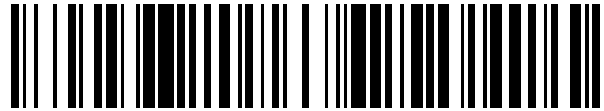


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 571 754**

51 Int. Cl.:

F04D 13/06 (2006.01)
F04D 15/00 (2006.01)
F04D 25/06 (2006.01)
F04D 27/02 (2006.01)
G05D 7/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.06.2011 E 11731408 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.04.2016 EP 2582984**

54 Título: **Una turbomáquina**

30 Prioridad:

16.06.2010 SE 1000650

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

26.05.2016

73 Titular/es:

**SULZER MANAGEMENT AG (100.0%)
Neuwiesenstrasse 15
8401 Winterthur, CH**

72 Inventor/es:

**REUNANEN, ARTTU;
LANTTO, ERKKI y
TOMMILA, VILLE**

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 571 754 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

Una turbomáquina

- 5 Tal como se define en el preámbulo de la reivindicación 11. Tal método se conoce por ejemplo a partir del documento US-A-5508943.

Campo de la invención

- 10 La invención se refiere a un método para obtener una estimación para una cantidad de proceso relacionada con una turbomáquina. La cantidad de proceso puede, por ejemplo, pero no necesariamente, ser flujo de masa generado por la turbomáquina. Además, la invención se refiere a una turbomáquina, un sistema de turbomáquina que comprende dos o más turbomáquinas, y un programa informático para obtener una estimación para una cantidad de proceso relacionada con una turbomáquina.

15

Antecedentes

- En muchas solicitudes existe la necesidad de estimar o medir una o más cantidades de proceso que caracterizan el funcionamiento de una turbomáquina que puede ser por ejemplo, un turbosoplador, un turbocompresor o una bomba. Las estimaciones de las cantidades de proceso pueden necesitarse, por ejemplo, para controlar un turbosoplador, un turbocompresor o una bomba por lo que las condiciones de flujo inestables u oscilatorias, conocidas como sobrecarga y pérdida, pueden evitarse con un margen de seguridad suficiente y/o la eficacia puede mantenerse en un intervalo aceptable. Por ejemplo, junto con un turbocompresor, el funcionamiento puede caracterizarse con las siguientes cantidades de proceso: el flujo de masa (kg/s) o el caudal volumétrico (m^3/s) generado por el turbocompresor, el par de torsión (Nm) dirigido al impulsor del turbocompresor, la velocidad rotativa (1/s) del impulsor, el aumento de presión (Pa) generado por el turbocompresor, la temperatura (K) en la entrada, es decir, en el lado de succión del turbocompresor, la temperatura (K) en la salida, es decir, en el lado de salida del turbocompresor, y parámetros relacionados con propiedades del gas que se comprime tal como la constante de gas.

- 30 Algunas cantidades de proceso pueden medirse prácticamente con precisión suficiente usando equipo de medición relativamente rentable. Sin embargo, medir otras cantidades de proceso puede requerir equipos complejos y bastante caros y/o algunas cantidades de proceso pueden ser incluso inmensurables. Medir, por ejemplo, el flujo de masa o el caudal volumétrico con una precisión suficiente puede ser una tarea desafiante. Debido a las razones antes mencionadas, existe la tendencia de desarrollar métodos en los que parte de las cantidades de proceso se miden y una o más de las cantidades de proceso restantes u otros valores característicos se calculan basándose en los valores medidos y posiblemente también basándose en los datos tabulados de antemano.

- 40 La publicación US5508943 divulga un método para calcular la proximidad del punto de operación de un tubo compresor a un límite de sobrecarga usando mediciones llevadas a cabo en diferentes lugares del sistema de compresor-proceso. En el método divulgado, es crucial que el cálculo no varíe con condiciones de succión, especialmente composición de gas. Las diversas suposiciones usadas en el método pueden en determinadas situaciones comprometer la precisión dependiendo de la validez de las suposiciones en cada caso.

Sumario

- 45 A continuación se presenta un sumario simplificado para proporcionar un entendimiento básico de algunos aspectos de la invención. El sumario no es una vista de conjunto extensiva de la invención. Este tampoco va destinado a identificar elementos clave o críticos de la invención ni a definir el alcance de la invención. El siguiente sumario presenta únicamente algunos conceptos de la invención de forma simplificada como un prelude a una descripción más detallada de realizaciones de ejemplo de la invención.

- 50 De acuerdo con el primer aspecto de la invención, se proporciona un nuevo método para obtener una estimación para una cantidad de proceso relacionada con una turbomáquina tal como se define en la reivindicación 11.

- 55 La tabla de referencia y los valores medidos de los primeros volúmenes de proceso representan un conjunto de valores de datos tales que la estimación pueda obtenerse sobre la base de diferentes subconjuntos de un conjunto de valores de datos. En el cálculo de la estimación, se da más peso a un subconjunto del conjunto de valores de datos que tiene una estimación de error menor que a otro subconjunto del conjunto de valores de datos que tiene una estimación de error mayor. La estimación de error relacionada con cada subconjunto es proporcional a un producto escalar de un vector de los cuadrados de las sensibilidades de la estimación con respecto a los valores de datos de ese subconjunto y un vector de varianzas de los valores de datos de ese subconjunto. En este documento, el significado de la palabra "proporcional" no se limita a significar solo la proporcionalidad directa, es decir, el cociente constante, sino que significa la proporcionalidad de acuerdo con cualquier función ascendente, por ejemplo, el cuadrado de un argumento positivo.

65

- 5 Ya que la estimación puede obtenerse basándose en diferentes subconjuntos del conjunto de valores de datos, aquellos valores medidos y/o valores tabulados en la tabla de referencia que, en cada caso, tienen varianzas mayores y/o respecto a los que la sensibilidad de la estimación es más alta, pueden usarse con un peso menor o incluso omitido en el cálculo de la estimación. Por tanto, la tarea de la estimación está superpuesta en el sentido de que existen más datos de los necesarios para obtener la estimación, y las posibilidades proporcionadas por esta superposición se utilizan para minimizar el error de la estimación.
- 10 El cálculo de la estimación puede llevarse a cabo utilizando métodos matemáticos conocidos. Un método de cálculo directo y de ejemplo es tal que varias preestimaciones se calculan primero usando diferentes subconjuntos de los valores de datos que se representan mediante los valores medidos y los valores tabulados en la tabla de referencia. En la siguiente etapa, cada una de estas preestimaciones vuelve a calcularse una o más veces para que, en cada recálculo de cierta preestimación, esté dispuesto un cambio de uno de los valores de datos. Una relación del cambio de una preestimación con un cambio respectivo de un valor de datos representa la sensibilidad de esta preestimación con respecto a este valor de datos. La estimación de error de cada preestimación puede calcularse como el producto escalar del vector de cuadrados de las sensibilidades de esa preestimación y el vector de las varianzas de los valores de datos usados para calcular esa preestimación. La estimación final es aquella particular de las preestimaciones que tiene la estimación de error más pequeña. El método antes descrito para calcular la estimación se adapta a una situación prevalente de una manera específica para cada caso.
- 15 Otro método de ejemplo para calcular la estimación es construir un filtro de Kalman para la tarea de estimación superpuesta, definir un punto de inicio para el filtro de Kalman y llevar a cabo la primera etapa del filtro de Kalman para obtener la estimación.
- 20 De acuerdo con el segundo aspecto de la invención se proporciona una nueva turbomáquina que puede, por ejemplo, ser un turbosoplador, un turbocompresor o una bomba tal como se define en la reivindicación 1.
- 25 La tabla de referencia y los valores medidos de las primeras cantidades de proceso representan tal conjunto de valores de datos que la estimación puede obtenerse basándose en diferentes subconjuntos del conjunto de valores de datos, y el procesador está dispuesto para aportar, en el cálculo de la estimación, más peso a un primer subconjunto del conjunto de valores de datos que tiene una estimación de error más pequeña que a un segundo subconjunto del conjunto de valores de datos que tiene una estimación de error más grande. La estimación de error relacionada con cada subconjunto es proporcional a un producto escalar de un vector de cuadrados de sensibilidades de la estimación con respecto al valor de datos de ese subconjunto y un vector de varianzas de los valores de datos de ese subconjunto.
- 30 De acuerdo con el tercer aspecto de la invención se proporciona un nuevo sistema de turbomáquina tal como se define en la reivindicación 19.
- 35 Por ejemplo, las estimaciones pueden ser estimaciones de flujos de masa de las turbomáquinas, y una o más de las turbomáquinas se detienen si cae el flujo de masa total, es decir, la suma de los flujos de masa de las turbomáquinas, por lo que ya no sería posible hacer funcionar todas las turbomáquinas en funcionamiento en un área operativa preferente, por ejemplo, un área operativa que se corresponde con una eficacia suficiente. En correspondencia, una o más de las turbomáquinas pueden iniciarse si el flujo de masa total se incrementa, por lo que no sería posible hacer funcionar solo las turbomáquinas que ya están funcionando en el área operativa preferente. Para otro ejemplo, es posible que las estimaciones sean estimaciones de la eficacia isentrópica de las turbomáquinas, y el procesador está dispuesto para controlar las velocidades rotativas de las turbomáquinas y/o el número de turbomáquinas en funcionamiento para minimizar la suma de pérdidas de las turbomáquinas, es decir, para maximizar la eficacia total.
- 40 De acuerdo con el cuarto aspecto de la invención se proporciona un nuevo programa informático para obtener una estimación para una cantidad de proceso relacionada con una turbomáquina tal como se define en la reivindicación 20.
- 45 De acuerdo con el quinto aspecto de la invención se proporciona un nuevo producto de programa informático tal como se define en la reivindicación 22. El producto de programa informático comprende un medio legible por ordenador, por ejemplo, un disco compacto ("CD"), codificado con un programa informático de acuerdo con la invención.
- 50 Un número de realizaciones de ejemplo de la invención se describen en las reivindicaciones dependientes adjuntas.
- 55 Diversas realizaciones de ejemplo de la invención tanto en lo relativo a construcciones como a métodos de funcionamiento, junto con objetos adicionales y ventajas de la misma, se entenderán mejor a partir de la siguiente descripción de realizaciones de ejemplo específicas cuando esta se lea junto con los dibujos adjuntos.
- 60 El verbo "comprender" se usa en este documento como una limitación abierta que ni excluye ni requiere la existencia de elementos tampoco mencionados. Los elementos mencionados en reivindicaciones dependientes pueden
- 65

combinarse libre y mutuamente a menos que se mencione explícitamente lo contrario.

Breve descripción de las figuras

5 Las realizaciones de ejemplo de la invención y sus ventajas se explican en mayor detalle a continuación en referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

la figura 1 muestra una ilustración esquemática de una turbomáquina de acuerdo con una realización de la invención,

10 la figura 2 muestra una ilustración esquemática de un sistema de turbomáquina de acuerdo con una realización de la invención, y

15 la figura 3 muestra un diagrama de flujo de un método de acuerdo con una realización de la invención para obtener una estimación para una cantidad de proceso relacionada con una turbomáquina.

Descripción de las realizaciones de ejemplo

20 La figura 1 muestra una ilustración esquemática de una turbomáquina 100 de acuerdo con una realización de ejemplo de la invención. La turbomáquina comprende una cámara 101 que tiene una entrada 102 y una salida 103 para que se mueva el fluido. En la figura 1, la cámara 101 se muestra como una vista en sección. La turbomáquina comprende un impulsor 104 colocado en la cámara para mover el fluido. El impulsor se acciona mediante un motor eléctrico 112 provisto de un convertidor de frecuencia estática 110 que se conecta a una red de potencia eléctrica 111. El motor eléctrico puede, por ejemplo, ser un motor de inducción, un motor sincrónico de imán permanente, un motor de CC sin escobillas, o un motor de reluctancia. También es posible que el impulsor se accione con un motor de combustión. En la turbomáquina de ejemplo ilustrada en la figura 1, el impulsor se conecta directamente con el árbol 113 del motor eléctrico. Sin embargo, también es posible tener un engranaje entre el impulsor y el motor que acciona el impulsor. El motor eléctrico puede ser un motor de inducción de alta velocidad con un rotor sólido. En este documento, el término "alta velocidad" significa que la velocidad rotativa del motor es más de 5000 rpm. La turbomáquina comprende equipo para medir primeras cantidades de procesos relacionadas con la turbomáquina. El equipo comprende un primer sensor 105 para medir la temperatura de entrada y la presión de entrada, y un segundo sensor 106 para medir la presión de salida y posiblemente también la temperatura de salida. El equipo comprende, además, aquellas piezas 107 del convertidor de frecuencia estática 110 que están dispuestas para producir estimaciones para la velocidad rotativa del impulsor y para el par de torsión dirigido al impulsor. Por tanto, en este caso las primeras cantidades de proceso que se miden son:

- el par de torsión M dirigido al impulsor,
- la velocidad rotativa Ω del impulsor,
- 40 - la presión p_{dentro} en la entrada,
- la presión p_{fuera} en la salida, y
- 45 - la temperatura T_{dentro} en la entrada.

El par de torsión M y la velocidad rotativa Ω se miden normalmente, pero no necesariamente, de manera indirecta por lo que la potencia eléctrica al motor eléctrico 112 se mide primero y después se obtiene una estimación para la potencia mecánica dirigida al impulsor 104 sustrayendo las pérdidas estimadas del motor eléctrico de la potencia eléctrica medida. Una estimación para la velocidad rotativa Ω se obtiene basándose en la frecuencia de la tensión suministrada al motor eléctrico, y una estimación del par de torsión M se obtiene como una relación de la potencia mecánica con la velocidad rotativa.

55 La turbomáquina comprende un procesador 108 para calcular una estimación para una segunda cantidad de proceso relacionada con la turbomáquina basándose en los valores medidos de las primeras cantidades de proceso antes mencionadas y una tabla de referencia de interrelaciones entre las cantidades de proceso prevalentes en las condiciones de entrada de referencia que se corresponden con una temperatura de entrada predefinida, una presión de entrada predefinida, y propiedades de fluido predefinidas en la entrada. El procesador 108 puede ser una única unidad de procesador o una combinación de varias unidades de procesador interconectadas. Además, el procesador puede comprender uno o más circuitos programables y/o uno o más circuitos de aplicación específica. La tabla de referencia se almacena en una memoria 109 que puede ser una parte integrada de la turbomáquina o un dispositivo externo que puede conectarse al procesador 108.

65 La tabla de referencia y los valores medidos de las primeras cantidades de proceso representan tal conjunto de valores de datos que la estimación para la segunda cantidad de proceso pueda obtenerse basándose en diferentes subconjuntos del conjunto de valores de datos. Ya que la estimación puede obtenerse basándose en los diferentes

subconjuntos del conjunto de valores de datos, aquellos valores medidos o valores tabulados en la tabla de referencia que, en cada caso, tienen varianzas mayores y/o con respecto a los que la sensibilidad de la estimación es mayor, pueden usarse con un peso menor o incluso omitirse en el cálculo de la estimación. Por tanto, la tarea de estimación está superpuesta en el sentido de que existen más datos de los necesarios para obtener la estimación, y las posibilidades proporcionadas mediante esta superposición se utilizan para minimizar el error de la estimación.

El cálculo de la estimación puede llevarse a cabo usando métodos matemáticos conocidos. Un par de ejemplos se describen a continuación.

En una turbomáquina de acuerdo con una realización de la invención, el procesador 108 está dispuesto para calcular varias preestimaciones $E_1, E_2 \dots E_n$ para la segunda cantidad de proceso basándose en diferentes subconjuntos de los valores de datos que se representan mediante los valores medidos de las primeras cantidades de proceso y los valores tabulados en la tabla de referencia. El procesador 108 está dispuesto además para volver a calcular cada una de las preestimaciones una o más veces, por lo que, en cada recálculo de una preestimación determinada, está dispuesto un cambio en uno de los valores de datos usados para la preestimación en consideración. El procesador 108 está dispuesto además para calcular relaciones de cambios de las preestimaciones respecto a cambios relevantes de los valores de datos $\Delta E_1/\Delta v_1, \Delta E_1/\Delta v_2, \dots, \Delta E_2/\Delta v_1, \Delta E_2/\Delta v_2, \dots$ etc. Estos cocientes representan las sensibilidades de las preestimaciones con respecto a los valores de datos. El procesador 108 está dispuesto además para calcular una estimación de error para cada preestimación por lo que la estimación de error es $(\Delta E_i/\Delta v_1)^2 \times \sigma_1^2 + (\Delta E_i/\Delta v_2)^2 \times \sigma_2^2 + \dots + (\Delta E_i/\Delta v_m)^2 \times \sigma_m^2$, donde $i = 1, 2, \dots$ o n y $\sigma_1^2, \sigma_2^2, \dots, \sigma_m^2$ son las varianzas de los valores de datos v_1, v_2, \dots, v_m usados para la preestimación E_i . Por tanto, la estimación de error es el producto escalar del vector de cuadrados de las sensibilidades $((\Delta E_i/\Delta v_1)^2, (\Delta E_i/\Delta v_2)^2, \dots, (\Delta E_i/\Delta v_m)^2)$ y el vector de las varianzas $(\sigma_1^2, \sigma_2^2, \dots, \sigma_m^2)$. El procesador 108 está dispuesto además para seleccionar la estimación final E para que la segunda cantidad de proceso sea aquella particular de las preestimaciones $E_1, E_2 \dots E_n$ que tiene la estimación de error más pequeña.

En una turbomáquina de acuerdo con una realización de la invención, el procesador 108 está dispuesto para construir un filtro de Kalman para la tarea de estimación superpuesta, definiendo un punto de inicio para el filtro de Kalman y para llevar a cabo la primera etapa del filtro de Kalman para obtener la estimación. Puede encontrarse información más detallada sobre el filtro de Kalman por ejemplo en RE. Kalman, 1960: "A new approach to linear filtering and pre-diction problems", *Transactions of the ASME - Journal of Basic Engineering* 82, Serie D: 35-45.

Una turbomáquina de acuerdo con una realización de la invención es un turbocompresor para mover gas. En este caso, las propiedades de fluido predefinidas en la entrada pueden definirse para corresponderse con un valor predefinido de la constante de gas.

Una turbomáquina de acuerdo con una realización de la invención es una bomba para mover líquido. En este caso, las propiedades de fluido predefinidas en la entrada pueden definirse para corresponderse con una densidad predefinida del líquido.

A continuación, los principios operativos relacionados con un caso de ejemplo en el que la turbomáquina es un turbocompresor y el procesador 108 está dispuesto para calcular una estimación para el flujo de masa q_m (kg/s) generados por el turbocompresor, se describen en más detalle. Por tanto, en este caso de ejemplo la segunda cantidad de proceso a estimar es el flujo de masa.

Para describir los principios operativos, se asume que la tabla de referencia contiene valores tabulados de la eficacia isentrópica η_{is} y valores tabulados de la velocidad rotativa Ω (1/s) en las condiciones de entrada de referencia como funciones del flujo de masa q_m y la relación de presión π en las condiciones de entrada de referencia. Por tanto, la tabla de referencia puede presentarse en la forma:

$$\eta_{is0} = \eta_{is0}(q_{m0}, \pi_0),$$

$$\Omega_0 = \Omega_0(q_{m0}, \pi_0),$$

donde el subíndice '0' se refiere a las condiciones de entrada de referencia y la relación de presión π es p_{fuera}/p_{dentro} .

Las maneras de ejemplo para calcular la estimación para el flujo de masa q_m se presentan a continuación con fines ilustrativos. En estos ejemplos, el conjunto de valores de datos representado mediante la tabla de referencia y los valores medidos de las primeras cantidades de proceso contiene los siguientes valores de datos:

- el par de torsión M medido dirigido al impulsor,
- la velocidad rotativa Ω medida del impulsor,
- la presión p_{dentro} medida en la entrada,
- el aumento de presión medido $\Delta p = p_{fuera} - p_{dentro}$,

- la temperatura T_{dentro} medida en la entrada,
- la eficacia isentrópica tabulada en las condiciones de entrada de referencia $\eta_{iso} = \eta_{iso}(q_{m0}, \pi_0)$, y
- la velocidad rotativa tabulada en las condiciones de entrada de referencia $\Omega_0 = \Omega_0(q_{m0}, \pi_0)$.

5 Se asume que las condiciones de entrada de referencia y las condiciones operativas actuales son cinemáticamente similares entre sí, es decir, las direcciones de los vectores de velocidad son iguales y los números de Mach son los mismos. Se asume que las velocidades rotativas, los flujos de masa, las relaciones de presión, y los pares de torsión en las condiciones operativas actuales y en las condiciones de entrada de referencia se relacionan como:

10
$$\Omega = \Omega_0(q_{m0}, \pi_0)k_{STR} \tag{1a}$$

$$q_m = q_{m0} \frac{k_p}{k_{STR}}, \tag{1b}$$

$$\pi = \pi_0, \tag{1c}$$

$$k_{STR} = \sqrt{\frac{T_{dentro}R}{T_{dentro0}R_0}} \tag{1d}$$

$$k_p = \frac{p_{dentro}}{p_{dentro0}}, \tag{1e}$$

15
$$M = k_p \frac{R_0 c_p (\pi^{R_0/c_p} - 1)}{R c_{p0} (\pi^{R_0/c_{p0}} - 1)} M_0, \tag{1f}$$

donde R es la constante de gas y c_p es la capacidad de calor específica en presión constante. En este documento, los coeficientes k_{STR} y k_p se llaman factor de temperatura y factor de presión, respectivamente. Tal como puede verse, se asume que la relación de presión π es la misma en las condiciones actuales y en las condiciones de entrada de referencia. Por tanto, a continuación, el subíndice cero se retira de la relación de presión π . El fundamento para las ecuaciones (1a - 1f) puede encontrarse a partir de manuales básicos en el campo de la turbomaquinaria.

25 En las condiciones de entrada de referencia, el par de torsión M_0 puede expresarse así:

$$M_0 = \frac{T_{dentro0} c_{p0} (\pi^{R_0/c_{p0}} - 1) q_{m0}}{\Omega_0(q_{m0}, \pi) \eta_{iso}(q_{m0}, \pi)}. \tag{2}$$

La ecuación de sustitución (2) de la ecuación (1f) proporciona el par de torsión en las condiciones operativas actuales:

30
$$M = k_p \frac{R_0 c_p T_{dentro0} (\pi^{R_0/c_p} - 1) q_{m0}}{R \Omega_0(q_{m0}, \pi) \eta_{iso}(q_{m0}, \pi)}. \tag{3}$$

La ecuación (1 a) proporciona la velocidad rotativa en las condiciones operativas actuales, es decir,

$$\Omega = \Omega_0(q_{m0}, \pi)k_{STR}.$$

35 La presión de entrada en las condiciones operativas actuales se proporciona mediante la ecuación (1 e), es decir,

$$p_{dentro} = p_{dentro0} k_p.$$

40 El aumento de presión en las condiciones operativas actuales puede derivarse de las ecuaciones (1 c) y (1 e), es decir,

ES 2 571 754 T3

$$\Delta p = \rho_{fuera} - \rho_{dentro} = (\pi - 1) \rho_{dentro} = (\pi - 1) \rho_{dentro} K_p.$$

La temperatura de entrada en las condiciones operativas actuales puede solucionarse a partir de la ecuación (1d), es decir,

5

$$T_{dentro0} = R_0 T_{dentro0} K_{STR}^2 / R.$$

El flujo de masa q_m en las condiciones operativas actuales puede solucionarse usando cualquiera de los siguientes subconjuntos A-D del conjunto de valores de datos representados por la tabla de referencia y los valores medidos de las primeras cantidades de proceso:

10

subconjunto A: $M, \Omega, \rho_{dentro}, \Delta p, \eta_{iso}(q_{m0}, \pi), \Omega_0(q_{m0}, \pi),$

subconjunto B: $M, T_{dentro}, \rho_{dentro}, \Delta p, \eta_{iso}(q_{m0}, \pi), \Omega_0(q_{m0}, \pi),$

15

subconjunto C: $M, \Omega, \rho_{dentro}, \Delta p, T_{dentro}, \eta_{iso}(q_{m0}, \pi),$

subconjunto D: $\Omega, \rho_{dentro}, \Delta p, T_{dentro}, \Omega_0(q_{m0}, \pi).$

20

Junto con todos estos subconjuntos A-D, las estimaciones para el factor de presión y la relación de presión pueden obtenerse como: $k_p = \rho_{dentro} / \rho_{dentro0}$ y $\pi = (\rho_{dentro} + \Delta p) / \rho_{dentro}$.

El lo concerniente al subconjunto A, el flujo de masa q_{m0} en las condiciones de entrada de referencia puede solucionarse a partir de la ecuación (3) con la suposición de que $R = R_0$ o con algún otro conocimiento sobre la constante de gas R. El factor de temperatura K_{STR} puede solucionarse a partir de la ecuación (1 a) como $K_{STR} = \Omega / \Omega_0(q_{m0}, \pi)$. Una estimación E_A para el flujo de masa q_m en las condiciones operativas actuales puede calcularse con la ecuación (1 b).

25

En lo referente al subconjunto B, el flujo de masa q_{m0} en las condiciones de entrada de referencia puede solucionarse a partir de la ecuación (3) con la suposición de que $R = R_0$ o en algún otro conocimiento referente a la constante de gas R. El factor de temperatura K_{STR} puede calcularse a partir la ecuación (1d) con la suposición de que $R = R_0$ o con algún otro conocimiento sobre la constante de gas R. Una estimación E_B para el flujo de masa q_m en las condiciones operativas actuales puede calcularse con la ecuación (1 b).

30

En lo referente al subconjunto C, el flujo de masa q_{m0} en las condiciones de entrada de referencia puede solucionarse a partir de la siguiente ecuación que se construye multiplicando las ecuaciones (1 a) y (3) entre sí

35

$$M\Omega = k_p k_{STR} \frac{R_0 c_p T_{dentro0} (\pi^{R/c_p} - 1) q_{m0}}{R \eta_{iso}(q_{m0}, \pi)},$$

donde puede usarse una suposición de que $R = R_0$ o algún otro conocimiento sobre la constante de gas R. El factor de temperatura K_{STR} puede calcularse a partir de la ecuación (1d) con la suposición de que $R = R_0$ o con algún otro conocimiento sobre la constante de gas R. Una estimación E_C para el flujo de masa q_m en las condiciones operativas actuales puede calcularse con la ecuación (1 b).

40

En lo referente al subconjunto D, el factor de temperatura K_{STR} puede calcularse a partir de la ecuación (1 d) con la suposición de que $R = R_0$ o con algún otro conocimiento sobre la constante de gas R. Usando la calculada K_{STR} , el flujo de masa q_{m0} en las condiciones de entrada de referencia puede solucionarse a partir de la ecuación (1 a). Una estimación E_D para el flujo de masa q_m en las condiciones operativas actuales puede calcularse con la ecuación (1b).

45

Debería apreciarse que la tabla de referencia no tiene que contener necesariamente los valores de la eficacia isentrópica η_{iso} y los valores de la velocidad rotativa Ω_0 en las condiciones de entrada de referencia como funciones del flujo de masa q_{m0} y la relación de presión π en las condiciones de entrada de referencia. Por ejemplo, también es posible que la tabla de referencia contenga los valores del flujo de masa q_{m0} y los valores de la velocidad rotativa Ω_0 en las condiciones de entrada de referencia como funciones del par de torsión M_0 y la relación de presión π en las condiciones de entrada de referencia:

50

$$q_{m0} = q_{m0}(M_0, \pi),$$

$$\Omega_0 = \Omega'_0(M_0, \pi).$$

55

Al igual que en el caso anteriormente presentado en el que se usó la tabla de referencia $\{\eta_{iso}(q_{m0}, \pi_0)\}$, unas consideraciones matemáticas similares para solucionar las estimaciones de flujo de masa junto con diferentes

60

subconjuntos de los valores de datos pueden presentarse también cuando se usa la tabla de referencia $\{q_{m0}(M_0, \pi), \Omega'_0(M_0, \pi)\}$. Por ejemplo, en lo referente al subconjunto A, el factor de temperatura k_{STR} puede solucionarse a partir de la ecuación (1 a) como $k_{STR} = \Omega/\Omega'_0(M_0, \pi)$ y la estimación E_A para el flujo de masa q_m en las condiciones operativas actuales puede calcularse a partir de la ecuación (1 b) como $k_p q_{m0}(M_0, \pi)/k_{STR}$, donde M_0 puede solucionarse a partir de la ecuación (1 f) con las suposiciones de que $R = R_0$ y $c_p = c_{p0}$ o en algún otro conocimiento sobre la constante de gas R y/o la capacidad de calor específica c_p .

Cada una de las estimaciones antes mencionadas $E_A, E_B, E_C,$ y E_D puede recalcularse una o más veces por lo que, en cada recálculo, un cambio está dispuesto en uno de los valores de datos usados para la estimación $E_A, E_B, E_C,$ o E_D en consideración. Por ejemplo, un valor de datos cambiado $\Omega + \Delta\Omega$ se usa en uno de los recálculos de la estimación E_A . El cambio de la estimación ΔE_A es la estimación E_A calculada con el valor de datos cambiado $\Omega + \Delta\Omega$ menos la estimación E_A calculada con el valor de datos original Ω . Una relación del cambio de la estimación $E_A, E_B, E_C,$ o E_D con el cambio del valor de datos relevante representa la sensibilidad de la estimación con respecto a este valor de datos. Por ejemplo, $\Delta E_A/\Delta\Omega$ representa la sensibilidad de la estimación E_A con respecto al valor de datos Ω . La estimación de error de la estimación $E_A, E_B, E_C,$ o E_D puede calcularse como el producto escalar del vector de cuadrados de las sensibilidades de esa estimación y el vector de las varianzas de los valores de datos usados para calcular esa estimación. La estimación final E es aquella particular de las estimaciones E_A, E_B, E_C, E_D que tiene la estimación de error más pequeña.

En una turbomáquina de acuerdo con una realización de la invención, el procesador 108 está dispuesto para usar, en el cálculo de la estimación, las varianzas u otros indicadores de error solamente de los valores medidos de las primeras cantidades de proceso para obtener la estimación en la que más peso se ha aportado a aquellos valores de datos que se corresponden con una contribución de error menor que aquellos valores de datos que se corresponden con una contribución de error mayor. En este caso, los valores tabulados en la tabla de referencia se manejan como si fueran valores exactos libres de errores.

En una turbomáquina de acuerdo con otra realización de la invención, el procesador 108 está dispuesto para usar, en el cálculo de la estimación, las varianzas u otros indicadores de error tanto de los valores tabulados en la tabla de referencia como de los valores medidos de las primeras cantidades de proceso. En este caso, también los valores tabulados en la tabla de referencia se manejan como valores con determinados errores.

En una turbomáquina de acuerdo con una realización de la invención, el procesador 108 está dispuesto para controlar la velocidad rotativa del impulsor basándose en la estimación de la segunda cantidad de proceso, por ejemplo, el flujo de masa. También es posible que el procesador esté dispuesto para calcular una estimación para la eficacia isentrópica en las condiciones operativas actuales y controlar la velocidad rotativa del impulsor para optimizar la eficacia isentrópica en las condiciones operativas actuales.

En una turbomáquina de acuerdo con una realización de la invención, el procesador 108 está dispuesto para producir órdenes de inicio y parada para una o más de otras turbomáquinas paralelas operativas para mantener la estimación en un intervalo deseado. El intervalo deseado puede corresponderse con, por ejemplo, tales puntos operativos de la turbomáquina en los que la eficacia isentrópica o total de la turbomáquina está por encima de un valor límite predefinido.

En una turbomáquina de acuerdo con una realización de la invención, el procesador 108 está dispuesto para controlar una o más aletas guidoras de entrada, una o más aletas guidoras de salida, y/o una o más aletas guidoras difusoras basándose en la estimación de la segunda cantidad de proceso.

La figura 2 muestra una ilustración esquemática de un sistema de turbomáquina de acuerdo con una realización de la invención. El sistema de turbomáquina comprende una entrada 202 y una salida 203 para mover el fluido y turbomáquinas 200, 220, y 230. Las turbomáquinas 200, 220, y 230 pueden ser turbosopladores, turbocompresores o bombas y cada una de las turbomáquinas comprende:

- una cámara conectada entre la entrada y la salida,
- un impulsor colocado en la cámara para mover el fluido, y
- equipo para medir primeras cantidades de proceso relacionadas con esa turbomáquina.

El sistema de turbomáquina comprende además un procesador 208 dispuesto para calcular para cada una de las turbomáquinas 200, 220, y 230 una estimación para una segunda cantidad de proceso relacionada con esa turbomáquina basándose en los valores medidos de las primeras cantidades de proceso y una tabla de referencia de interrelaciones entre cantidades de proceso prevalentes en condiciones de entrada de referencia que se corresponden con una temperatura de fluido de entrada predefinida, una presión de fluido de entrada predefinida, y las propiedades de fluido predefinidas en la entrada. La tabla de referencia y los valores medidos de las primeras cantidades de proceso representan tal conjunto de valores de datos que la estimación pueda obtenerse basándose en diferentes subconjuntos del conjunto de valores de datos, y el procesador está dispuesto para proporcionar, con

el cálculo de la estimación, más peso a tal subconjunto del conjunto de valores de datos que tiene una estimación de error menor que a otro subconjunto del conjunto de valores de datos que tiene una estimación de error mayor. La estimación de error relacionada con cada subconjunto es proporcional a un producto escalar de un vector de cuadrados de sensibilidades de la estimación con respecto a los valores de los datos de ese subconjunto y un vector de varianzas de los valores de datos de ese subconjunto.

5 El procesador 208 está dispuesto además para iniciar y detener una o más de las turbomáquinas para mantener las estimaciones calculadas relacionadas con turbomáquinas en funcionamiento en un intervalo deseado. Por ejemplo, las estimaciones pueden ser estimaciones de los flujos de masa de las turbomáquinas, y una o más de las turbomáquinas se detienen si cae el flujo de masa total, es decir, la suma de los flujos de masa de las turbomáquinas, por lo que ya no es posible hacer funcionar todas las turbomáquinas en funcionamiento en un área operativa preferente, por ejemplo, un área operativa correspondiente a una eficacia suficiente. En correspondencia, una o más de las turbomáquinas pueden iniciarse si el flujo de masa total se incrementa, por lo que ya no sería posible hacer funcionar solamente las turbomáquinas ya en funcionamiento en el área operativa preferente. Para otro ejemplo, es posible que las estimaciones calculadas sean estimaciones de la eficacia isentrópica de las turbomáquinas, y el procesador 208 está dispuesto para controlar las velocidades rotativas de las turbomáquinas y/o el número de turbomáquinas en funcionamiento para minimizar la suma de pérdidas de las turbomáquinas, es decir, para maximizar la eficacia total.

10 El procesador 208 puede ser una única unidad de procesador o una combinación de varias unidades de procesadores interconectados. Además, el procesador puede comprender uno o más circuitos programables y/o uno o más circuitos de aplicación específica. Por ejemplo, en un caso en el que los impulsores de las turbomáquinas se accionan con motores de corriente alterna provistos de convertidores de frecuencia estática, el procesador 208 puede comprender los procesadores de los convertidores de frecuencia. En este caso, la tarea de procesamiento puede compartirse para que el procesador de cada convertidor de frecuencia esté dispuesto para calcular la estimación relacionada con la turbomáquina que comprende el convertidor de frecuencia, y el procesador de uno de los convertidores de frecuencia está dispuesto para funcionar como un procesador maestro para controlar todo el sistema de turbomáquina.

20 La tabla de referencia se almacena en una memoria 209 que puede ser una parte integrada del sistema de turbomáquina o un dispositivo externo que puede conectarse con el procesador 208. La tabla de referencia puede contener piezas separadas para dos o más de las turbomáquinas 200, 220 y 230 si dichas dos o más turbomáquinas son mutuamente tan diferentes que los mismos valores tabulados no serían adecuados para estas turbomáquinas.

30 La figura 3 muestra un diagrama de flujo de un método de acuerdo con una realización de la invención para obtener una estimación para una cantidad de proceso relacionada con una turbomáquina que comprende una cámara que tiene una entrada y una salida para mover fluido y un impulsor colocado en la cámara para mover el fluido. El método comprende:

- 40 - medir, en la fase 301, primeras cantidades de proceso relacionadas con la turbomáquina, y
- calcular, en la fase 302, una estimación para una segunda cantidad de proceso relacionada con la turbomáquina basándose en valores medidos de las primeras cantidades de proceso y una tabla de referencia de interrelaciones entre cantidades de proceso prevalentes en condiciones de entrada de referencia que se corresponden con una temperatura de fluido de entrada predefinida, una presión de fluido de entrada predefinida, y propiedades de fluido predefinidas en la entrada.

50 La tabla de referencia y los valores medidos de las primeras cantidades de proceso representan tal conjunto de valores de datos que la estimación puede obtenerse basándose en diferentes subconjuntos del conjunto de valores de datos, y, en el cálculo de la estimación, se proporciona más peso a un primer subconjunto del conjunto de valores de datos que tiene una estimación de error menor que a un segundo subconjunto del conjunto de valores de datos que tiene una estimación de error mayor. La estimación de error relacionada con cada subconjunto es proporcional a un producto escalar de un vector de cuadrados de sensibilidades de la estimación con respecto a los valores de datos de ese subconjunto y un vector de varianzas de los valores de datos de ese subconjunto.

55 En un método de acuerdo con una realización de la invención, el primer subconjunto tiene más peso que el segundo subconjunto usando varianzas u otros indicadores de error tanto de los valores de datos representados por valores de la tabla de referencia como de los valores de datos representados por los valores medidos de las primeras cantidades de proceso.

60 En un método de acuerdo con una realización de la invención, la estimación se calcula con diferentes valores de los valores de datos para obtener cambios de la estimación correspondientes a cambios en los valores de datos, representando una relación del cambio de la estimación con el cambio de cada valor de datos la sensibilidad de la estimación con respecto a ese valor de datos.

65 En un método de acuerdo con una realización de la invención, la turbomáquina es un turbocompresor para mover gas, correspondiéndose las propiedades de fluido predefinidas en la entrada con un valor predefinido de la constante

de gas.

5 En un método de acuerdo con una realización de la invención, las primeras cantidades de proceso son: el par de torsión dirigido al impulsor, la velocidad rotativa del impulsor, el aumento de presión del gas, la presión de entrada del gas, y la temperatura de entrada del gas. La tabla de referencia contiene valores tabulados de la eficacia isentrópica y la velocidad rotativa en las condiciones de entrada de referencia como funciones del flujo de masa y la relación de presión en las condiciones de entrada de referencia. La segunda cantidad de proceso que va a estimarse es el flujo de masa en las condiciones operativas actuales. En un método de acuerdo con otra realización de la invención, la tabla de referencia contiene valores tabulados del flujo de masa y la velocidad rotativa en las condiciones de entrada de referencia como funciones del par de torsión y la relación de presión en las condiciones de entrada de referencia.

15 En un método de acuerdo con una realización de la invención, la velocidad rotativa del impulsor se controla basándose en la estimación de la segunda cantidad de proceso.

En un método de acuerdo con una realización de la invención, las órdenes de inicio y parada se producen para una o más de otras turbomáquinas para mantener la estimación en un intervalo deseado.

20 En un método de acuerdo con una realización de la invención, la turbomáquina es una bomba para mover líquido, correspondiéndose las propiedades de fluido predefinidas en la entrada con una densidad predefinida del líquido.

25 En un método de acuerdo con una realización de la invención, una o más aletas guidoras de entrada, una o más aletas guidoras de salida, y/o una o más aletas guidoras difusoras se controlan basándose en la estimación de la segunda cantidad de proceso.

30 Un programa informático de acuerdo con una realización de la invención comprende módulos de software para obtener una estimación para una cantidad de proceso relacionada con una turbomáquina que comprende una cámara que tiene una entrada y una salida para mover fluido, un impulsor colocado en la cámara para mover el fluido, y equipo para medir las primeras cantidades de proceso relacionadas con la turbomáquina. Los módulos de software pueden, por ejemplo, ser subrutinas o funciones.

35 Los módulos de software comprenden instrucciones ejecutables por ordenador para controlar un procesador programable para calcular una estimación para una segunda cantidad de proceso relacionada con la turbomáquina basándose en valores medidos de las primeras cantidades de proceso y una tabla de referencia de interrelaciones entre cantidades de proceso prevalentes en condiciones de entrada de referencia que se corresponden con una temperatura de fluido de entrada predefinida, una presión de fluido de entrada predefinida, y propiedades de fluido predefinidas en la entrada. La tabla de referencia y los valores medidos de las primeras cantidades de proceso representan tal conjunto de valores de datos que la estimación puede obtenerse basándose en diferentes subconjuntos del conjunto de valores de datos, y los módulos de software comprenden instrucciones ejecutables por ordenador para controlar el procesador programable para proporcionar, en el cálculo de la estimación, más peso a un primer subconjunto del conjunto de valores de datos que tiene una estimación de error menor que a un segundo subconjunto del conjunto de valores de datos que tiene una estimación de error mayor, donde la estimación de error relacionada con cada subconjunto es proporcional a un producto escalar de un vector de cuadrados de sensibilidades de la estimación con respecto a los valores de datos de ese subconjunto y un vector de varianzas de los valores de datos de ese subconjunto.

50 En un programa informático de acuerdo con una realización de la invención, los módulos de software comprenden instrucciones ejecutables por ordenador para controlar el procesador programable para controlar la velocidad rotativa del impulsor basándose en la estimación de la segunda cantidad de proceso.

55 En un programa informático de acuerdo con una realización de la invención, los módulos de software comprenden instrucciones ejecutables por ordenador para controlar el procesador programable para producir órdenes de inicio y parada para una o más de otras turbomáquinas para mantener la estimación de la segunda cantidad de proceso en un intervalo deseado.

Un producto de programa informático de acuerdo con una realización de la invención comprende un medio legible por ordenador, por ejemplo, un disco compacto ("CD"), codificado con un programa informático de acuerdo con una realización de la invención.

60 Una señal de acuerdo con una realización de la invención se codifica para llevar información que define un programa informático de acuerdo con una realización de la invención.

65 Los ejemplos específicos proporcionados en la descripción proporcionada antes no deberían interpretarse como limitativos. Por tanto, la invención no se limita únicamente a las realizaciones antes descritas, siendo posibles muchas variantes si están dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Una turbomáquina (100) que comprende:

- 5 - una cámara (101) que tiene una entrada (102) y una salida (103) para mover fluido,
 - un impulsor (104) colocado en la cámara para mover el fluido,
 - equipo (105-107) para medir primeras cantidades de procesos relacionadas con la turbomáquina, y
 10 - un procesador (108) para calcular una estimación para una segunda cantidad de proceso relacionada con la turbomáquina basándose en valores medidos de las primeras cantidades de proceso y una tabla de referencia de interrelaciones entre cantidades de proceso prevalentes en condiciones de entrada de referencia que se corresponden con una temperatura de fluido de entrada predefinida, una presión de fluido de entrada predefinida, y propiedades de fluido predefinidas en la entrada,

15 **caracterizada por que** la tabla de referencia y los valores medidos de las primeras cantidades de proceso representan tal conjunto de valores de datos que la estimación puede obtenerse basándose en diferentes subconjuntos del conjunto de valores de datos, y el procesador (108) está dispuesto para proporcionar, en el cálculo de la estimación, más peso a un primer subconjunto del conjunto de valores de datos que tiene una estimación de error menor que a un segundo subconjunto del conjunto de valores de datos que tiene una estimación de error mayor para incrementar la precisión de la estimación, siendo proporcional la estimación de error relacionada con cada subconjunto a un producto escalar de un vector de cuadrados de sensibilidades de la estimación con respecto a los valores de datos de ese subconjunto y un vector de varianzas de los valores de datos de ese subconjunto.

25 2. Una turbomáquina de acuerdo con la reivindicación 1, donde el procesador (108) está dispuesto para usar, para proporcionar al primer subconjunto más peso que al segundo subconjunto, varianzas u otros indicadores de error tanto de los valores de datos representados por valores de la tabla de referencia como de los valores de datos representados por los valores medidos de las primeras cantidades de proceso.

30 3. Una turbomáquina de acuerdo con la reivindicación 1, donde el procesador (108) está dispuesto para calcular la estimación con diferentes valores de los valores de datos para obtener cambios de la estimación correspondientes a cambios de los valores de datos, representando una relación del cambio de la estimación con el cambio de cada valor de datos la sensibilidad de la estimación con respecto a ese valor de datos.

35 4. Una turbomáquina de acuerdo con la reivindicación 1, donde la turbomáquina es un turbocompresor para mover gas, correspondiéndose las propiedades del fluido predefinidas en la entrada con un valor predefinido de la constante de gas.

 5. Una turbomáquina de acuerdo con la reivindicación 1, donde la turbomáquina es una bomba para mover líquido, correspondiéndose las propiedades de fluido predefinidas en la entrada con una densidad predefinida del líquido.

40 6. Una turbomáquina de acuerdo con la reivindicación 4, donde las primeras cantidades de proceso son:

- 45 - par de torsión dirigido al impulsor (104),
 - velocidad rotativa del impulsor (104),
 - aumento de presión del gas,
 - presión de entrada del gas, y
 - temperatura de entrada del gas,

50 y donde la tabla de referencia contiene valores tabulados de eficacia isentrópica y de velocidad rotativa en las condiciones de entrada de referencia como funciones de flujo de masa y relación de presión en las condiciones de entrada de referencia o valores tabulados de flujo de masa y de velocidad rotativa en las condiciones de entrada de referencia como funciones de par de torsión y relación de presión en las condiciones de entrada de referencia, y donde la segunda cantidad de proceso es el flujo de masa en las condiciones operativas actuales.

55 7. Una turbomáquina de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-6, donde el procesador (108) está dispuesto para controlar la velocidad rotativa del impulsor basándose en la estimación de la segunda cantidad de proceso.

60 8. Una turbomáquina de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-7, donde el procesador (108) está dispuesto para controlar al menos una de la siguiente lista basándose en la estimación de la segunda cantidad de proceso: una o más aletas guiadoras de entrada, una o más aletas guiadoras de salida, una o más aletas guiadoras difusoras.

65 9. Una turbomáquina de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-8, donde la turbomáquina comprende un motor eléctrico (112) para hacer rotar el impulsor y el impulsor se conecta directamente con un árbol (113) del motor eléctrico, y donde la turbomáquina en particular comprende un convertidor de frecuencia estática (110) para suministrar potencia eléctrica al motor eléctrico (112).

10. Una turbomáquina de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-9, donde el procesador (108) está dispuesto para producir órdenes de inicio y parada para una o más de otras turbomáquinas para mantener la estimación en un intervalo deseado.
- 5 11. Un método para obtener una estimación para una cantidad de proceso rotada a una turbomáquina (100) que comprende una cámara (101) con una entrada (102) y una salida (103) para mover fluido y un impulsor (104) colocado en la cámara (101) para mover el fluido, comprendiendo el método:
- 10 - medir (301) primeras cantidades de proceso relacionadas con la turbomáquina, y
 - calcular (302) una estimación para una segunda cantidad de proceso relacionada con la turbomáquina basándose en valores medidos de las primeras cantidades de proceso y una tabla de referencia de interrelaciones entre cantidades de proceso prevalentes en condiciones de entrada de referencia que se corresponden con una temperatura de fluido de entrada predefinida, una presión de fluido de entrada predefinida, y propiedades de fluido predefinidas en la entrada,
- 15 **caracterizado por que** la tabla de referencia y los valores medidos de las primeras cantidades de proceso representan tal conjunto de valores de datos que la estimación puede obtenerse basándose en diferentes subconjuntos del conjunto de valores de datos y, en el cálculo de la estimación, se proporciona más peso al primer subconjunto del conjunto de valores de datos que tiene una estimación de error menor que a un segundo
- 20 subconjunto del conjunto de valores de datos que tiene una estimación de error mayor para incrementar la precisión de la estimación, siendo proporcional la estimación de error relacionada con cada subconjunto a un producto escalar de un vector de cuadrados de sensibilidades de la estimación con respecto a los valores de datos de ese subconjunto y un vector de varianzas de los valores de datos de ese subconjunto.
- 25 12. Un método de acuerdo con la reivindicación 11, donde el primer subconjunto recibe más peso que el segundo subconjunto usando varianzas u otros indicadores de error tanto de los valores de datos representados por valores de la tabla de referencia como de los valores de datos representados por valores medidos de las primeras cantidades de proceso.
- 30 13. Un método de acuerdo con la reivindicación 12, donde la estimación se calcula con diferentes valores de los valores de datos para obtener cambios de la estimación correspondientes con cambios de los valores de datos, representando una relación del cambio de la estimación con el cambio de cada valor de datos la sensibilidad de la estimación con respecto a ese valor de datos.
- 35 14. Un método de acuerdo con la reivindicación 11, donde la turbomáquina es un turbocompresor para mover gas correspondiéndose las propiedades de fluido predefinidas en la entrada con un valor predefinido de la constante de gas.
- 40 15. Un método de acuerdo con la reivindicación 14, donde las primeras cantidades de proceso son:
- 45 - par de torsión dirigido al impulsor (104) ,
 - velocidad rotativa del impulsor (104) ,
 - aumento de presión del gas,
 - presión de entrada del gas, y
 - temperatura de entrada del gas,
- y donde la tabla de referencia contiene valores tabulados de eficacia isentrópica y de velocidad rotativa en las condiciones de entrada de referencia como funciones de flujo de masa y relación de presión en las condiciones de
- 50 entrada de referencia o valores tabulados de flujo de masa y de velocidad rotativa en las condiciones de entrada de referencia como funciones de par de torsión y relación de presión en las condiciones de entrada de referencia, y donde la segunda cantidad de proceso es el flujo de masa en las condiciones operativas actuales.
- 55 16. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 11-15, donde la velocidad rotativa del impulsor (104) se controla basándose en la estimación de la segunda cantidad de proceso.
- 60 17. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 11-16, donde al menos una de la siguiente lista se controla basándose en la estimación de la segunda cantidad de proceso: una o más aletas guidoras de entrada, una o más aletas guidoras de salida, una o más aletas guidoras difusoras.
- 65 18. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 11-17, donde unas órdenes de inicio y parada se producen para una o más de otras turbomáquinas para mantener la estimación en un intervalo deseado.
19. Un sistema de turbomáquina que comprende una entrada (202) y una salida (203) para mover fluido y al menos dos turbomáquinas (200, 220, 230) cada una de las cuales comprende:

- una cámara conectada entre la entrada y la salida,
- un impulsor colocado en la cámara para mover el fluido, y
- equipo para medir primeras cantidades de proceso relacionadas con esa turbomáquina,

5 comprendiendo además el sistema de turbomáquina un procesador (208) dispuesto para calcular para cada una de las turbomáquinas una estimación para una segunda cantidad de proceso relacionada con esa turbomáquina basándose en valores medidos de las primeras cantidades de proceso y una tabla de referencia de interrelaciones entre cantidades de proceso prevalentes en condiciones de entrada de referencia que se corresponden con una temperatura de fluido de entrada predefinida, una presión de fluido de entrada predefinida, y propiedades de fluido predefinidas en la entrada, **caracterizado por que** la tabla de referencia y los valores medidos de las primeras cantidades de proceso representan tal conjunto de valores de datos que la estimación puede obtenerse basándose en diferentes subconjuntos del conjunto de valores de datos, y el procesador está dispuesto para proporcionar, en el cálculo de la estimación, más peso a un primer subconjunto del conjunto de valores de datos que tiene una estimación de error mayor para incrementar la precisión de la estimación, siendo proporcional la estimación de error relacionada con cada subconjunto a un producto escalar de un vector de cuadrados de sensibilidades de la estimación con respecto a los valores de datos de ese subconjunto y un vector de varianzas de los valores de datos de ese subconjunto, y el procesador está dispuesto para iniciar y detener una o más de las turbomáquinas para mantener en un intervalo deseado las estimaciones relacionadas con turbomáquinas en funcionamiento.

20. Un programa informático para obtener una estimación para una cantidad de proceso relacionada con una turbomáquina que comprende una cámara con una entrada y una salida para mover fluido, un impulsor colocado en la cámara para mover el fluido, y un equipo de procesador programable (108) para medir primeras cantidades de procesos relacionadas con la turbomáquina, comprendiendo el programa informático instrucciones ejecutables por ordenador de manera que cuando el programa informático se carga en dicho procesador (108) de dicha turbomáquina (100), este controla el procesador programable (108) para calcular una estimación para una segunda cantidad de proceso relacionada con la turbomáquina basándose en valores medidos de las primeras cantidades de proceso y una tabla de referencia de interrelaciones entre cantidades de proceso prevalentes en condiciones de entrada de referencia que se corresponden con una temperatura de fluido de entrada predefinida, una presión de fluido de entrada predefinida y propiedades de fluido predefinidas en la entrada, **caracterizado por que** la tabla de referencia y los valores medidos de las primeras cantidades de proceso representan tal conjunto de valores de datos que la estimación puede obtenerse basándose en diferentes subconjuntos del conjunto de valores de datos, y el programa informático comprende instrucciones ejecutables por ordenador de manera que cuando el programa informático se carga en dicho procesador (108) de dicha turbomáquina (100), este controla dicho procesador programable (108) para proporcionar, en el cálculo de la estimación, más peso a un primer subconjunto del conjunto de valores de datos que tiene una estimación de error mayor para incrementar la precisión de la estimación, siendo proporcional la estimación de error relacionada con cada subconjunto a un producto escalar de un vector de cuadrados de sensibilidades de la estimación con respecto a los valores de datos de ese subconjunto y un vector de varianzas de los valores de datos de ese subconjunto.

21. Un programa informático de acuerdo con la reivindicación 20, que comprende además instrucciones ejecutables por ordenador para controlar el procesador programable de acuerdo con cualquiera de los métodos reivindicados en una de las reivindicaciones 11-18.

22. Un producto de programa informático que comprende un medio legible por ordenador, **caracterizado por que** el medio legible por ordenador se codifica con un programa informático de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 20 y 21.

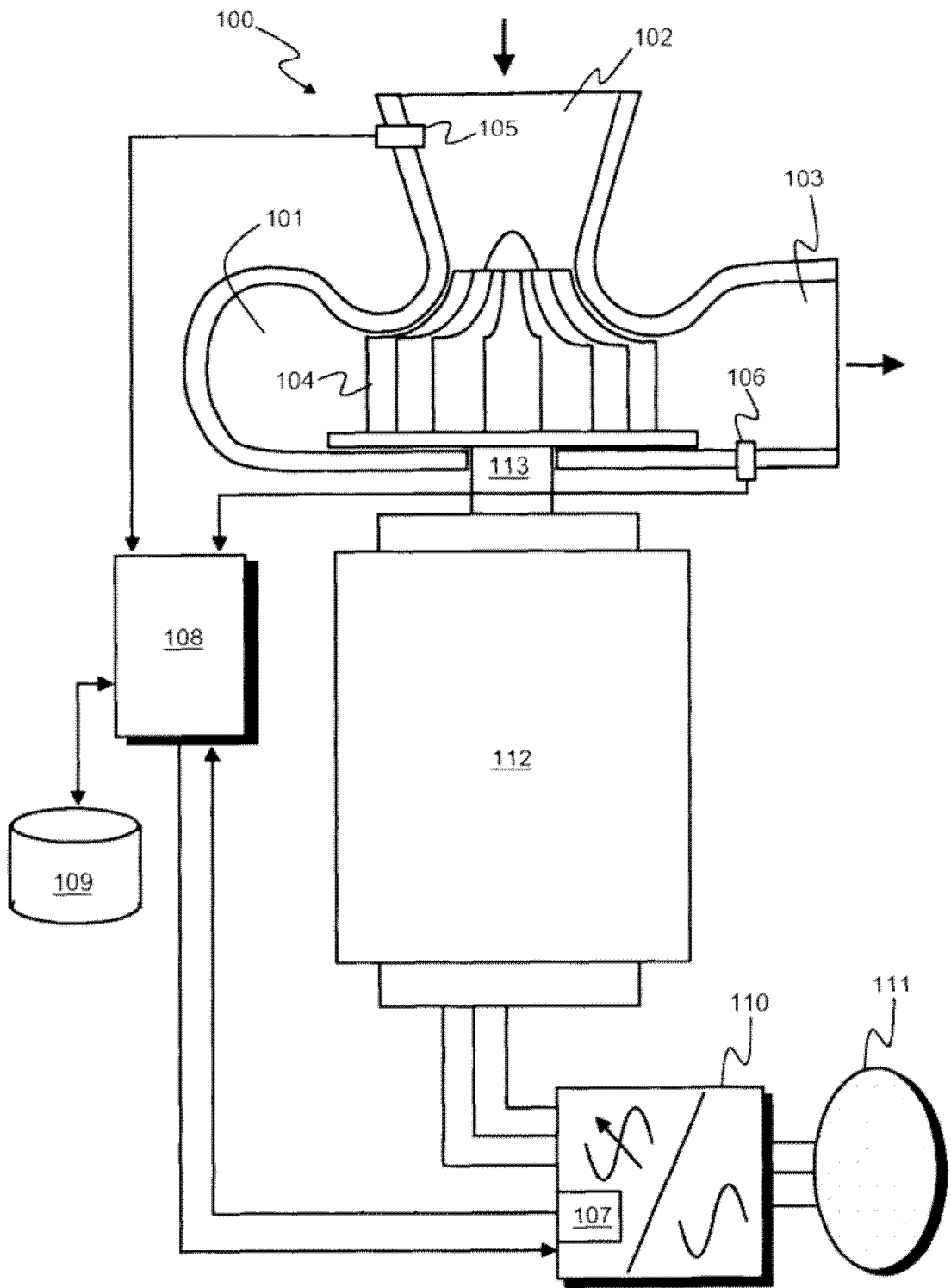


Figura 1

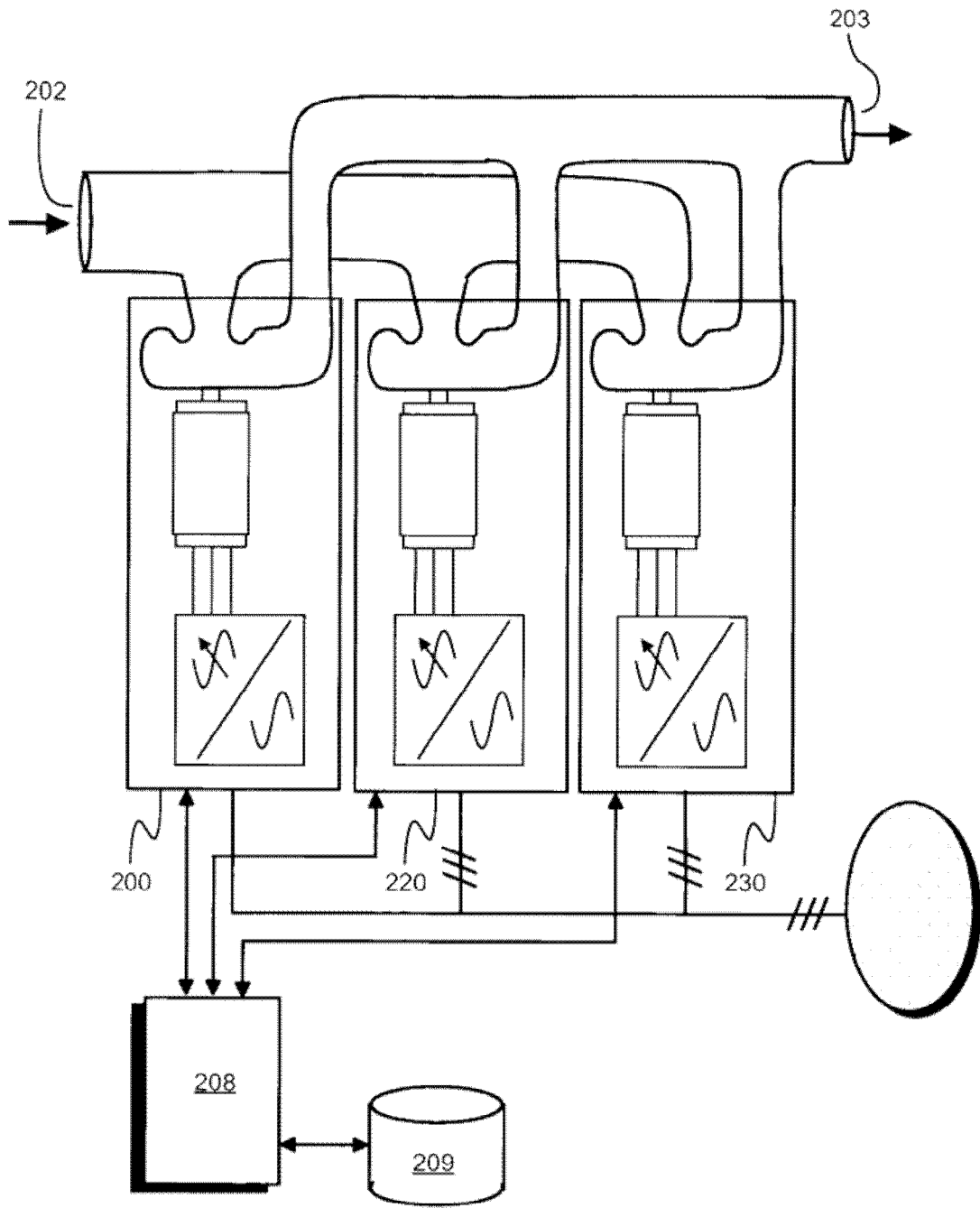


Figura 2

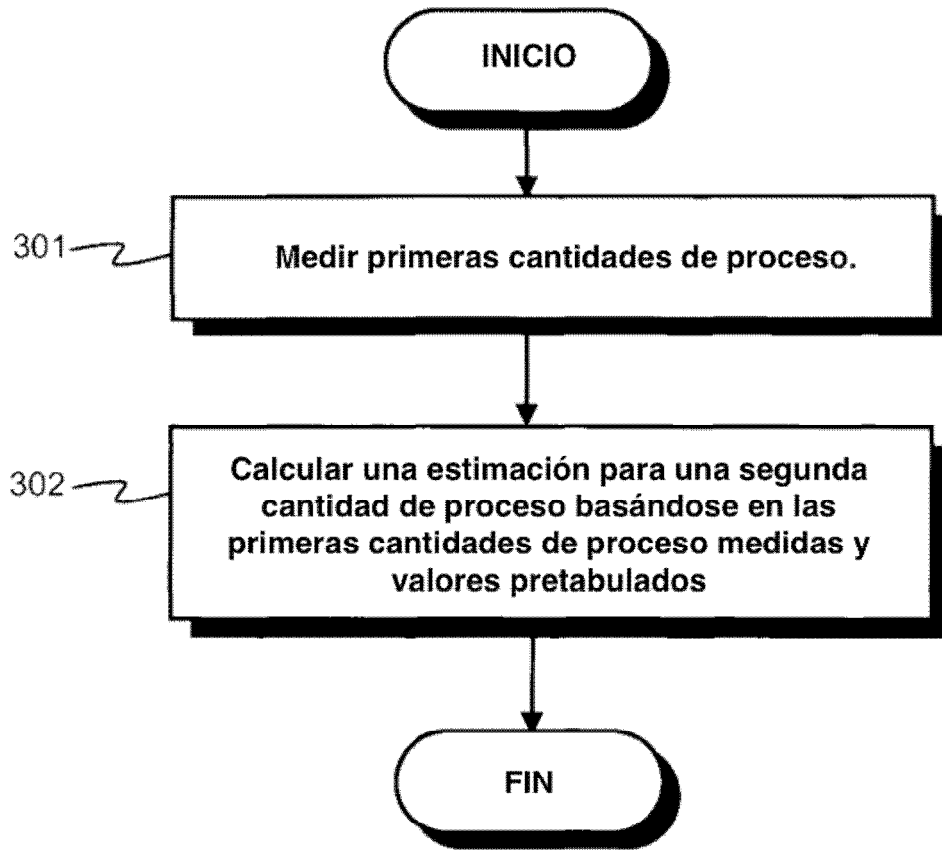


Figura 3