensado y que el nivel de temperatura en el circuito de aceite no sea innecesariamente alto.

Las magnitudes de presión empleadas en el modelo han de entenderse como presión absoluta. En puntos en los que se emplea la sobrepresión con respecto al ambiente, esto se marca mediante una formación de diferencia de presión explícita. Las temperaturas empleadas en las ecuaciones son temperaturas absolutas (unidad "Kelvin").

En la formación de modelos se ejecutaron drásticas simplificaciones con respecto al proceso real (compresor de hélice):

- El caudal volumétrico de aire de entrada en el compresor de hélice es igual al caudal volumétrico de aire de salida (con respecto a condiciones ambiente).
- El contenido de agua del circuito de aceite varía solo en el estado operativo carga.
- El caudal másico de agua que sale del compresor de hélice depende exclusivamente de la presión interna y de la temperatura interna.
- La dependencia del contenido de agua del circuito de aceite (en presencia de agua o la cantidad en circulación de aceite (entre contenedor de separación de aceite y bloque de compresor) no se tiene en cuenta.

Se sobreentiende que también pueden fijarse modelos modificados, que no efectúan las simplificaciones anteriores.

Para la determinación del contenido de agua del circuito de aceite en compresores de hélice de inyección de aceite se crea un modelo del compresor de hélice monolítico. El modelo forma el circuito de aceite de un compresor de hélice de inyección de aceite de modo muy simplificado. El modelo sirve para estimar la masa de agua no mensurable por falta de sistema de sensores en el circuito de aceite. Para ello se estiman las corrientes de agua tampoco mensurables en los límites de sistema (entorno y red de aire comprimido) mediante magnitudes medidas. Mediante un balance de las corrientes de agua en los límites de sistema y la suposición de un contenido de agua inicial determinado en el circuito de aceite el contenido de agua puede determinarse de este modo. Se tienen en cuenta solo los efectos, que son absolutamente necesarios para estimar el contenido de agua. La figura 21 muestra la estructura del modelo:

El núcleo del modelo lo forma el compresor de hélice. En el compresor de hélice tiene lugar el equilibrio de las corrientes de agua. Para ello la masa de agua que entra del ambiente en el compresor de hélice \dot{m}_1 se calcula con la masa de agua que sale del compresor de hélice hacia la red de aire comprimido \dot{m}_2 . La diferencia forma la variación de la masa de agua almacenada en el circuito de aceite m_{H_2O} (véase Fórmula 1).

$$\frac{dm_{H_2O}}{dt} = \dot{m}_1 - \dot{m}_2 \quad \text{Fórmula 1}$$

La masa de agua que entra desde el ambiente en el compresor de hélice \dot{m}_1 se determina a partir del caudal volumétrico de aire \dot{V}_1 aspirado. El flujo volumétrico de aire aspirado depende de la velocidad de giro n del compresor y de la diferencia de presión entre lado de aspiración y lado de alta presión del bloque de hélice. Para simplificar se supone que la diferencia de presión puede determinarse mediante medición de la presión interna al compresor p_i y de la presión ambiente p_{amb} (véase Fórmula 2). La relación exacta entre caudal volumétrico, velocidad de giro y diferencia de presión es específica del compresor y se aproxima mediante una curva característica, que puede determinarse por ejemplo en el marco de las mediciones de instalaciones prototipo.

$$\dot{V}_1 = f(n, p_i - p_{amb}) \quad \text{Fórmula 2}$$

Para el cálculo del caudal másico de agua aspirado se calcula el caudal volumétrico de aire empleando la ecuación de Clausius-Clapeyron y asumiendo un calor de vaporización constante específico para agua con la humedad de aire relativa ρ y la temperatura de aspiración T_{amb} (véase Fórmula 3).

$$\dot{m}_1 = \rho * \frac{E_s(273,15K) * e \left(\frac{q_c}{R_w} \left(\frac{1}{273,15K} - \frac{1}{T_{amb}} \right) \right)}{R_w * T_{amb}} * \dot{V}_1 \quad \text{Fórmula 3}$$

La fórmula es válida para temperaturas ambiente entre 0 °C y 100 °C. Las magnitudes empleadas tienen el siguiente significado:

- $E_s(273,15K) = 6,1 \text{ mbar}$: La presión de saturación de vapor a 0 °C (273,15 K)
- $q_c = 2410 \frac{kJ}{kg}$: El calor de vaporización específico de agua
- $R_w = 0,462 \frac{kJ}{kg * K}$: La constante de gas específica de agua

kg*K

5 La masa de agua \dot{m}_2 saliente se determina mediante la capacidad de absorción máxima del caudal volumétrico de aire que sale del compresor de hélice hacia la red de aire comprimido \dot{V}_2 . En este sentido se cumple (como suposición simplificada en este modelo), que el caudal volumétrico de aire saliente (con respecto a condiciones ambientales) corresponde igualmente al caudal volumétrico de aire entrante (con respecto a condiciones ambientales) (véase Fórmula 4).

10
$$\dot{V}_2 = \frac{p_{amb}}{p_i} * \dot{V}_1$$
 Fórmula 4

Inicialmente el caudal másico de agua $\dot{m}_{100\%}$, se forma asumiendo una humedad del aire relativa de 100 % en la temperatura en el contenedor de separación de aceite T_i , (véase Fórmula 5). La fórmula 5 se basa en el mismo principio físico que la fórmula 3.

15
$$\dot{m}_{100\%} = \frac{E_s(273,15K) * e^{\left(\frac{q_c}{R_W} * \left(\frac{1}{273,15K} - \frac{1}{T_i}\right)\right)}}{R_W * T_i} * \dot{V}_2$$
 Fórmula 5

20 El caudal másico de agua $\dot{m}_{100\%}$ representa solo una magnitud auxiliar y no el caudal másico de agua propiamente dicho desde el compresor de hélice. Pues en el cálculo no se tuvo en cuenta, si en ese momento se introduce agua en el compresor de hélice ($\dot{m}_1 > 0$) o si en el circuito de aceite existe agua ($m_{H_2O} > 0$). El agua ausente no puede retirarse del compresor de hélice. Por lo tanto para el cálculo ha de realizarse dado el caso una corrección (véase Fórmula 6). La fórmula 6 garantiza que nunca se encuentre menos de "nada de" agua en el circuito de aceite.

25
$$\dot{m}_2 = \begin{cases} \dot{m}_1, & \text{si } \dot{m}_{100\%} > \dot{m}_1 \text{ y } m_{H_2O} = 0 \\ \dot{m}_{100\%}, & \text{si no} \end{cases}$$
 Fórmula 6

30 El modelo representado anteriormente presupone el conocimiento de magnitudes, que no (puedan medirse) se midan en cada tipo de compresor. Estas magnitudes deben calcularse o predeterminarse fácilmente a partir de otras magnitudes medidas. Para alguna de las magnitudes se explica a continuación, cómo podría determinarse o fijarse su valor.

35 Generalmente no está previsto, medir la humedad del aire relativa del aire ambiente aspirado. La humedad del aire relativa debe especificarse como constante. En el sentido de un diseño del sensor de contenido de agua virtual para el peor de los casos, para la humedad del aire relativa podría fijarse un valor de 100 %. Alternativamente es concebible parametrizar el valor a través del menú.

40 La velocidad de giro del bloque de condensador puede suponerse como proporcional a la velocidad de giro del motor. En compresores de hélice con convertidores de frecuencia (FU) la velocidad de giro del motor en el tiempo de funcionamiento puede leerse del FU. En compresores sin FU la velocidad de giro del motor debe estimarse. Una estimación sencilla sería la especificación de la velocidad de giro del motor o de la velocidad de giro de bloque de compresor mediante parámetros de control. En este sentido debe tenerse en cuenta la frecuencia de red (50 Hz o 60 Hz), el número de pares de polos del motor y una relación de transmisión (en instalaciones con accionamiento por correa).

45 No todos los compresores de hélice disponen de un sensor para la medición de la presión interna de compresor p_i (presión en el ÖAB). Para el caso de que p_i no pueda leerse directamente, se emplea como aproximación la presión de red p_N (siempre medida). A este respecto p_N se corrige a través de un aumento para la caída de presión a través del refrigerador de aire Δ_N (por ejemplo 0,5 bar). El sumando de corrección Δ_N depende del tipo de compresor y puede ajustarse a través de un parámetro de control.

50 En el caso de que en el compresor no esté presente sensor alguno para registrar la temperatura en el contenedor de separación de aceite T_i , se emplea la temperatura final de compresión T_{ADT} , provista de una reducción ΔT (z.B: 5 K), para la estimación de T_i . La reducción de temperatura ΔT depende del tipo de compresor y puede ajustarse a través de un menú de parámetros.

55 Un ejemplo de aplicación adicional es una simulación en paralelo para fines de monitorización: El modelo de simulación acompañante se alimenta mediante magnitudes de influencia (por ejemplo estado operativo actual y cambio de estado, temperatura ambiente, presión de red) y genera otras magnitudes de estado. Entre ellas se encuentran aquellas para las que existen valores reales, y aquellas, para los que faltan valores reales.

60 Los valores de medición reales disponibles se comparan con los valores correspondientes del modelo de simulación. La desviación entre ambos en la superación de ciertos valores umbral lleva a mensajes de aviso o de error, eventualmente- según ajuste previo, especificación o valoración, también para la desconexión del componente.

Por ello puede reaccionarse de manera no específica a desviaciones de comportamiento "normal" (que corresponde, por ejemplo al modelo correspondiente sin averías), pudiendo ser esta desviación la consecuencia de problemas, para los cuales no hay ninguna etapa de evaluación definida especialmente de una o varias señales de sensor, por ejemplo porque la etapa de evaluación no se conoce o no hay los sensores necesarios en el componente.

Ejemplo de aplicación: La diferencia de presión de un filtro aumenta mediante la suciedad en un intervalo inadmisibles. Para el filtro no hay ningún conmutador o sensor de presión diferencial. Aunque el incremento de la presión diferencial lleva a una mayor energía consumida y/o a través de una contrapresión interna superior a una temperatura elevada, en donde para estas magnitudes se presentan dado el caso valores de sensor, que pueden compararse con los valores del modelo de simulación. Pueden detectarse averías en uno de los lugares mediante comparación de valores de sensor y de modelo en otro lugar. Esto funciona específicamente (una energía consumida más elevada puede significar suciedad del o de los filtros...) o no específicamente ("vago, lo que significa, pero no representa una anomalía inesperada, lo mejor es desconectar el componente y se lleva a cabo un diagnóstico de errores manual, automático o parcialmente automático.").

Puede reaccionarse a cada rasgo de un comportamiento de componente "no plausible", sin que anteriormente se conozca un rasgo concreto de una avería definida exactamente y tenga que implementarse una función de monitorización.

c) Simulación posterior

En un compresor de hélice estacionario, de inyección de aceite la monitorización de VET ha emitido un aviso tras el arranque del motor de compresor, es decir la monitorización VET ha detectado que la VET (temperatura de compresor) ha superado un valor umbral parametrizado previamente de por ejemplo 110 °C. Mediante una simulación posterior debe determinarse la causa para el aviso de la monitorización VET. Se conocen dos causas potenciales:

- El accionamiento de la válvula de control eléctrica ha fallado
- El motor de ventilador ha fallado

Para facilitar el trabajo del personal de servicio y mantenimiento, debe probarse automáticamente, si una de las dos causas mencionadas anteriormente, y cuál de ellas es relevante en el presente caso.

El modelo de simulación posterior imita el circuito de aceite/aire del compresor. Para el diagnóstico el modelo de simulación posterior se inicializa con el estado observado realmente en el compresor antes del inicio del motor de compresor. Partiendo de este estado inicial (estado de inicio) la simulación posterior determina la evolución de la VET a lo largo del tiempo. Al modelo de simulación posterior puede comunicarse a través de un parámetro, si debe reproducirse el comportamiento en caso de un accionamiento averiado o en caso de un motor de ventilador averiado. En el ejemplo presente, por tanto se simulan posteriormente por tanto dos distintas evoluciones alternativas. En la primera simulación posterior el modelo se configura de modo que se reproduce el comportamiento del circuito de aceite-aire combinado en caso de un accionamiento eléctrico defectuoso de la válvula térmica (accionamiento detenido). En la segunda simulación posterior el modelo se configura de modo que se reproduce el comportamiento del circuito de aceite-aire combinado en caso de un motor de ventilador defectuoso (motor de ventilador detenido).

Mediante la evaluación del modelo en la figura 3 en las dos configuraciones diferentes resultan dos diferentes evoluciones en el tiempo de la VET, como se representa en la Figura. Si se compara la evolución de la VET real registrada ahora (continuamente en negro) con la evolución de la VET determinada mediante evaluación del modelo en caso de un accionamiento de válvula defectuoso (escenario 1) y la evolución de la VET también determinada mediante evaluación del modelo en caso de un accionamiento de ventilador defectuoso (escenario 2), entonces se constata que la evolución de VET en caso de un accionamiento defectuoso de la termoválvula coincide mejor con la evolución de la VET observada realmente, de lo que es el caso en el accionamiento de ventilado defectuoso. De ello puede deducirse que, entonces, solo se considera un accionamiento defectuoso de la termoválvula como una de las dos causas de error conocidas.

d) Consideraciones generales sobre simulaciones

Simulación posterior:

- La simulación posterior no necesita llevarse a cabo inmediatamente, cuando aparece el error que va a analizarse.
- La simulación posterior puede comenzar en el pasado y terminar en el pasado.
- El comienzo en el pasado se acopla al evento relevante para el análisis (por ejemplo arranque del motor de compresor).
- En el caso de la simulación posterior pueden calcularse pasados alternativos. Pueden compararse entre sí por tanto un comportamiento simulado y un comportamiento realmente observado. A este respecto la comparación puede comprender una comparación entre un comportamiento simulado y comportamiento observado realmente. Preferentemente sin embargo, la comparación comprende la comparación de varios comportamientos simulados

alternativos con el comportamiento observado realmente.

- En el caso de la simulación posterior el punto de tiempo inicial se refiere al pasado.

Simulación en paralelo:

- Tiempo real y tiempo simulado transcurren sincrónicamente -> misma velocidad.
- La inicialización se realiza una vez por regla general en el inicio del control (o dado el caso reinicialización en determinados eventos).
- La evaluación dura generalmente, el tiempo que está en marcha el control.

Simulación previa:

- En el caso de la simulación previa se calcula un futuro posible. No hay una correspondencia para ello en la realidad (dado que el futuro real todavía no ha sucedido).
- En el caso de la simulación previa el punto de tiempo inicial se refiere al pasado real.

En general:

- La simulación se lleva a cabo siempre en el presente.
- En el caso de simulación previa y simulación posterior el tiempo real y tiempo simulado (con respecto a tiempo real) transcurren a diferente velocidad. El tiempo simulado transcurre de modo claramente más rápido (con respecto a tiempo real). En la simulación previa esto es indispensable. En la simulación posterior esto será generalmente el caso - ya debido a la alta potencia del proceso de cálculo disponible hoy en día. No obstante, también es posible que el tiempo simulado transcurra más lentamente o de acuerdo con el periodo simulado posteriormente.

6. "Componente de la generación de aire comprimido, tratamiento de aire comprimido, almacenamiento de aire comprimido y/o distribución de aire comprimido", así como la asociación/disposición del o de los controles respectivos del o de los componentes

A continuación van a representarse ahora algunos ejemplos de realización más, en los que se consultan modelos de los componentes directamente para un mejor control del componente. Como componente que va a controlarse se tomará como base un compresor de hélice estacionario, de inyección de aceite, que a través de componentes del tratamiento de aire comprimido (en este caso filtro y secador) transporta aire comprimido a un acumulador de aire comprimido, a través del cual se suministra una red de aire comprimido con aire comprimido. La estructura resultante del compresor de hélice, que en este caso va a tomarse como base como componente, está representada en la figura 4.

Un compresor de hélice 11 forma junto con otros componentes, en concreto un secador 12, un filtro 13 así como un acumulador de aire comprimido 14 en cada caso un componente de una instalación de compresor, que suministra a una red de aire comprimido 15 aire comprimido de una presión determinada a un punto de entrega 16 entre acumulador de aire comprimido 14 y red de aire comprimido 15. El compresor de hélice 11 como componente observado a modo de ejemplo en este caso presenta por sí mismo una multitud de componentes parciales generalmente integrados, concretamente en el lado de entrada inicialmente un filtro de aire 17, un condensador 19 accionado a través de un motor 18, un contenedor de separación de aceite 20, una válvula de retención de presión mínima 21, un refrigerador de aire 22 así como una salida de compresor 23. Los componentes parciales anteriormente mencionados están dispuestos en el orden mencionado en serie entre sí partiendo de una entrada de compresor 24. Entre filtro de aire 17 y condensador 19 está prevista también una válvula de entrada 25 asociada al condensador. Finalmente, está prevista también una línea de derivación 26 con una válvula de aireación 27 con un punto de ramificación 28 aguas arriba de la válvula de entrada 25 y un punto de conexión 29 aguas abajo del contenedor de separación de aceite 20.

El objetivo del control consiste en mantener la presión p en el punto de entrega 16 entre acumulador de aire comprimido 14 y red de aire comprimido 15 por encima de una presión mínima p_{min} y por debajo de una presión máxima p_{max} , y a este respecto minimizar el consumo de energía eléctrica del componente (del compresor de hélice 11). Entre salida del componente 11 y el acumulador de aire comprimido 14 - como ya se ha comentado- están situados también componentes del tratamiento de aire comprimido, que proporcionan una disminución de presión, que repercute aumentando el consumo de energía eléctrica del componente (del compresor de hélice).

El modo de funcionamiento tomado como base de un compresor de hélice estacionario, de inyección de aceite puede describirse mediante los estados operativos ilustrados en la figura 5. La siguiente descripción es válida en particular para compresores de hélice estacionarios de inyección de aceite con arranque de estrella triángulo. En compresores de hélices estacionarios, de inyección de aceite con convertidor de frecuencia la descripción es válida eventualmente solo en una extensión limitada.

En el estado operativo "parada" el accionamiento de condensador se detiene, la válvula de entrada está cerrada, la válvula de aireación está abierta y el contenedor de separación de aceite no tiene presión, por tanto la válvula de

retención de presión mínima está cerrada. El compresor de hélice no consume energía eléctrica y no proporciona aire comprimido.

A través del estado operativo "arranque de motor" el compresor de hélice puede trasladarse al estado operativo "funcionamiento en vacío". En el estado operativo "arranque de motor" se inicia el accionamiento de condensador y se lleva a una velocidad de giro operativa. La válvula de entrada permanece cerrada y la válvula de aireación permanece abierta. A través de una pequeña perforación en la válvula de entrada el aire comprimido generado por el condensador que gira se transporta a través del contenedor de separación de aceite y la válvula de aireación se transporta en el circuito. Mediante el dimensionamiento de la perforación en la válvula de entrada y la sección transversal de la válvula de aireación en el estado operativo "arranque de motor" se establece en el contenedor de separación de aceite una presión de aproximadamente 1,5 bar. Dado que la válvula de retención de presión mínima solo se abre a aproximadamente 4 bar, no se entrega aire comprimido alguno a la red de aire comprimido, el compresor de hélice sin embargo consume energía eléctrica. El estado operativo "arranque de motor" dura normalmente de 4s a 10s. Después el compresor de hélice se encuentra en el estado operativo "funcionamiento en vacío".

En el estado operativo "funcionamiento en vacío" las posiciones de válvula son idénticas a las de en el estado operativo "arranque de motor". También el accionamiento de condensador sigue girando invariable. La presión en el contenedor de separación de aceite permanece en aproximadamente 1,5 bar. El estado operativo "funcionamiento en vacío" es necesario, dado que el accionamiento de condensador puede iniciarse dentro de una hora normalmente solo d 4 veces a 15 veces (debido a la carga térmica de los devanados de motor mediante la corriente de arranque). Para poder generar en cualquier momento en caso necesario aire comprimido, el compresor de hélice permanece en el estado operativo "funcionamiento en vacío", hasta que después de una desconexión del accionamiento de condensador (cambio al estado operativo "parada") sea posible un "arranque de motor" directamente siguiente, sin superar el número máximo permitido de arranques del accionamiento de condensador por hora. La energía consumida en el estado operativo "funcionamiento en vacío" corresponde a aproximadamente 20 % a 30 % de la energía consumida en el estado operativo "funcionamiento con carga".

Siempre y cuando exista demanda de aire comprimido, partiendo del estado operativo "funcionamiento en vacío" pasando por el estado operativo "establecimiento de presión" puede alcanzarse el estado operativo "funcionamiento con carga". En el estado operativo "disminución de presión" la válvula de entrada está abierta y la válvula de aireación está cerrada. Mediante la válvula de entrada abierta se aspira aire del ambiente que debido a la válvula de aireación cerrada en el contenedor de separación de aceite proporciona una presión en aumento. Tan pronto como la presión en el contenedor de separación de aceite sobrepase 4 bar y sea más alta que la presión aguas abajo de la válvula de retención de presión mínima, la válvula de retención de presión mínima se abre. Con ello se alcanza el estado operativo "funcionamiento con carga".

En el estado operativo "funcionamiento con carga" la válvula de entrada permanece abierta y el aire circula a través del refrigerador de aire desde el compresor de hélice hacia los componentes del tratamiento de aire comprimido. Siempre y cuando exista la demanda de generación de aire comprimido adicional, el compresor de hélice permanece en el estado operativo "carga". Si generación de aire comprimido debe ajustarse, el compresor de hélice cambia a través del estado operativo "disminución de presión" al estado operativo "funcionamiento en vacío".

En el estado operativo "disminución de presión" la válvula de entrada está cerrada y la válvula de aireación está abierta. La presión en el contenedor de separación de aceite se reduce a lo largo de un periodo de aproximadamente 15s a 30s a una presión de aproximadamente 1,5 bar. El compresor de hélice se encuentra de nuevo en el estado operativo "funcionamiento en vacío".

El compresor de hélice permanece en el estado operativo "funcionamiento en vacío", hasta que el accionamiento de compresor pueda detenerse y pueda iniciarse inmediatamente de nuevo (-> número de arranques de motor permitidos) o exista nueva demanda para la generación de aire comprimido y el compresor de hélice cambie al estado operativo "establecimiento de presión", para alcanzar el estado operativo "carga".

La energía eléctrica consumida del compresor de hélice varía de estado operativo a estado operativo. La energía eléctrica consumida puede describirse esencialmente mediante la potencia de funcionamiento en vacío y potencia de funcionamiento con carga, que habitualmente están incluidas en hojas de datos. La figura 6 muestra en forma estilizada la evolución en el tiempo de la energía eléctrica consumida dependiendo del estado operativo.

- En el estado operativo 1 "parada" el compresor de hélice no consume ninguna energía eléctrica.
- En el estado operativo 2 "arranque de motor" adicionalmente a la potencia de funcionamiento en vacío se produce también la potencia de aceleración para los rotores del condensador y el rotor del motor asíncrono.
- En el estado operativo 3 "funcionamiento en vacío" se produce la potencia de funcionamiento en vacío. La potencia de funcionamiento en vacío asciende normalmente entre 20 % y 30 % de la potencia de funcionamiento con carga.
- En el estado operativo 4 "establecimiento de presión" adicionalmente a la potencia de funcionamiento en vacío se produce la potencia de establecimiento de presión para el establecimiento de la presión en el contenedor de separación de aceite.
- En el estado operativo 5 "funcionamiento con carga" se produce la potencia de funcionamiento con carga. La

potencia de funcionamiento con carga depende de la presión a la salida del compresor de hélice y aumenta con presión creciente en la salida del compresor de hélice (con aproximadamente 6 % por cada bar).

- En el estado operativo 6 "disminución de presión" adicionalmente a la energía funcionamiento en vacío se produce la potencia de disminución de presión. La potencia de disminución de presión puede atribuirse a la presión en el contenedor de separación de aceite que debe disminuir solo antes de que se produzca la potencia de funcionamiento en vacío.

Las potencias que se producen en los estados operativos "arranque de motor", "establecimiento de presión" y "disminución de presión" puede interpretarse a lo largo del tiempo integradas como trabajo de aceleración, trabajo de establecimiento de presión o.

Trabajo de disminución de presión que se producen adicionalmente al trabajo de funcionamiento en vacío. Expresado como equivalente en el tiempo para el funcionamiento del compresor en una presión nominal en el estado operativo "funcionamiento con carga", resultan los siguientes valores aproximadamente:

- trabajo de aceleración: 2s * potencia de funcionamiento con carga
- trabajo de establecimiento de presión: 1s * potencia de funcionamiento con carga
- trabajo de disminución de presión: 3s * potencia de funcionamiento con carga

El estado de la técnica para el control de un compresor de hélice individual, estacionario, de inyección de aceite es el uso de un regulador de dos posiciones con histéresis, como se muestra en la Figura 7.

Si la presión p_K a la salida del compresor de hélice queda por debajo del valor umbral ajustable p_u , entonces se establece la petición de carga. Si la presión p_K a la salida del compresor de hélice supera el valor umbral ajustable p_o , entonces la petición de carga se elimina. Una petición de carga realizada provoca que el compresor de hélice se traslade al estado operativo "funcionamiento con carga". Una petición de carga eliminada provoca que el compresor de hélice abandone estado operativo "funcionamiento con carga".

Los valores umbral p_u y p_o han de seleccionarse de modo que el cumplimiento de los límites p_{min} y p_{max} para el valor de medición p en el acumulador de aire comprimido quede garantizado. Con respecto al cumplimiento de los límites han de considerarse dos aspectos:

1. Disminución de presión a través del componente del tratamiento de aire comprimido, normalmente 0,5 bar acumulado a lo largo de todos los componentes del tratamiento de aire comprimido (relevante para umbral de presión p_o).
2. Retardo en el tiempo para trasladar el compresor del estado operativo "parada" al estado operativo "funcionamiento con carga", por ejemplo $\Delta t=12s$ (relevante para umbral de presión p_u).

Si se desea evitar (dejando a un lado el caso de fallo de compresor) que no se alcance la presión p_{min} en cualquier caso, entonces el límite de presión p_u que va a seleccionarse en el caso del consumo de aire comprimido máximo conocido \dot{V}_{max} , en caso de un volumen conocido del acumulador de aire comprimido V y en caso de una presión ambiente p_{amb} conocida (a la que se refiere el dato del consumo máximo) se calcula como sigue:

$$p_u = p_{min} + \frac{\dot{V}_{max}}{V} \times \Delta t \times p_{amb} \quad \text{Fórmula 7}$$

Si la caída de presión Δp_{DLA} máxima a través del componente del tratamiento de aire comprimido es conocida (aparece, cuando el compresor de hélice transporta su cantidad suministrada máxima), entonces puede evitarse de manera segura una superación del límite de presión p_{max} al fijarse el umbral de presión p_o más bajo exactamente en la cantidad de la disminución de presión máxima Δp_{DLA} .

$$p_o = p_{max} - \Delta p_{DLA} \quad \text{Fórmula 8}$$

En particular el límite de presión p_u seleccionado de esta manera conservadora proporciona un buen cumplimiento máximo de los límites de presión. En este modo de proceder pueden alcanzarse calidades de presión de 100 %, entendiéndose por calidad de presión el porcentaje de tiempo relativo, para el que la presión p_K se ha encontrado dentro del límite de presión p_u y p_o . No obstante, esto sucede a costa de una alta demanda de energía eléctrica por dos clases de motivos:

1. Mediante un incremento del umbral de presión p_u se incrementa también la presión media. Cuanto más alta sea la presión media, más alto el consumo de energía eléctrica en el estado operativo "funcionamiento con carga".
2. Un incremento del umbral de presión p_u significa en un umbral de presión p_o constante una disminución del ancho de histéresis. Esto lleva a un aumento del número de los cambios de estado operativo. Fundamentalmente un número más alto de cambios de estado operativo significa también un aumento del consumo de energía eléctrica (sin embargo hay excepciones).

A través de la distancia de p_o a p_u se fija la frecuencia para cambios de estado operativo. Cuanto mayor es la distancia con menos frecuencia se cambia el estado operativo y menores resultarán los trabajos adicionales para el arranque de motor, establecimiento de presión y disminución de presión. Al mismo tiempo asciende la presión media, que se plasma en una energía consumida elevada en el estado operativo "funcionamiento con carga".

En la práctica se emplea con frecuencia una distancia de 0,5 bar entre p_o y p_u , formando p_u la base de cálculo para p_u (se aspira a un nivel de presión bajo). La distancia de 0,5 bar es un equilibrio, que tanto en un bajo como en un alto consumo de aire comprimido hace posible una eficiencia energética satisfactoria de la generación de aire comprimido. Con este planteamiento no pueden alcanzarse eficiencias energéticas buenas o muy buenas, dado que dependiendo del consumo de aire comprimido una distancia alta o baja entre p_o y p_u lleva a resultados óptimos. La relación principal entre grado de utilización y distancia óptima entre p_o y p_u está representado en forma estilizada en la figura 8.

Partiendo de un compresor de hélice que funciona continuamente (grado de utilización 100 %), la distancia óptima de p_o y p_u inicialmente se incrementa de manera continua con grado de utilización en descenso. Esto puede explicarse porque con distancia creciente p_o respecto a p_u la frecuencia de conexión baja, y por ello los trabajos de pérdida para el cambio de los estados operativos disminuyen. La elevada energía consumida debido a la presión media incrementada en el estado operativo "funcionamiento con carga" se compensa en exceso hasta un grado de utilización determinado. Por debajo de este grado de utilización la distancia óptima desciende de nuevo, dado que ahora mediante una distancia de los valores de banda de presión constante o que continúa en crecimiento ya no se compensaría el rendimiento de carga que se produce adicionalmente.

Debido al modo de funcionamiento descrito anteriormente para el estado de la técnica se producen dos desventajas esenciales:

1. Mediante la distancia de seguridad de p_u respecto a p_{min} diseñada para el consumo de aire comprimido máximo, en caso de consumos de aire comprimido más bajos se produce una presión media innecesariamente alta, que se plasma en una energía consumida elevada en el estado operativo "funcionamiento con carga".
2. Los límites fijados estáticamente p_o y p_u , como se representa en la figura 8 son realmente óptimos para uno (o dos) grados de utilización concretos. En el caso de un consumo de aire comprimido oscilante, que en la práctica es la regla y no la excepción, la distancia de p_o y p_u debería adaptarse al consumo de aire comprimido oscilante (y con ello al grado de utilización oscilante).

A continuación se presentan soluciones, que mediante modelos de simulación intentan mejorar el funcionamiento de un compresor de hélice estacionario, de inyección de aceite al determinarse mediante un modelo de simulación de un componente (en este caso el compresor de hélice 11 de inyección de aceite, estacionario contemplado) de acuerdo con la figura 4, qué repercusiones tendría el uso de un par p_u y p_o en una evolución en el tiempo también dada del consumo de aire comprimido en la calidad de presión y eficiencia energética de la generación de aire comprimido. En este sentido se trata el asunto de cómo a partir de magnitudes presentes en el control mediante evaluación de modelos pueden deducirse otras magnitudes, que se procesan posteriormente en otros modelos.

Mediante la aplicación del ejemplo de realización descrito a continuación (en lo sucesivo ejemplo de control 1) el explotador del compresor de hélice obtiene la posibilidad de seleccionar en escalas muy precisas entre un modo de funcionamiento eficiente energéticamente del compresor de hélice y un modo de funcionamiento con alta probabilidad para el cumplimiento de límites de presión dados. La fijación del modo de funcionamiento puede suceder por un lado manualmente, al emplear el explotador el modelo depositado en el control de compresor para calcular para umbrales de presión p_u y p_o predeterminados por el explotador las repercusiones en el cumplimiento de los límites de presión p_{min} y p_{max} y la eficiencia energética de la generación de aire comprimido y fijar por sí mismo los umbrales de presión p_u y p_o empleados para la determinación de la orden de carga a base de las evaluaciones de modelos. Como alternativa el modo de funcionamiento puede fijarse también de manera totalmente automática, al definir el explotador valores límite para índices, que describen la dimensión de la infracción de límites de presión, y un algoritmo de optimización a base de los valores límite determina de forma independiente los umbrales de presión p_u y p_o , para los cuales se cumplen los valores límite y simultáneamente la eficiencia energética de la generación de aire comprimido se maximiza.

La idea fundamental para el ejemplo de control 1 consiste en que mediante un modelo de simulación del componente de acuerdo con la figura 4 y un perfil de consumo de aire comprimido predeterminado se determina la combinación óptima de p_o y p_u , que entonces, como se conoce per se y se ha descrito anteriormente, se emplean para el cálculo de la petición de carga a través de un regulador de dos posiciones con histéresis.

El modelo de simulación consta de un modelo del componente (en este caso del compresor de hélice 11), que tiene en cuenta también estructura y comportamiento del acumulador de aire comprimido 14. En el modelo del compresor de hélice se tiene en cuenta también el comportamiento del control de compresor con respecto al cálculo de la petición de carga a través de un regulador de dos posiciones con histéresis con los límites de presión p_o y p_u . El modelo de simulación es un modelo físico y lógico.

El modelo de simulación forma el componente (en este caso el compresor de hélice 11, estacionario, de inyección de

aceite) de la figura 4 de modo que mediante el modelo de simulación especificando una evolución en el tiempo del consumo de aire comprimido y de los umbrales de presión p_o y p_u se determinan la evolución en el tiempo de la presión p , así como el consumo de energía total del compresor de hélice para el horizonte de simulación (corresponde en este caso al lapso cubierto mediante el perfil de consumo de aire comprimido predeterminado) (véase figura 9).

Con el modelo de simulación para una evolución en el tiempo dada del consumo de aire comprimido pueden calcularse las evoluciones en el tiempo de presión y energía consumida eléctrica se producirían en la aplicación de umbrales de presión p_o y p_u concretos en el componente real (el compresor de hélice 11 contemplado en este caso) (en el marco de la exactitud de modelos).

El modelo de simulación se adapta mediante parametrización o configuración al componente o componente parcial dados en concreto. Esto sucede mediante especificación de las propiedades del componente que van a utilizarse para la evaluación del modelo de simulación (por ejemplo cantidad suministrada en el estado operativo "funcionamiento con carga", energía consumida en el estado operativo "funcionamiento en vacío", Curva característica para energía consumida en el estado operativo "funcionamiento con carga", ...) y el volumen V del acumulador de aire comprimido.

Las propiedades mencionadas anteriormente podrían especificarse o mediante introducción manual o mediante los equipos de control descritos más arriba (control interno, control de orden superior, sistema (de dirección) /centro de cálculo/data center/nube/...). Como alternativa a esto las propiedades del equipo de control pueden aprenderse.

Con ello puede probarse mediante cómputo, en qué medida para un perfil de consumo de aire comprimido dado con una combinación de umbrales de presión p_o y p_u concreta se cumplen los límites de presión p_{max} y p_{min} para p y qué energía eléctrica se necesita para el funcionamiento del componente para cubrir el consumo de aire comprimido.

El modelo de simulación se desarrolla a este respecto en el control del compresor de hélice 11 definido como equipo de control 30 (véase figura 10).

Sin embargo también es concebible que el modelo de simulación transcurra en una posición definida como equipo de control 32 externo, que no es componente del compresor de hélice (véase figura 11). Solo para simplificar cabe indicar que el secador 12 en este diseño dispone de un equipo de control 31 autónomo.

Además es también concebible que el modelo de simulación se desarrolle en el equipo de control 30 del compresor de hélice 11, que está conectado simultáneamente también con el secador 12 (véase figura 12).

Además es concebible que el modelo de simulación se desarrolle en un equipo de control 33, que simultáneamente está asociado al compresor de hélice y el secador (véase figura 13). En esta forma de realización una unidad compuesta por compresor de hélice 11 y secador 12 forma el componente en el marco de la presente invención.

Se sobreentiende que además pueden presentarse también combinaciones de las formas de realización más diversas descritas mediante las figuras 10 a 13, por ejemplo un equipo de control 32 externo coopera con un equipo de control 30 asociado al compresor de hélice o un equipo de control 32 externo coopera con un equipo de control 33, que controla, regula y/o monitoriza un componente que consta de compresor de hélice 11 y secador 12.

La evaluación del modelo de simulación sucede a este respecto con el fin de conseguir una optimización del comportamiento de funcionamiento. La optimización sucede con el objetivo de determinar la pareja p_o y p_u de modo que:

1. se alcanza un cumplimiento del límite de presión p_{min} suficientemente bueno para el explotador,
2. se alcanza un cumplimiento del límite de presión p_{max} suficientemente bueno para el explotador y
3. se minimiza el consumo de energía eléctrica del compresor.

p_{min} y p_{max} son a este respecto magnitudes de influencia que el explotador del compresor de hélice del control de compresor, formado por un equipo de control 30, 31, 32 y/o 33 o una combinación de estos equipos de control, comunica (por ejemplo como parámetros introducidos manualmente o mensaje a través de una interfaz de comunicación).

Para la optimización de los umbrales de presión p_o y p_u , como se describió anteriormente, debe predeterminarse la evolución en el tiempo del consumo de aire comprimido. La evolución en el tiempo de la evolución del consumo de aire comprimido podría haberse determinado por ejemplo el día anterior o la semana anterior en la instalación de compresor. En el caso más sencillo esto sucede mediante una medición directa del consumo de aire comprimido en el punto de medición p , lo que en la práctica casi nunca es el caso. Con más frecuencia se intentará calcular la evolución en el tiempo del consumo de aire comprimido a partir de la evolución de la presión p_k observada en la salida del compresor de hélice.

El volumen de almacenamiento efectivo V (volumen del acumulador de aire comprimido y de la red de tuberías) se acepta como dado y constante. A partir del estado operativo del compresor de hélice y la presión p_k se calcula la

cantidad suministrada actual FAD del compresor de hélice:

- Si el compresor de hélice se encuentra en el estado operativo "funcionamiento con carga", la cantidad suministrada FAD puede determinarse a través de una curva característica (cantidad suministrada FAD a través de presión p_K).
- Si el compresor de hélice no se encuentra en el estado operativo "funcionamiento con carga", entonces la cantidad suministrada del compresor es 0.

A través de la presión p puede determinarse el consumo de aire comprimido DLV ahora a partir de la cantidad suministrada FAD como sigue:

$$DLV = \frac{V}{p_{amb}} * \frac{dp}{dt} - FAD \quad \text{Fórmula 9}$$

P_{amb} señala la presión ambiente como presión absoluta, a la que se refieren cantidad suministrada FAD y consumo de aire comprimido DLV. Siempre que la cantidad suministrada FAD del compresor de hélice no varíe, el consumo de aire comprimido es lineal con respecto al gradiente de la presión p dado que la presión p no siempre se mide porque se trata de una presión fuera del componente, se recurre a la presión p_K . Bajo la suposición cercana a la práctica de que la caída de presión a través del componente del tratamiento de aire comprimido, aparte de efectos de contaminación perceptibles solo a través de horizontes de tiempo muy largos (meses), depende exclusivamente de la cantidad suministrada de los compresores, para el estado operativo "funcionamiento con carga" (con FAD aproximadamente constante) puede suponerse

$$p_K = const. + p \quad \text{Fórmula 10}$$

o

$$p = p_K - const. \quad \text{Fórmula 11.}$$

Por tanto, es válido

$$\frac{dp}{dt} = \frac{dp_K}{dt} \quad \text{Fórmula 12}$$

Por consiguiente el consumo de aire comprimido puede determinarse a partir de p_K como sigue:

$$DLV = \frac{V}{p_{amb}} * \frac{dp_K}{dt} - FAD \quad \text{Fórmula 13}$$

Queda todavía el problema de que alrededor del momento del cambio del estado operativo de "establecimiento de presión" a "funcionamiento con carga" o de "funcionamiento con carga" a "disminución de presión" aparece una variación de presión muy rápida en p_K , dado que en el cambio de "establecimiento de presión" a "funcionamiento con carga" mediante la entrega que va a utilizarse de aire comprimido se establece una diferencia de presión entre p_K y p , que en el cambio de estado operativo "funcionamiento con carga" al estado operativo "disminución de presión" desaparece (véase figura 14).

El establecimiento y desaparición de la diferencia de presión con respecto a la estimación del consumo de aire comprimido lleva a valores falsos. El problema puede resolverse al interrumpirse la estimación del consumo de aire comprimido durante un par de segundos (por ejemplo manteniendo constante el valor DLV), cuando tiene lugar un cambio al o desde el estado operativo "funcionamiento con carga".

A través de la observación de la evolución de la presión p_K en el cambio de "establecimiento de presión" a "funcionamiento con carga" o "funcionamiento con carga" a "disminución de presión" puede calcularse también la diferencia de presión Δp entre los puntos de medición p_K y p , sin medir p . En una primera aproximación la diferencia de presión Δp entre p_K y p corresponde al salto en p_K antes y después del cambio de estado operativo (véase figura 15).

El conocimiento de la diferencia de presión Δp permite, regular la presión p , sin medirla.

El perfil de consumo de aire comprimido determinado mediante la evaluación de p_K se almacena como evolución en el tiempo para emplearlo más tarde para la determinación de nuevos umbrales de presión p_o y p_u .

Si para el explotador de la instalación de compresor es prioritario un cumplimiento fiable de los límites de presión p_{min} y p_{max} , entonces para el cálculo de la petición de carga los umbrales de presión p_u y p_o han de fijarse como se ha descrito anteriormente. Siempre y cuando las suposiciones realizadas para el cálculo de p_u y p_o sobre el comportamiento temporal del compresor de hélice, el volumen de almacenamiento efectivo V , el consumo de aire comprimido máximo esperado \dot{V}_{max} y la presión ambiente absoluta p_{amb} sean correctas, aparte de un caso de error de compresor, se conseguirá una calidad de presión de 100 %. Sin embargo rara vez se consigue un funcionamiento

óptimo energéticamente.

Una primera posibilidad para la optimización del consumo de energía eléctrica del compresor de hélice consiste en que el umbral de presión superior p_o ya no se determina solo mediante el consumo de aire comprimido máximo esperado, sino teniendo en cuenta la evolución en el tiempo del consumo de aire comprimido. Como se ha descrito anteriormente, tendencialmente en el caso de un grado de utilización bajo se da una p_o alta con energía óptima y en el caso de un alto grado de utilización se da una p_o baja.

Mediante la evaluación de un modelo del compresor de hélice, que eventualmente contiene informaciones sobre el acumulador de aire comprimido conectado aguas abajo, para una evolución en el tiempo dada del consumo de aire comprimido puede determinarse, qué calidad de presión se produce para una pareja dada de umbrales de presión p_u y p_o con respecto a una pareja dada de límites de presión p_{min} y p_{max} y qué consumo de energía eléctrica es necesario para la generación del consumo de aire comprimido dado. La evaluación del modelo se impulsa a este respecto al especificar el explotador de la instalación de compresor

- una combinación de umbrales de presión p_u y p_o ,
- la evolución en el tiempo del consumo de aire comprimido que va a considerarse para la evaluación (por ejemplo mediante el dato "último mes", "última semana", "último día" o mediante intercalación de una evolución en el tiempo del consumo de aire comprimido),
- y los límites de presión que van a cumplirse p_{min} y p_{max}

y el cálculo se inicia. El modelo del componente, es decir en este caso del compresor de hélice, se inicializa antes de cada evaluación de modo que el compresor de hélice al comienzo de la simulación se encuentra en el estado operativo "parada" y la presión en el acumulador de aire comprimido p tiene un valor mínimo menor que p_{max} . Mediante esta selección del estado inicial debe conseguirse que quede descartada una infracción de los límites de presión p_{min} y p_{max} antes o después del primer cambio de la petición de carga. El resultado de la evaluación del modelo son la calidad de presión y el consumo de energía eléctrica para cubrir el consumo de aire comprimido.

Si el explotador para la evaluación del modelo p_u como se ha calculado anteriormente y para p_o selecciona un valor que es mayor que p_u pero menor que el valor para p_o , entonces la calidad de presión ascenderá a 100 %. Mediante evaluación iterativa del modelo con p_o variable el explotador puede determinar ahora una p_o , que cumple de manera segura los límites de presión p_{min} y p_{max} predeterminados y minimiza el consumo de energía eléctrica del compresor de hélice.

Siempre y cuando una calidad de presión de 100 % no sea una condición indispensable para el funcionamiento de proceso suministrado con aire comprimido, mediante la bajada del umbral de presión p_u puede reducirse adicionalmente el consumo de energía eléctrica. El ahorro de energía eléctrica se enfrenta entonces a una calidad de presión aminorada. Mediante evaluación iterativa del modelo, tal como se describió en los párrafos anteriores, el explotador de la instalación de compresor puede determinar una combinación de umbrales de presión p_u y p_o , que minimiza el consumo de energía eléctrica y garantiza simultáneamente una calidad de presión aceptable (desde el punto de vista del explotador) (eventualmente inferior a 100 %).

En ocasiones calidad de presión para el explotador es un criterio seleccionado de manera demasiado sencilla, para valorar el cumplimiento de los límites de presión p_{min} y p_{max} necesarios para el proceso suministrado con aire comprimido. Por ejemplo para el proceso suministrado con aire comprimido puede no ser críticos el hecho de no alcanzar p_{min} , mientras que este hecho aparezca solo brevemente. Por tanto es útil ampliar la evaluación del modelo de modo que se calculan índices con respecto a diferentes aspectos del cumplimiento de los límites de presión p_{min} y p_{max} . A modo de ejemplo pueden mencionarse los siguientes índices.

- frecuencia de la infracción de límite de presión teniendo en cuenta una tolerancia para una superación de p_{max} o no alcance de p_{min} (véase figura 16).
- valor mínimo y valor máximo de la presión p
- lapso que se produce como máximo para una superación de p_{max} o no alcance de p_{min} (véase figura 17).
- área tiempo-presión que se produce como máximo para una superación de p_{max} o no alcance de p_{min} (véase figura 18).
- área total tiempo-presión del no alcance de p_{min} .
- área total tiempo-presión de la superación de p_{max} .

En este sentido pueden fijarse, calcularse y/o monitorizarse criterios de calidad de presión individuales de modo que se tengan en cuenta en la fijación de p_u y p_o .

Suponiendo que evolución en el tiempo del consumo de aire comprimido pueda transmitirse del pasado (con límites) al futuro o el consumo temporal del consumo de aire subido al control sea representativo, el regulador de dos posiciones con datos, que se encuentran en el control, puede adaptarse al proceso suministrado con aire comprimido.

Sin embargo la determinación de umbrales de presión p_u y p_o de energía óptima puede automatizarse también, como

se describe a continuación.

5 Periódicamente, por ejemplo una vez al día o una vez a la semana, se emplea el perfil de consumo de aire comprimido registrado en el pasado (como magnitud de influencia histórica depositada en el control de compresor) para la determinación de nuevos valores para los umbrales de presión p_o y p_u . Esto sucede mediante evaluación múltiple del modelo de simulación con diferentes configuraciones con respecto a p_o y p_u .

10 En este ejemplo de realización la evaluación del modelo de simulación única no proporciona ninguna declaración sobre con qué pareja p_o y p_u puede conseguirse el consumo mínimo de energía eléctrica del compresor con un cumplimiento simultáneo de los límites de presión. Para ello puede llevarse a cabo una evaluación múltiple del modelo de simulación con distintas parejas p_o y p_u .

15 Una posibilidad primitiva para la generación de combinaciones p_o y p_u que van a probarse consiste en subdividir el intervalo para límites de presión útiles, que puede estar definido por ejemplo mediante p_{min} y la presión p_h máxima permitida en la salida del compresor de hélice, en distancias equidistantes (por ejemplo 50 mbar de ancho). Las combinaciones p_o y p_u que van a probarse se generan ahora fácilmente mediante la enumeración de todas las formaciones de pares útiles de limitadores de sección. Son útiles a este respecto solo parejas, en las que p_o se sitúa por encima de p_u . Para un ejemplo se supone que p_{min} asciende a 7 bar, p_h a 8 bar y el ancho de sección a 100 mbar. Después se examinarían las combinaciones de p_o y p_u combinaciones:

- 20
- $p_u = 7,0$ bar: $p_o \in \{7,1$ bar; 7,2 bar; ...; 7,9 bar; 8,0 bar} -> 10 combinaciones
 - $p_u = 7,1$ bar: $p_o \in \{7,2$ bar; 7,3 bar; ...; 7,9 bar; 8,0 bar} -> 9 combinaciones
 - $p_u = 7,2$ bar: $p_o \in \{7,3$ bar; 7,4 bar; ...; 7,9 bar; 8,0 bar} -> 8 combinaciones
 - $p_u = 7,3$ bar: $p_o \in \{7,4$ bar; 7,5 bar; ...; 7,9 bar; 8,0 bar} -> 7 combinaciones
 - ...
 - $p_u = 7,8$ bar: $p_o \in \{7,9$ bar; 8,0 bar} -> 2 combinaciones
 - $p_u = 7,9$ bar: $p_o \in \{8,0$ bar} -> 1 combinación
- 25

30 En conjunto en el ejemplo se prueban 55 combinaciones. Para cada prueba el modelo de simulación se inicializa de modo que el compresor de hélice al comienzo de la simulación se encuentra en el estado de funcionamiento "parada" y la presión en el acumulador de aire comprimido p tiene un valor mínimo menor que p_{max} . Mediante esta selección del estado inicial debe conseguirse que quede descartada una infracción de los límites de presión p_{min} y p_{max} antes o después del primer cambio de la petición de carga.

35 Mediante la evaluación del modelo de simulación descrita en la presente memoria se originan fundamentalmente datos de funcionamiento y estados operativos del compresor de hélice y del acumulador de aire comprimido ficticios (evolución en el tiempo de la presión p , evolución en el tiempo del consumo de energía eléctrica del compresor de hélice, evolución en el tiempo del estado operativo del compresor de hélice, ...). Los datos de funcionamiento y estados operativos son fundamentalmente ficticios, dado que en la evaluación del modelo de simulación para el consumo de aire comprimido realmente observado se emplean configuraciones para los umbrales de presión p_o y p_u para el cálculo de las peticiones de carga, que no se aplican en el control de compresor real para cubrir el consumo de aire comprimido observado realmente.

40

45 En la evaluación del modelo de simulación se deducen datos de funcionamiento, para los cuales no hay disponibles valores de medición/valores de sensor para el control de compresor. Entre ellos están, por ejemplo el consumo de energía eléctrica dependiente del estado operativo del compresor de hélice o la presión p .

50 Mientras se evalúa el modelo de simulación (varias veces), el compresor de hélice sigue funcionando con total normalidad. Para el cálculo de la petición de carga el regulador de dos posiciones emplea con histéresis los umbrales de presión p_o y p_u , tal como se determinaron en el último ciclo de optimización (por ejemplo un día o una semana antes) como óptimos en cuanto a la energía.

55 Para la valoración de una combinación de umbrales de presión p_u y p_o se evalúa la calidad de presión o los índices para la valoración del cumplimiento de los límites de presión p_{min} y p_{max} (los criterios de calidad de presión fijados individuales, que pueden fijarse o calcularse). La evaluación sucede mediante comparación con valores límite para la calidad de presión o los índices, que el explotador de la instalación de compresor ha depositado en el control. Se rechazan todas las combinaciones para las que la calidad de presión o los índices infringen los valores límite predeterminados por el explotador. De las combinaciones restantes se selecciona entonces aquella y se emplea en el regulador de dos posiciones real con histéresis para el cálculo de la petición de carga, que para la evolución en el tiempo dada del consumo de aire comprimido lleva al consumo mínimo de energía eléctrica.

60

65 Como alternativa para la especificación detallada de valores límite para la calidad de presión o los índices puede proporcionarse al explotador de la instalación también una especificación abstracta de una ponderación entre un modo de funcionamiento de eficiencia energética y un modo de funcionamiento con una alta probabilidad para el cumplimiento de los límites de presión. Si se toma la calidad de presión como magnitud relevante para el cumplimiento de los límites de presión, podría permitirse al explotador seleccionar una calidad de presión que vaya a alcanzarse al

menos (por ejemplo a través de un regulador). La posición del regulador se ajusta a escala a este respecto entre 95 % y 100 % con respecto a la calidad de presión mínima que va a alcanzarse, como se muestra en la figura 19.

5 Para el operador, en la fijación de la calidad de presión que ha de cumplirse al menos se trata de sopesar entre una alta probabilidad para el cumplimiento de los límites de presión predeterminados en caso de un alto coste de energía y una probabilidad reducida para el cumplimiento de los límites de presión predeterminados en caso de costes de energía bajos.

10 Los métodos relativamente sencillos, de generar las combinaciones que van a probarse mediante división equidistante del intervalo de presión útil, tiene la desventaja de que no se prueban valores para umbrales de presión situados entre los umbrales de presión equidistantes. Con ello queda potencial de optimización sin utilizar. Mediante la utilización de un procedimiento de optimización estocástico, como por ejemplo recocido simulado, optimización genética, evolución diferencial, ..., es posible sin discretizar los umbrales de presión que van a probarse para p_o y p_u determinar la combinación óptima de p_o y p_u . No obstante, ya no puede predecirse cuántas evaluaciones del modelo deben llevarse a cabo, hasta que se determina la solución óptima.

15 Los procedimientos propuestos anteriormente a pesar de las mejoras con respecto al estado de la técnica presentan dos desventajas:

20 1. La optimización de los umbrales de presión p_o y p_u sucede durante un periodo de tiempo de varias horas o días, y con ello por regla general para una evolución en el tiempo de un consumo de aire comprimido que provoca fases con grado de utilización bajo, medio y alto en el compresor de hélice. Tendencialmente para diferentes grados de utilización se producen diferentes umbrales de presión de energía óptima como se muestra en la figura 8. Los umbrales de presión p_o y p_u determinados mediante optimización pueden no llevar con ello en cada situación a resultados óptimos con respecto a la eficiencia energética, sino sencillamente los umbrales de presión, que en el centro llevan a la mejor eficiencia energética.

25 2. La optimización de los umbrales de presión p_o y p_u sucede por regla general sobre la base de una evolución en el tiempo del consumo de aire comprimido observada en el pasado (por ejemplo la evolución en el tiempo del consumo de aire comprimido de la semana pasada). La optimización lleva por tanto solo a buenos resultados, cuando la evolución en el tiempo de consumo de aire comprimido puede transmitirse desde el pasado también al futuro.

30 La primera de las dos desventajas descritas anteriormente puede contrarrestarse acortándose la evolución en el tiempo del consumo de aire comprimido consultada para la optimización de los umbrales de presión p_o y p_u y para ello optimizándose varios umbrales de presión p_o y p_u , que se emplean alternativamente. Si por ejemplo se sabe que la evolución en el tiempo del consumo de aire comprimido en los días de la semana de lunes a viernes (producción normal) es claramente diferente al de los días de la semana sábado y domingo (ninguna producción, consumo de aire comprimido esencialmente mediante fugas), es útil optimizar y emplear para los días de la semana de lunes a viernes otros umbrales de presión p_o y p_u , que para los días de la semana sábado y domingo.

35 En este sentido según un aspecto ventajoso de la presente invención también está previsto prever diferentes umbrales de presión p_o y p_u para diferentes situaciones de funcionamiento, en particular para diferentes periodos de tiempo.

40 En cambio, para la segunda de las dos desventajas descritas anteriormente en el control del componente, en este caso el control del compresor de hélice, no hay réplica. Cuando la evolución en el tiempo del consumo de aire comprimido esperada en el futuro no puede deducirse a partir de las observaciones en el pasado, entonces el conocimiento sobre el comportamiento futuro del proceso que va a consumir el aire comprimido es necesario para saber para qué evolución en el tiempo del consumo de aire comprimido deben optimizarse los umbrales de presión p_o y p_u . Si es no posible un pronóstico de la evolución en el tiempo futura del consumo de aire comprimido ni mediante observación en el pasado ni mediante adquisición de información externa, en lugar de una optimización de umbrales de presión rígidos es adecuado un cálculo de la petición de carga basado en simulación, como se propone en el ejemplo de control 2 que se explica a continuación.

45 En el ejemplo de control 2 se trata de un ejemplo de realización de la presente invención, determinándose en este caso un algoritmo cíclico aplicando simulaciones en tiempo real (por ejemplo una vez por hora), si para el consumo de aire comprimido producido en ese momento y el estado operativo del compresor de hélice adoptado ahora (compárese figura 20) energéticamente es útil modificar la petición de carga. En este sentido se tienen en cuenta también los límites de presión p_{min} y p_{max} predeterminados para el punto de medición p .

50 En comparación con el ejemplo de control 1 la realización de simulaciones en el ejemplo de control 2 se lleva a cabo con otro fin. En el ejemplo de control 1 la aplicación de simulaciones sirve para determinar con qué umbrales de presión se hubiera cubierto una evolución en el tiempo de un consumo de aire comprimido en el pasado con la mínima absorción de energía eléctrica, para emplear los umbrales de presión p_o y p_u determinados de esta manera para la determinación futura de la orden de carga. El algoritmo para el cálculo de la petición de carga en el modelo de simulación y en el control de compresor real son idénticos (regulador de dos posiciones con histéresis). Para el fin de

llevar a cabo simulaciones en el ejemplo de control 1 sirve la optimización de parámetros de regulación (umbrales de presión p_o y p_u).

5 En el ejemplo de control 2 ahora la evaluación del modelo de simulación se convierte en componente integral de la determinación de la petición de carga en sí. En el modelo de simulación y en el control real del componente (en este caso el control de compresor) se emplean diferentes algoritmos para el cálculo de la petición de carga.

10 El modelo de simulación para el ejemplo de control 2 es idéntico al modelo de simulación en el ejemplo de control 1. Se toma como base un modelo lógico físico del compresor de hélice, que tiene en cuenta también informaciones sobre el acumulador de aire comprimido conectado en concreta.

15 La idea fundamental del ejemplo de control 2, es partiendo de la situación actual en una instalación de compresor con una estructura supuesta según la figura 4, mediante la realización de varias marchas de simulación en un modelo de simulación de la instalación de compresor examinar si energéticamente es más ventajoso dejar la petición de carga en un principio invariable o modificar la petición de carga. Para ello en el modelo de simulación se examinan distintos pares de umbrales de presión p_o y p_u . Un ciclo de algoritmo a modo de ejemplo, como ya se ha mencionado, está representado en la figura 20.

20 El ciclo de algoritmo comienza al registrarse y almacenarse el estado actual de la instalación de compresor. Por estado actual han de entenderse a este respecto el consumo de aire comprimido actual (determinado por ejemplo a partir del gradiente de presión de p_k), la presión en el acumulador de aire comprimido p (por ejemplo determinada a partir de p_k) y el estado operativo del compresor de hélice. A continuación se forman parejas de umbrales de presión p_o y p_u que van a someterse a prueba. La formación de las parejas puede realizarse por ejemplo mediante discretización del intervalo p_{min} a p_h , como se ha descrito anteriormente. A continuación para cada par p_o y p_u se lleva a cabo una
25 evaluación del modelo de simulación, para comprobar para un desarrollo ficticio de la presión p el cumplimiento de los límites de presión p_{min} y p_{max} y determinar el consumo de energía eléctrica ficticio del compresor de hélice.

30 Antes de comenzar una evaluación del modelo de simulación el modelo de simulación se inicializa con el estado de la instalación de compresor almacenado directamente después de comenzar el ciclo de algoritmos. La evaluación del modelo de simulación sucede por tanto dentro de un ciclo de algoritmos para todas las parejas p_o y p_u siempre partiendo de las mismas informaciones disponibles en el control del componente (en este caso el control de compresor) sobre el estado real actual de la instalación de compresor (en este caso por ejemplo datos de funcionamiento y estado operativo).

35 Mediante una simulación se calcula el comportamiento temporal ficticio de la instalación de compresor para el futuro cercano bajo una configuración determinada para p_o y p_u . Por futuro cercano ha de entenderse en este sentido un lapso de aproximadamente un minuto hasta aproximadamente 1h. La longitud del lapso de tiempo se determina entre otros por el dimensionamiento de la instalación de compresor. Los resultados de una simulación son (al menos):

- 40
- la evolución en el tiempo ficticia de la presión p
 - la evolución en el tiempo ficticia de la energía eléctrica E
 - la evolución en el tiempo ficticia de la cantidad suministrada del compresor FAD

45 Mediante el resultado de simulación puede comprobarse, si las especificaciones de presión p_{min} y p_{max} en el punto de medición p se cumplirían en un control con p_o y p_u y qué consumo de energía se produce para la generación de qué cantidad de presión (-> cálculo del rendimiento específico).

50 Si para cada par p_o y p_u se ha realizado una simulación, entonces se determina para qué pareja p_o y p_u se alcanzó el mejor resultado. Como el mejor resultado puede entenderse por ejemplo el resultado de simulación, en el que los límites de presión no se infringen y adicionalmente se ha observado el consumo mínimo de energía eléctrica durante el periodo simulado. En lugar del consumo de energía eléctrica puede también el rendimiento específico (cociente de consumo de energía eléctrica E y cantidad suministrada del compresor FAD al final del periodo de simulación). Son concebibles otras variantes de una valoración. Para impedir descartar resultados de simulación energéticamente buenos, solo porque los límites de presión p_{min} y p_{max} se infringen de manera insustancial, es adecuado proveer de
55 tolerancias a la prueba del cumplimiento de los límites de presión, tal como se muestran en las figuras 16, 17 y 18 a modo de ejemplo.

60 Para la mejor pareja determinada p_o y p_u se determina, si la presión actual p_k se sitúa dentro del intervalo p_u a p_o . Si se determinaron varias mejores parejas p_o y p_u , se emplea la primera mejor pareja p_o y p_u (con respecto al orden de evaluación en el modelo de simulación) para la prueba. Si la presión p_k se encuentra dentro del intervalo, entonces el estado actual de la petición de carga se mantiene. Si la presión p_k se encuentra fuera del intervalo, entonces se invierte la petición de carga.

65 Si (eventualmente a pesar de aplicar una tolerancia) no hay ningún par p_o y p_u , para el que se cumplen los límites de presión p_{max} y p_{min} , entonces se prueba si la presión p_k es menor que p_{min} , si es así, se establece la petición de carga. En otro caso se prueba si la presión p_k es mayor que p_{max} , si es así, la petición de carga se elimina. Si esto tampoco

vale, la petición de carga se mantiene invariable.

Como se ha descrito anteriormente, compárese figuras 5 a 7, la petición de carga influye en el estado operativo. Si se establece la petición de carga, entonces el compresor de hélice se traslada al estado operativo "funcionamiento con carga". Si la petición de carga se elimina, entonces el compresor de hélice se traslada al estado operativo "funcionamiento en vacío" o "parada".

Dado que la evaluación del modelo de simulación sirve para calcular la petición de carga, puede distinguirse claramente que la evaluación del modelo de simulación se lleva a cabo, mientras el compresor de hélice se hace funcionar.

A continuación debe exponerse de nuevo en general, cómo puede evaluarse un modelo de simulación mediante integración de tiempo en particular.

Partiendo de un punto inicial y un estado inicial se calcula el comportamiento en el tiempo del sistema descrito mediante el modelo. El comportamiento en el tiempo se calcula a este respecto al determinarse, partiendo del estado actual en el modelo dónde se encontrará el modelo en la siguiente etapa de tiempo. Para ello, preferentemente se aplica un procedimiento de integración numérico (por ejemplo regla trapezoidal o procedimiento de Runge-Kutta). La simulación, es decir, la aplicación repetida de la integración numérica, para llegar de una etapa de tiempo a la siguiente, se lleva a cabo hasta que se alcanza un criterio de aborto.

El criterio de aborto puede ser por un lado el haber alcanzado el final definido antes del comienzo de la integración numérica del horizonte de simulación. El horizonte de simulación señala el intervalo de tiempo, que debe cubrirse mediante la simulación.

Como alternativa o de forma acumulativa como criterio de aborto puede emplearse también una condición, definida a base de magnitudes calculadas durante la simulación. Durante la realización iterativa de la integración numérica se prueba si se cumple la condición. Siendo así, la integración numérica, y con ello la simulación finaliza.

Fundamentalmente como resultado de una simulación se obtienen series de tiempos de magnitudes descritas mediante el modelo. Generalmente las series de tiempos se tratan después de la realización de una simulación, por ejemplo calculándose a partir de las series de tiempos ya existentes nuevas series de tiempos (por ejemplo determinación de la evolución en el tiempo de la potencia absorbida total mediante la suma de las series de tiempos de la potencia absorbida de los compresores individuales) o a partir de series de tiempos se calculan índices (por ejemplo cálculo de la potencia específica de momento inicial de la simulación hasta el final del horizonte de simulación).

En la última etapa se valora una simulación, por ejemplo mediante comparación con otras simulaciones ya ejecutadas. Para la valoración se emplea una función objetivo, que permite una comparación de los resultados de simulación preparados en el sentido de "mejor que" o "peor que". Con frecuencia es útil una valoración de una simulación cuando se han realizado varias simulaciones. La valoración tiene lugar a través del horizonte de valoración. Fundamentalmente el horizonte de valoración corresponde al horizonte de simulación, sin embargo el horizonte de valoración puede ser distinto del horizonte de simulación.

Con referencia a las figuras 22 y 23 se explica con más detalle la evaluación de un modelo, que en este caso está configurado como modelo de simulación. En particular con vistas a que la presente invención en un diseño preferido propone que las rutinas de evaluación se inicialicen, realicen, evalúen y empleen impulsadas por eventos, en particular en el cambio de parámetros de influencia predeterminados, estados operativos, modos de funcionamiento y/o en la aparición de funcionamientos incorrectos o defectos del componente, se plantea la pregunta, de en qué sucesión se realizan o inicializan las etapas individuales. Generalmente se aplica lo siguiente:

- La inicialización del modelo está impulsada por eventos (etapa 3a en las figuras 22 y 23).
- La realización de análisis del modelo está impulsada por eventos (etapa 3c en las figuras 22/23).
- La valoración de resultados de simulación está impulsada por eventos (etapa 3d en las figuras 22 y 23).
- En el caso de aplicación simulación en paralelo (compárese figura 23) puede ser interesante, realizar las etapas 3a y 3c una sola vez o raras veces impulsadas por eventos, pero la etapa 3d cíclicamente con mucha frecuencia.
- El uso está impulsado por eventos (compárese etapas 5 y 6 en las figuras. 22 y 23).

En general cabe indicar que un caso de aplicación del desarrollo mostrado en la figura 22 puede ser el cálculo de una etapa de control/regulación. No obstante el orden de algunas etapas puede variar. La figura 22 no es válida para simulaciones en paralelo. Estas pueden llevarse a cabo con un desarrollo según la figura 23. Un caso de aplicación del desarrollo según la figura 23 es por ejemplo el sensor de contenido de humedad virtual. También en el desarrollo según la figura 23 el orden de algunas etapas puede variar.

Cabe indicar que los resultados respectivos, desencadenan las etapas individuales impulsadas por eventos, que pueden ser diferentes para las distintas etapas, pero no tienen que ser diferentes.

En la sucesión expuesta en la figura 23 de etapas individuales cabe indicar en cuanto a la 3a que en el primer paso debe realizarse una inicialización, mientras que en los siguientes pasos la inicialización se lleva a cabo impulsada por eventos, es decir solo en caso de demanda. Con respecto a la etapa 3c cabe indicar que en cada ciclo en el modelo se calcula una etapa de tiempo (el espacio de tiempo, que ha pasado desde el último ciclo). No obstante puede ser ventajoso, subdividir la etapa de tiempo en varias etapas de integración.

Lista de referencias

- 11 compresor de hélice
- 10 12 secador
- 14 acumulador de aire comprimido
- 15 red de aire comprimido
- 16 punto de entrega
- 17 filtro de aire
- 15 18 motor
- 19 condensador
- 20 contenedor de separación de aceite
- 21 válvula de retención de presión mínima
- 22 refrigerador de aire
- 20 23 salida de compresor
- 24 entrada de compresor
- 25 válvula de entrada
- 26 línea de derivación
- 27 válvula de aireación
- 25 28 punto de ramificación
- 29 punto de conexión
- 30 equipo de control (compresor de hélice)
- 31 equipo de control (secador)
- 32 equipo de control externo
- 30 33 equipo de control (compresor de hélice y secador en conjunto)

REIVINDICACIONES

1. Equipo de control electrónico para un componente de la generación de aire comprimido, tratamiento de aire comprimido, almacenamiento de aire comprimido y/o distribución de aire comprimido,
 5 en donde el equipo de control (11) electrónico está configurado para recurrir para la determinación, reproducción o evaluación de datos relevantes para el funcionamiento, a uno o varios modelos, que como modelos referidos al componente contienen informaciones relevantes para la estructura o el comportamiento del componente (12), y mediante los modelos como fin de evaluación en una rutina de evaluación concreta efectuar o un
- 10 - control, regulación, diagnóstico y/o monitorización del componente o
 - una determinación, facilitación, predicción u optimización de datos de funcionamiento, estados operativos, modos de funcionamiento, comportamiento de funcionamiento y/o repercusiones de funcionamiento,
- y
- 15 en donde como valores iniciales se emplean informaciones de infraestructura, datos de funcionamiento, estados operativos y/o valores de medición/sensor del componente, actuales o históricos, disponibles al menos parcialmente en el equipo de control electrónico, caracterizado por que
- 20 el equipo de control electrónico (11) está configurado además, para llevar a cabo, para el diagnóstico de funcionamientos incorrectos y defectos, evaluaciones alternativas con configuraciones de modelos, que contienen diferentes funcionamientos incorrectos o defectos posibles, en donde se consulta el grado de similitud respectivo entre resultados de evaluación alternativos y valores de medición/sensor reales, actuales o históricos en una etapa de comparación para la identificación del funcionamiento incorrecto más probable o del defecto más probable o al menos se descartan causas de errores poco probables o improbables (funcionamientos incorrectos y defectos) como resultado de la etapa de comparación.
- 25
2. Equipo de control electrónico según la reivindicación 1, caracterizado por que el equipo de control electrónico dependiendo del fin de la evaluación efectúa diferentes configuraciones
- 30 - de los modelos de componente o también modelos de componente parcial y/o
 - del tipo, del número, de la sucesión y/o de los escenarios de las evaluaciones.
3. Equipo de control electrónico según una de las reivindicaciones 1 a 2, caracterizado por que el modelo de componente o también el modelo de componente parcial se adapta mediante parametrización o configuración a las propiedades y/o parámetros de funcionamiento del o de los componentes (parciales) que van a considerarse concretamente en la evaluación respectiva, en donde la adaptación puede realizarse en particular de forma manual, parcialmente automática o automáticamente.
- 35
4. Equipo de control electrónico según una de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado por que en el proceso de evaluación mediante los modelos también se toman y/o se deducen datos de funcionamiento, estados operativos y/o magnitudes de estado del componente, para los cuales no o todavía no están disponibles valores de medición/sensor.
- 40
5. Equipo de control electrónico según una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado por que, dependiendo del fin de la evaluación se recurre a diferentes valores iniciales y/o se seleccionan diferentes momentos de inicialización.
- 45
6. Equipo de control electrónico según una de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado por que el proceso de evaluación tiene lugar durante el funcionamiento del componente.
7. Equipo de control electrónico según una de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado por que el proceso de evaluación para un determinado comportamiento, en particular comportamiento de funcionamiento del componente se lleva a cabo mediante un modelo de componente en el tiempo antes del comportamiento de funcionamiento mencionado o durante el comportamiento de funcionamiento mencionado o posteriormente al comportamiento de funcionamiento mencionado.
- 50
8. Equipo de control electrónico según una de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado por que las evaluaciones constan total o parcialmente del análisis de modelos, en particular del análisis de modelos lógicos.
- 55
9. Equipo de control electrónico según una de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizado por que los modelos de componente se presentan como modelos
- 60 - físicos,
 - lógicos,
 - estructurales,
 - estocásticos,
 65 - monetarios,
 - empíricos,

ES 2 770 524 T3

- valorados y/o
- combinados a partir de estas categorías.

- 5 10. Equipo de control electrónico según una de las reivindicaciones 1 a 9, caracterizado por que está configurado al menos parcialmente, pero en particular también completamente, como control integrado en el componente de la generación de aire comprimido, tratamiento de aire comprimido, almacenamiento de aire comprimido y/o distribución de aire comprimido.
- 10 11. Equipo de control electrónico según una de las reivindicaciones 1 a 10, caracterizado por que está configurado al menos parcialmente no dentro del componente de la generación de aire comprimido, tratamiento de aire comprimido, almacenamiento de aire comprimido y/o distribución de aire comprimido.
- 15 12. Equipo de control electrónico según una de las reivindicaciones 1 a 11, caracterizado por que las rutinas de evaluación que pueden realizarse en concreto comprenden la ejecución de simulaciones mediante cálculo o estimación del desarrollo en el tiempo de datos de funcionamiento, estados operativos y/o magnitudes de estado de los componentes, en particular mediante integración de tiempo numérica de ecuaciones de modelos.
- 20 13. Equipo de control electrónico según una de las reivindicaciones 3 a 12, caracterizado por que los datos de funcionamiento, estados operativos y/o magnitudes de estado de los componentes empleados y deducidos en la realización de las evaluaciones, para los cuales no o todavía no están disponibles valores de medición/sensor,
- 25
 - el estado de mantenimiento, desgaste o envejecimiento del componente,
 - magnitudes de estado, para los que no pueden medirse o solo de manera limitada valores actuales, y/o sus valores dependen de toda la evolución en el tiempo del funcionamiento del componente desde el último mantenimiento o puesta en marcha, o
 - magnitudes de estado, que pueden registrarse, en particular medirse directamente solo de manera inexacta, muy costosa y/o propensa a errores.
- 30 14. Equipo de control electrónico según una de las reivindicaciones 1 a 13, caracterizado por que la configuración de los modelos se realiza mediante adaptación de la estructura de modelo dependiendo de los componentes parciales obtenidos en el componente según las circunstancias (opcionalmente) o que se encuentran en funcionamiento, en donde la adaptación de la estructura de modelo en particular incluye en particular una parametrización.
- 35 15. Equipo de control electrónico según una de las reivindicaciones 1 a 14, caracterizado por que la configuración de los modelos se realiza enlazando modelos parciales, a los que están asociados componentes parciales, que siempre y/o según las circunstancias u opcionalmente están incluidos en el componente o están en funcionamiento.
- 40 16. Equipo de control electrónico según una de las reivindicaciones 1 a 15, caracterizado por que la adaptación de la estructura de modelo se realiza
- 45
 - mediante introducción manual, en particular en el equipo de control electrónico,
 - mediante la transmisión de juegos de datos de configuración y de parámetros al equipo de control electrónico,
 - mediante autoaprendizaje mediante simulaciones a base de modelos adaptados iterativamente y/o
 - a base de un esquema R&I del componente almacenado en el control electrónico.
- 50 17. Equipo de control electrónico según una de las reivindicaciones 1 a 16, caracterizado por que los resultados de las evaluaciones llevadas a cabo con uno o varios modelos se emplean para la inicialización de y/o como magnitudes de influencia predeterminadas para evaluaciones con otros modelos.
- 55 18. Equipo de control electrónico según una de las reivindicaciones 1 a 17, caracterizado por que la configuración del tipo, del número, de la sucesión y/o de los escenarios de las evaluaciones comprenda la realización simultánea o secuencial de varias evaluaciones para evoluciones alternativas futuras de magnitudes de influencia predeterminadas, en particular de órdenes de control para la modificación del modo de funcionamiento o del estado operativo, y que a consecuencia de una valoración de los resultados de evaluación se efectúa una selección de las evoluciones más favorables de magnitudes de influencia predeterminadas.
- 60 19. Equipo de control electrónico según una de las reivindicaciones 1 a 18, caracterizado por que la valoración de los resultados de evaluación y la selección de las evoluciones futuras más favorables de magnitudes de influencia predeterminadas se realiza utilizando al menos una función objetivo, que contiene uno o varios de los siguientes criterios:
- 65
 - consumo de energía, coste de energía,
 - valor máximo de la energía eléctrica consumida,
 - número de las modificaciones de estado operativo,
 - cantidad de calor perdido utilizable y/o nivel de temperatura del calor perdido,
 - costes de mantenimiento provocados proporcionalmente en el horizonte de simulación,

- punto de rocío de presión,
- calidad de presión.

- 5 20. Equipo de control electrónico según la reivindicación 19, caracterizado por que el control y/o regulación del componente comprende la implementación de las evoluciones de magnitudes de influencia predeterminadas más favorables seleccionadas.
- 10 21. Equipo de control electrónico según una de las reivindicaciones 1 a 20, caracterizado por que las evoluciones en el tiempo obtenidas a partir de evaluaciones para periodos de tiempo pasados o predeterminadas de otro modo, en particular calculadas, de datos de funcionamiento, estados operativos y/o magnitudes de estado del componente se comparan con valores de medición/sensor reales, actuales o históricos, en donde se emplean desviaciones entre resultados de evaluación y valores de medición/sensor para la detección y diagnóstico de funcionamientos incorrectos o defectos.
- 15 22. Equipo de control electrónico según la reivindicación 21, caracterizado por que los criterios de plausibilidad, incluyen en particular la comparación de temperaturas y/o presiones en puntos de medición, que en trayectos de flujo de medios (aire comprimido, aire de refrigeración, agua de refrigeración, ...) están dispuestos aguas arriba o aguas abajo entre sí, en donde en el funcionamiento sin averías de los componentes entre los puntos de medición aparecen o han de esperarse sistemáticamente aumentos o disminuciones de temperaturas y/o presiones.
- 20 23. Equipo de control electrónico según una de las reivindicaciones 1 a 22, caracterizado por que las rutinas de evaluación se inicializan, realizan, evalúan y emplean impulsadas por eventos, en particular en el cambio de parámetros de influencia predeterminados, estados operativos y/o modos de funcionamiento del componente o en el caso de la petición de un diagnóstico.
- 25 24. Equipo de control electrónico según la reivindicación 23, caracterizado por que las evaluaciones se inicializan realizan, evalúan y emplean cíclicamente, en particular en el cálculo de acciones de ajuste con una frecuencia de $1 \cdot 10^{-3}$ s o por debajo hasta 1 min, de manera especialmente preferida de $2 \cdot 10^{-3}$ s a 10 s.
- 30 25. Equipo de control electrónico según una de las reivindicaciones 1 a 24, caracterizado por que en el cálculo de acciones de ajuste el horizonte de simulación asciende preferentemente de 1 s a 15 min, de manera especialmente preferente de 1 min a 5 min.
- 35 26. Procedimiento para el control, regulación, diagnóstico y/o monitorización de un componente de la generación de aire comprimido, tratamiento de aire comprimido, almacenamiento de aire comprimido y/o distribución de aire comprimido, en donde el componente interactúa con un control electrónico en particular según una de las reivindicaciones 1 a 25, en donde para la determinación, reproducción o evaluación de datos relevantes para el funcionamiento se recurre a modelos, que como modelos referidos al componente contienen informaciones relevantes para la estructura o el comportamiento del componente, en donde como valores iniciales se emplean informaciones de infraestructura, datos de funcionamiento, estados operativos y/o valores de medición/sensor del componente actuales o históricos, disponibles al menos parcialmente en el equipo de control electrónico y por que para el diagnóstico de funcionamientos incorrectos y defectos se llevan a cabo evaluaciones alternativas con configuraciones de modelos, que contienen diferentes funcionamientos incorrectos o defectos posibles, en donde se consulta el grado de similitud respectivo entre resultados de evaluación alternativos y valores de medición/sensor reales, actuales o históricos en una etapa de comparación para la identificación del funcionamiento incorrecto más probable o del defecto más probable, o al menos se descartan causas de errores poco probables o improbables (funcionamientos incorrectos y defectos) como resultado de la etapa de comparación.
- 40 27. Procedimiento según la reivindicación 26, caracterizado por que en el marco del diagnóstico y/o para el control, regulación y/o monitorización también se realiza una determinación, facilitación, predicción u optimización de datos de funcionamiento, estados operativos, modos de funcionamiento, comportamiento de funcionamiento y/o repercusiones de funcionamiento.
- 45 28. Procedimiento según una de las reivindicaciones 26 a 27, caracterizado por que en el proceso de evaluación mediante los modelos también se toman y/o se deducen datos de funcionamiento, estados operativos y/o magnitudes de estado del componente, para los cuales no o todavía no están disponibles valores de medición/sensor.
- 50 29. Procedimiento según una de las reivindicaciones 26 a 28, caracterizado por que en el proceso de evaluación se llevan a cabo (también) simulaciones mediante cálculo o estimación del desarrollo en el tiempo de datos de funcionamiento, estados operativos y/o magnitudes de estado de los componentes, en particular mediante integración de tiempo numérica de ecuaciones de modelos.
- 55 30. Procedimiento según una de las reivindicaciones 26 a 29, caracterizado por que los resultados de las evaluaciones llevadas a cabo con uno o varios modelos se emplean para la inicialización de y/o como magnitudes de influencia

predeterminadas para evaluaciones con otros modelos.

- 5 31. Procedimiento según una de las reivindicaciones 26 a 30, caracterizado por que el proceso de evaluación se lleva a cabo durante el funcionamiento del componente.
- 10 32. Procedimiento según una de las reivindicaciones 26 a 31, caracterizado por que el proceso de evaluación para un comportamiento de funcionamiento determinado del componente se lleva a cabo mediante un modelo de componente en el tiempo antes del comportamiento de funcionamiento mencionado o durante el comportamiento de funcionamiento mencionado o posteriormente al comportamiento de funcionamiento mencionado.
- 15 33. Procedimiento según una de las reivindicaciones 26 a 32, caracterizado por que los datos de funcionamiento, estados operativos y/o magnitudes de estado de los componentes empleados y deducidos en la realización de las evaluaciones, para los cuales no o todavía no están disponibles valores de medición/sensor,
- 20 - el estado de mantenimiento, desgaste o envejecimiento del componente,
- magnitudes de estado, para los que no pueden medirse o solo de manera limitada valores actuales, y/o sus valores dependen de toda la evolución en el tiempo del funcionamiento del componente desde el último mantenimiento o puesta en marcha, o
- magnitudes de estado, que pueden registrarse, en particular medirse directamente solo de manera inexacta, muy costosa y/o propensa a errores.
- 25 34. Procedimiento según una de las reivindicaciones 27 a 35, caracterizado por que la configuración del tipo, del número, de la sucesión y/o de los escenarios de las evaluaciones comprenda la realización simultánea o secuencial de varias evaluaciones para evoluciones alternativas futuras de magnitudes de influencia predeterminadas, en particular de órdenes de control para la modificación del modo de funcionamiento o del estado operativo, y que a consecuencia de una valoración de los resultados de evaluación se efectúa una selección de las evoluciones más favorables de magnitudes de influencia predeterminadas.
- 30 35. Procedimiento según una de las reivindicaciones 26 a 34, caracterizado por que la valoración de los resultados de evaluación y la selección de las evoluciones futuras más favorables de magnitudes de influencia predeterminadas se realiza utilizando funciones objetivo, que contienen en particular una combinación de dos o más de los siguientes criterios para el horizonte de simulación:
- 35 - consumo de energía, coste de energía,
- valor máximo de la energía eléctrica consumida,
- número de las modificaciones de estado operativo,
- cantidad de calor perdido utilizable y/o nivel de temperatura del calor perdido,
- costes de mantenimiento provocados proporcionalmente en el horizonte de simulación.
- 40 36. Procedimiento según una de las reivindicaciones 26 a 35, caracterizado por que las evoluciones en el tiempo obtenidas a partir de evaluaciones para periodos de tiempo pasados o predeterminadas de otro modo, en particular calculadas, de datos de funcionamiento, estados operativos y/o magnitudes de estado del componente se comparan con valores de medición/sensor reales, actuales o históricos, en donde se emplean desviaciones entre resultados de evaluación y valores de medición/sensor para la detección y diagnóstico de funcionamientos incorrectos o defectos.
- 45 37. Procedimiento según una de las reivindicaciones 26 a 36, caracterizado por que las evaluaciones se llevan a cabo a petición mediante un control electrónico de orden superior.

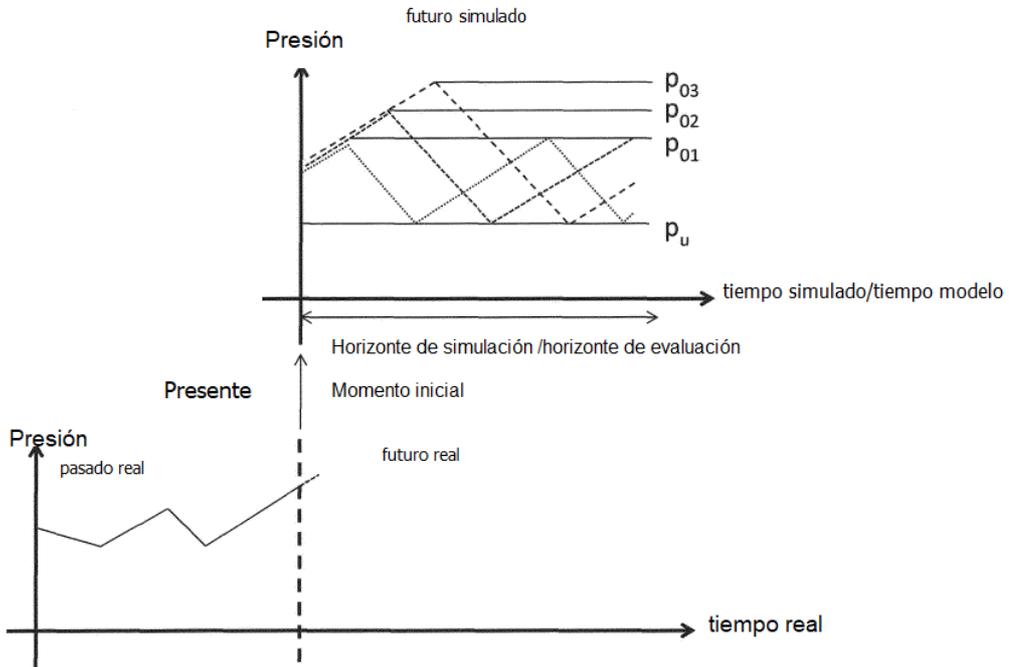


Fig. 1

Simulación en paralelo (por ejemplo, sensor virtual)

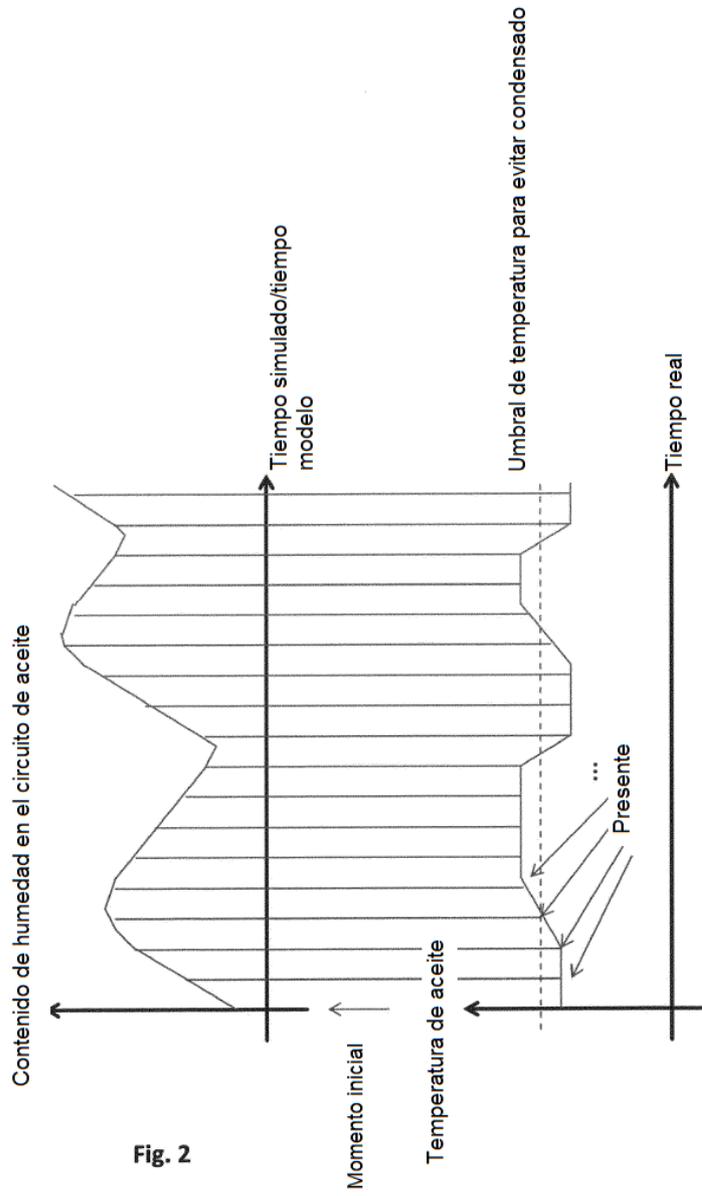


Fig. 2

Simulación posterior (por ejemplo, diagnóstico)

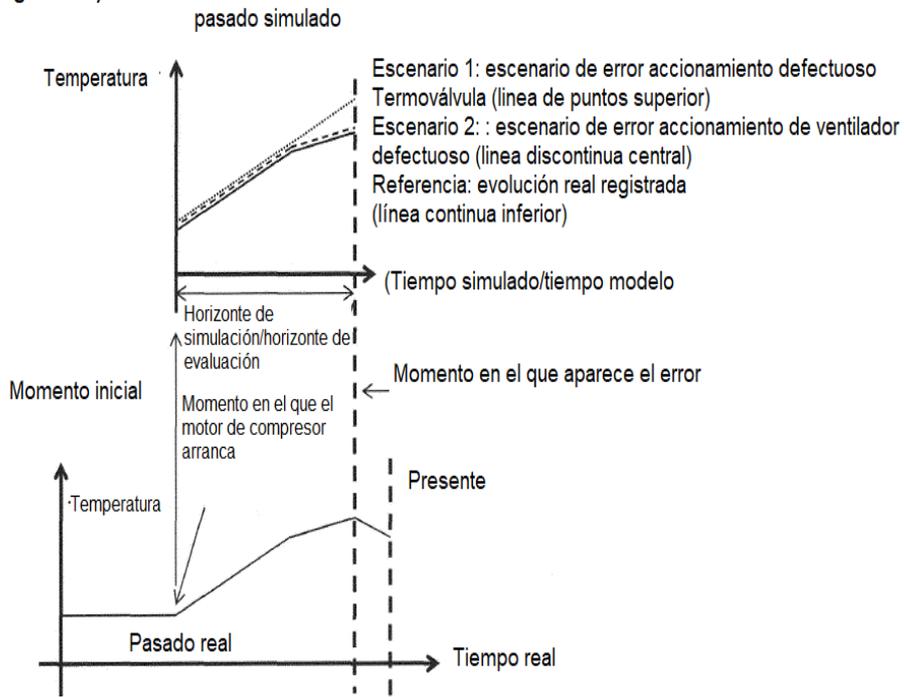


Fig. 3

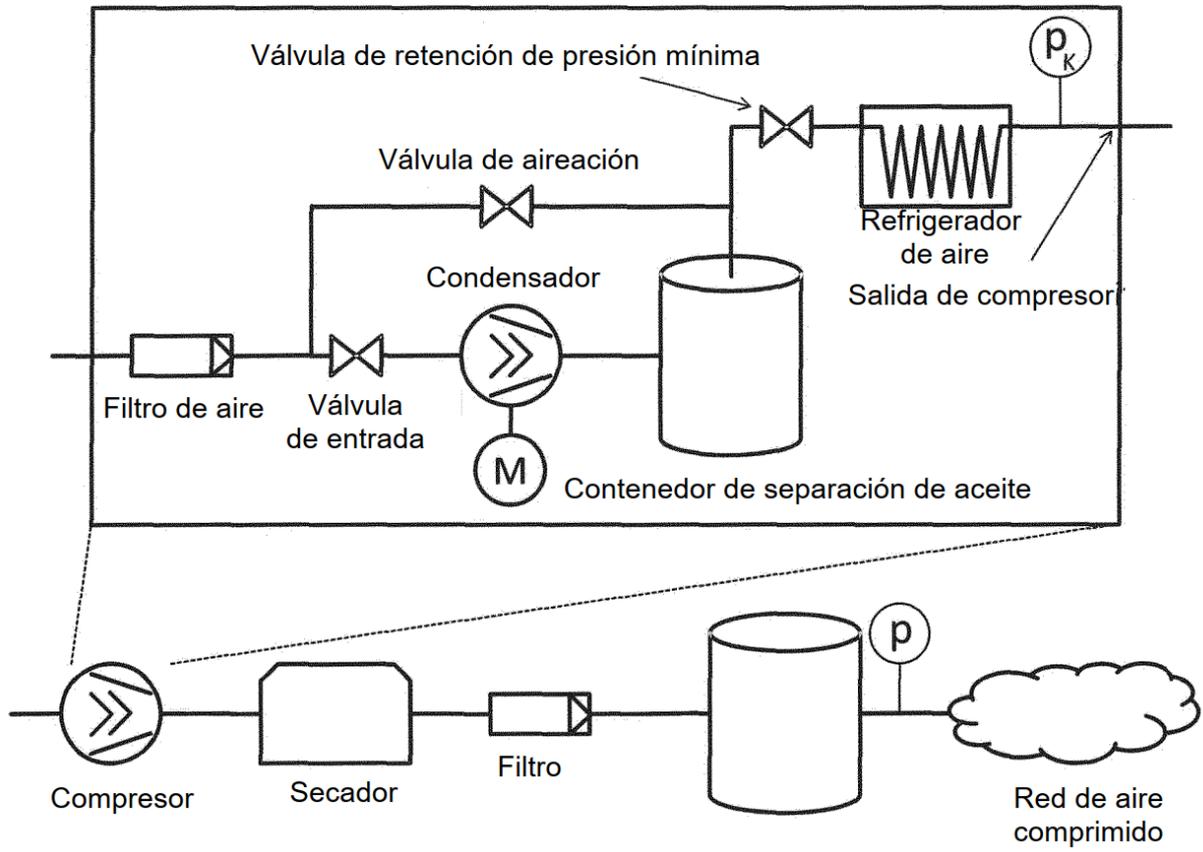


Fig. 4

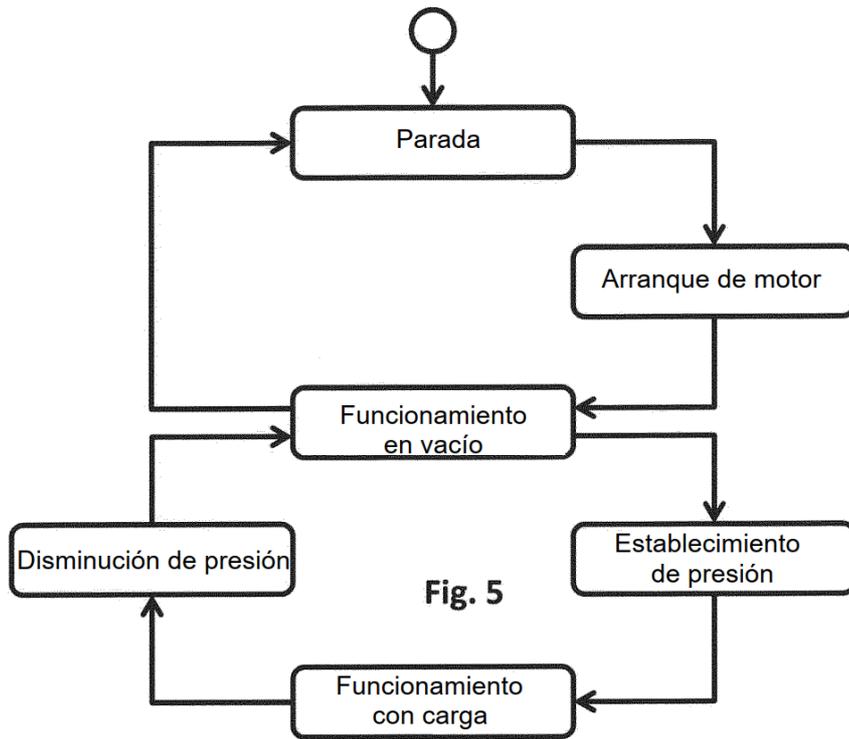


Fig. 5

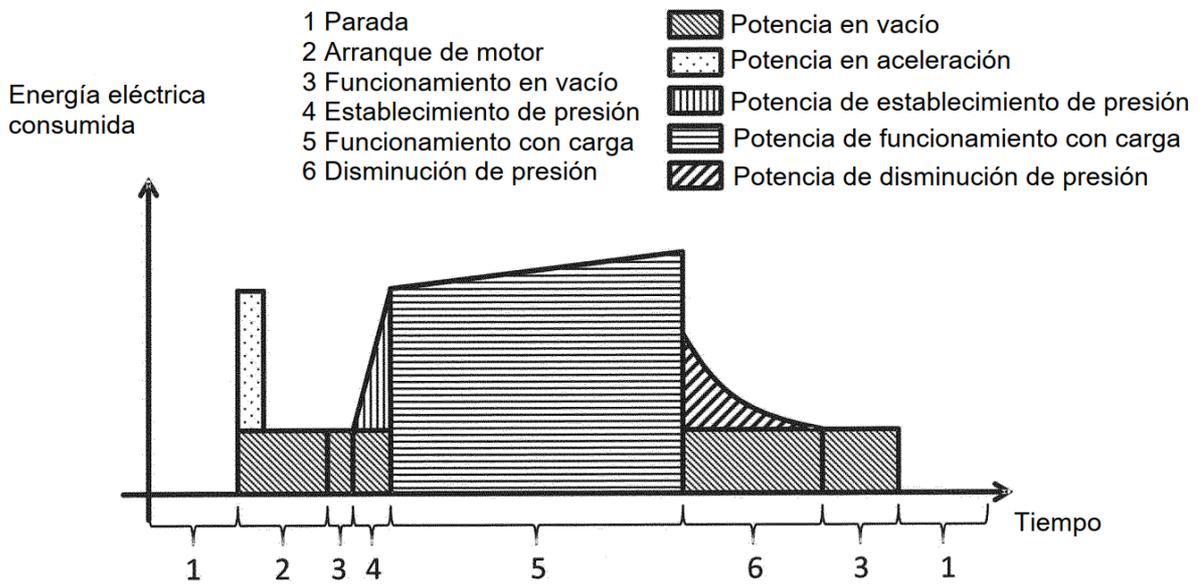


Fig. 6

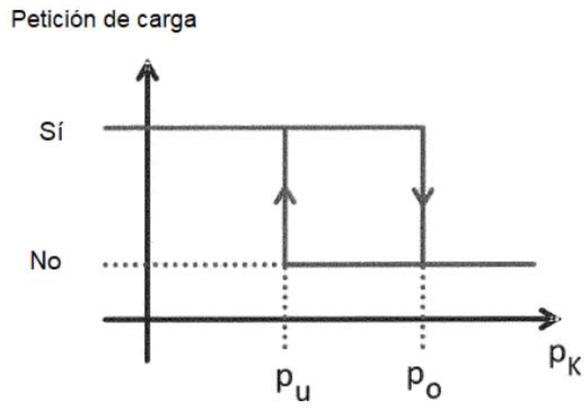


Fig. 7

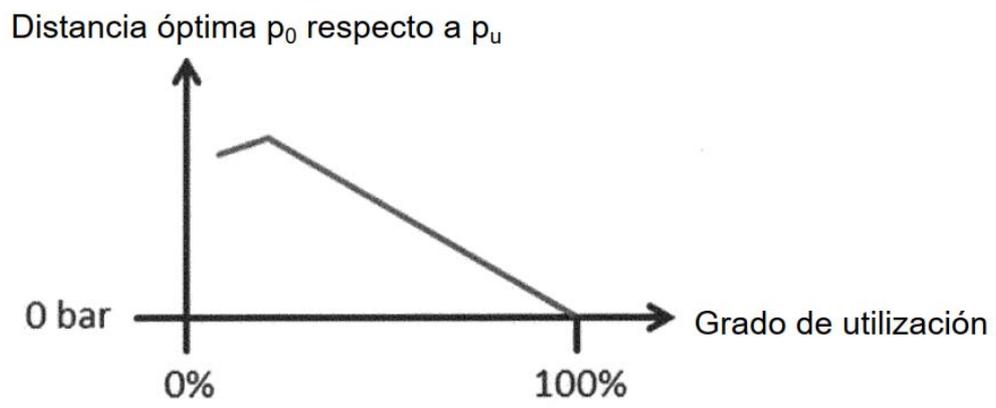


Fig. 8

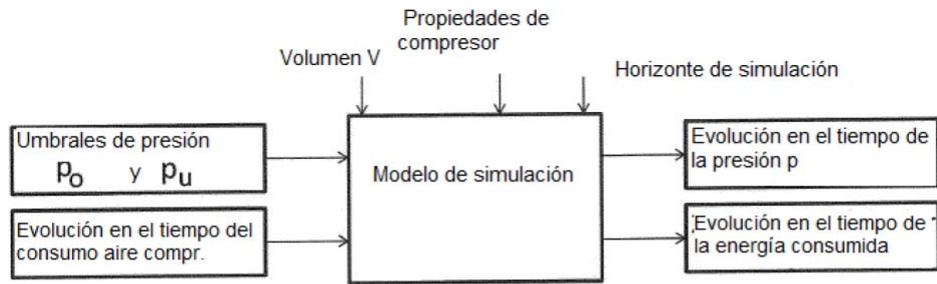


Fig. 9

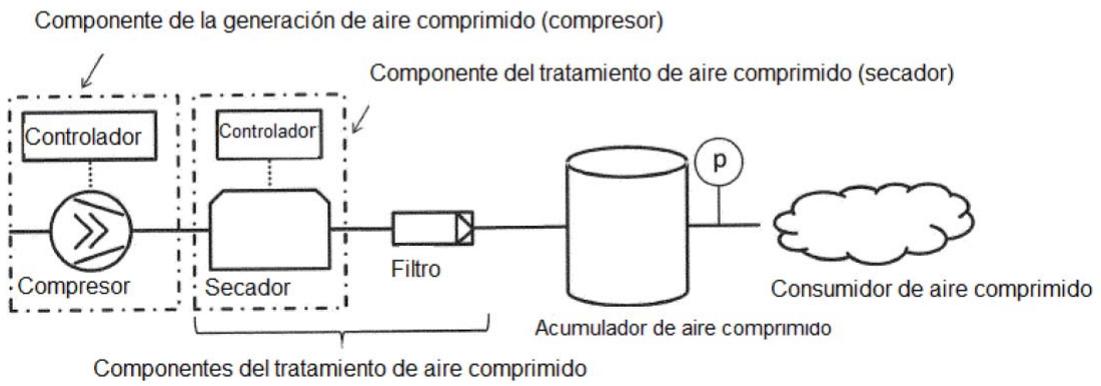


Fig. 10

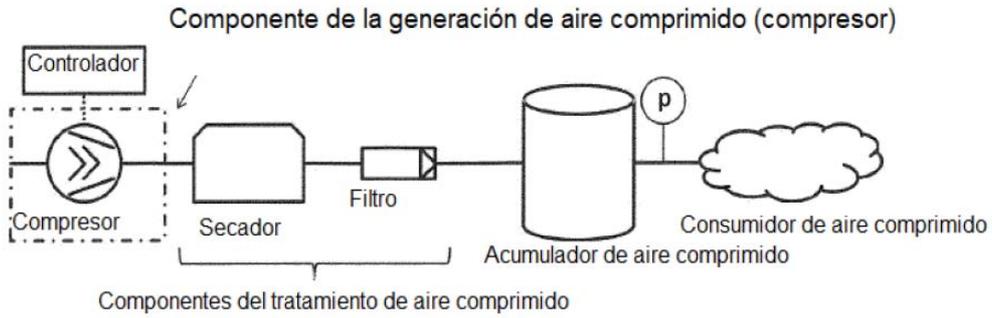


Fig. 11

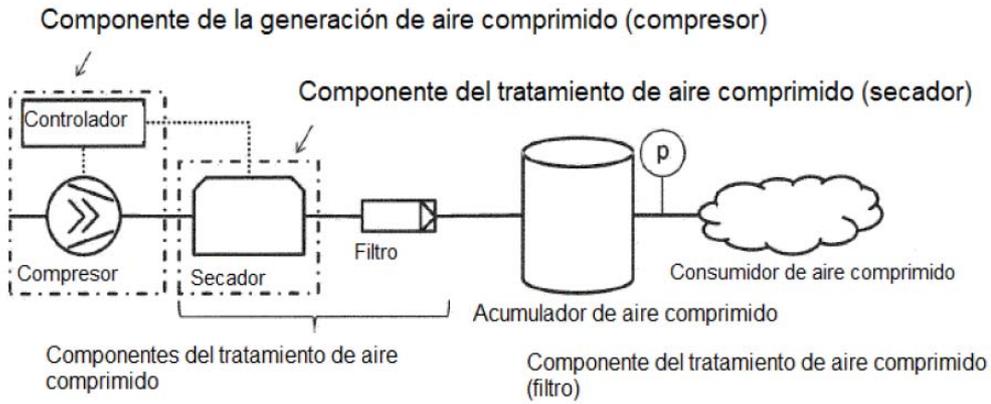
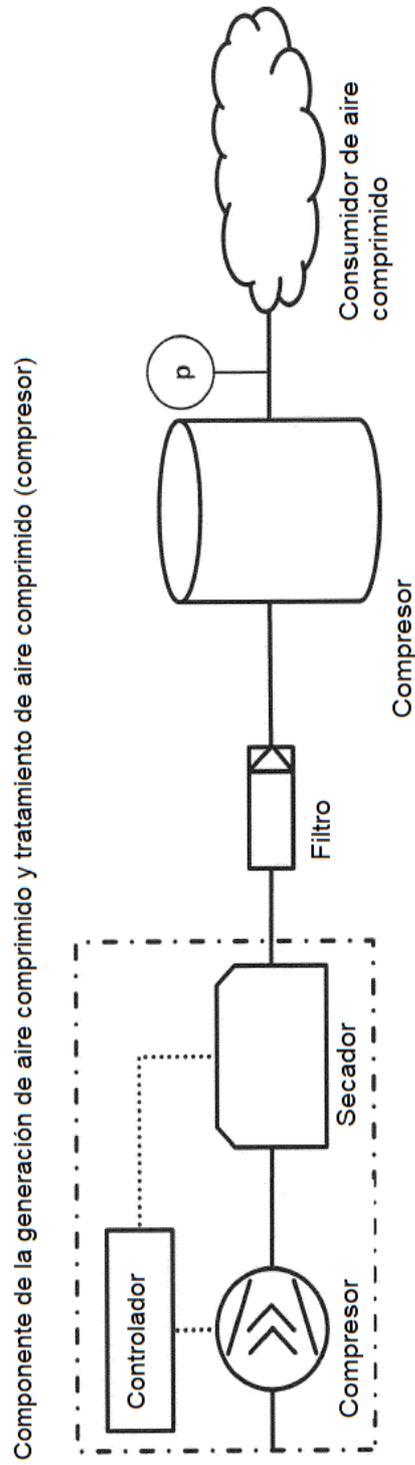


Fig. 12

Fig. 13



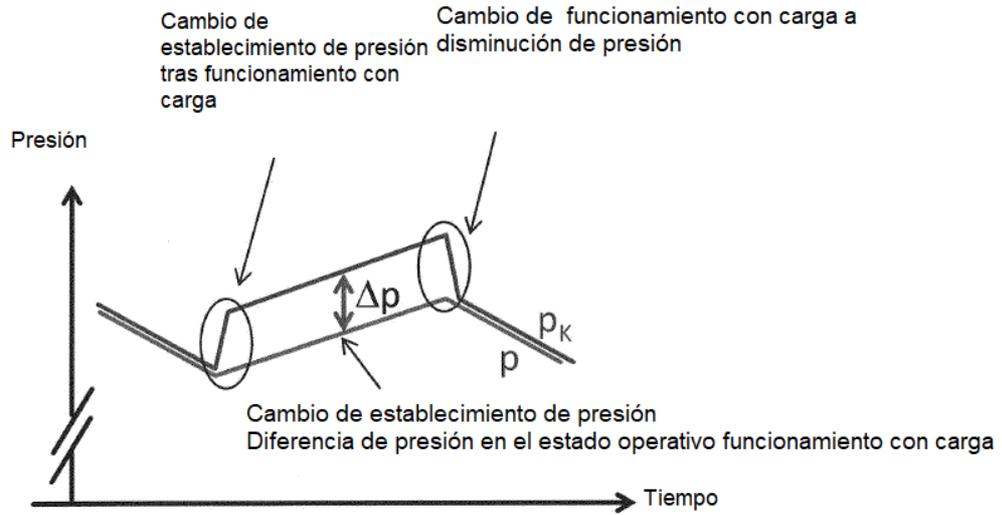


Fig. 14

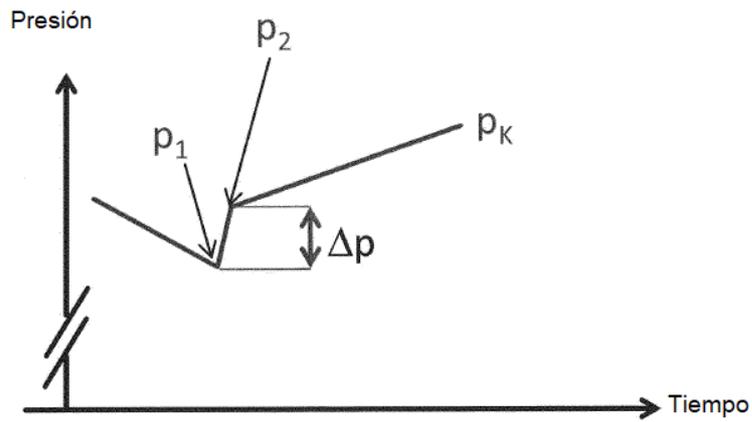


Fig. 15

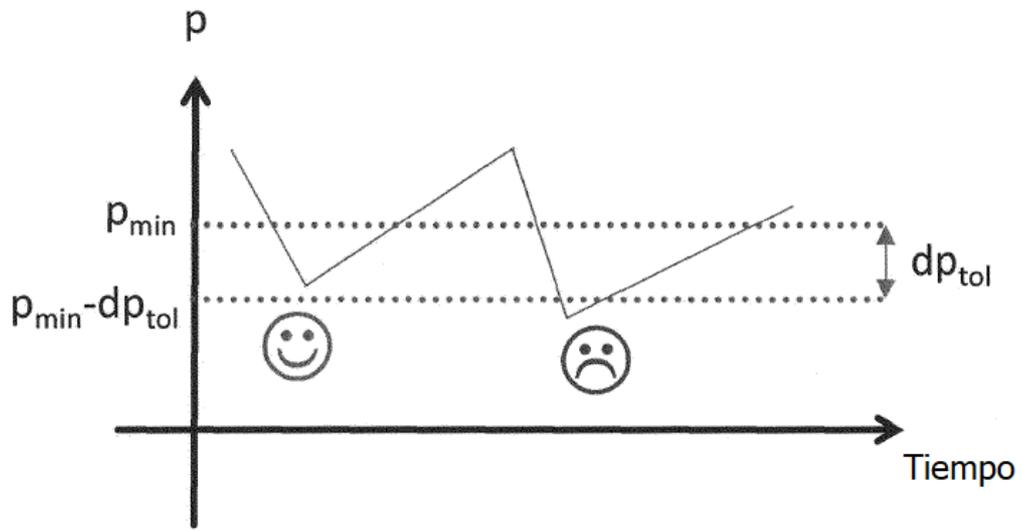


Fig. 16

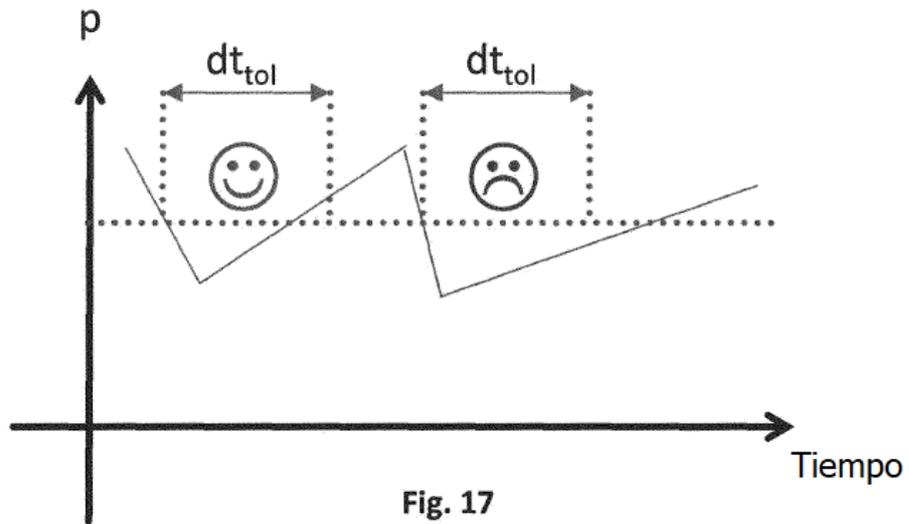


Fig. 17

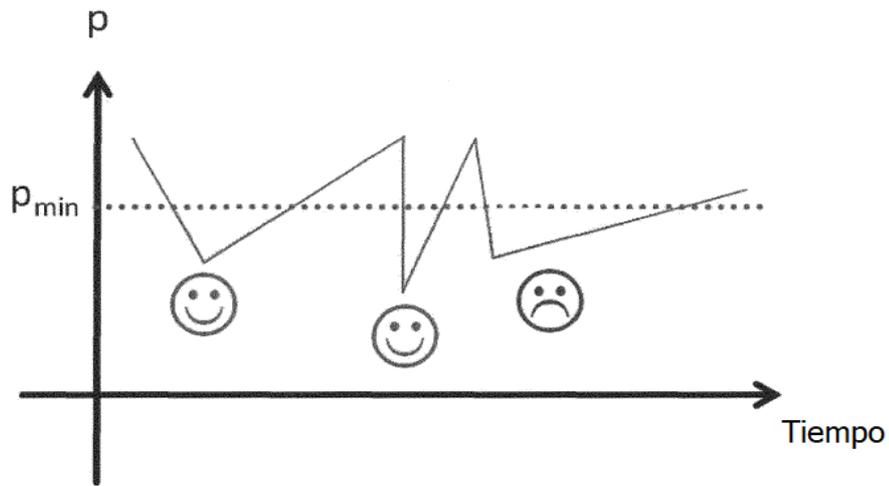


Fig. 18

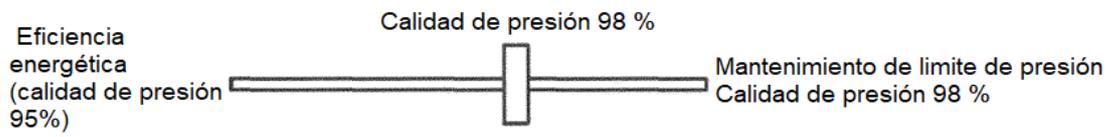


Fig. 19

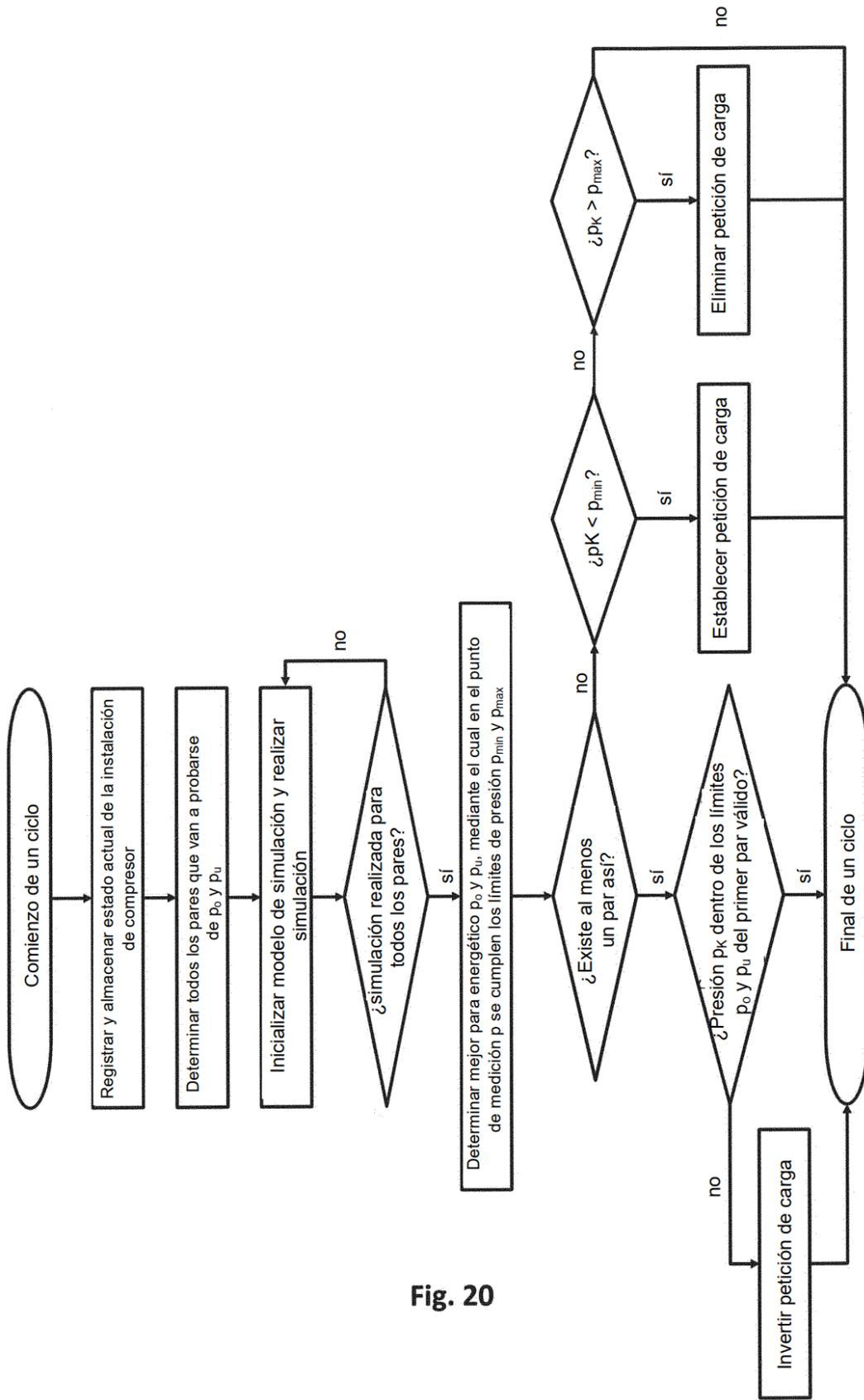


Fig. 20

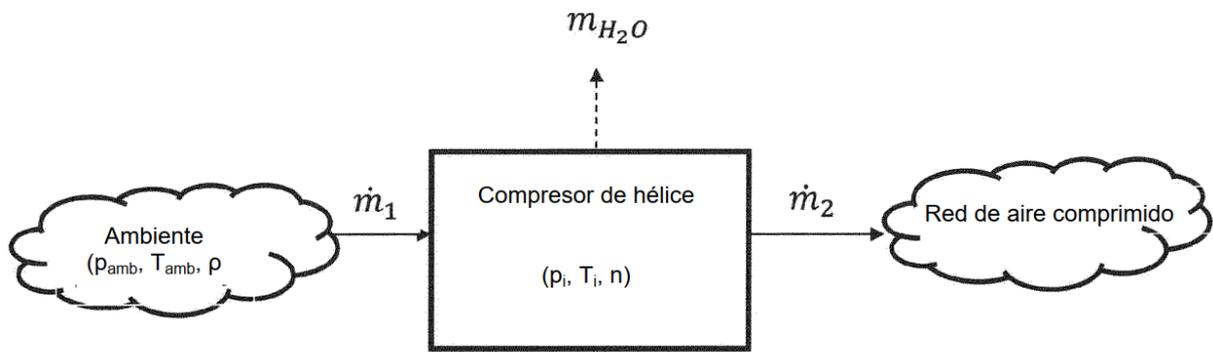


Fig. 21

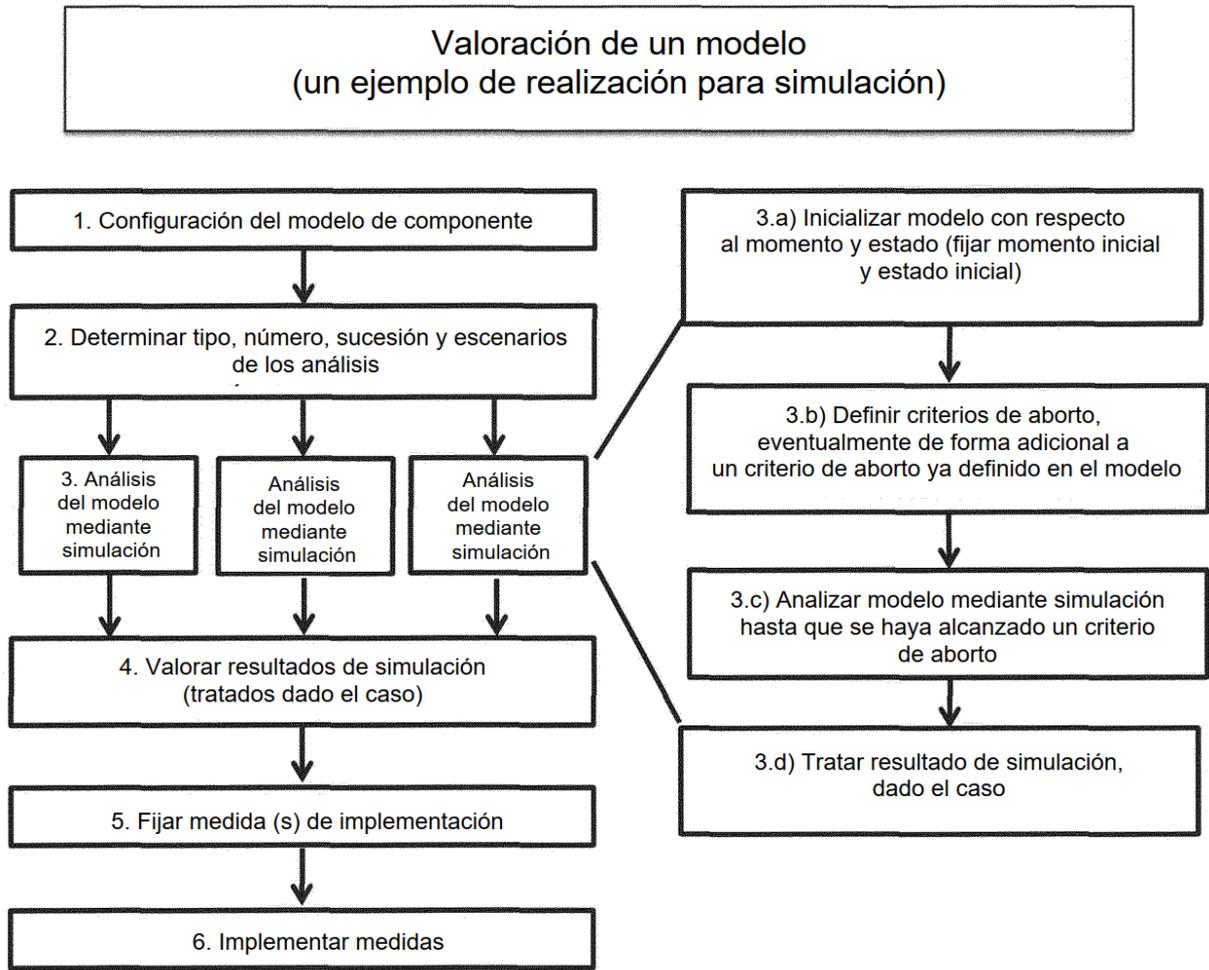


Fig. 22

Valoración de un modelo
(un ejemplo de realización para simulación en paralelo)

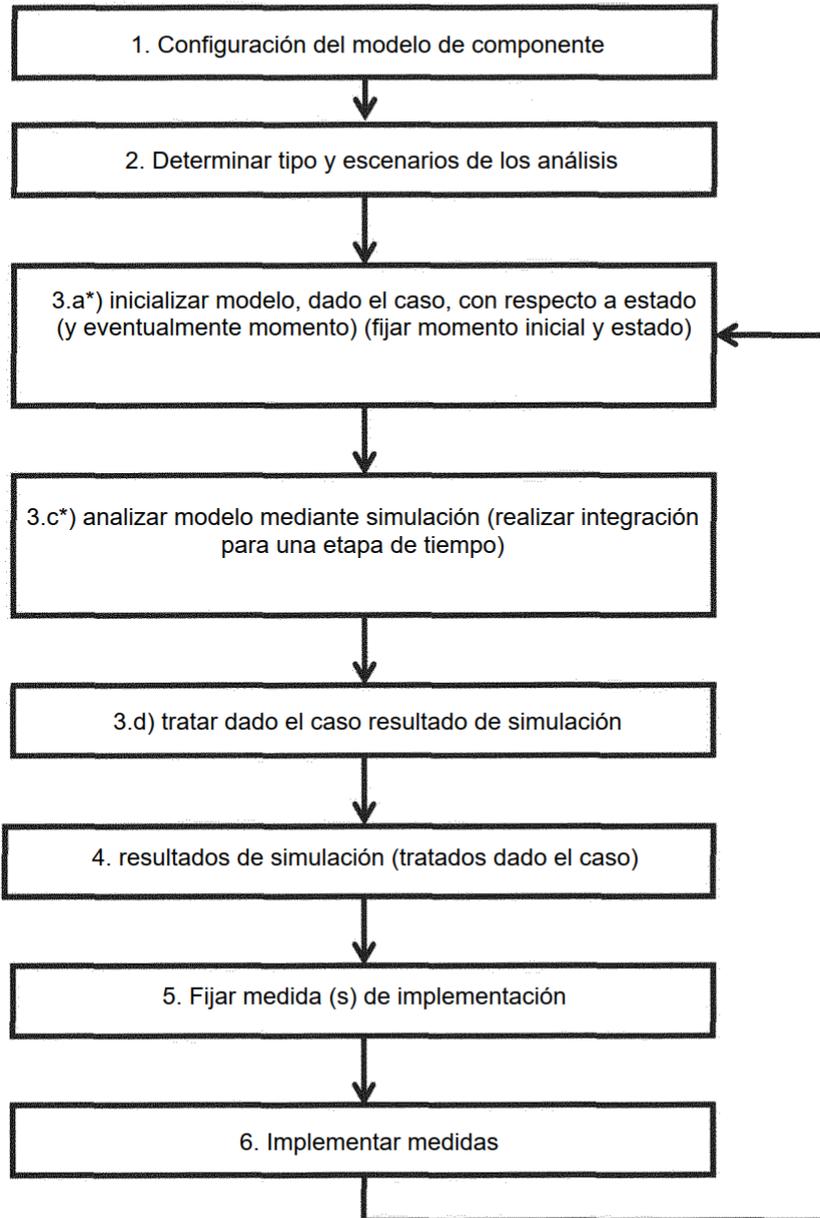


Fig. 23