

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 387 758**

51 Int. Cl.:
F01D 21/20 (2006.01)
F01D 21/00 (2006.01)
F01D 21/16 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **02734422 .5**
96 Fecha de presentación: **15.05.2002**
97 Número de publicación de la solicitud: **1407118**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **14.04.2004**

54 Título: **Método de prueba de controles de turbina**

30 Prioridad:
17.07.2001 US 907138

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.10.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.10.2012

73 Titular/es:
ILD, INC.
8867 HIGHLAND ROAD NR. 378
BATON ROUGE, LA 5108, US

72 Inventor/es:
LITTLE, Jack L. Jr.

74 Agente/Representante:
de Elizaburu Márquez, Alberto

ES 2 387 758 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

Campo técnico

- 5 La presente invención se refiere a turbinas, y más en concreto a pruebas de sistemas de control de turbinas, como por ejemplo sistemas para la prevención de sobrevelocidad.

Antecedentes de la invención

- 10 Las máquinas de turbina, en especial las turbinas de vapor que se utilizan en centrales de energía comerciales, generalmente emplean sistemas de control que llevan a cabo una variedad de funciones, entre las que figuran las de desconexión (en inglés, *tripping*). La desconexión consiste en la paralización de una turbina cuando se producen determinadas situaciones anómalas, como por ejemplo una baja presión del aceite lubricante de cojinetes, una temperatura elevada en los cojinetes o una sobrevelocidad del rotor. La sobrevelocidad del rotor, si no se controla
15 adecuadamente, puede hacer que el rotor salte en pedazos, lo que tendría como resultado daños considerables y, en algunos casos, consecuencias catastróficas. Por consiguiente, la mayoría de las turbinas de vapor están equipadas con sistemas de control eléctricos, hidráulicos o de ambos tipos, así como con dispositivos mecánicos de seguridad de desconexión por sobrevelocidad para evitar la sobrevelocidad del rotor. Para garantizar su funcionamiento correcto, estos dispositivos deben ser sometidos a pruebas periódicas. En la mayoría de los casos,
20 las pruebas de los sistemas de desconexión por sobrevelocidad de turbina requieren que el rotor de la turbina alcance puntos prefijados de desconexión, por lo general establecidos a un 103-120% de la velocidad de diseño normal. Véanse, por ejemplo, las patentes estadounidenses n° 5.133.189 y n° 5.292.225.

- 25 En las centrales nucleares normalmente se utilizan como motores primarios (fuente de rotación) turbinas de potencia pequeña a mediana, y estas son periódicamente sometidas a pruebas para garantizar su funcionamiento correcto. Por lo general, el riesgo es menor cuando se llevan a cabo las pruebas de desconexión por sobrevelocidad en un momento en el que no se requiere que la turbina esté operativa, por ejemplo durante las paradas para reponer combustible.

- 30 Durante estas paradas para la reposición de combustible se identifican como actividades de mantenimiento y prueba "en ruta crítica" aquellas que, en caso de retrasarse, demorarían el retorno al servicio (la productividad) de la central de energía. En cambio, las actividades de mantenimiento y prueba realizadas durante una parada que no aumentan la duración de las paradas son identificadas como "fuera de ruta crítica". En la gestión de las centrales nucleares normalmente se prefiere que todas las actividades de mantenimiento y prueba, incluidas las pruebas de
35 sobrevelocidad, se efectúen fuera de ruta crítica cuando sea posible. Sin embargo, los costes asociados con la realización de estas pruebas pueden ser significativos, ya que normalmente se requiere una fuente alternativa de vapor para hacer girar la turbina, puesto que el reactor ya no puede producir vapor. Estos costes pueden incluir el alquiler de una fuente alternativa de vapor capaz de hacer girar el rotor de la turbina más allá de sus valores normales prefijados de desconexión, además de los costes de mano de obra necesarios para las actividades de ingeniería, mantenimiento y soporte operativo. Por otra parte, la logística de la instalación, operación y extracción del equipo necesario puede añadir un grado de complejidad a un plan de parada para la reposición de combustible ya de por sí bastante complejo.

- 45 Alternativamente, pueden llevarse a cabo pruebas de desconexión por sobrevelocidad utilizando el vapor proporcionado por el reactor, una vez que este se encuentre de nuevo en funcionamiento. No obstante, generalmente no se prefiere este método de prueba, debido a las pérdidas de productividad que resultan del retraso en la vuelta al servicio. Más específicamente, cuando se prueba una turbina utilizando vapor proporcionado por el reactor, las pruebas se realizan durante el arranque de la central a partir de la parada para la reposición de combustible. Este método de pruebas se considera generalmente "en ruta crítica", ya que la actividad de pruebas se
50 convierte en una actividad en serie en la secuencia de arranque. Para hacer girar un rotor de turbina más allá de los puntos prefijados de desconexión normales, se requieren sistemas motrices de alta potencia capaces de superar los efectos de la resistencia aerodinámica. La "resistencia aerodinámica" (en inglés, *windage*) se refiere generalmente a una pérdida debido a una fricción de fluido en un cuerpo en rotación. Las pérdidas por resistencia aerodinámica dependen de la velocidad de un rotor de turbina. Los efectos de resistencia aerodinámica para los rotores que giran
55 en el aire a altas velocidades son significativos.

- En la patente estadounidense n° 2172910 se divulga un método para el funcionamiento de centrales térmicas en el que se utiliza un medio de trabajo gaseoso, preferentemente el aire, en un ciclo cerrado a una presión por encima de la presión atmosférica.

- 60 En la patente WO 00/60226 se divulga un sistema de turbina de gas que consiste en un ciclo semicerrado en el que se recircula gas parcialmente expandido de turbina de gas desde la salida de la turbina de gas y se mezcla con gas procedente de un compresor en un eyector.

En la patente estadounidense nº 583146 se divulga una central térmica en la que un medio de trabajo se encuentra dentro de un ciclo cerrado y se calienta y eleva posteriormente a una presión superior en un turbocompresor.

5 En la patente estadounidense nº 3682564 se divulga un sistema de desconexión por sobrevelocidad de turbina con un mecanismo de prueba.

10 Existe una necesidad no satisfecha de un dispositivo que someta a prueba los sistemas de control de turbinas, el cual reducirá la necesidad de suministrar la potencia requerida para hacer girar el rotor de turbina más allá de sus puntos prefijados de desconexión normales durante las pruebas de sobrevelocidad, y que permitirá realizar pruebas de sobrevelocidad fuera de la ruta crítica. Este dispositivo debe permitir estas pruebas sin someter la turbina sometida a pruebas a tensiones inaceptables, como por ejemplo una velocidad cercana a la del sonido en las puntas del rotor de turbina.

15 **Divulgación de la invención**

El problema mencionado anteriormente se resuelve mediante un método de conformidad con la reivindicación 1. Este método se utiliza para acelerar el rotor de turbina hasta llegar a su velocidad de prueba sin el uso de vapor. Se pueden controlar con una precisión relativamente alta la velocidad y la aceleración del rotor. Esto reduce al mínimo la probabilidad de que la turbina se vea dañada como resultado de una velocidad del sonido u otra avería mecánica. El gas de purga, que tiene un peso molecular inferior a 28, posee una velocidad del sonido superior a la del aire, reduciendo así los riesgos causados por la velocidad del sonido. Se reducen tanto las pérdidas por resistencia aerodinámica como los requisitos de potencia al seleccionar un gas de purga con un bajo peso atómico/molecular.

20 **Breve descripción de la figura**

25 En la Figura se ilustra esquemáticamente un diagrama de bloques de los componentes principales de una realización del dispositivo de pruebas de los controles de la turbina.

30 **Métodos para llevar a cabo la invención**

Esta invención proporciona un método para llevar a cabo pruebas de forma rápida y fuera de ruta crítica de los sistemas de desconexión por sobrevelocidad para turbinas. El diseño básico comprende un sistema de control de operador, un ensamblaje de fuerza motriz de accionamiento y un ensamblaje de purga de gas. En una realización, el dispositivo de prueba de los controles de la turbina proporciona un sistema autónomo de pruebas que suministra un medio para accionar la turbina, a la vez que supervisa y controla su velocidad de rotación. En la práctica, se aísla la turbina que se está probando del vapor de accionamiento y de los otros componentes a los que está generalmente unida (por ejemplo, bombas, generadores, etc.). Se reemplaza el aire en la caja del rotor de la turbina con un gas de purga capaz de reducir la resistencia aerodinámica, a la vez que se incrementa la velocidad del sonido dentro de la caja del rotor de la turbina. Un gas de purga preferido es el helio.

40 La utilización de este dispositivo para probar los sistemas de desconexión por sobrevelocidad presenta diversas ventajas. En primer lugar, se pueden reducir los costes y los periodos improductivos. Este dispositivo puede ser un sistema de pruebas autónomo, eliminando así los costes asociados con el uso de una fuente alternativa de vapor para hacer girar la turbina (por ejemplo, alquilar una fuente de vapor, proporcionar mano de obra, proporcionar apoyo de operaciones e instalar y extraer la fuente de vapor). En segundo lugar, el gas de purga reduce la resistencia aerodinámica. Se reduce la potencia necesaria para hacer girar el rotor de la turbina, permitiendo utilizar la invención en turbinas de gran tamaño y en espacios limitados que impedirían el uso de muchos otros aparatos disponibles alternativos de prueba. Por último, el gas de purga aumenta la velocidad del sonido, reduciendo así al mínimo los riesgos asociados con el hecho de que la punta de la rueda de la turbina supere o se acerque a la velocidad del sonido durante las pruebas.

55 En la Figura se ilustra esquemáticamente un diagrama de bloques de los componentes principales de una realización del dispositivo de pruebas de los controles de la turbina. Esta realización comprende un sistema de control de operador, un ensamblaje de fuerza motriz de accionamiento y un ensamblaje de purga de gas. El sistema de control de operador dispone de un controlador lógico programable (*PLC*, por sus siglas en inglés) y una estación de control de operador (*OCS*, por sus siglas en inglés). El *PLC* supervisa y controla todas las funciones de pruebas. Sin embargo, el verdadero control de operador se realiza a través de la *OCS*, que permite a un operador supervisar y dirigir el proceso de pruebas. Preferentemente, el proceso completo de pruebas se programa en el *PLC* con anterioridad a las pruebas reales. El operador inicia la puesta en marcha y el *PLC* supervisa y controla todas las otras funciones, entre las que figuran el control de flujo de gas de purga, la velocidad del motor de accionamiento, la aceleración y las funciones de inicio y parada.

60

En la realización que se ilustra en la Figura, el ensamblaje de fuerza motriz de accionamiento comprende un motor de accionamiento, un mecanismo de regulación de velocidad, un freno dinámico, un módulo de control del motor y una transmisión de potencia. El ensamblaje de fuerza motriz de accionamiento proporciona una propulsión controlada suficiente para acelerar un rotor de turbina no acoplado a la velocidad de prueba deseada. El motor de accionamiento actúa como la única fuente de fuerza motriz. Se consideran varios factores a la hora de elegir un motor de accionamiento, entre los que figuran la fuerza de potencia, el tamaño físico, el par de salida, la relación de transmisión y el voltaje de operación.

El motor de accionamiento en esta realización es un motor de inducción de corriente alterna con el tamaño apropiado para encajar en un espacio de operación determinado. En una realización alternativa, el motor de accionamiento puede ser un motor de corriente continua o un motor de combustión interna. El motor de accionamiento y la transmisión de potencia poseen una relación de transmisión (la relación entre la velocidad del motor y la velocidad del rotor de turbina) y una potencia suficientes para permitir que el motor de accionamiento haga girar el rotor de la turbina de forma controlable a la velocidad de prueba.

El mecanismo de regulación de velocidad (no mostrado) ayuda al motor de accionamiento al proporcionar un medio para controlar electrónicamente la velocidad del motor de accionamiento. Durante su funcionamiento, el mecanismo de regulación de velocidad aumenta gradualmente la potencia del motor de accionamiento hasta que la potencia es suficiente para acelerar el motor de accionamiento a su velocidad de prueba.

En una realización preferida, el mecanismo de regulación de velocidad controla la velocidad al alterar la frecuencia eléctrica (cuando se utiliza un motor de inducción de corriente alterna) que se introduce en el motor de accionamiento, lo que a su vez altera la velocidad del motor de accionamiento. Un regulador de velocidad de aceleración y desaceleración rápida (*ramp-up speed controller*), un componente integral del mecanismo de regulación de velocidad, contribuye al control de la aceleración, la desaceleración y la velocidad del motor de accionamiento durante las pruebas.

El freno dinámico también ayuda al motor de accionamiento a suministrar un accionamiento controlado. El freno dinámico puede ser un componente integral o independiente del mecanismo de regulación de velocidad. El freno dinámico debería disipar lo suficientemente la energía cinética del rotor giratorio para permitir un control preciso de la velocidad durante la desaceleración del rotor de turbina. El módulo de control del motor coordina el funcionamiento del mecanismo de regulación de velocidad, que a su vez controla el motor de accionamiento. El mecanismo de regulación de velocidad controla la salida del motor de accionamiento y puede aumentar la velocidad de salida al incrementar la frecuencia y la potencia transmitidas al motor de accionamiento. Además, el mecanismo de regulación de velocidad puede disminuir la salida al reducir la frecuencia y potencia transmitidas al rotor de la turbina, o al activar el freno dinámico para disminuir la velocidad de rotación del motor de accionamiento. La transmisión de potencia funciona como un convertidor de potencia. La transmisión de potencia preferentemente tiene el tamaño apropiado para encajar dentro del espacio entre el motor de inducción y la turbina. La transmisión de potencia está diseñada para aceptar la potencia proporcionada por el motor de accionamiento, convertirla a par y hacer girar el rotor de la turbina a una velocidad apropiada y predeterminada. En una realización preferida, se utiliza una caja de transferencia, junto con la transmisión de potencia, para formar un sistema de accionamiento que transfiere la potencia suministrada por el motor de accionamiento al rotor de turbina (no mostrado). La caja de transferencia tiene el tamaño apropiado para encajar en el espacio normalmente ocupado por un espaciador de acoplamiento de accionamiento, el cual es utilizado como un enlace entre la turbina y la bomba u otro dispositivo que se está accionando. Los componentes del ensamblaje de fuerza motriz de accionamiento son complementarios entre sí. Operando como una unidad, el ensamblaje de fuerza motriz de accionamiento proporciona suficiente propulsión controlada para acelerar un rotor de turbina no acoplado hasta alcanzar la velocidad de prueba. En una realización preferida, el ensamblaje de fuerza motriz de accionamiento está configurado para poseer únicamente la potencia suficiente para proporcionar suficiente propulsión controlada a fin de acelerar el rotor de turbina no acoplado hasta alcanzar la velocidad de prueba cuando el rotor de turbina está alojado en un ambiente que cuenta con una cantidad suficiente de gas de purga. Esta configuración impide una aceleración a la velocidad del sonido si se produjera una avería en el ensamblaje de gas de purga durante las pruebas de la turbina.

En la realización mostrada en la Figura, el ensamblaje de gas de purga comprende una fuente de gas de purga, un detector de gas de purga y un controlador de flujo de gas de purga. El gas de purga reemplaza el aire o vapor en el que el rotor de la turbina se movería en otro contexto, de manera que se reducen al mínimo las pérdidas por resistencia aerodinámica, mientras que se incrementa la velocidad del sonido en relación con la del aire. La purga de la caja del rotor de turbina con un gas de purga apropiado contribuye a garantizar que la velocidad de la punta del rotor de turbina no se aproxima a la velocidad del sonido, incluso en los casos en los que el rotor sobrepase sustancialmente la velocidad de prueba. Preferentemente, el gas de purga debe contar con las siguientes propiedades: un peso molecular bajo, una reactividad química baja y una velocidad de sonido elevada. Un gas de purga preferido es el helio. El helio tiene un peso molecular de 4,0, una velocidad de sonido de aproximadamente 1.219 m/s (4.000 pies/segundo) y una reactividad química que es esencialmente cero. En cambio, el aire tiene un

5 peso molecular efectivo de aproximadamente 28,0 y una capacidad relativamente alta de oxidar componentes operativos de las turbinas, especialmente si la temperatura de los componentes operativos sobrepasa las temperaturas de funcionamiento. Entre los otros gases a temperatura ambiente que también tienen un peso molecular inferior al del aire figuran el hidrógeno, el neón, el metano, el fluoruro de hidrógeno y el amoníaco. Desde un punto de vista práctico, se estima que el helio es superior a cada uno de estos otros gases, debido a la corrosividad, inflamabilidad y coste superiores de los otros gases.

10 La fuerza necesaria para acelerar una masa en rotación a una velocidad de giro predeterminada es la suma de la carga de aceleración y la carga de resistencia aerodinámica. La carga de aceleración es una función de la masa y la geometría del rotor de la turbina que gira. Por consiguiente, la fuerza necesaria para acelerar el rotor de la turbina hasta alcanzar la velocidad de prueba debido a la carga de aceleración se mantendrá constante debido a que la masa y la geometría del rotor de la turbina permanecen constantes. La carga de resistencia aerodinámica es una función de la masa y densidad medias de las partículas que son "quitadas de la trayectoria" por el rotor que gira. Como resultado, la carga de resistencia aerodinámica es una función de la presión y la densidad del gas. En consecuencia, la sustitución del aire por un gas de bajo peso molecular, como por ejemplo el helio, en la caja del rotor de la turbina reduce la carga de resistencia aerodinámica en un factor de aproximadamente 7,0 (es decir, un 85%). Durante la sobrevelocidad, la carga de resistencia aerodinámica debido al aire puede representar hasta un 80% o más de la carga total. Un gas de purga, como por ejemplo el helio, podría reducir la carga total en aproximadamente un 68% durante la prueba de sobrevelocidad, siempre y cuando las cargas adicionales de eje, por ejemplo bombas de aceite lubricante, no existan o sean pequeñas.

25 Otra propiedad importante del gas de purga es que debe proporcionar una alta velocidad sónica (velocidad del sonido). Por ejemplo, la velocidad del sonido en el aire seco a presión atmosférica es de aproximadamente 335,3 m/s (1.100 pies/segundo), en comparación con aproximadamente 1.219 m/s (4.000 pies/segundo) para el helio. La purga de la caja del rotor de la turbina con un gas de purga, como por ejemplo el helio, garantiza que se mantiene un margen satisfactorio con respecto a la velocidad del sonido, incluso en el caso de que la velocidad del rotor de la turbina se extienda significativamente más allá del punto prefijado nominal de desconexión por sobrevelocidad. Por ejemplo, si una turbina tiene un diámetro de rotor de 91,4 cm (36 pulgadas) y un punto prefijado de desconexión por sobrevelocidad de aproximadamente 5.100 rpm, la punta de la rueda en sobrevelocidad se moverá a aproximadamente 243,8 m/s (800 pies/segundo). Teniendo en cuenta que puede ser necesario girar el rotor de la turbina más allá del punto prefijado de desconexión por sobrevelocidad, el margen con respecto a la velocidad del sonido en aire seco será inferior a 91,4 m/s (300 pies/segundo). No obstante, si se hace girar el mismo rotor de turbina en el helio, el margen con respecto a la velocidad del sonido será aproximadamente 10 veces más alto.

35 El controlador de flujo de gas de purga controla el flujo de gas de purga. El controlador de flujo de gas de purga admite gas de purga a una velocidad suficiente para generar y mantener una concentración de gas de purga de esencialmente 100% en la caja del rotor de la turbina, evitando a la vez la creación de una presión positiva significativa (presión excesiva) en la caja del rotor de la turbina (cabe destacar que una cantidad significativa de presión positiva podría tener como consecuencia un consumo excesivo de gas de purga y una pérdida adicional por resistencia aerodinámica). Se introduce el gas de purga en la caja del rotor de la turbina a través de un dispositivo de regulación de presión hasta que su presencia en el sello del eje del extremo de la bomba de la turbina es verificada por un sensor de detección de gas (por ejemplo, un sensor de conductividad térmica y un detector de puente equilibrado, u otro detector conocido en este campo), el cual envía una señal al PLC para controlar el flujo de gas de purga.

45 Se envía un gas de purga de baja presión a la caja del rotor de turbina bajo el control del PLC a un caudal volumétrico suficiente para llenar completamente la caja del rotor de la turbina con gas de purga.

50 En la actualidad se está fabricando un prototipo de esta realización en Baton Rouge, Luisiana, Estados Unidos de América, el cual será sometido a pruebas en la central nuclear Edwin I. Hatch, ubicada en Vidalia, Georgia. La turbina que se someterá a prueba será una turbina Terry, Modelo CCS, con doble tracción motriz (Dresser-Rand Company, Olean, Nueva York). Esta turbina tiene un diámetro de rotor de 91,4 cm (36 pulgadas) y un punto prefijado de desconexión por sobrevelocidad de aproximadamente 5.100 rpm. La velocidad de la punta de rueda es de aproximadamente 243,8 m/s (800 pies/segundo) en el punto prefijado de desconexión por sobrevelocidad.

55 Una vez que se ha configurado el dispositivo de prueba de los controles de la turbina, la secuencia típica de operación es como sigue:

60 (1) se introducen en el PLC o en el mecanismo de regulación de velocidad las especificaciones del funcionamiento de la turbina (por ejemplo, el diámetro del rotor, el punto prefijado de desconexión por sobrevelocidad, la velocidad de la punta de la rueda, etc.);

(2) el controlador de gas de purga abre una o varias válvulas de control de flujo de gas de purga. El gas de purga fluye desde un cilindro de almacenamiento de gas, a través de un regulador de presión, y se introduce en la caja del rotor de la turbina. Cuando el detector de gas de purga indica que se ha alcanzado un nivel predeterminado de concentración de gas de purga, el PLC regula el flujo, admitiendo solo el suficiente gas de purga para mantener una concentración de esencialmente un 100%;

(3) el PLC manda una señal al módulo de control del motor para que aplique potencia al motor de turbina, una vez que se determina que una concentración suficiente de gas de purga se encuentra dentro de la caja del rotor de la turbina. Durante el funcionamiento, si el PLC detecta un nivel de concentración de gas de purga por debajo de un mínimo predeterminado, aumentará el flujo hasta que se restablezca una concentración suficiente de gas de purga. Sin embargo, si la concentración sigue descendiendo (es decir, si debido a una avería se produce un agotamiento del gas de purga disponible, por ejemplo), el PLC envía automáticamente una orden de parada al mecanismo de regulación de velocidad, que se encarga de desacelerar la turbina hasta su detención, impidiendo así que se causen daños a la turbina y permitiendo al operador localizar y solucionar la avería. En una realización preferida, como una característica de seguridad adicional, si no está presente una cantidad adecuada de concentración de gas de purga, el ensamblaje de fuerza motriz de accionamiento no tiene suficiente fuerza para continuar haciendo girar el rotor, y por lo tanto detiene el procedimiento de prueba.

Ejemplo 1

Se llevaron a cabo experimentos para comprobar los requisitos de potencia en el aire y el helio. Se utilizó un ventilador de cuatro palas, de aproximadamente 91,4 cm (36 pulgadas) de diámetro, para simular las características de resistencia aerodinámica de una turbina. En la Tabla 1 se muestran los resultados de la prueba. Se encerró completamente el ventilador en una caja de madera que tenía un volumen interior de aproximadamente 0,78 m³ (27,55 pies cúbicos), y todos los bordes fueron sellados con silicona para evitar fugas. Se utilizaron un mecanismo de regulación de velocidad Toshiba G3, Modelo 4160, de 11,19 kW (15 caballos de potencia) (Toshiba International Corporation, Houston, Texas, Estados Unidos de América) y un motor Dayton de 745,7 vatios (1 caballo de potencia) y 1.725 rpm (Emerson Electric, St. Louis, Missouri, Estados Unidos de América) para hacer girar el ventilador en el aire. Se incrementó la velocidad de rotación al aumentar la frecuencia a intervalos de 5 Hz, hasta llegar a los 45 Hz. Se registraron la corriente y el voltaje de salida en el mecanismo de regulación de velocidad en cada frecuencia (se logró una velocidad de rotación máxima en el aire a una frecuencia de 45 Hz, debido a las limitaciones de potencia de salida del motor de 745,7 vatios (1 caballo de potencia)). Se siguió el mismo procedimiento para hacer girar el ventilador en helio, utilizando un tanque de helio para introducir el helio en el lado de baja presión del ventilador. Se registraron la corriente y el voltaje a intervalos de 5 Hz hasta alcanzar los 60 Hz (la frecuencia se aumentó hasta los 60Hz, aumentando la velocidad de rotación más allá de la velocidad alcanzada en el aire debido a los efectos reducidos de resistencia aerodinámica del helio). El motor también se operó sin carga, y se registraron el voltaje y la corriente a intervalos de 5 Hz hasta alcanzar los 60 Hz. Se normalizó cada conjunto de datos para el aire y el helio sustrayendo la potencia "sin carga" en cada velocidad.

TABLA 1

| Frecuencia de potencia (Hz) | Carga (RPM) | Sin carga (kW) | Aire (kW) | Aire normalizado (kW) | Helio (kW) | Helio normalizado (kW) | Aire comparado con helio (Relación de kW) |
|-----------------------------|-------------|----------------|-----------|-----------------------|------------|------------------------|---|
| 5 | 57,5 | 0,062 | 0,0574 | -0,004 | 0,058 | -0,004 | |
| 10 | 115,0 | 0,122 | 0,1148 | -0,007 | 0,108 | -0,013 | |
| 15 | 172,5 | 0,179 | 0,1678 | -0,011 | 0,158 | -0,022 | |
| 20 | 230,0 | 0,250 | 0,2491 | -0,001 | 0,222 | -0,028 | |
| 25 | 287,5 | 0,295 | 0,3251 | 0,031 | 0,277 | -0,018 | |
| 30 | 345,0 | 0,352 | 0,4288 | 0,076 | 0,350 | -0,001 | |
| 35 | 402,5 | 0,410 | 0,5898 | 0,180 | 0,408 | -0,001 | |
| 40 | 460,0 | 0,468 | 0,7763 | 0,309 | 0,466 | -0,001 | |
| 45 | 517,5 | 0,526 | 1,0470 | 0,520 | 0,556 | 0,029 | 17,897 |
| 50 | 575,0 | 0,583 | | *0,7658 | 0,635 | 0,051 | 14,883 |
| 55 | 632,5 | 0,642 | | *1,066 | 0,764 | 0,122 | 8,770 |
| 60 | 690,0 | 0,699 | | *1,417 | 0,855 | 0,155 | 9,136 |

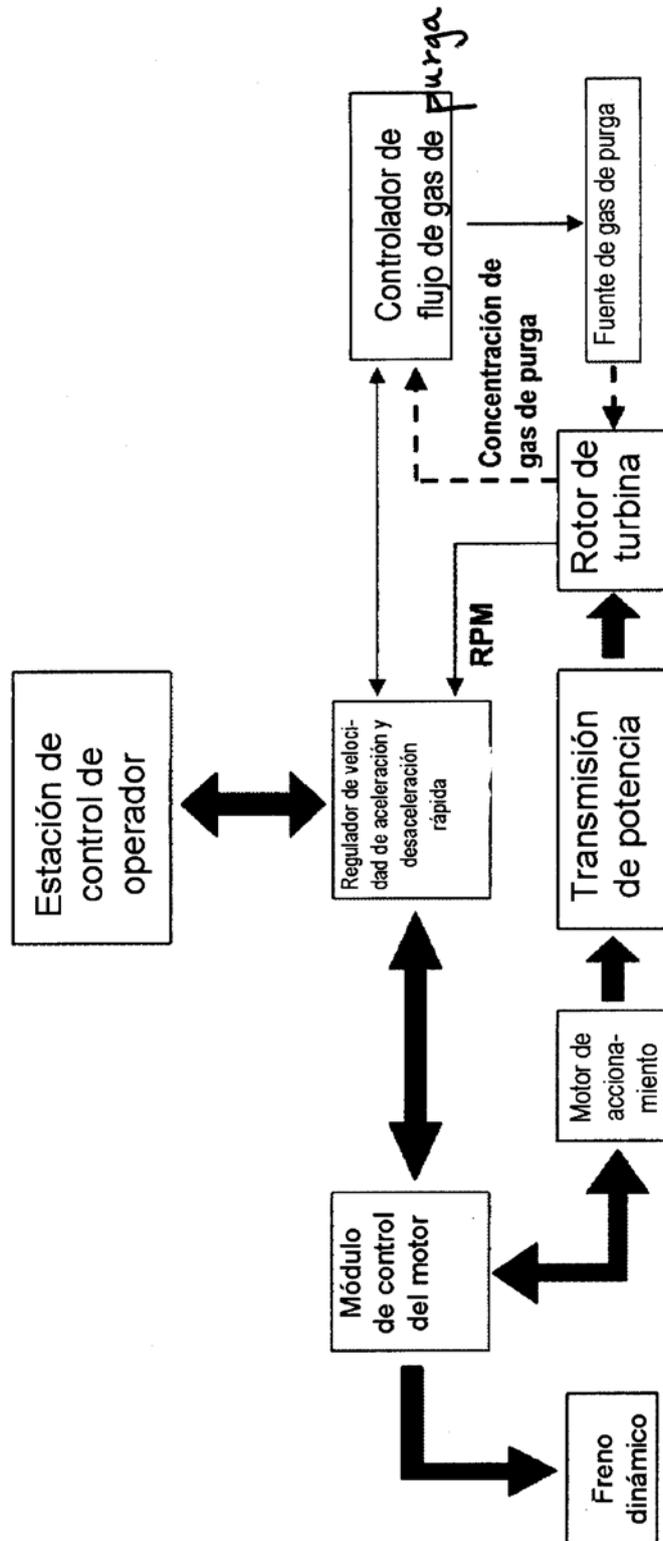
* Valores de datos estimados a partir de un ajuste de curva, por el método de mínimos cuadrados.

No hubo potencia suficiente para probar mediante giro el dispositivo en el aire a velocidades superiores a 517 RPM.

5 El helio redujo sustancialmente los efectos de resistencia aerodinámica asociados con las masas en rotación (rotores) a altas velocidades. Como se muestra en la Tabla 1, la relación de potencia normalizada requerida para hacer girar el ventilador en el aire fue aproximadamente 9 veces mayor que la potencia normalizada requerida para hacer girar el ventilador en helio a 690 rpm, pero como se extrapolaron los datos, el valor se acercó asintóticamente a 7 (la relación de potencia normalizada es de 9 ± 2 , la cual abarca el valor anticipado teórico de aproximadamente 7, obtenido a partir de la relación de pesos moleculares).

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un método para incrementar la velocidad del sonido y reducir la resistencia aerodinámica de un rotor de turbina que gira dentro de una caja de rotor de turbina y para someter a pruebas de sobrevelocidad el rotor de la turbina más allá de sus puntos prefijados normales de desconexión, en el que el rotor de turbina normalmente funciona en aire o vapor. Dicho método comprende los siguientes pasos:
- 10 (a) suministrar un gas de purga a la caja del rotor de la turbina; en el que el gas de purga no es vapor; y en el que el gas de purga se compone esencialmente de uno o varios gases con un peso molecular inferior a 28;
- 15 (b) purgar la caja del rotor de la turbina con el gas de purga al suministrar el gas de purga a la caja del rotor de la turbina para sustituir el aire o vapor en el que el rotor de la turbina se movería en otro contexto, a una velocidad suficiente como para que el gas dentro de la caja del rotor de la turbina esté compuesto esencialmente del gas de purga;
- 20 (c) girar el rotor dentro de la caja del rotor de la turbina a una velocidad por encima de los puntos prefijados normales de desconexión del rotor.
2. Un método, tal y como se describe en la reivindicación 1, que además comprende someter a prueba el funcionamiento apropiado de un sistema de control de turbinas que controla el giro del rotor de la turbina.
3. Un método, tal y como se describe en la reivindicación 1, que además comprende los siguientes pasos:
- 25 (a) introducir las especificaciones operativas deseadas del rotor de turbina en un sistema de control de operador;
- 30 (b) suministrar el gas de purga a través de una o varias válvulas solenoide de línea de control de flujo de gas de purga controladas por un controlador lógico programable;
- 35 (c) supervisar y controlar la concentración del gas de purga en la caja del rotor de la turbina con un controlador lógico programable;
- (d) girar el rotor a una velocidad predeterminada.
4. Un método, tal y como se describe en la reivindicación 1, en el que se selecciona el gas de purga de entre el grupo formado por los siguientes gases: helio, hidrógeno, neón, metano, fluoruro de hidrógeno y amoníaco.
5. Un método, tal y como se describe en la reivindicación 1, en el que la fuente del gas de purga comprende helio.
- 40 6. Un método, tal y como se describe en la reivindicación 1, en el que se incrementa la velocidad de rotación del rotor al incrementar la potencia suministrada al rotor de la turbina.
- 45 7. Un método, tal y como se describe en la reivindicación 1, en el que se disminuye la velocidad de rotación del rotor al reducir la potencia suministrada al rotor de la turbina o al activar un freno dinámico.



Figura