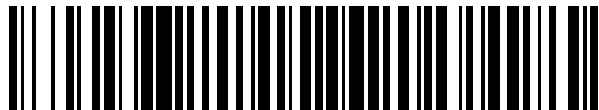


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 928 232**

51 Int. Cl.:

**F01D 19/00** (2006.01)

**F02C 7/26** (2006.01)

**F02C 7/266** (2006.01)

**F02C 7/275** (2006.01)

**F02C 9/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.11.2019 E 19207987 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.09.2022 EP 3663535**

54 Título: **Método para controlar al menos parte de un proceso de arranque o reencendido de un motor de turbina de gas y motor de turbina de gas**

30 Prioridad:

**03.12.2018 GB 201819694**

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

**16.11.2022**

73 Titular/es:

**ROLLS-ROYCE PLC (100.0%)  
Kings Place, 90 York Way  
London N1 9FX, GB**

72 Inventor/es:

**HUSBAND, STEPHEN;  
RAZAK, AHMED y  
MILLER, PAUL**

74 Agente/Representante:

**SÁEZ MAESO, Ana**

**ES 2 928 232 T3**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Método para controlar al menos parte de un proceso de arranque o reencendido de un motor de turbina de gas y motor de turbina de gas

5 La presente divulgación se refiere a métodos y aparatos para controlar al menos parte de un proceso de arranque o reencendido de un motor de turbina de gas.

10 Los motores de turbina de gas suelen tener un proceso de arranque o reencendido en el que se incrementa la velocidad angular de un compresor de alta presión antes del encendido dentro de la cámara de combustión del motor de turbina de gas. A baja rapidez, el compresor de alta presión puede experimentar una perturbación conocida como "parada del extremo frontal". Si la parada del extremo frontal degenera en una parada giratoria de una sola celda, el proceso de encendido o reencendido puede retrasarse o puede ser necesario cancelarlo.

15 Para prevenir que el compresor de alta presión se pare en el extremo frontal, se puede usar un sangrado de arranque en el compresor de alta presión para expulsar el aire del compresor de alta presión, lo que permite un flujo más alto en las etapas frontales del compresor de alta presión y previene la obstrucción en las etapas posteriores del compresor de alta presión. Sin embargo, el sangrado de arranque puede aumentar la salida de ruido del motor de turbina de gas durante el proceso de arranque o reencendido y puede agregar peso al motor de turbina de gas, reduciendo el consumo de combustible específico del freno.

20 La publicación de solicitud de patente europea EP 1908941 A2 describe un sistema de arranque/generador para un motor de turbina de gas. El motor de turbina de gas incluye un motor de turbina de núcleo de gas y una turbina de baja presión acoplada al motor de turbina de núcleo de gas. El sistema de motor de arranque/generador incluye un motor de arranque acoplado al motor de turbina de núcleo de gas y un generador acoplado a la turbina de baja presión.

25 La publicación de solicitud de patente de Estados Unidos US 2007/0151258 A1 describe un motor de propulsión de turbina de gas de turboventilador que incluye una transmisión de múltiples velocidades entre las turbinas de alta y baja presión y los generadores de arranque de alta y baja presión asociados. La transmisión de múltiples rapidezces reduce el rango de rapidez de operación desde la turbina de baja presión hasta su generador de arranque asociado, y es configurable para permitir que el generador de arranque asociado con la turbina de baja presión suministre torque de arranque al motor.

30 De acuerdo con un primer aspecto de la invención, se proporciona un método para controlar al menos parte de un proceso de arranque o reencendido de un motor de turbina de gas, el método que comprende: aumentar la velocidad angular de un compresor de baja presión; determinar si una presión de salida del compresor de baja presión es igual a o mayor que una primera presión umbral; en respuesta a determinar que la presión de salida del compresor de baja presión es igual a o mayor que la primera presión umbral, controlar la rotación del compresor de baja presión usando una primera máquina eléctrica y controlar la rotación de un compresor de alta presión usando una segunda máquina eléctrica, aumentar la velocidad angular del compresor de alta presión; determinar si una presión de salida del compresor de alta presión es igual o mayor que una segunda presión umbral; y en respuesta a la determinación de que la presión de salida del compresor de alta presión es igual o mayor que la segunda presión umbral, controlar el encendido dentro de una cámara de combustión del motor de turbina de gas, la cámara de combustión corriente abajo del compresor de baja presión y el compresor de alta presión.

40 El aumento de la velocidad angular del compresor de baja presión puede comprender controlar la rotación del compresor de baja presión utilizando la primera máquina eléctrica para aumentar la velocidad angular del compresor de baja presión y controlar la rotación del compresor de alta presión utilizando la segunda máquina eléctrica para restringir la velocidad angular del compresor de alta presión.

El aumento de la velocidad angular del compresor de baja presión, mientras que la restricción de la velocidad angular del compresor de alta presión puede aumentar la presión de salida del compresor de alta presión.

45 El aumento de la presión de salida del compresor de alta presión puede aumentar el umbral de sobrecarga del motor de turbina de gas por encima de una línea operativa del motor de turbina de gas.

50 Antes de que la presión de salida del compresor de baja presión alcance el primer umbral, la velocidad angular del compresor de baja presión puede acelerarse hasta una velocidad umbral del compresor de baja presión. El método puede comprender además: controlar la rotación del compresor de baja presión de manera que la velocidad angular del compresor de baja presión sea igual o por debajo de la velocidad umbral del compresor de baja presión durante al menos una porción del paso de controlar la rotación del compresor de alta presión usando la segunda máquina eléctrica, para aumentar la velocidad angular del compresor de alta presión.

La velocidad angular del compresor de baja presión puede reducirse antes del paso de controlar la rotación del compresor de alta presión utilizando la segunda máquina eléctrica para aumentar la velocidad angular del compresor de alta presión.

La velocidad angular del compresor de baja presión puede reducirse durante el paso de controlar la rotación del compresor de alta presión utilizando la segunda máquina eléctrica, para aumentar la velocidad angular del compresor de alta presión.

5 El método puede comprender controlar la rotación del compresor de baja presión para aumentar la velocidad angular del compresor de baja presión durante al menos una porción del paso de controlar la rotación del compresor de alta presión utilizando la segunda máquina eléctrica, para aumentar la velocidad angular del compresor de alta presión.

10 El método puede comprender: controlar la rotación del compresor de alta presión usando la segunda máquina eléctrica, para aumentar la velocidad angular del compresor de alta presión hasta una velocidad umbral del compresor de alta presión; controlar la rotación del compresor de alta presión usando la segunda máquina eléctrica, para mantener la velocidad angular del compresor de alta presión en la velocidad umbral del compresor de alta presión; mientras que la velocidad angular del compresor de alta presión se mantiene en la velocidad umbral del compresor de alta presión, controlando la rotación del compresor de baja presión usando la primera máquina eléctrica para variar la velocidad angular del compresor de baja presión.

15 El método puede comprender monitorizar uno o más parámetros del motor durante el método, el uno o más parámetros del motor seleccionados de una lista que comprende al menos: presión de entrada del compresor de baja presión; presión de salida del compresor de baja presión; temperatura de entrada del compresor de baja presión; temperatura de salida del compresor de baja presión; presión de entrada del compresor de alta presión; presión de salida del compresor de alta presión; temperatura de entrada del compresor de alta presión; y temperatura de salida del compresor de alta presión.

20 Controlar la rotación del compresor de alta presión usando la segunda máquina eléctrica puede comprender: variar la velocidad angular del compresor de alta presión en base a al menos uno de uno o más parámetros del motor.

El método puede incluir, mientras se controla la rotación del compresor de alta presión usando la segunda máquina eléctrica, controlar la rotación del compresor de baja presión usando la primera máquina eléctrica, con base en al menos uno de uno o más parámetros del motor.

25 El método puede comprender, mientras se controla la rotación del compresor de alta presión utilizando la segunda máquina eléctrica, controlar la posición de una o más paletas guía variables, para controlar el flujo de aire hacia el compresor de baja presión.

De acuerdo con un segundo aspecto de la invención, se proporciona un motor de turbina de gas como se define en la reivindicación 14 independiente.

30 De acuerdo con un tercer aspecto de la invención, se proporciona un programa informático como se define en la reivindicación 15 independiente. De acuerdo con otro aspecto no abarcado por la redacción de las reivindicaciones, se proporciona un medio de almacenamiento no transitorio legible por ordenador que comprende instrucciones legibles por ordenador que, cuando son leídas por un ordenador, provocan la ejecución del método del primer aspecto.

35 De acuerdo con un cuarto aspecto adicional no abarcado por el texto de las reivindicaciones, se proporciona un método para controlar al menos parte de un proceso de arranque o reencendido de un motor de turbina de gas, el método que comprende: controlar el encendido dentro de una cámara de combustión del motor de turbina de gas; controlar la rotación de un compresor de baja presión usando una primera máquina eléctrica, y controlar la rotación de un compresor de alta presión usando una segunda máquina eléctrica, la cámara de combustión corriente abajo del compresor de baja presión y el compresor de alta presión; determinar si una presión de salida del compresor de alta presión es igual o mayor que una presión umbral autosuficiente; y ante la determinación de que la presión de salida del compresor de alta presión es igual o mayor a la presión umbral autosuficiente, dejar de controlar la rotación del compresor de baja presión mediante la primera máquina eléctrica, y/o del compresor de alta presión mediante una segunda máquina eléctrica, de manera que la operación del motor de turbina de gas se mantiene mediante aire aspirado a través del motor de turbina de gas.

45 La rotación del compresor de baja presión y el compresor de alta presión puede controlarse para aumentar el tiempo de residencia del combustible en la cámara de combustión.

Controlar la rotación de un compresor de baja presión usando una primera máquina eléctrica, y controlar la rotación de un compresor de alta presión usando una segunda máquina eléctrica puede comprender: aplicar un torque máximo al compresor de baja presión desde la primera máquina eléctrica.

50 Controlar la rotación de un compresor de baja presión usando una primera máquina eléctrica y controlar la rotación de un compresor de alta presión usando una segunda máquina eléctrica puede comprender además: restringir la rotación del compresor de alta presión usando la segunda máquina eléctrica.

55 La rotación del compresor de alta presión puede ser accionada, al menos en parte, por la expansión de los productos de combustión desde la cámara de combustión a través de una turbina, accionando la turbina un árbol que interconecta la turbina y el compresor de alta presión.

- 5 Controlar la rotación de un compresor de baja presión usando una primera máquina eléctrica y controlar la rotación de un compresor de alta presión usando una segunda máquina eléctrica puede comprender: después de aplicar el torque máximo al compresor de baja presión: determinar que la llama es autosuficiente en la cámara de combustión ; y controlar las máquinas eléctricas primera y segunda para que no accionen el compresor de baja presión ni el compresor de alta presión ni funcionen como generadores.
- 10 Controlar la rotación de un compresor de baja presión usando una primera máquina eléctrica y controlar la rotación de un compresor de alta presión usando una segunda máquina eléctrica puede comprender además: aplicar un torque máximo al compresor de alta presión desde la segunda máquina eléctrica.
- 15 El método puede comprender además, en respuesta a la determinación de que la presión de salida del compresor de alta presión es igual o mayor que la presión umbral autosuficiente, hacer operar la primera y/o segunda máquinas eléctricas como generadores.
- Los compresores de alta y baja presión pueden ser accionados por respectivas turbinas de alta y baja presión. Las turbinas pueden ser accionadas por la expansión de los productos de combustión de la cámara de combustión. El método puede comprender además reducir el torque aplicado por las máquinas eléctricas primera y segunda a medida que aumenta el torque aplicado por las turbinas de alta y baja presión.
- 20 El método puede comprender: monitorizar uno o más parámetros del motor durante el método, el uno o más parámetros del motor seleccionados de una lista que comprende al menos: presión de entrada del compresor de baja presión; presión de salida del compresor de baja presión; temperatura de entrada del compresor de baja presión; temperatura de salida del compresor de baja presión; presión de entrada del compresor de alta presión; presión de salida del compresor de alta presión; temperatura de entrada del compresor de alta presión; y temperatura de salida del compresor de alta presión. Controlar la rotación del compresor de baja y alta presión usando la segunda máquina eléctrica puede comprender: variar la velocidad angular del compresor de alta y/o baja presión en base a al menos uno de uno o más parámetros del motor. El método puede comprender al menos parte de un procedimiento de reencendido a una altitud sobre el nivel del mar, durante el vuelo.
- 25 De acuerdo con un quinto aspecto no abarcado por el texto de las reivindicaciones, se proporciona un programa informático que, cuando es leído por un ordenador, provoca la ejecución del método de acuerdo con el cuarto aspecto.
- De acuerdo con un sexto aspecto no abarcado por el texto de las reivindicaciones, se proporciona un medio de almacenamiento legible por ordenador no transitorio que comprende instrucciones legibles por ordenador que, cuando son leídas por un ordenador, provocan la ejecución del método de acuerdo con el cuarto aspecto.
- 30 De acuerdo con un séptimo aspecto no abarcado por el texto de las reivindicaciones, se proporciona un aparato para controlar al menos una parte de un proceso de arranque o reencendido de un motor de turbina de gas, el aparato que comprende un controlador configurado para realizar el método de acuerdo con el cuarto aspecto.
- 35 De acuerdo con un octavo aspecto adicional no abarcado por el texto de las reivindicaciones, se proporciona un método para controlar al menos parte de un proceso de arranque o reencendido de un motor de turbina de gas, el método que comprende: determinar cuándo una llama en una cámara de combustión de un motor de turbina de gas se apaga, durante un proceso de arranque o proceso de reencendido o durante la operación; purgar la cámara de combustión controlando la rotación de un compresor de baja presión usando una primera máquina eléctrica, y controlando la rotación de un compresor de alta presión usando una segunda máquina eléctrica, la cámara de combustión corriente abajo del compresor de baja presión y el compresor de alta presión; y controlar la rotación del compresor de baja presión usando la primera máquina eléctrica, y controlar la rotación del compresor de alta presión usando la segunda máquina eléctrica para reiniciar el proceso de arranque o realizar el proceso de reencendido.
- 40 El motor de turbina de gas puede comprender: un primer árbol dispuesto para accionar el compresor de baja presión; un segundo árbol dispuesto para accionar el compresor de alta presión; y un ventilador accionado por el primer árbol.
- El ventilador puede estar acoplado al primer árbol mediante una caja de engranajes.
- 45 El proceso de arranque o reencendido puede incluir controlar la rotación del compresor de baja presión usando la primera máquina eléctrica y controlar la rotación del compresor de alta presión usando la segunda máquina eléctrica, y en donde determinar cuando una llama en una cámara de combustión de un motor de turbina de gas se apaga comprende: medir un cambio en uno o más de: un torque aplicado por la primera máquina eléctrica; un torque aplicado por la segunda máquina eléctrica; una velocidad angular del primer árbol; y una velocidad angular del segundo árbol.
- 50 El método puede comprender además: controlar la rotación del compresor de baja presión utilizando la primera máquina eléctrica, para mantener la velocidad angular del primer árbol por encima de un primer umbral de velocidad angular.
- La primera velocidad angular umbral puede ser suficiente para prevenir que el ventilador se agite.

El método puede comprender además: controlar la rotación del compresor de alta presión utilizando la segunda máquina eléctrica, para mantener la velocidad angular del segundo árbol por encima de un segundo umbral de velocidad angular.

5 De acuerdo con un noveno aspecto no abarcado por el texto de las reivindicaciones, se proporciona un programa informático que, cuando es leído por un ordenador, provoca la realización del método de acuerdo con el octavo aspecto.

De acuerdo con el décimo aspecto no abarcado por el texto de las reivindicaciones, se proporciona un medio de almacenamiento legible por ordenador no transitorio que comprende instrucciones legibles por ordenador que, cuando son leídas por un ordenador, provocan la ejecución del método de acuerdo con el octavo aspecto.

10 De acuerdo con un undécimo aspecto no abarcado por el texto de las reivindicaciones, se proporciona un aparato para controlar al menos una parte de un proceso de arranque o reencendido de un motor de turbina de gas, el aparato que comprende un controlador configurado para realizar el método de acuerdo con los ocho aspectos.

15 Como se indica en otra parte en este documento, la presente divulgación puede referirse a un motor de turbina de gas. Tal motor de turbina de gas puede comprender un núcleo de motor que comprende una turbina, un combustor, un compresor y un árbol de núcleo que conecta la turbina al compresor. Tal motor de turbina de gas puede comprender un ventilador (que tiene aspas de ventilador) ubicado corriente arriba del núcleo del motor.

20 Las disposiciones de la presente divulgación pueden ser particularmente, aunque no exclusivamente, beneficiosas para los ventiladores que se accionan a través de una caja de engranajes. En consecuencia, el motor de turbina de gas puede comprender una caja de engranajes que recibe una entrada desde el árbol de núcleo y envía accionamiento al ventilador para accionar el ventilador a una rapidez de rotación inferior que el árbol de núcleo. La entrada a la caja de engranajes puede ser directamente desde el árbol de núcleo, o indirectamente desde el árbol de núcleo, por ejemplo a través de un árbol y/o engranaje recto. El árbol de núcleo puede conectar rígidamente la turbina y el compresor, de modo que la turbina y el compresor giren a la misma rapidez (con el ventilador girando a una rapidez inferior).

25 El motor de turbina de gas como se describe y/o reivindica en este documento puede tener cualquier arquitectura general adecuada. Por ejemplo, el motor de turbina de gas puede tener cualquier número deseado de árboles que conectan turbinas y compresores, por ejemplo, uno, dos o tres árboles. Puramente a modo de ejemplo, la turbina conectada al árbol de núcleo puede ser una primera turbina, el compresor conectado al árbol de núcleo puede ser un primer compresor y el árbol de núcleo puede ser un primer árbol de núcleo. El núcleo del motor puede comprender además una segunda turbina, un segundo compresor y un segundo árbol del núcleo que conecta la segunda turbina al segundo compresor. La segunda turbina, el segundo compresor y el segundo árbol de núcleo pueden estar dispuestos para girar a una rapidez de rotación más alta que la del primer árbol de núcleo.

En tal disposición, el segundo compresor puede colocarse axialmente corriente abajo del primer compresor. El segundo compresor puede estar dispuesto para recibir (por ejemplo recibir directamente, por ejemplo a través de un conducto generalmente anular) el flujo del primer compresor.

35 La caja de engranajes puede estar dispuesta para ser accionada por el árbol de núcleo que está configurado para girar (por ejemplo, en uso) a la rapidez de rotación más baja (por ejemplo, el primer árbol de núcleo en el ejemplo anterior). Por ejemplo, la caja de engranajes puede estar configurada para ser accionada solo por el árbol de núcleo que está configurado para girar (por ejemplo, en uso) a la rapidez de rotación más baja (por ejemplo, solo el primer árbol de núcleo, y no el segundo árbol de núcleo, en el ejemplo anterior). Alternativamente, la caja de engranajes puede estar dispuesta para ser accionada por uno cualquiera o más árboles, por ejemplo, el primer y/o el segundo árbol en el ejemplo anterior.

45 En cualquier motor de turbina de gas como se describe y/o reivindica en este documento, se puede proporcionar un combustor axialmente corriente abajo del ventilador y compresores. Por ejemplo, el combustor puede estar directamente corriente abajo (por ejemplo, a la salida de) el segundo compresor, donde se proporciona un segundo compresor. A modo de ejemplo adicional, el flujo a la salida del combustor se puede proporcionar a la entrada de la segunda turbina, donde se proporciona una segunda turbina. El combustor puede proporcionarse corriente arriba de las turbinas.

50 El o cada compresor (por ejemplo, el primer compresor y el segundo compresor como se ha descrito anteriormente) puede comprender cualquier número de etapas, por ejemplo, múltiples etapas. Cada etapa puede comprender una fila de aspas de rotor y una fila de paletas de estator, que pueden ser paletas de estator variables (porque su ángulo de incidencia puede ser variable). La fila de aspas de rotor y la fila de paletas de estator pueden estar desplazadas axialmente entre sí.

55 La turbina o cada turbina (por ejemplo, la primera turbina y la segunda turbina como se ha descrito anteriormente) puede comprender cualquier número de etapas, por ejemplo, múltiples etapas. Cada etapa puede comprender una fila de aspas de rotor y una fila de paletas de estator. La fila de aspas de rotor y la fila de paletas de estator pueden estar desplazadas axialmente entre sí.

Cada aspa de ventilador puede definirse como que tiene una extensión radial que se extiende desde una raíz (o centro) en una ubicación radialmente interna lavada con gas, o posición de 0% de extensión, hasta una punta en una posición de 100% de extensión. La relación entre el radio del aspa del ventilador en el centro y el radio del aspa del ventilador en la punta puede ser menor que (o del orden de) cualquiera de los siguientes: 0.4, 0.39, 0.38, 0.37, 0.36, 0.35, 0.34, 0.33, 0.32, 0.31, 0.3, 0.29, 0.28, 0.27, 0.26, o 0.25. La relación entre el radio del aspa del ventilador en el centro y el radio del aspa del ventilador en la punta puede estar en un rango inclusivo limitado por cualquiera de los dos valores de la expresión anterior (es decir, los valores pueden formar límites superiores o inferiores). Estas relaciones se pueden denominar comúnmente como la relación entre el centro y la punta. El radio en el centro y el radio en la punta pueden medirse ambos en la parte del borde de ataque (o axialmente hacia adelante) del aspa. La relación entre el centro y la punta se refiere, por supuesto, a la porción lavada con gas del aspa del ventilador, es decir, la porción radialmente fuera de cualquier plataforma.

El radio del ventilador puede medirse entre la línea central del motor y la punta de un aspa del ventilador en su borde de ataque. El diámetro del ventilador (que puede ser simplemente el doble del radio del ventilador) puede ser mayor que (o del orden de) cualquiera de: 250 cm (alrededor de 100 pulgadas), 260 cm, 270 cm (alrededor de 105 pulgadas), 280 cm (alrededor de 110 pulgadas), 290 cm (alrededor de 115 pulgadas), 300 cm (alrededor de 120 pulgadas), 310 cm, 320 cm (alrededor de 125 pulgadas), 330 cm (alrededor de 130 pulgadas), 340 cm (alrededor de 135 pulgadas), 350 cm, 360 cm (alrededor de 140 pulgadas), 370 cm (alrededor de 145 pulgadas), 380 (alrededor de 150 pulgadas) cm o 390 cm (alrededor de 155 pulgadas). El diámetro del ventilador puede estar en un rango inclusivo limitado por cualquiera de los dos valores de la expresión anterior (es decir, los valores pueden formar límites superiores o inferiores).

La rapidez de rotación del ventilador puede variar con el uso. Generalmente, la rapidez de rotación es inferior para los ventiladores con un diámetro más alto. Únicamente a modo de ejemplo no limitativo, la rapidez de rotación del ventilador en condiciones de crucero puede ser menor que 2500 rpm, por ejemplo menor que 2300 rpm. Simplemente a modo de ejemplo adicional no limitativo, la rapidez de rotación del ventilador en condiciones de crucero para un motor que tiene un diámetro de ventilador en el rango de 250 cm a 300 cm (por ejemplo, 250 cm a 280 cm) puede estar en el rango de 1700 rpm a 2500 rpm, por ejemplo en el rango de 1800 rpm a 2300 rpm, por ejemplo en el rango de 1900 rpm a 2100 rpm. Simplemente a modo de ejemplo adicional no limitativo, la rapidez de rotación del ventilador en condiciones de crucero para un motor que tiene un diámetro de ventilador en el rango de 320 cm a 380 cm puede estar en el rango de 1200 rpm a 2000 rpm, para por ejemplo en el rango de 1300 rpm a 1800 rpm, por ejemplo en el rango de 1400 rpm a 1600 rpm.

En el uso del motor de turbina de gas, el ventilador (con las aspas del ventilador asociadas) gira alrededor de un eje de rotación. Esta rotación da como resultado que la punta del aspa del ventilador se mueva con una velocidad  $U_{\text{punta}}$ . El trabajo realizado por las aspas 13 del ventilador sobre el flujo da como resultado un aumento de entalpía  $dH$  del flujo. Una carga en la punta del ventilador puede definirse como  $dH/U_{\text{punta}}^2$ , donde  $dH$  es el aumento de entalpía (por ejemplo, el aumento de entalpía promedio 1-D) a través del ventilador y  $U_{\text{punta}}$  es la velocidad (traslacional) de la punta del ventilador, por ejemplo, en el borde de ataque de la punta (que puede definirse como el radio de la punta del ventilador en el borde de ataque multiplicado por la rapidez angular). La carga de la punta del ventilador en condiciones de crucero puede ser mayor que (o del orden de) cualquiera de: 0.3, 0.31, 0.32, 0.33, 0.34, 0.35, 0.36, 0.37, 0.38, 0.39 o 0.4 (todas las unidades de este párrafo son  $\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}/(\text{ms}^{-1})^2$ ). La carga de la punta del ventilador puede estar en un rango inclusivo limitado por cualquiera de los dos valores de la expresión anterior (es decir, los valores pueden formar límites superiores o inferiores).

Los motores de turbina de gas según la presente divulgación pueden tener cualquier relación de derivación deseada, donde la relación de derivación se define como la relación entre la tasa de flujo másico del flujo a través del conducto de derivación y la tasa de flujo másico del flujo a través del núcleo en condiciones de crucero. En algunos arreglos, la relación de derivación puede ser mayor que (o del orden de) cualquiera de los siguientes: 10, 10.5, 11, 11.5, 12, 12.5, 13, 13.5, 14, 14.5, 15, 15.5, 16, 16.5, o 17. La relación de derivación puede estar en un rango inclusivo limitado por cualquiera de los dos valores de la expresión anterior (es decir, los valores pueden formar límites superiores o inferiores). El conducto de derivación puede ser sustancialmente anular. El conducto de derivación puede estar radialmente fuera del motor de núcleo. La superficie radialmente exterior del conducto de derivación puede estar definida por una góndola y/o una carcasa de ventilador.

La relación de presión general de un motor de turbina de gas como se describe y/o reivindica en este documento puede definirse como la relación entre la presión de estancamiento corriente arriba del ventilador y la presión de estancamiento a la salida del compresor de presión más alta (antes de entrar en el combustor). A modo de ejemplo no limitativo, la relación de presión general de un motor de turbina de gas como se describe y/o reivindica en este documento en crucero puede ser mayor que (o del orden de) cualquiera de los siguientes: 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75. La relación de presión general puede estar en un rango inclusivo limitado por cualquiera de los dos valores de la expresión anterior (es decir, los valores pueden formar límites superiores o inferiores).

El empuje específico de un motor puede definirse como el empuje neto del motor dividido por el flujo de masa total a través del motor. En condiciones de crucero, el empuje específico de un motor descrito y/o reivindicado en este documento puede ser menor que (o del orden de) cualquiera de los siguientes: 110  $\text{Nkg}^{-1}\text{s}$ , 105  $\text{Nkg}^{-1}\text{s}$ , 100  $\text{Nkg}^{-1}\text{s}$ , 95  $\text{Nkg}^{-1}\text{s}$ , 90  $\text{Nkg}^{-1}\text{s}$ , 85  $\text{Nkg}^{-1}\text{s}$  o 80  $\text{Nkg}^{-1}\text{s}$ . El empuje específico puede estar en un rango inclusivo delimitado por

dos de los valores de la expresión anterior (es decir, los valores pueden formar límites superiores o inferiores). Dichos motores pueden ser particularmente eficientes en comparación con los motores de turbina de gas convencionales.

Un motor de turbina de gas como se describe y/o reivindica en este documento puede tener cualquier empuje máximo deseado. Solo a modo de ejemplo no limitativo, una turbina de gas como se describe y/o reivindica en este documento puede ser capaz de producir un empuje máximo de al menos (o del orden de) cualquiera de los siguientes: 160kN, 170kN, 180kN, 190kN, 200kN, 250kN, 300kN, 350kN, 400kN, 450kN, 500kN o 550kN. El empuje máximo puede estar en un rango inclusivo limitado por cualquiera de los dos valores de la expresión anterior (es decir, los valores pueden formar límites superiores o inferiores). El empuje mencionado anteriormente puede ser el empuje neto máximo en condiciones atmosféricas estándar al nivel del mar más 15°C (presión ambiental 101.3 kPa, temperatura 30°C), con el motor estático.

En uso, la temperatura del flujo a la entrada de la turbina de alta presión puede ser particularmente alta. Esta temperatura, que puede denominarse TET, puede medirse a la salida del combustible, por ejemplo, inmediatamente corriente arriba de la primera paleta de turbina, que a su vez puede denominarse paleta guía de boquilla. En crucero, la TET puede ser al menos (o del orden de) cualquiera de los siguientes: 1400K, 1450K, 1500K, 1550K, 1600K o 1650K. La TET en crucero puede estar en un rango inclusivo limitado por cualquiera de los dos valores de la expresión anterior (es decir, los valores pueden formar límites superiores o inferiores). La TET máximo en uso del motor puede ser, por ejemplo, al menos (o del orden de) cualquiera de los siguientes: 1700K, 1750K, 1800K, 1850K, 1900K, 1950K o 2000K. La TET máximo puede estar en un rango inclusivo limitado por cualquiera de los dos valores de la expresión anterior (es decir, los valores pueden formar límites superiores o inferiores). La TET máximo puede ocurrir, por ejemplo, en una condición de alto empuje, por ejemplo, en una condición de despegue máximo (MTO).

Un aspa de ventilador y/o porción de estabilizador de un aspa de ventilador descrita y/o reivindicada en este documento puede fabricarse a partir de cualquier material adecuado o combinación de materiales. Por ejemplo, al menos una parte del aspa del ventilador y/o el estabilizador puede fabricarse al menos en parte a partir de un material compuesto, por ejemplo, un material compuesto de matriz metálica y/o un material compuesto de matriz orgánica, tal como fibra de carbono. A modo de ejemplo adicional, al menos una parte del aspa del ventilador y/o el estabilizador pueden fabricarse al menos en parte con un metal, tal como un metal a base de titanio o un material a base de aluminio (tal como una aleación de aluminio y litio) o un material a base de acero. El aspa del ventilador puede comprender al menos dos zonas fabricadas con materiales diferentes. Por ejemplo, el aspa del ventilador puede tener un borde de ataque protector, que puede fabricarse con un material que sea más capaz de resistir el impacto (por ejemplo, de pájaros, hielo u otro material) que el resto del aspa. Tal borde de ataque puede, por ejemplo, fabricarse utilizando titanio o una aleación a base de titanio. Así, a modo puramente de ejemplo, el aspa del ventilador puede tener un cuerpo basado en fibra de carbono o aluminio (tal como una aleación de aluminio y litio) con un borde de ataque de titanio.

Un ventilador como se describe y/o reivindica en este documento puede comprender una porción central, desde la cual las aspas del ventilador pueden extenderse, por ejemplo en una dirección radial. Las aspas del ventilador se pueden unir a la porción central de cualquier manera deseada. Por ejemplo, cada aspa de ventilador puede comprender un accesorio que puede engancharse en una ranura correspondiente en el centro (o disco). Puramente a modo de ejemplo, dicho accesorio puede tener la forma de una cola de milano que puede encajar y/o engancharse en una ranura correspondiente en el centro/disco para fijar el aspa del ventilador al centro/disco. A modo de ejemplo adicional, las aspas del ventilador se pueden formar integralmente con una porción central. Tal disposición puede denominarse disco de aspas o anillo de aspas. Se puede usar cualquier método adecuado para fabricar dicho disco de aspas o anillo de aspas. Por ejemplo, al menos una parte de las aspas del ventilador se pueden mecanizar a partir de un bloque y/o al menos parte de las aspas del ventilador se pueden unir al centro/disco mediante soldadura, tal como soldadura por fricción lineal.

Los motores de turbina de gas descritos y/o reivindicados en este documento pueden o no estar provistos de una boquilla de área variable (VAN). Tal boquilla de área variable puede permitir variar el área de salida del conducto de derivación durante el uso. Los principios generales de la presente divulgación pueden aplicarse a motores con o sin VAN. El ventilador de una turbina de gas como se describe y/o reivindica en este documento puede tener cualquier número deseado de aspas de ventilador, por ejemplo, 16, 18, 20 o 22 aspas de ventilador.

Como se usa en este documento, las condiciones de crucero pueden significar las condiciones de crucero de una aeronave a la que está unido el motor de turbina de gas. Tales condiciones de crucero pueden definirse convencionalmente como las condiciones a mitad de crucero, por ejemplo, las condiciones experimentadas por la aeronave y/o el motor en el punto medio (en términos de tiempo y/o distancia) entre la parte de arriba del ascenso y el comienzo del descenso.

Simplemente a modo de ejemplo, la rapidez de avance en la condición de crucero puede ser cualquier punto en el rango de Mach 0.7 a 0.9, por ejemplo 0.75 a 0.85, por ejemplo 0.76 a 0.84, por ejemplo 0.77 a 0.83, por ejemplo 0.78 a 0.82, por ejemplo 0.79 a 0.81, por ejemplo del orden de Mach 0.8, del orden de Mach 0.85 o en el rango de 0.8 a 0.85. Cualquier rapidez única dentro de estos rangos puede ser la condición de crucero. Para algunas aeronaves, las condiciones de crucero pueden estar fuera de estos rangos, por ejemplo, por debajo de Mach 0.7 o por encima de Mach 0.9.

- 5 Puramente a modo de ejemplo, las condiciones de crucero pueden corresponder a condiciones atmosféricas estándar a una altitud que está en el rango de 10000m a 15000m, por ejemplo en el rango de 10000m a 12000m, por ejemplo en el rango de 10400m a 11600m (alrededor de 38000 pies), por ejemplo en el rango de 10500m a 11500m, por ejemplo en el rango de 10600m a 11400m, por ejemplo en el rango de 10700m (alrededor de 35000 pies) a 11300m, por ejemplo en el rango de 10800m a 11200m, por ejemplo en el rango de 10900m a 11100m, por ejemplo del orden de 11000m. Las condiciones de crucero pueden corresponder a las condiciones atmosféricas estándar a cualquier altitud dada en estos rangos.
- Únicamente a modo de ejemplo, las condiciones de crucero pueden corresponder a: un número de Mach directo de 0.8; una presión de 23000 Pa; y una temperatura de -55 grados C.
- 10 Como se usa en cualquier parte en este documento, "crucero" o "condiciones de crucero" pueden significar el punto de diseño aerodinámico. Dicho punto de diseño aerodinámico (o ADP) puede corresponder a las condiciones (que comprenden, por ejemplo, uno o más del número de Mach, condiciones ambientales y requisitos de empuje) para las que el ventilador está diseñado para operar. Esto puede significar, por ejemplo, las condiciones en las que el ventilador (o motor de turbina de gas) está diseñado para tener una eficiencia óptima.
- 15 En uso, un motor de turbina de gas descrito y/o reivindicado en este documento puede operar en las condiciones de crucero definidas en otro lugar en este documento. Tales condiciones de crucero pueden estar determinadas por las condiciones de crucero (por ejemplo, las condiciones de crucero medio) de una aeronave en la que se puede montar al menos un motor de turbina de gas (por ejemplo, 2 o 4) para proporcionar empuje propulsor.
- 20 El experto en la materia apreciará que, salvo que se excluyan mutuamente, una característica o parámetro descrito en relación con uno cualquiera de los aspectos anteriores puede aplicarse a cualquier otro aspecto. Además, excepto donde se excluyan mutuamente, cualquier característica o parámetro descrito en este documento puede aplicarse a cualquier aspecto y/o combinarse con cualquier otra característica o parámetro descrito en este documento.
- Las realizaciones se describirán ahora solo a modo de ejemplo, con referencia a las figuras, en las que:
- La figura 1 es una vista lateral en sección de un motor de turbina de gas;
- 25 La figura 2 es una vista lateral en sección de cerca de una porción corriente arriba de un motor de turbina de gas;
- figura 3 es una vista parcialmente recortada de una caja de engranajes para un motor de turbina de gas;
- La figura 4 ilustra un diagrama esquemático de un aparato para controlar al menos una parte de un proceso de arranque o reencendido de un motor de turbina de gas de acuerdo con diversos ejemplos;
- 30 La figura 5 ilustra un diagrama de flujo de un método para controlar al menos una parte de un proceso de arranque o reencendido de un motor de turbina de gas de acuerdo con un primer ejemplo;
- La figura 6 ilustra una característica de compresor de ejemplo para un compresor de alta presión del motor de la figura 1, durante un proceso de arranque o reencendido;
- La figura 7 ilustra un diagrama de flujo de un método para controlar al menos una parte de un proceso de arranque o reencendido de un motor de turbina de gas de acuerdo con un segundo ejemplo;
- 35 La figura 8 ilustra un parámetro de carga del combustible para un compresor de alta presión del motor de la figura 1, durante un proceso de arranque o reencendido;
- La figura 9 ilustra un diagrama de flujo de un método para controlar un proceso de arranque o reencendido de un motor de turbina de gas para estabilizar una llama en la cámara de combustión de acuerdo con un primer ejemplo;
- 40 La figura 10 ilustra un diagrama de flujo de un método para purgar un motor de turbina de gas después de la extinción de la llama durante un proceso de arranque o reencendido de un motor de turbina de gas; y
- La figura 11 ilustra un diagrama de flujo de otros pasos del método que pueden incorporarse en los métodos de la figura 5 o la figura 7.
- La figura 1 ilustra un motor 10 de turbina de gas que tiene un eje 9 de rotación principal. El motor 10 comprende una entrada 12 de aire y un ventilador 23 propulsor que genera dos flujos de aire: un flujo de aire A de núcleo y un flujo de aire B de derivación. El motor 10 de turbina de gas comprende un núcleo 11 que recibe el flujo de aire A de núcleo. El núcleo 11 del motor comprende, en serie de flujo axial, un compresor 14 de baja presión, un compresor 15 de alta presión, un equipo 16 de combustión que incluye una cámara de combustión, una turbina 17 de alta presión, una turbina 19 de baja presión y una boquilla 20 de escape del núcleo. Una góndola 21 rodea el motor 10 de turbina de gas y define un conducto 22 de derivación y una boquilla 18 de escape de derivación. El flujo de aire B de derivación fluye a través del conducto 22 de derivación. El ventilador 23 está unido y accionado por la turbina 19 de baja presión a través de un árbol 26 y una caja de engranajes 30 epicicloidal.

En uso, el flujo de aire A del núcleo es acelerado y comprimido por el compresor 14 de baja presión y dirigido al compresor 15 de alta presión donde tiene lugar una compresión adicional. El aire comprimido que sale del compresor 15 de alta presión se dirige al equipo 16 de combustión donde se mezcla con combustible y la mezcla se quema. Los productos de combustión calientes resultantes luego se expanden a través de las turbinas 17, 19 de alta y baja presión y, por lo tanto, las accionan antes de ser expulsados a través de la boquilla 20 para proporcionar algo de empuje propulsor. La turbina 17 de alta presión acciona el compresor 15 de alta presión mediante un árbol 27 de interconexión adecuado. El ventilador 23 generalmente proporciona la mayor parte del empuje de propulsión. La caja de engranajes 30 epicicloidal es una caja de engranajes reductora y permite que el ventilador 23 gire a una rapidez de rotación inferior que la turbina 40 de baja presión.

Adicional o alternativamente, la caja de engranajes 30 puede accionar componentes adicionales y/o alternativos (por ejemplo, el compresor 32 de baja presión y/o un compresor de refuerzo, o una hélice (aerodinámica o hidráulica)). En algunos ejemplos, la caja de engranajes 30 puede accionar un generador eléctrico en lugar del ventilador 23, y puede ser una caja de engranajes que aumenta la rapidez.

En la figura 2 se muestra un ejemplo de disposición para un motor 10 de turbina de gas con ventilador de engranajes. La turbina 19 de baja presión (véase figura 1) acciona el árbol 26, que está acoplado a una rueda solar, o engranaje solar, 28 de la disposición 30 de engranaje epicicloidal. Radialmente hacia afuera del engranaje 28 solar y engranando con el mismo hay una pluralidad de engranajes 32 planetarios que están acoplados entre sí por un portasatélites 34. El portasatélites 34 obliga a los engranajes 32 planetarios a realizar una precesión alrededor del engranaje 28 solar en sincronismo mientras permite que cada engranaje 32 planetario gire alrededor de su propio eje. El portasatélites 34 está acoplado a través de conexiones 36 al ventilador 23 para accionar su rotación alrededor del eje 9 del motor. Radialmente hacia afuera de los engranajes 32 planetarios y engranando con ellos hay un anillo o engranaje 38 anular que está acoplado, a través de conexiones 40, a una estructura 24 de soporte estacionaria.

Nótese que las expresiones "turbina de baja presión" y "compresor de baja presión", como se usan en este documento, pueden interpretarse como las etapas de la turbina de menor presión y las etapas del compresor de menor presión (es decir, sin incluir el ventilador 23) respectivamente y/o las etapas de la turbina y el compresor que están conectados entre sí por el árbol 26 de interconexión con la rapidez de rotación más baja del motor (es decir, sin incluir el árbol de salida de la caja de engranajes que acciona el ventilador 23). En alguna bibliografía, la "turbina de baja presión" y el "compresor de baja presión" a los que se hace referencia en este documento se pueden conocer alternativamente como "turbina de presión intermedia" y "compresor de presión intermedia". Cuando se utilice dicha nomenclatura alternativa, el ventilador 23 puede denominarse primera etapa de compresión, o de menor presión.

Cada compresor 14 de baja presión, compresor 15 de alta presión, turbina 17 de alta presión y turbina 19 de baja presión comprenden uno o más ventiladores (no mostrados), también denominados rotores. Los rotores del compresor 14 de baja presión y la turbina 19 de baja presión están montados en el primer árbol 26, mientras que los rotores del compresor 15 de alta presión y la turbina 17 de alta presión están montados en el segundo árbol 27. La rapidez de rotación de los rotores se denomina velocidad angular del compresor 14 de baja presión o del compresor 15 de alta presión.

En algunos casos, el compresor 14 de baja presión, el compresor 15 de alta presión, la turbina 17 de alta presión y la turbina 19 de baja presión pueden incluir múltiples ventiladores en serie de flujo axial, formando cada ventilador una etapa dentro del respectivo compresor 14 de baja presión, compresor 15 de alta presión, turbina 17 de alta presión y turbina 19 de baja presión. Cada etapa también puede incluir un conjunto de paletas fijas (estatores).

Los rotores o estatores pueden formarse como discos de ventilador con aspas estabilizadoras montadas sobre ellos, o como disco de aspas.

En uso, la expansión de los gases de combustión acciona la rotación de las etapas del rotor en la turbina 17 de alta presión y la turbina 19 de baja presión. Esto, a su vez, acciona la rotación del árbol 26, 27 correspondiente, que acciona la rotación de los respectivos rotores en el compresor 14 de baja presión y el compresor 15 de alta presión. Los compresores 14, 15 comprimen el aire que pasa a través del flujo A de núcleo.

El compresor 14 de baja presión y el compresor 15 de alta presión tienen una rapidez máxima (velocidad angular) a la que pueden girar. La rapidez tasada máxima depende de un número de parámetros de diseño del motor y puede variar en diferentes condiciones de operación. Por ejemplo, una variación de la temperatura ambiente puede variar la rapidez máxima. La rapidez tasada máxima no es un umbral físico del motor 10, y los compresores 14, 15 pueden girar a una rapidez más alta. Por lo tanto, la rapidez tasada máxima puede considerarse una rapidez umbral nominal del motor 10.

La caja de engranajes 30 epicicloidal se muestra a modo de ejemplo con mayor detalle en la figura 3. Cada uno de los engranajes 28 solares, engranajes 32 planetarios y engranajes 38 anulares comprenden dientes alrededor de su periferia para engranar con los otros engranajes. Sin embargo, para mayor claridad, solo se ilustran porciones de ejemplo de los dientes en la figura 3. Hay cuatro engranajes 32 planetarios ilustrados, aunque será evidente para el lector experto que se pueden proporcionar más o menos engranajes 32 planetarios dentro del alcance de la invención

reivindicada. Las aplicaciones prácticas de una caja de engranajes 30 epicicloidial planetaria generalmente comprenden al menos tres engranajes 32 planetarios.

La caja de engranajes 30 epicicloidial ilustrada a modo de ejemplo en las figuras 2 y 3 es del tipo planetario, porque el portasatélites 34 está acoplado a un árbol de salida a través de conexiones 36, con el engranaje 38 anular fijo. Sin embargo, se puede utilizar cualquier otro tipo adecuado de caja de engranajes 30 epicicloidial. A modo de ejemplo adicional, la caja de engranajes 30 epicicloidiales puede ser una disposición en estrella, en la que el portasatélites 34 se mantiene fijo, con el engranaje 38 anular (o anillo) que puede girar. En tal disposición, el ventilador 23 es accionado por el engranaje 38 anular. A modo de ejemplo alternativo adicional, la caja de engranajes 30 puede ser una caja de engranajes diferencial en la que tanto el engranaje 38 anular como el portasatélites 34 pueden girar.

Se apreciará que la disposición que se muestra en las figuras 2 y 3 es solo a modo de ejemplo, y diversas alternativas están dentro del alcance de la presente divulgación. Simplemente a modo de ejemplo, se puede utilizar cualquier disposición adecuada para ubicar la caja de engranajes 30 en el motor 10 y/o para conectar la caja de engranajes 30 al motor 10. A modo de ejemplo adicional, las conexiones (tales como las conexiones 36, 40 en el ejemplo de la figura 2) entre la caja de engranajes 30 y otras partes del motor 10 (tal como el árbol 26 de entrada, el árbol de salida y la estructura 24 fija) puede tener cualquier grado deseado de rigidez o flexibilidad. A modo de ejemplo adicional, se puede utilizar cualquier disposición adecuada de los cojinetes entre las partes giratorias y estacionarias del motor (por ejemplo, entre los árboles de entrada y salida de la caja de engranajes y las estructuras fijas, tal como la carcasa de la caja de engranajes), y la divulgación no se limita a la disposición de ejemplo de la figura 2. Por ejemplo, cuando la caja de engranajes 30 tiene una disposición en estrella (descrita anteriormente), el experto en la materia entendería fácilmente que la disposición de las conexiones de salida y soporte y las ubicaciones de los cojinetes normalmente serían diferentes a las que se muestran a modo de ejemplo en la figura 2.

En consecuencia, la presente divulgación se extiende a un motor de turbina de gas que tiene cualquier disposición de estilos de caja de engranajes (por ejemplo, estrella o planetaria), estructuras de soporte, disposición de árbol de entrada y salida y ubicaciones de cojinetes.

Opcionalmente, la caja de engranajes puede accionar componentes adicionales y/o alternativos (por ejemplo, el compresor de presión intermedia y/o un compresor de refuerzo).

Otros motores de turbina de gas a los que se puede aplicar la presente divulgación pueden tener configuraciones alternativas. Por ejemplo, dichos motores pueden tener un número alternativo de compresores y/o turbinas y/o un número alternativo de árboles de interconexión. A modo de ejemplo adicional, el motor de turbina de gas que se muestra en la figura 1 tiene una boquilla 20, 22 de flujo dividido, lo que significa que el flujo a través del conducto 22 de derivación tiene su propia boquilla que está separada y radialmente fuera de la boquilla 20 del motor de núcleo. Sin embargo, esto no es limitativo, y cualquier aspecto de la presente divulgación también puede aplicarse a motores en los que el flujo a través del conducto 22 de derivación y el flujo a través del núcleo 11 se mezclan o combinan antes (o corriente arriba de) una sola boquilla, que puede denominarse boquilla de flujo mixto. Una o ambas boquillas (ya sea de flujo mixto o dividido) pueden tener un área fija o variable. Si bien el ejemplo descrito se refiere a un motor turboventilador, la divulgación puede aplicarse, por ejemplo, a cualquier tipo de motor de turbina de gas, tal como un rotor abierto (en el que la etapa del ventilador no está rodeada por una góndola) o un motor turbohélice, por ejemplo. En algunas disposiciones, el motor 10 de turbina de gas puede no comprender una caja de engranajes 30 y, en cambio, puede comprender un accionamiento directo entre la turbina 19 de baja presión y el ventilador 22.

La geometría del motor 10 de turbina de gas, y sus componentes, está definida por un sistema de ejes convencional, que comprende una dirección axial (que está alineada con el eje de rotación 9), una dirección radial (en la dirección de abajo hacia arriba en la figura 1), y una dirección circunferencial (perpendicular a la página en la vista de la figura 1). Las direcciones axial, radial y circunferencial son mutuamente perpendiculares.

La figura 4 ilustra un aparato 50 para controlar al menos una parte de un proceso de arranque o reencendido de un motor 10 de turbina de gas de acuerdo con diversos ejemplos. El aparato 50 incluye un controlador 52, una primera máquina 54 eléctrica, una segunda máquina 56 eléctrica, una disposición 58 del actuador, la disposición del sensor 60 y una carga 62.

En algunos ejemplos, el aparato 50 puede ser un módulo. Como se usa en este documento, la expresión "módulo" se refiere a un dispositivo o aparato en el que se incluyen una o más características en un momento posterior y, posiblemente, por otro fabricante o por un usuario final. Por ejemplo, cuando el aparato 50 es un módulo, el aparato 50 solo puede incluir el controlador 52 y las características restantes (tal como la primera máquina 54 eléctrica, la segunda máquina 56 eléctrica, la disposición 58 del actuador, la disposición 60 del sensor, y la carga 62) puede ser añadida por otro fabricante o por un usuario final.

El controlador 52, la primera máquina 54 eléctrica, la segunda máquina 56 eléctrica, la disposición 58 del actuador y la disposición 60 del sensor pueden acoplarse entre sí a través de un enlace inalámbrico y pueden comprender un circuito tranceptor y una o más antenas. Adicional o alternativamente, el controlador 52, la primera máquina 54 eléctrica, la segunda máquina 56 eléctrica, la disposición 58 del actuador y la disposición 60 del sensor pueden acoplarse entre sí a través de un enlace por cable y pueden comprender conectores (tal como una toma de bus serie

universal (USB)). Debe apreciarse que el controlador 52, la primera máquina 54 eléctrica, la segunda máquina 56 eléctrica, la disposición 58 del actuador y la disposición 60 del sensor pueden acoplarse entre sí a través de cualquier combinación de enlaces cableados e inalámbricos.

5 El controlador 52 puede comprender cualquier circuito adecuado para provocar la ejecución de los métodos descritos en este documento y como se ilustra en las figuras 5, 7, 9, 10 y 11. El controlador 52 puede comprender: circuitos de control; y/o circuitos del procesador; y/o al menos un circuito integrado de aplicación específica (ASIC); y/o al menos un arreglo de puertos programables en campo (FPGA); y/o arquitecturas de uno o varios procesadores; y/o arquitecturas secuenciales/paralelas; y/o al menos un controlador lógico programable (PLC); y/o al menos un microprocesador; y/o al menos un microcontrolador; y/o una unidad central de procesamiento (CPU); y/o una unidad de procesamiento de gráficos (GPU), para realizar los métodos. En algunos ejemplos, el controlador 52 puede ser un controlador de motor digital de autoridad completa (FADEC), un controlador de motor electrónico (EEC) o una unidad de control de motor (ECU).

15 En diversos ejemplos, el controlador 52 puede comprender al menos un procesador 64 y al menos una memoria 66. La memoria 66 almacena un programa 68 informático que comprende instrucciones legibles por ordenador que, cuando son leídas por el procesador 64, provocan la ejecución de los métodos descritos en este documento, y como se ilustra en las figuras 5, 7, 9, 10 y 11. El programa 68 informático puede ser software o firmware, o puede ser una combinación de software y firmware.

20 El procesador 64 puede estar ubicado en el motor 10 de turbina de gas, o puede estar ubicado lejos del motor 10 de turbina de gas, o puede estar distribuido entre el motor 10 de turbina de gas y una ubicación alejada del motor 10 de turbina de gas. El procesador 64 puede incluir al menos un microprocesador y puede comprender un procesador de un solo núcleo, puede comprender múltiples núcleos de procesador (tal como un procesador de doble núcleo o un procesador de cuatro núcleos) o puede comprender una pluralidad de procesadores (al menos uno de los cuales puede comprender varios núcleos de procesador).

25 La memoria 66 puede estar ubicada en el motor 10 de turbina de gas, o puede estar ubicada lejos del motor 10 de turbina de gas, o puede estar distribuida entre el motor 10 de turbina de gas y una ubicación alejada del motor 10 de turbina de gas. La memoria 66 puede ser cualquier medio de almacenamiento, dispositivo o dispositivos de almacenamiento de datos legible por ordenador no transitorio adecuado, y puede comprender un disco duro y/o una memoria de estado sólido (tal como una memoria flash). La memoria 66 puede ser una memoria permanente no extraíble, o puede ser una memoria extraíble (tal como una unidad flash de bus serie universal (USB) o una tarjeta digital segura). La memoria 66 puede incluir: memoria local empleada durante la ejecución real del programa informático; almacenamiento a granel; y memorias caché que proporcionan almacenamiento temporal de al menos algún código de programa legible por ordenador o utilizable por ordenador para reducir el número de veces que el código puede recuperarse del almacenamiento masivo durante la ejecución del código.

35 El programa 68 informático puede almacenarse en un medio 70 de almacenamiento no transitorio legible por ordenador. El programa 68 informático puede transferirse desde el medio 70 de almacenamiento no transitorio legible por ordenador a la memoria 66. El medio 70 de almacenamiento no transitorio legible por ordenador puede ser, por ejemplo, una unidad flash USB, una tarjeta digital segura (SD), un disco óptico (tal como un disco compacto (CD), un disco versátil digital (DVD) o un disco de Blu-ray). En algunos ejemplos, el programa 68 informático puede transferirse a la memoria 66 a través de una señal 72 (tal como una señal inalámbrica o una señal cableada).

40 Los dispositivos de entrada/salida pueden acoplarse al controlador 52 directamente o a través de controladores de entrada/salida intervinientes. También se pueden acoplar diversos adaptadores de comunicación al controlador 52 para permitir que el aparato 50 se acople a otros aparatos o impresoras remotas o dispositivos de almacenamiento a través de redes privadas o públicas intervinientes. Los ejemplos no limitantes incluyen módems y adaptadores de red de tales adaptadores de comunicación.

45 La primera máquina 54 eléctrica está configurada para controlar la velocidad angular del compresor 14 de baja presión. La primera máquina 54 eléctrica puede montarse directamente en el árbol 26 (por ejemplo, un rotor de la primera máquina 54 eléctrica puede fijarse al árbol 26 y apoyarse en él). Alternativamente, la primera máquina 54 eléctrica puede montarse en una ubicación alejada del árbol 26 (tal como en una carcasa de núcleo o en una carcasa de ventilador) y puede acoplarse al árbol 26 a través de engranajes y uno o más árboles adicionales. Alternativamente, 50 el árbol 26 puede incluir una porción que forma el rotor de la primera máquina 54 eléctrica (es decir, el rotor de la primera máquina 54 eléctrica puede ser integral y parte del árbol 26).

55 El controlador 52 está configurado para controlar la operación de la primera máquina 54 eléctrica. Por ejemplo, el controlador 52 puede controlar el suministro de potencia eléctrica a la primera máquina 54 eléctrica para hacer que la primera máquina 54 eléctrica funcione como un motor eléctrico. A modo de otro ejemplo, el controlador 52 puede conectar la primera máquina 54 eléctrica a la carga 62 para permitir que la primera máquina 54 eléctrica funcione como un generador eléctrico.

La segunda máquina 56 eléctrica está configurada para controlar la velocidad angular (rapidez) del compresor 15 de alta presión. La segunda máquina 56 eléctrica puede montarse directamente en el árbol 27 (por ejemplo, un rotor de

- 5 la segunda máquina 56 eléctrica puede fijarse y apoyarse en el árbol 27). Alternativamente, la segunda máquina 56 eléctrica puede montarse en una ubicación alejada del árbol 27 (tal como en una carcasa de núcleo o en una carcasa de ventilador) y acoplarse al árbol 27 a través de engranajes y uno o más árboles adicionales. Alternativamente, el árbol 27 puede incluir una porción que forma el rotor de la segunda máquina 56 eléctrica (es decir, el rotor de la segunda máquina 56 eléctrica puede ser integral y parte del árbol 27).
- 10 El controlador 52 está configurado para controlar la operación de la segunda máquina 56 eléctrica. Por ejemplo, el controlador 52 puede controlar el suministro de potencia eléctrica a la segunda máquina 56 eléctrica para hacer que la segunda máquina 56 eléctrica funcione como un motor eléctrico. A modo de otro ejemplo, el controlador 52 puede conectar la segunda máquina 56 eléctrica a una carga para permitir que la segunda máquina 56 eléctrica funcione como un generador eléctrico.
- La disposición 58 del actuador puede comprender cualquier actuador o actuadores adecuados para permitir el control de al menos una parte del motor 10 de turbina de gas. Por ejemplo, la disposición 58 de actuadores puede comprender uno o más servomotores y/o una o más válvulas de solenoide. El controlador 52 está configurado para controlar la operación de la disposición 58 del actuador.
- 15 Por ejemplo, cuando el ventilador 23 es un ventilador de paso variable, la disposición 58 del actuador puede incluir un servomotor para variar el paso del ventilador (por ejemplo, entre una posición inactiva y una posición operativa). En otro ejemplo, donde la caja de engranajes 30 incluye un embrague 74, la disposición 58 del actuador puede incluir un servomotor para mover el embrague 74 entre una primera posición que conecta el ventilador 23 a la turbina 19 de baja presión y una segunda posición que desconecta el ventilador 23 de la turbina 19 de baja presión. En otro ejemplo, la
- 20 disposición 58 del actuador puede incluir un servomotor para mover un miembro (tal como una paleta) para restringir el flujo de aire B a través del conducto 22 de derivación. En otro ejemplo, la disposición 58 del actuador puede incluir un servomotor para mover una pluralidad de paletas 76 dentro del compresor 15 de alta presión entre una posición abierta y una posición cerrada. En otro ejemplo, la disposición 58 del actuador puede incluir una o más válvulas de solenoide para abrir y cerrar uno o más puertos 78 de sangrado del compresor 15 de alta presión.
- 25 La disposición 60 de sensor puede incluir cualquier sensor o sensores adecuados para detectar una o más propiedades del motor 10 de turbina de gas. Por ejemplo, la disposición 60 de sensores puede incluir un primer sensor para detectar la velocidad angular del compresor 14 de baja presión y un segundo sensor para detectar la velocidad angular del compresor 15 de alta presión. El controlador 52 está configurado para recibir datos de la disposición 60 de sensores.
- 30 La carga 62 puede comprender una red eléctrica que está configurada para usar y/o almacenar potencia eléctrica generada por al menos la segunda máquina 56 eléctrica. Por ejemplo, la carga 62 puede incluir un dispositivo de almacenamiento de energía eléctrica (tal como una batería o un supercondensador) que está configurado para almacenar energía eléctrica generada por al menos la segunda máquina 56 eléctrica. A modo de otro ejemplo, la carga
- 35 62 puede alternativa o adicionalmente comprender uno o más dispositivos electrónicos que operan utilizando la potencia eléctrica suministrada desde al menos la segunda máquina 56 eléctrica.
- La figura 5 ilustra un diagrama de flujo de un método 100 para controlar al menos una parte de un proceso de arranque o reencendido de un motor 10 de turbina de gas de acuerdo con un primer ejemplo.
- 40 En el bloque 102, el método 100 puede incluir controlar de la abertura de una pluralidad de paletas 76 variables del compresor 15 de alta presión. Por ejemplo, el controlador 52 puede controlar la disposición 58 del actuador para abrir una pluralidad de paletas de guía de entrada variables (VIGV) y/o una pluralidad de paletas de estator variables (VSV) del compresor 15 de alta presión.
- En el bloque 104, el método 100 puede incluir controlar el cierre de uno o más puertos 78 de sangrado del compresor 15 de alta presión. Por ejemplo, el controlador 52 puede controlar la disposición 58 del actuador para cerrar uno o más de los puertos 78 de sangrado del compresor 15 de alta presión.
- 45 En el bloque 106, el método 100 incluye controlar la rotación del compresor 14 de baja presión utilizando la primera máquina 54 eléctrica para aumentar la velocidad angular del compresor 14 de baja presión. Por ejemplo, el controlador 52 puede controlar el suministro de potencia eléctrica a la primera máquina 54 eléctrica para permitir que la primera máquina 54 eléctrica funcione como un motor eléctrico para aumentar la velocidad angular del compresor 14 de baja presión (en otras palabras, el controlador 52 controla la primera máquina 54 eléctrica para accionar el compresor 14
- 50 de baja presión para acelerar el compresor 14 de baja presión). En operación, la rotación del compresor 14 de baja presión aumenta la presión en la entrada del compresor 15 de alta presión a una presión por encima de la presión ambiental.
- En el bloque 108, el método 100 incluye controlar de la rotación del compresor 15 de alta presión usando la segunda máquina 56 eléctrica para restringir la velocidad angular del compresor 15 de alta presión mientras que la velocidad angular del compresor 14 de baja presión está siendo incrementada por la primera máquina 54 eléctrica.
- 55 Por ejemplo, el controlador 52 puede controlar la segunda máquina 56 eléctrica para aplicar una fuerza de frenado al árbol 27, para restringir la velocidad angular del compresor 15 de alta presión. En un ejemplo alternativo, el controlador

52 puede conectar la segunda máquina 56 eléctrica a la carga 62 para permitir que la segunda máquina 56 eléctrica funcione como un generador eléctrico y así extraer energía del compresor 15 de alta presión. A modo de otro ejemplo, el controlador 52 puede conectar la salida de la segunda máquina 56 eléctrica a la entrada de la primera máquina 54 eléctrica para permitir que la segunda máquina 56 eléctrica funcione como un generador eléctrico y proporcione potencia eléctrica a la primera máquina 54 eléctrica para accionar el compresor 14 de baja presión. En algunos ejemplos, el controlador 52 puede controlar la aceleración angular del compresor 15 de alta presión de modo que la velocidad angular del compresor 15 de alta presión no supere una velocidad umbral.

Debe apreciarse que en algunos ejemplos, los bloques 106 y 108 pueden realizarse simultáneamente. En otros ejemplos, el bloque 108 se puede iniciar antes del inicio del bloque 106 (es decir, la segunda máquina 56 eléctrica se puede conectar a la carga 62 o a la primera máquina 54 eléctrica antes de que la primera máquina 54 eléctrica acelere el compresor 14 de baja presión).

En el bloque 110, el método 100 puede incluir determinar si una presión de salida del compresor 14 de baja presión es mayor o igual que una presión de salida umbral. Por ejemplo, el controlador 52 puede recibir mediciones de torque y velocidad angular del compresor 14 de baja presión y el compresor 15 de alta presión desde la disposición 60 de sensores y determinar la presión de salida del compresor 14 de baja presión utilizando las mediciones recibidas. En otro ejemplo, el controlador 52 puede recibir datos de presión de un sensor de presión colocado a la salida del compresor 14 de baja presión y luego determinar si la presión medida es igual o mayor que el umbral de presión de salida. En otro ejemplo, la disposición 60 del sensor puede no ser necesaria para el funcionamiento del bloque 110 ya que el controlador 52 puede determinar el torque y la velocidad angular del compresor 14 de baja presión y el compresor 15 de alta presión a partir de los datos de control para las máquinas 54, 56 eléctricas primera y segunda. En particular, la rapidez de la primera máquina 54 eléctrica y la segunda máquina 56 eléctrica está directamente relacionada con la frecuencia eléctrica, y el torque está relacionado con la corriente eléctrica y la potencia con el producto de corriente y voltaje. La presión de salida determinada se puede comparar con un umbral de presión de salida almacenado en la memoria 66.

Si la presión de salida determinada no es igual o mayor que la presión de salida umbral, el método 100 vuelve al bloque 106. Si la presión de salida determinada es igual o mayor que la presión de salida umbral, el método 100 pasa al bloque 112.

En el bloque 112, el método 100 puede incluir controlar la rotación del compresor 15 de alta presión utilizando la segunda máquina 56 eléctrica para aumentar la velocidad angular del compresor 15 de alta presión. Por ejemplo, el controlador 52 puede controlar el suministro de potencia eléctrica a la segunda máquina 56 eléctrica para permitir que la segunda máquina 56 eléctrica funcione como un motor eléctrico para aumentar la velocidad angular del compresor 15 de alta presión.

En el bloque 114, el método 100 puede incluir controlar la ignición dentro de una cámara de combustión del motor 10 de turbina de gas. Por ejemplo, el controlador 52 puede controlar una bomba de combustible para bombear combustible al equipo 16 de combustión y puede controlar el suministro de potencia eléctrica a los encendedores en el equipo 16 de combustión para encender el combustible.

En el bloque 116, el método 100 puede incluir controlar la primera máquina 54 eléctrica y la segunda máquina 56 eléctrica para que funcionen como generadores eléctricos. Por ejemplo, el controlador 52 puede conectar la primera máquina 54 eléctrica y la segunda máquina 56 eléctrica a la carga 62 para permitir que la primera máquina 54 eléctrica y la segunda máquina 56 eléctrica suministren potencia eléctrica a la carga 62.

La figura 6 ilustra una característica del compresor para el compresor 15 de alta presión, que muestra la relación entre el flujo másico a través del compresor 15 de alta presión y la relación de la presión a la salida y la entrada del compresor

15 de alta presión. El flujo másico para una constante de gas estable viene dado por  $m\sqrt{T_{01}/p_{01}}$  donde  $T_{01}$  es la temperatura a la entrada del compresor 15 de alta presión, y  $p$  es la presión a la entrada del compresor 15 de alta presión.

La figura 6 incluye un número de curvas 118a-e que representan la relación entre el flujo másico y la relación de presión a diferentes velocidades angulares fijas del compresor 15 de alta presión. Una primera curva 118a ilustra la relación de presiones y el flujo másico cuando el compresor 15 de alta presión se acciona al 20% de la rapidez tasada máxima. Una segunda curva 118b ilustra la relación de presiones y el flujo másico cuando el compresor 15 de alta presión se acciona al 40% de la rapidez tasada máxima. Una tercera curva 118c ilustra la relación de presión y el flujo másico cuando el compresor 15 de alta presión se acciona al 60% de la rapidez tasada máxima. Una cuarta curva 118d ilustra la relación de presiones y el flujo másico cuando el compresor 15 de alta presión se acciona al 80% de la rapidez tasada máxima. Una quinta curva 118e ilustra la relación de presiones y el flujo másico cuando el compresor 15 de alta presión se acciona al 100% de la rapidez tasada máxima.

En un extremo superior, las curvas 118a-e de velocidad fija están delimitadas por una línea 120 de sobrecarga. Cuando la operación del motor 10 cae por encima de la línea 120 de sobrecarga, el flujo a través del compresor 15 de alta presión se vuelve inestable y muestra una parada (a baja rapidez) o una sobrecarga (a alta rapidez).

- 5 En un ejemplo, el compresor 14 de baja presión se puede configurar para proporcionar una relación de presión de 3:1 (al 100% de la rapidez tasada del motor), mientras que el compresor de alta presión puede proporcionar una relación de presión de 30:1 (al 100% de la rapidez tasada del motor). Por lo tanto, a rapidezces inferiores del compresor 15 de alta presión, puede producirse una parada o una sobrecarga a relaciones de presión relativamente bajas. Esto provoca una "torcedura" 124 en la curva 120 de sobrecarga.
- 10 Típicamente, la operación más eficiente del motor 10 es cuando el compresor 15 de alta presión es accionado a alrededor del 80-90% de su rapidez tasada máxima, desplazada por debajo de la línea 120 de sobrecarga. La figura 6 ilustra los contornos 122a,b que muestran la región de operación más eficiente. La región dentro del contorno 122b interior es la región de eficiencia más alta. Típicamente, durante la operación normal (por ejemplo, durante el cruce y el ascenso y descenso), el motor 10 opera de manera que el compresor 15 de alta presión tiene una velocidad angular de más del 60% de la rapidez tasada máxima.
- 15 Cuando se pone en marcha el motor 10, el compresor 15 de alta presión debe acelerarse desde estacionario. La figura 6 ilustra una línea 126 de funcionamiento típico del motor 10, según el método 100 ilustrado en la figura 5.
- 20 Como puede verse, en la región de la torcedura 124, la línea 126 de funcionamiento está por encima de la línea 120 de sobrecarga y, por lo tanto, el motor 10 corre el riesgo de pararse u sobrecargarse. Como se discutió anteriormente, un método para acomodar esto es usar orificios de sangrado de inicio en el compresor 15 de alta presión, para extraer aire del compresor 15 de alta presión, reduciendo así la relación de presión. Otro método para mitigar la torcedura 124 es aumentar el tamaño de la boquilla del motor 10, para aumentar la cantidad de aire aspirado a través del motor 10. Ambos métodos tienen el efecto de reducir la línea 126 de funcionamiento lejos de la línea 120 de sobrecarga.
- 25 Un método alternativo de controlar el motor 10 para evitar la torcedura 124, según una realización de la divulgación, se discutirá ahora en relación con las figuras 6 y 7. El método 200 ilustrado en la figura 7 es similar al método 100 ilustrado en la figura 5 y donde los bloques son similares, se utilizan los mismos numerales de referencia.
- El método alternativo 200 se puede dividir en cinco etapas diferentes, cuando se considera en comparación con la figura 6.
- 30 En una primera etapa 202, el método 200 puede incluir controlar la abertura de una pluralidad de paletas 76 variables del compresor 15 de alta presión y controlar el cierre de uno o más puertos 78 de sangrado del compresor 15 de alta presión. Esta etapa corresponde a los pasos 102 y 104 de los métodos 100, 200 mostrados en la figura 5 y la figura 7.
- 35 En una segunda etapa 204, la primera máquina 54 eléctrica se usa para controlar la rotación del primer árbol 26 que acciona el compresor 14 de baja presión, mientras que la segunda máquina 56 eléctrica se usa para restringir la rotación del segundo árbol 27 que acciona el compresor 15 de alta presión. El compresor 14 de baja presión se acelera a su máxima rapidez tasada y se mantiene a esta rapidez.
- La operación de la segunda etapa 204 hace que aumente la presión en el compresor 15 de alta presión, sin ningún aumento correspondiente en la velocidad angular del compresor 15 de alta presión. Esto corresponde a las etapas 106 y 108 de los métodos 100, 200 que se muestran en las figuras 5 y 7.
- 40 En el paso 110 del método, el método 200 puede incluir determinar si una presión de salida del compresor 14 de baja presión es mayor o igual que una primera presión de salida umbral. Si la presión de salida determinada no es igual o mayor que la presión de salida umbral, el método 200 vuelve al bloque 106. Si la presión de salida determinada es igual o mayor que la presión de salida umbral, el método 200 pasa a la tercera etapa 206, en el bloque 112a.
- 45 Durante una tercera etapa 206 del método de arranque o reencendido 200, la primera máquina 54 eléctrica y la segunda máquina 56 eléctrica se utilizan para controlar la rotación de los árboles 26, 27 primero y segundo para aumentar la velocidad angular del compresor 15 de alta presión para alcanzar una rapidez en la que el motor 10 pueda encenderse.
- 50 En el paso 212 del método, el método 200 puede incluir determinar si una presión de salida del compresor 15 de alta presión es mayor o igual que una segunda presión de salida umbral. Como se discutió anteriormente, estos valores pueden ser medidos directamente por la disposición 60 de sensores, o pueden ser inferidos por otros parámetros medidos y/o parámetros de control para las máquinas 54, 56 eléctricas primera y segunda.
- Si la presión de salida determinada no es igual o mayor que la segunda presión de salida umbral, el método 200 vuelve al bloque 112a. Si la presión de salida determinada es igual o mayor que la presión de salida umbral, el método 100 pasa al bloque 114, donde se enciende una llama dentro de la cámara 16 de combustión. El método 200 luego pasa a la cuarta etapa 208.
- 55 En la cuarta etapa 208 del método 200, la primera máquina 54 eléctrica y la segunda máquina 56 eléctrica se utilizan para controlar la velocidad angular del compresor 14 de baja presión y el compresor 15 de alta presión hasta que se estabilice la llama dentro de la cámara 16 de combustión, y la operación del motor 10 es autosuficiente. La operación del motor 10 es autosuficiente cuando las etapas del compresor 14, 15 pueden ser accionadas únicamente por la

etapa 17, 19 de turbina y no por las máquinas 54, 56 eléctricas primera y segunda. Durante esta etapa, el compresor 14 de baja presión y el compresor 15 de alta presión pueden controlarse para mantener una velocidad angular constante, una aceleración continua o una desaceleración, según se requiera.

5 Durante esta cuarta etapa 208, las turbinas 17, 19 del núcleo 11 del motor comenzarán a ser accionadas por la expansión de los gases de escape. Por lo tanto, las turbinas 17, 19 comenzarán a accionar los árboles 26, 27 primero y segundo y los compresores 14, 15. En el paso del método 112b, la rotación del compresor 14 de baja presión y el compresor 15 de alta presión se controla utilizando las máquinas eléctricas 54, 56 primera y segunda. A medida que aumenta la contribución de las turbinas 17, 19, la contribución requerida de las máquinas 54, 56 eléctricas primera y segunda se reduce gradualmente.

10 En el paso 214 del método, el método 200 puede incluir determinar si una presión de salida del compresor 15 de alta presión es mayor o igual que una tercera presión de salida umbral. La tercera presión umbral es la presión a la que la operación del motor puede ser autosuficiente sin la contribución de las máquinas 54, 56 eléctricas primera y segunda. Como se discutió anteriormente, estos valores pueden ser medidos directamente por la disposición 60 de sensores, o pueden ser inferidos por otros parámetros medidos y/o parámetros de control para las máquinas 54, 56 eléctricas  
15 primera y segunda.

Si la presión de salida determinada no es igual o mayor que la presión de salida del tercer umbral, el método 200 vuelve al bloque 112b. Si la presión de salida determinada es igual o mayor que la presión de salida del tercer umbral, el método 200 pasa al bloque 116, en el que la primera y la segunda máquinas eléctricas se controlan para funcionar como generadores. Esto forma una quinta etapa 210, en la que el motor ha alcanzado una condición inactiva y la  
20 operación es autosuficiente.

El control de las máquinas 54, 56 eléctricas primera y segunda en la segunda etapa 204 y la tercera etapa 206 del proceso 200 de arranque alternativo se puede utilizar para garantizar que la línea 126 operativa del compresor 15 de alta presión permanezca por debajo de la línea 120 de sobrecarga, ya que se acelera. Hay un número de modos diferentes para operar las máquinas 54, 56 eléctricas primera y segunda para lograr esto.

25 En general, los modos de operación utilizan la primera máquina 54 eléctrica para hacer girar el compresor 14 de baja presión para aumentar la presión a la salida del compresor 15 de alta presión. Esto permite un flujo incrementado a través del compresor de alta presión, reduciendo la probabilidad de que las primeras etapas del compresor 15 de alta presión se paren. Esto tiene el efecto de aumentar la relación de presión a la que se produce una sobrecarga o una parada en un flujo de másico dado, elevando la línea 120 de sobrecarga.

30 La figura 6 ilustra un ejemplo 120' esquemático del efecto de los diferentes modos de operación durante la segunda y tercera etapas 204, 206 del proceso 200 de arranque.

Como puede verse, la línea 126 operativa cae ahora por debajo de la línea 120' de sobrecarga modificada. Así se reduce el riesgo de pararse. Sin embargo, debido a que la línea 126 operativa no se ve afectada, el motor 10 aún opera de manera eficiente.

35 En un primer modo de operación, los parámetros conocidos del motor 10 pueden usarse para asegurar que las máquinas 54, 56 eléctricas primera y segunda se controlen de manera que muevan la línea 120' de sobrecarga por encima de la línea 126 operativa.

La línea 120 de sobrecarga de un motor 10 se puede determinar con base en el diseño conocido de un motor 10. Siempre que el motor 10 se fabrique dentro de las tolerancias especificadas, todos los motores 10 producidos de la  
40 misma manera tendrán la misma línea 120 de sobrecarga. Alternativamente, la línea 120 de sobrecarga se puede determinar con base en la calibración u otros procesos posteriores a la fabricación.

En cualquier caso, las etapas 204, 206 segunda y tercera pueden controlarse sobre la base de la línea 120 de sobrecarga conocida del motor 10. En la segunda etapa, 204, el compresor 14 de baja presión se acelera al 100% de su rapidez tasada. Luego se mantiene a esta rapidez hasta que la presión de salida del compresor 15 de alta presión  
45 alcanza el primer umbral. En este punto, el compresor 15 de alta presión se acelera rápidamente al 100% de su rapidez tasada, utilizando la segunda máquina 56 eléctrica.

Por lo tanto, mediante la selección correcta del primer umbral, el primer modo de operación asegura que el motor 10 se mueva rápidamente a través de la torcedura 124, y se reduce el riesgo de pararse. El primer umbral debe establecerse lo suficientemente alto para adaptarse a la variación de fabricación en los motores 10.

50 En un segundo modo de operación, el compresor 14 de baja presión es acelerado al 100% de su rapidez tasada, durante la segunda etapa 204 del método (pasos 106 y 108 de la figura 7). El compresor 14 de baja presión se mantiene a esta rapidez hasta que se alcanza el primer umbral de presión.

Al inicio de la tercera etapa 206, la velocidad angular del compresor 14 de baja presión se reduce a una primera rapidez nominal tal como, por ejemplo, el 50% de la rapidez tasada máxima. Mientras se mantiene el compresor 14 de baja presión a esta rapidez, el compresor 15 de alta presión se acelera a rapidezces en la región de la torcedura  
55

124. Tanto el compresor 14 de baja presión como el compresor 15 de alta presión se aceleran rápidamente al 100% de sus rapidezces tasadas máximas y se mantienen a estas rapidezces hasta que la relación de presión y el flujo másico en el compresor 15 de alta presión superan la torcedura 124. Las velocidades angulares de los compresores 14, 15 se reducen entonces a una segunda rapidez nominal, que puede ser igual o diferente a la primera rapidez nominal.

5 En un tercer modo de operación, las presiones de salida del compresor 14 de baja presión y el compresor 15 de alta presión y los flujos másicos a través del compresor 14 de baja presión y el compresor 15 de alta presión se monitorizan continuamente y se proporcionan al controlador 52. Como se discutió anteriormente, estos valores pueden ser medidos directamente por la disposición 60 de sensores, o pueden ser inferidos por otros parámetros medidos y/o parámetros de control para las máquinas 54, 56 eléctricas primera y segunda.

10 El controlador 52 monitoriza la línea 126 operativa del compresor 15 de alta presión en comparación con la línea 120 de sobrecarga. Cuando el controlador 52 determina que el motor se está acercando a la línea 120 de sobrecarga, toma una o más de las siguientes acciones de mitigación:

15 La primera máquina 54 eléctrica se controla para mantener el compresor 14 de baja presión a una rapidez constante (por ejemplo, el 100% de la rapidez tasada máxima), mientras que la segunda máquina 56 eléctrica se utiliza para variar la velocidad angular del compresor 15 de alta presión para mantener un diferencial de presión máximo a través del compresor 15 de alta presión. La rapidez constante del compresor 14 de baja presión y el diferencial de presión a través del compresor 15 de alta presión se establecen para garantizar que la línea 120' de sobrecarga aumente por encima de la línea 126 operativa.

20 La primera máquina 54 eléctrica se usa para reducir la velocidad angular del compresor 14 de baja presión, mientras aumenta la velocidad angular del compresor 15 de alta presión. Esto reduce la presión generada por el compresor 14 de baja presión, permitiendo que se genere más presión en el compresor 15 de alta presión, a medida que se acelera. Después de que la línea 126 operativa haya pasado la región de la torcedura 124, ambas máquinas 54, 56 operan para hacer funcionar los compresores 14, 15 a rapidezces nominales. En algunos ejemplos, la primera máquina 54 eléctrica puede incluso restringir la rotación del compresor 14 de baja presión y funcionar como un generador.

25 La segunda máquina 56 eléctrica se usa para operar el compresor 15 de alta presión a una rapidez nominal fija (por ejemplo, el 100% de la rapidez tasada máxima), mientras que la primera máquina 54 eléctrica varía la velocidad angular del compresor 14 de baja presión, para controlar la caída de presión sobre el compresor 15 de alta presión.

30 La primera máquina 54 eléctrica mantiene el compresor 14 de baja presión a una rapidez nominal (por ejemplo, el 100% de la rapidez tasada máxima) mientras que la segunda máquina 56 eléctrica controla la rapidez del compresor 15 de alta presión. Al mismo tiempo, la disposición 58 del actuador controla el paso de las paletas guía de entrada variable para controlar la presión a través del núcleo 11 del motor.

Por cada uno de los métodos anteriores, la presión de aire en el compresor 15 de alta presión se puede controlar para garantizar que la línea 120' de sobrecarga se modifique lejos de la línea 126 operativa del motor 10.

35 En un cuarto modo de operación, la primera máquina 54 eléctrica puede tener suficiente potencia para acelerar el compresor 14 de baja presión a rapidezces en las que la presión en el compresor 15 de alta presión está por encima de la torcedura 124, mientras que aún restringe la rotación del compresor 15 de alta presión, en la segunda etapa 204 del método 200 de arranque.

40 Operar a una temperatura inferior significa que la torcedura 124 se produce a rapidezces inferiores. Por lo tanto, operando a una temperatura inferior y/o acelerando el compresor 14 de baja presión a rapidezces (y por lo tanto presiones) suficientemente altas, se puede evitar el riesgo de parada.

En este cuarto modo, se usa una medición de temperatura del compresor 14 de baja presión para determinar el cambio de la torcedura 124 y, por lo tanto, la primera presión umbral a la que pasar a la segunda etapa 206.

45 Las máquinas 54, 56 eléctricas primera y segunda se pueden usar para suministrar un número de características durante la tercera etapa 206 del método 200 de arranque del motor. Por ejemplo, el tiempo de arranque del motor puede reducirse controlando las máquinas 54, 56 para reducir el tiempo empleado en la tercera etapa 206.

50 Además, las demandas de potencia de una aeronave se pueden gestionar de manera más eficiente. Durante el arranque de una aeronave, un número de sistemas necesitan potencia para arrancar, además de los motores. Si las máquinas 54, 56 eléctricas operan de tal manera que los motores 10 requieren menos potencia total (por ejemplo, se reduce la velocidad angular de los árboles 26, 27), entonces hay más potencia disponible para otros sistemas de la aeronave. La potencia generada cuando la primera y/o la segunda máquina 54, 56 eléctrica operan como generadores también se puede utilizar para estos sistemas. La operación de las máquinas 54, 56 también puede controlarse de modo que pasen a operar como generadores cuando los otros sistemas de la aeronave requieran potencia. Alternativamente, pueden arrancar dos motores simultáneamente, en lugar de secuencialmente.

55 Además, las máquinas 54, 56 pueden usarse para asegurar que el motor 10 alcanza rápidamente condiciones operativas en las que los lubricantes y los sellos operan de manera eficaz.

Durante la cuarta etapa 208 del proceso de arranque del motor 200, la ignición de la mezcla de aire y combustible en el equipo 16 de combustión debe ocurrir de manera confiable. El encendido de la llama puede implicar un número de pasos: en primer lugar, se forma un núcleo de llama donde se introduce la chispa en la cámara 16 de combustión. El núcleo de la llama luego migra hacia la cara del inyector de combustible más cercano a la chispa y se estabiliza en ese único inyector. Luego, la llama se propaga alrededor de los otros inyectores de combustible, que normalmente están dispuestos en un anillo. Finalmente, la combustión de la mezcla aire-combustible genera calor suficiente para acelerar el motor 10.

Por lo general, el proceso de arranque del motor ocurre en tierra. Sin embargo, en algunas situaciones, puede ser necesario reiniciar un motor 10 durante el vuelo. Los procesos discutidos en relación con las figuras 5, 6 y 7 pueden usarse para un arranque en tierra o un reinicio en pleno vuelo. Sin embargo, durante un reinicio en pleno vuelo, la baja temperatura y presión del aire ambiente pueden ralentizar todas las etapas del proceso de encendido. Para superar esto, la mezcla de aire y combustible debe tener un tiempo de residencia suficientemente largo en la cámara 16 de combustión para adaptarse a la baja presión del aire ambiente.

La figura 8 ilustra un gráfico que caracteriza la cámara 16 de combustión. El gráfico ilustra la relación entre la relación combustible:aire del combustible suministrado a la cámara 16 de combustión y una característica de la cámara de combustión conocida como parámetro de carga del combustor (CLP). Se muestra una curva 128 que define el límite entre una región 130a de operación estable de la cámara 16 de combustión (a la izquierda de la curva) y una región 130b de operación inestable.

El CLP define la relación entre el tiempo que tarda en producirse la reacción de la llama (tiempo de reacción química) y el tiempo de residencia de los reactivos en la cámara 16 de combustión. Se apreciará que para  $CLP > 1$ , la llama nunca se sostendrá, y para  $CLP \ll 1$ , existe el riesgo de retroceso de la llama. Se apreciará además que para una relación alta de combustible a aire, el tiempo de reacción será más corto que para una relación baja.

El CLP máximo para el combustor 16 se produce cuando el tiempo de residencia es aproximadamente igual al tiempo de reacción, y viene dado por:

$$CLP = \frac{m}{p^n \times V}$$

Donde  $m$  es el flujo másico de la mezcla de combustible,  $p$  es la presión de aire en la cámara 16 de combustión,  $V$  es el volumen de la cámara 16 de combustión y  $n$  es un factor que representa la temperatura del combustor 16. Cuando el combustor está frío, en el arranque,  $n$  es típicamente  $\sim 1$ , y  $n$  aumenta gradualmente a medida que el combustor 16 se calienta. Típicamente, en una operación totalmente sostenida del motor 10,  $n \sim 1.8$ . A medida que  $n$  aumenta, la curva 128 de la figura 8 se cambia hacia valores de CLP más altos.

La presión  $p$  depende de las condiciones externas o parámetros físicos del motor 10. De manera similar, el flujo másico, el CLP y la relación combustible:aire están determinados por los parámetros de diseño y la operación de los compresores 14,15. Por lo tanto, el volumen es el único parámetro físico del motor 10 que se puede variar para garantizar que el CLP permita una solución de parada y no caiga dentro de la región 130b inestable de operación.

Un motor 10 debe ser capaz de reiniciarse en vuelo. El volumen requerido para el reinicio en vuelo es uno de un número de parámetros de diseño del combustor que deben tenerse en cuenta al diseñar el motor 10. A menudo, el volumen necesario para lograr un reinicio en vuelo es mayor que el volumen necesario para un arranque en tierra o para una operación estable del motor 10. Por lo tanto, el punto de diseño del combustor 16 a menudo depende del volumen requerido para el reinicio en vuelo.

En la cuarta etapa 208 del método que se muestra en la figura 7, las máquinas 54, 56 eléctricas primera y segunda pueden controlarse para hacer girar los compresores 14, 15 de baja y alta presión para aumentar el tiempo de residencia de los reactivos en la cámara 16 de combustión por controlar la presión de salida del compresor 14 de baja presión y el compresor 15 de alta presión como se describirá en relación con la figura 9. La figura 9 ilustra el bloque 112b del método 200 de la figura 7 con más detalle.

En un primer paso 302, se opera la primera máquina 54 eléctrica para aplicar un torque máximo (donde el torque máximo está relacionado con la rapidez tasada máxima) al compresor 14 de baja presión. Al mismo tiempo, en el paso 304, la segunda máquina 56 eléctrica se utiliza para regular, o limitar, la rapidez del compresor 15 de alta presión. Como se discutió anteriormente, esto se puede hacer operando la segunda máquina 56 eléctrica como un generador.

A medida que la llama comienza a estabilizarse, los productos de la combustión accionan las etapas de la turbina 17, 19. Por lo tanto, para mantener una rapidez constante en el compresor de alta presión, la segunda máquina 56 eléctrica limita aún más la rapidez y se genera una potencia creciente.

En la etapa 306, el controlador determina si la llama es autosuficiente. Puede determinarse que la llama es autosuficiente comparando la rapidez y/o el torque en las máquinas 54, 56 eléctricas y/o la rapidez/torque en los árboles 26, 27 con los límites preestablecidos. Por ejemplo, a medida que se reduce la entrada requerida por las

máquinas 54, 56 eléctricas, se puede determinar que la llama es autosuficiente. Como se discutió anteriormente, estos valores pueden ser medidos directamente por la disposición 60 de sensores, o pueden ser inferidos por otros parámetros medidos y/o parámetros de control para las máquinas 54, 56 eléctricas primera y segunda.

5 Si la llama no es autosuficiente, el método 112b vuelve a los bloques 302 y 304. De lo contrario, el método 112b pasa al bloque 308, donde las máquinas 54, 56 eléctricas primera y segunda operan de manera que no proporcionan torque a los compresores 14, 15 y no funcionan como generadores.

10 A continuación, el motor 10 se acelera, por su propia potencia, hasta una rapidez inactiva. En el bloque 214, el método 200 determina si la operación del motor es autosuficiente y si el motor ha alcanzado la rapidez inactiva. Si no, el método vuelve al bloque 308. Una vez que se alcanza la rapidez inactiva, las máquinas 54, 56 eléctricas primera y segunda operan como generadores, en el paso 116. La rapidez inactiva se puede determinar midiendo la rapidez de rotación de los árboles 26, 27.

15 Alternativamente, ambas máquinas 54, 56 pueden operar para aplicar un torque máximo a los compresores 14, 15 de baja y alta presión, hasta que se alcance la condición inactiva del motor 10. A medida que las turbinas 17, 19 aportan torque a los árboles 26, 27 y, por tanto, a los compresores 14, 15, la contribución de las máquinas 54, 56 se reduce gradualmente para mantener un torque constante en los árboles 26, 27.

En otro ejemplo más, las máquinas 54, 56 eléctricas primera y segunda pueden controlarse para reducir gradualmente el torque que aplican al árbol, a medida que aumenta el torque aplicado por las turbinas 17, 19. La reducción gradual se puede controlar para que la primera y la segunda máquinas eléctricas pasen a modo de generación cuando lo requiera la aeronave.

20 Como en la tercera etapa 206 del proceso 200 de arranque, el control de las máquinas 54, 56 puede utilizarse para garantizar un tiempo mínimo de arranque y gestionar las demandas de potencia de la aeronave.

25 Además, el control de la cuarta etapa 208 se puede usar para reducir el volumen requerido durante un reinicio en vuelo. Manteniendo un flujo más alto a través de los compresores 14, 15, se puede mantener una presión más alta en el combustor 16. Por lo tanto, se reduce el volumen requerido para lograr un reinicio en vuelo. Por lo tanto, cuando el volumen requerido para lograr un reinicio en vuelo determina el volumen de la cámara 16 de combustión, la cámara 16 de combustión se puede hacer más pequeña, dando como resultado una reducción en el peso y la longitud del motor.

30 El control de la cuarta etapa 208 también puede permitir una quema de combustible más eficiente y una reducción de las emisiones de óxido de nitrógeno, y permitir la introducción de combustibles alternativos, proporcionando un flujo másico mejorado y permitiendo que el motor 10 opere con un rango más amplio de relación combustible:aire.

El control de la cuarta etapa 208 se puede utilizar para procedimientos de arranque en tierra, y también para reinicios en tierra o en vuelo.

35 Durante el proceso de arranque o reinicio, existe el riesgo de que la llama se apague. Esto se conoce como extinción de la llama y da como resultado un arranque colgado. Después de un arranque colgado, es necesario purgar todo el combustible de la cámara 16 de combustión. La figura 10 ilustra un método 400 de ejemplo para purgar residuos de combustible del motor 10.

En una primera etapa 402, se detecta un evento de extinción. Un evento de extinción se puede detectar en un número de maneras. Por ejemplo, el controlador 52 puede detectar la diferencia entre el torque o las rapidezces del árbol con y sin llama, con referencia a las mediciones del modelo.

40 Luego, en una segunda etapa 404, las máquinas 54, 56 eléctricas primera y segunda se operan para purgar el combustible de la cámara 16 de combustión y las turbinas 17, 19. Las máquinas 54, 56 eléctricas primera y segunda pueden operar para accionar los compresores 14, 15 a una rapidez fija o que se reduce gradualmente durante un período de tiempo, para purgar el combustible. En algún ejemplo, el período puede ser un período de tiempo fijo, dependiendo de cuándo se extingue la llama en el proceso de arranque. En otros ejemplos, los sensores pueden  
45 detectar el contenido de combustible en el escape y el período de tiempo puede determinarse con base en las lecturas del sensor.

50 Durante este período, las máquinas 54, 56 eléctricas primera y segunda también operan de manera que la rapidez de los árboles 26, 27 no cae por debajo de la rapidez a la que se agita. Las máquinas 54, 56 eléctricas primera y segunda mantienen la rapidez por encima de este umbral mínimo hasta que se reinicia el proceso de arranque y los árboles 26, 27 son nuevamente acelerados.

Finalmente, en una tercera etapa 406, se reinicializa el proceso de arranque. El proceso reinicializado procederá de la misma manera que se discutió anteriormente.

El método 400 asegura que el proceso de reinicio se pueda operar de manera más eficiente. Mantener la velocidad angular de los árboles 26, 27 significa que puede no ser necesario reiniciar el proceso completo.

Además, se amplía el período del proceso de arranque en el que puede iniciarse un procedimiento de apagado y encendido sin tener que apagar completamente el motor 10.

5 Por ejemplo, las máquinas 54, 56 eléctricas primera y segunda pueden mantener la rapidez de los árboles 26, 27 de manera que el compresor 15 de alta presión se mantenga en condiciones operativas por encima de la torcedura 124 que se muestra en la figura 6. Esto entonces acelera el proceso de reinicio. Además, la flexibilidad adicional en el diseño del combustor 16 permite que se produzcan reinicios a gran altura, en vuelo, manteniendo el flujo másico (y, por lo tanto, la relación combustible:aire) a través del combustor 16.

10 La figura 11 ilustra un diagrama de flujo de otros bloques 502, 504, 506 adicionales que pueden incluirse en el método de la figura 5 o la figura 7. Los bloques 502, 504 y 506 se pueden realizar en cualquier orden y se pueden realizar en cualquier momento antes del bloque 112 o el bloque 112a. Puede omitirse uno cualquiera de los bloques o más de los bloques.

En el bloque 502, el método 100, 200 puede incluir el control del movimiento de un ventilador de paso variable del motor de turbina de gas a una posición inactiva. Por ejemplo, el controlador 52 puede controlar un servomotor de la disposición 58 del actuador para cambiar el paso del ventilador 23 a una posición inactiva.

15 En el bloque 504, el método 100, 200 puede incluir el control de un embrague de una caja de engranajes del motor de turbina de gas para desenganchar la transmisión de potencia desde una sección de turbina a un ventilador. Por ejemplo, el controlador 52 puede controlar el embrague 74 para desenganchar el ventilador 23 de la turbina 19 de baja presión.

20 En el bloque 506, el método 100, 200 puede incluir el control de la restricción del flujo de aire a través de un conducto de derivación del motor de turbina de gas. Por ejemplo, el controlador 52 puede controlar la disposición 58 del actuador para mover un miembro (tal como una paleta) para restringir el flujo de aire B dentro del conducto 22 de derivación del motor 10 de turbina de gas.

El aparato 50 y los métodos 100 descritos anteriormente pueden proporcionar varias ventajas, además de los beneficios discutidos anteriormente.

25 Primero, el accionamiento del compresor 14 de baja presión y la restricción del compresor 15 de alta presión por las máquinas 54, 56 eléctricas primera y segunda en los bloques 106 y 108 respectivamente pueden reducir el impacto de la resistencia inducida en el compresor 15 de alta presión y pueden prevenir así que las etapas de corriente abajo del compresor 15 de alta presión se ahoguen, y que las etapas de corriente arriba del compresor 15 de alta presión se paren y se sobrecarguen. Esto puede permitir que se minimice o elimine el uso del sangrado de arranque del motor 30 10 de turbina de gas.

En algunos ejemplos, el uso del aparato 50 y los métodos 100 descritos anteriormente pueden permitir la fabricación de un motor de turbina de gas que comprende un compresor de alta presión sin sangrado de arranque.

35 En segundo lugar, la abertura de las paletas 76 y el cierre de los puertos 78 de sangrado en el compresor 15 de alta presión pueden ayudar al aumento de la presión a la salida del compresor 15 de baja presión/entrada al compresor 15 de alta presión.

En tercer lugar, el uso de las máquinas 54, 56 eléctricas primera y segunda como generadores eléctricos puede ventajosamente suministrar potencia eléctrica a la red 62 eléctrica durante el arranque del motor 10 de turbina de gas.

40 Los bloques 502, 504, 506 adicionales, ilustrados en la figura 11 pueden ser ventajosos porque los bloques 502, 504 y 506 pueden reducir la resistencia aerodinámica en el compresor 14 de baja presión y, por lo tanto, pueden ayudar con el aumento de presión a la salida del compresor 14 de baja presión/entrada al compresor 15 de alta presión durante el proceso de arranque o reencendido.

En los ejemplos discutidos anteriormente, el aparato 50 incluye una única primera máquina 54 eléctrica para controlar la rotación del compresor 14 de baja presión y una única segunda máquina 56 eléctrica para controlar la rotación del compresor 15 de alta presión.

45 Se apreciará que en algunos ejemplos, el aparato 50 puede incluir redundancia y puede incluir dos o más primeras máquinas 54 eléctricas y dos o más segundas máquinas 56 eléctricas. Puede ser que cada primera máquina 54 eléctrica y cada segunda máquina 56 eléctrica sea capaz de controlar la operación del compresor 14 de baja presión y el compresor 15 de alta presión sin entrada de las otras máquinas 54, 56. Así, si una de las máquinas se rompe, el motor 10 todavía puede arrancar.

50 En algunos ejemplos, dos o más primeras máquinas 54 eléctricas o dos o más segundas máquinas 56 eléctricas pueden operar juntas cuando se requiere un torque elevado. Sin embargo, puede ser que mientras se pueden usar múltiples máquinas 54, 56 para arrancar el motor 10, el proceso aún puede ser operado por una sola primera máquina 54 eléctrica y una sola segunda máquina 56 eléctrica, si es necesario.

5 En los ejemplos anteriores, la primera máquina 54 eléctrica y la segunda máquina 56 eléctrica se usan como generadores, cuando se requieren para restringir la rotación del compresor 14 de baja presión y el compresor 15 de alta presión. Esto es a modo de ejemplo, y la rotación de los compresores 14, 15 puede restringirse sin utilizar las máquinas 54, 56 eléctricas primera y segunda como generadores. Además, las máquinas 54, 56 primera y segunda no necesitan usarse como generadores en absoluto.

En los métodos anteriores, se supondrá que cuando un parámetro medido se mide contra un umbral, se puede usar una medición instantánea para determinar que el parámetro está por encima del umbral. Alternativamente, solo se puede determinar que el parámetro está por encima del umbral después de que haya permanecido por encima del umbral durante un período fijo.

10 Se entenderá que la invención no se limita a las realizaciones descritas anteriormente y se pueden realizar diversas modificaciones y mejoras sin apartarse de los conceptos descritos en este documento.

En la descripción anterior, las expresiones "conectado" y "acoplado" significan conectado y acoplado operativamente. Debe apreciarse que puede haber cualquier número de componentes intervinientes entre las características mencionadas, incluidos componentes que no intervienen.

15 Por ejemplo, el controlador 52 puede recibir mediciones de torque y velocidad angular del compresor 14 de baja presión y el compresor 15 de alta presión desde la disposición 60 de sensores y determinar la presión de salida del compresor 15 de alta presión utilizando las mediciones recibidas. En otro ejemplo, el controlador 52 puede recibir datos de presión de un sensor de presión colocado a la salida del compresor 15 de alta presión y luego determinar si la presión medida es igual o mayor que el segundo umbral de presión de salida. En otro ejemplo, la disposición 60 del sensor puede no ser necesaria para el funcionamiento del bloque 110 ya que el controlador 52 puede determinar el torque y la velocidad angular del compresor 15 de alta presión y del compresor 15 de alta presión a partir de los datos de control de las máquinas 54, 56 eléctricas primera y segunda. En particular, la rapidez de la primera máquina 54 eléctrica y la segunda máquina 56 eléctrica está directamente relacionada con la frecuencia eléctrica, y el torque está relacionado con la corriente eléctrica y la potencia con el producto de corriente y voltaje. La presión de salida determinada se puede comparar con un umbral de presión de salida almacenado en la memoria 66.

20

25

**REIVINDICACIONES**

1. Un método (200) para controlar al menos parte de un proceso de arranque o reencendido de un motor (10) de turbina de gas, el método (200) que comprende:
- 5 aumentar la velocidad angular de un compresor (14) de baja presión;
- determinar (110) si una presión de salida del compresor (14) de baja presión es igual o mayor que una primera presión umbral;
- 10 en respuesta a determinar que la presión de salida del compresor (14) de baja presión es igual o mayor que la primera presión umbral, controlar (106) la rotación del compresor (14) de baja presión usando una primera máquina (54) eléctrica y controlar (112a) rotación de un compresor (15) de alta presión utilizando una segunda máquina (56) eléctrica, para aumentar la velocidad angular del compresor (15) de alta presión;
- determinar (110) si una presión de salida del compresor (15) de alta presión es igual o mayor que una segunda presión umbral; y
- 15 en respuesta a determinar que la presión de salida del compresor (15) de alta presión es igual o mayor que la segunda presión umbral, controlar (114) el encendido dentro de una cámara (16) de combustión del motor (10) de turbina de gas, la cámara (16) de combustión corriente abajo del compresor (14) de baja presión y del compresor (15) de alta presión.
2. El método (200) de la reivindicación 1, en donde aumentar la velocidad angular del compresor (14) de baja presión comprende controlar (106) la rotación del compresor (14) de baja presión usando la primera máquina (54) eléctrica para aumentar la velocidad angular del compresor (14) de baja presión y controlar la rotación del compresor (15) de alta presión usando la segunda máquina (56) eléctrica para restringir la velocidad angular del compresor (15) de alta presión.
- 20 3. El método (200) de la reivindicación 2, en donde el aumento de la velocidad angular del compresor (14) de baja presión, mientras que la restricción de la velocidad angular del compresor (15) de alta presión aumenta la presión de salida del compresor (15) de alta presión
- 25 4. El método (200) de la reivindicación 3 que comprende aumentar la presión de salida del compresor (15) de alta presión para aumentar un umbral de sobrecarga del motor (10) de turbina de gas por encima de una línea operativa del motor (10) de turbina de gas.
5. El método (200) de cualquier reivindicación precedente, en donde antes de que la presión de salida del compresor (14) de baja presión alcance el primer umbral, la velocidad angular del compresor (14) de baja presión se acelera hasta una velocidad umbral del compresor de baja presión, en donde el método (200) comprende además:
- 30 controlar la rotación del compresor (14) de baja presión de manera que la velocidad angular del compresor (14) de baja presión sea igual o menor que la velocidad umbral del compresor de baja presión durante al menos una porción del paso de control de rotación del compresor (15) de alta presión utilizando la segunda máquina (56) eléctrica, para aumentar la velocidad angular del compresor (15) de alta presión.
- 35 6. El método (200) de la reivindicación 5, en donde la velocidad angular del compresor (14) de baja presión se reduce antes del paso de controlar la rotación del compresor (15) de alta presión utilizando la segunda máquina (56) eléctrica para aumentar la velocidad angular del compresor (15) de alta presión.
7. El método (200) de la reivindicación 5, en donde la velocidad angular del compresor (14) de baja presión se reduce durante el paso de controlar la rotación del compresor (15) de alta presión utilizando la segunda máquina (56) eléctrica, para aumentar la velocidad angular del compresor (15) de alta presión.
- 40 8. El método (200) de cualquiera de las reivindicaciones 5 a 7, que comprende controlar la rotación del compresor (14) de baja presión para aumentar la velocidad angular del compresor (14) de baja presión durante al menos una porción del paso de controlar la rotación del compresor (15) de alta presión utilizando la segunda máquina (56) eléctrica, para aumentar la velocidad angular del compresor (15) de alta presión.
- 45 9. El método (200) de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, que comprende:
- controlar la rotación del compresor (15) de alta presión utilizando la segunda máquina (56) eléctrica, para aumentar la velocidad angular del compresor (15) de alta presión hasta una velocidad umbral del compresor de alta presión;
- controlar la rotación del compresor (15) de alta presión usando la segunda máquina (56) eléctrica, para mantener la velocidad angular del compresor (15) de alta presión en la velocidad umbral del compresor de alta presión;

mientras que la velocidad angular del compresor (15) de alta presión se mantiene en la velocidad umbral del compresor de alta presión, controlando la rotación del compresor (14) de baja presión utilizando la primera máquina (54) eléctrica para variar la velocidad angular del compresor (14) de baja presión.

- 5 10. El método (200) de cualquier reivindicación precedente, que comprende monitorizar uno o más parámetros del motor durante el método (200), el uno o más parámetros del motor seleccionados de una lista que comprende al menos:
- presión de entrada del compresor (14) de baja presión;
  - presión de salida del compresor (14) de baja presión;
  - temperatura de entrada del compresor (14) de baja presión;
- 10 temperatura de salida del compresor (14) de baja presión;
- presión de entrada del compresor (15) de alta presión;
  - presión de salida del compresor (15) de alta presión;
  - temperatura de entrada del compresor (15) de alta presión; y
  - temperatura de salida del compresor (15) de alta presión.
- 15 11. El método (200) de la reivindicación 10, en donde controlar la rotación del compresor (15) de alta presión usando la segunda máquina (56) eléctrica comprende:
- velocidad angular variable del compresor (15) de alta presión con base en al menos uno de uno o más parámetros del motor.
- 20 12. El método (200) de la reivindicación 11, que incluye, mientras se controla la rotación del compresor (15) de alta presión usando la segunda máquina (56) eléctrica, controlar la rotación del compresor (14) de baja presión usando la primera máquina (54) eléctrica, con base en al menos uno de uno o más parámetros del motor.
13. El método (200) de cualquier reivindicación precedente, que comprende:
- mientras controla la rotación del compresor (15) de alta presión usando la segunda máquina (56) eléctrica, controlar la posición de una o más paletas guía variables, para controlar el flujo de aire hacia el compresor (14) de baja presión.
- 25 14. Un motor (10) de turbina de gas que comprende un aparato (50) para controlar al menos una parte de un proceso (200) de arranque o reencendido del motor (10) de turbina de gas, el aparato (50) que comprende:
- una primera máquina (54) eléctrica configurada para controlar la velocidad angular de un compresor (14) de baja presión del motor de turbina de gas;
  - una segunda máquina (56) eléctrica configurada para controlar la velocidad angular de un compresor (15) de alta presión del motor de turbina de gas;
- 30 una disposición (60) de sensor para detectar una o más propiedades del motor de turbina de gas; y
- un controlador (52) configurado para recibir datos detectados desde la disposición del sensor y realizar el método (200) de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13.
- 35 15. Un programa (68) informático que, cuando lo lee el controlador de la reivindicación 14, hace que el motor de turbina de gas de la reivindicación 14 realice el método (200) como se reivindica en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13.

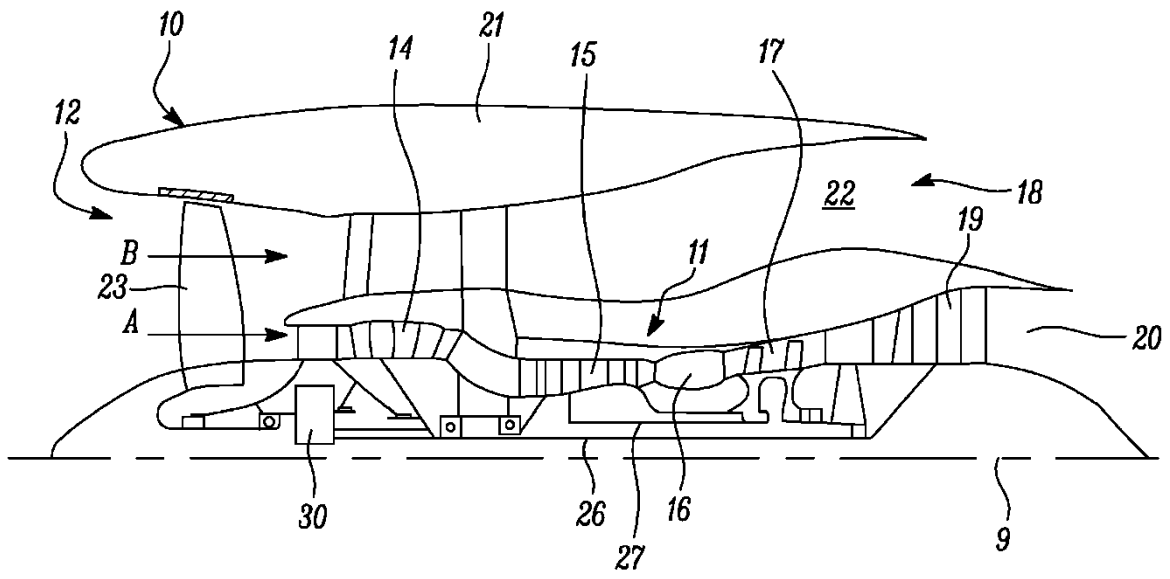


FIG. 1

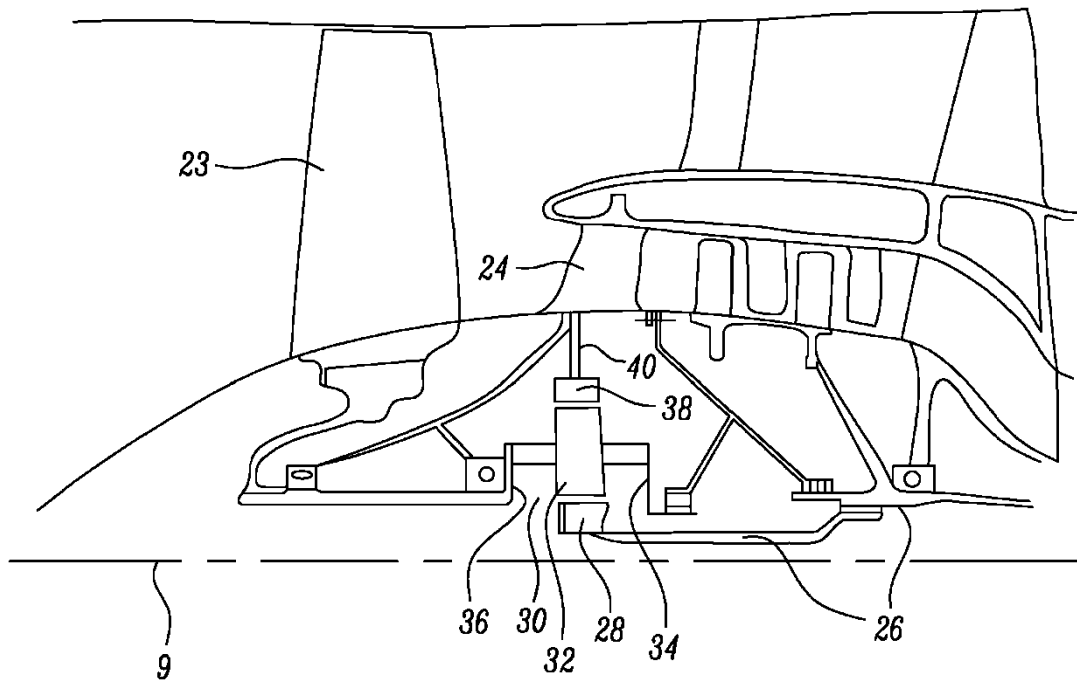


FIG. 2

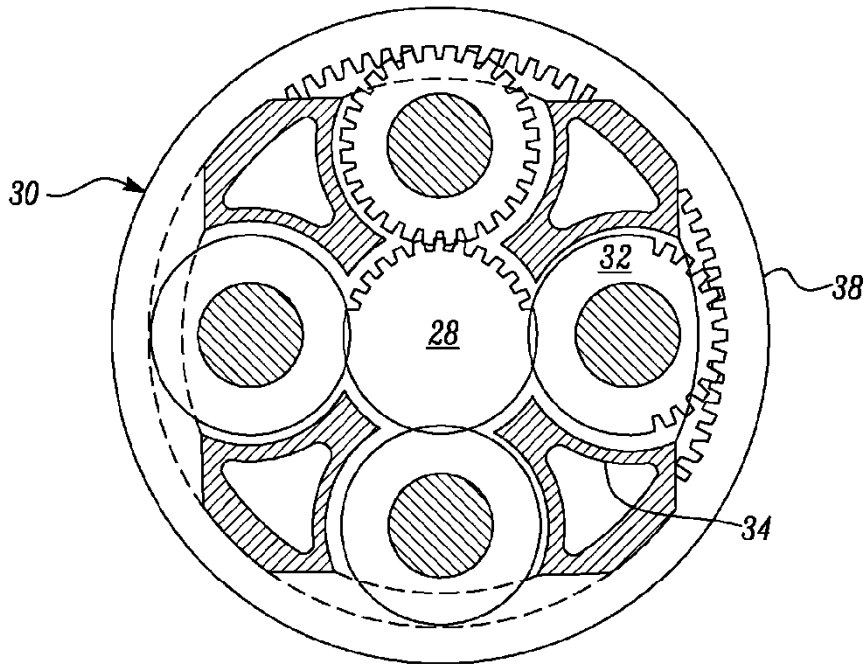


FIG. 3

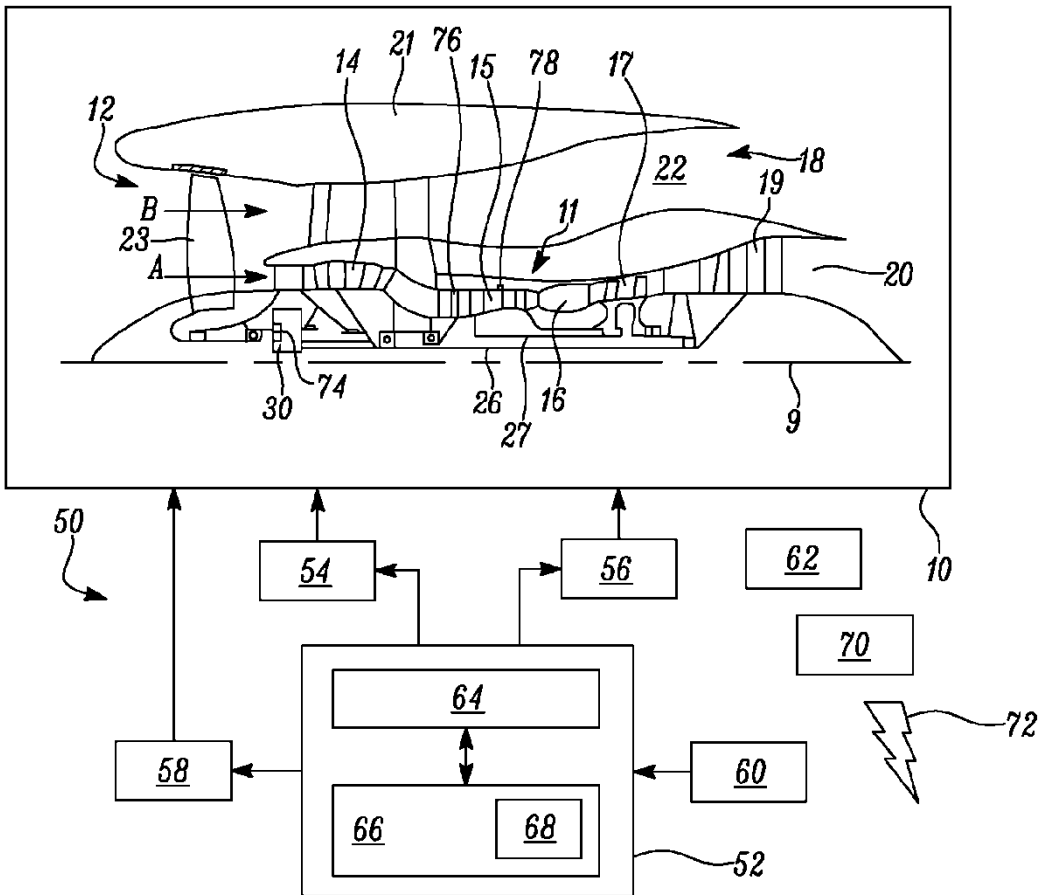
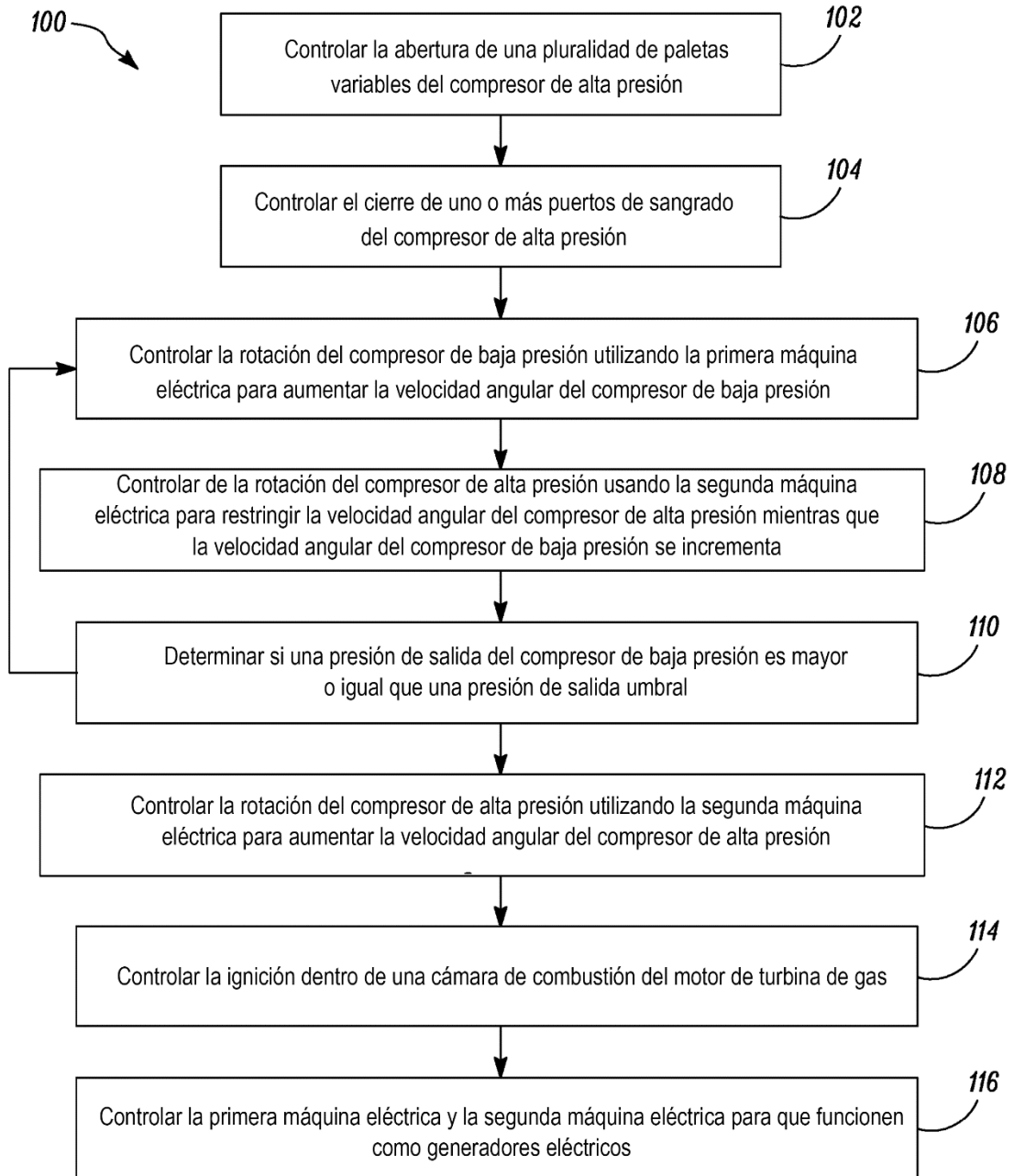


FIG. 4



**FIG. 5**

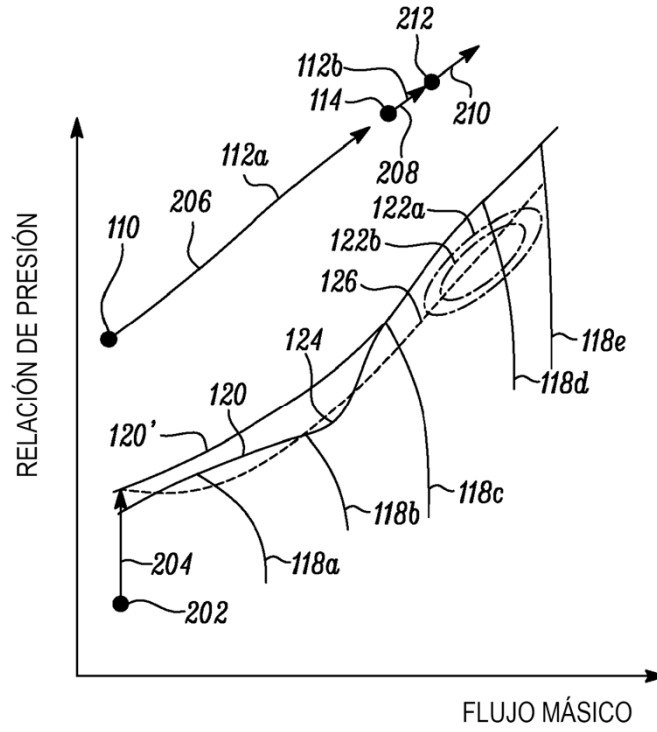


FIG. 6

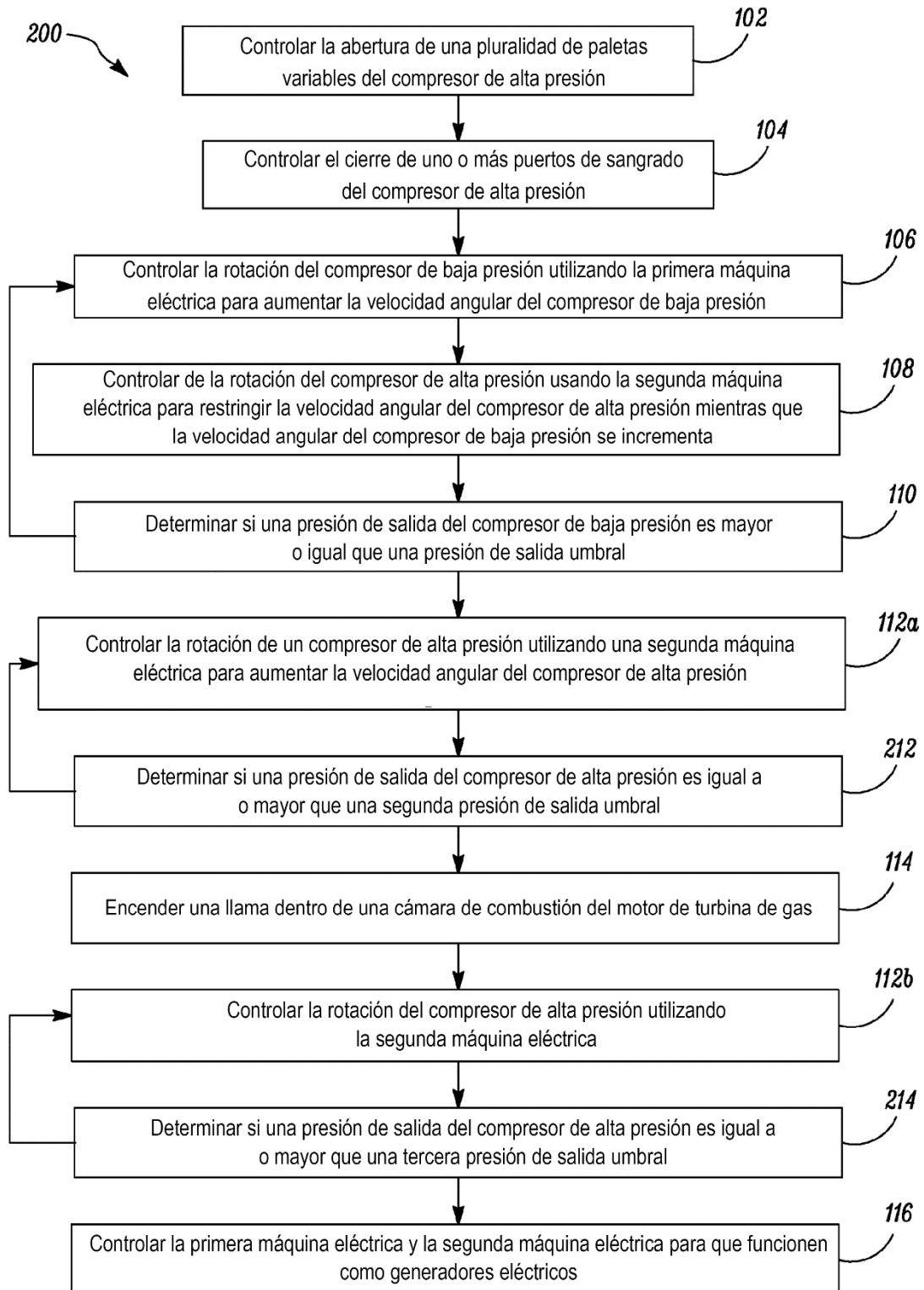
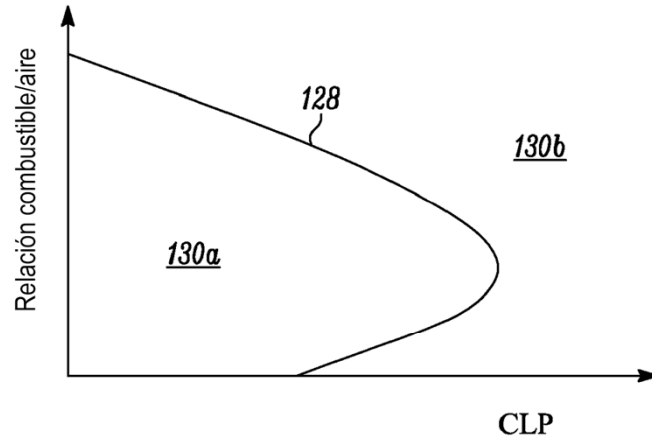


FIG. 7



*FIG. 8*

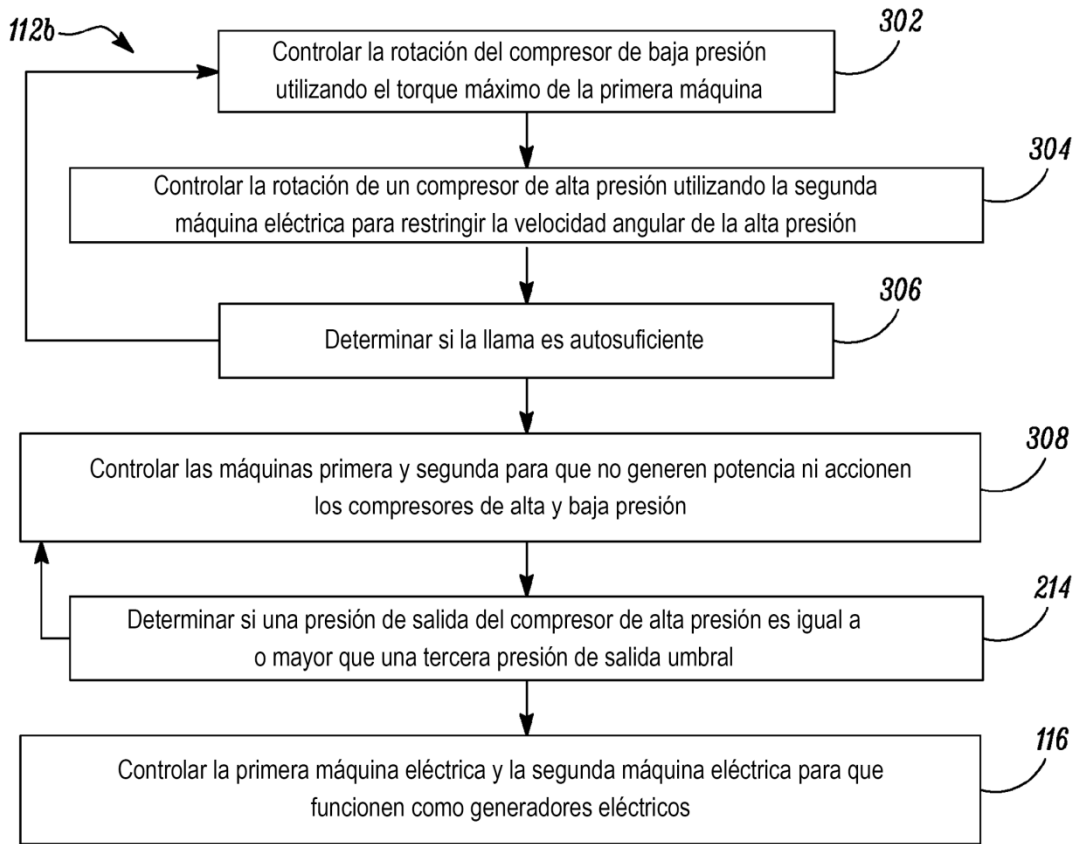


FIG. 9

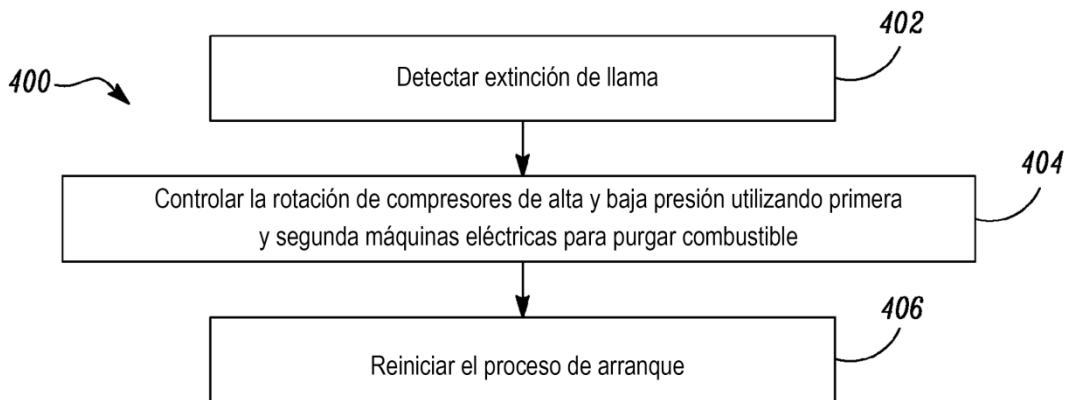
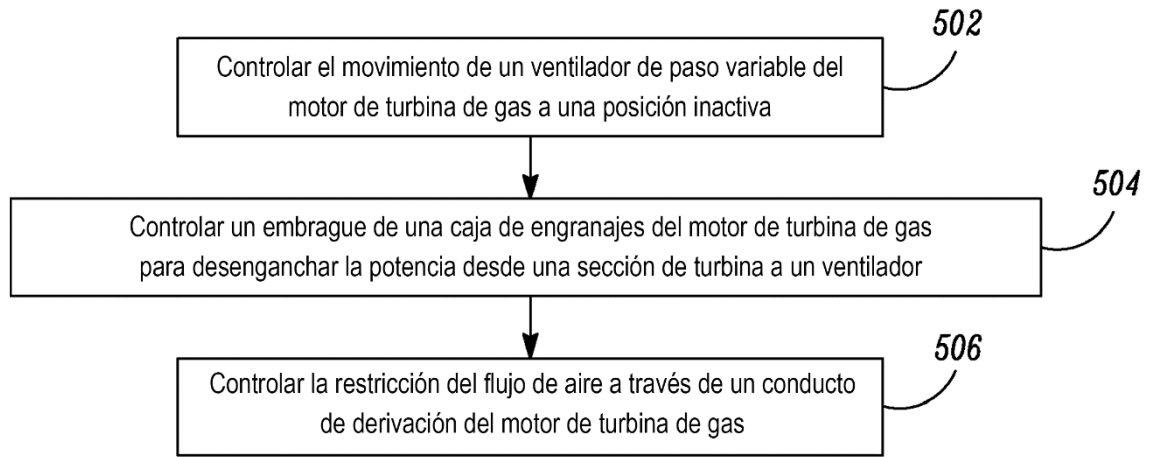


FIG. 10



*FIG. 11*