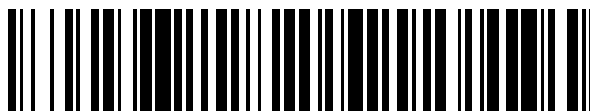


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 744 256**

51 Int. Cl.:

F02C 9/00 (2006.01)

G06F 7/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.11.2013** **E 13192604 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.07.2019** **EP 2740916**

54 Título: **Sistemas de soporte de operaciones y métodos para calcular y evaluar las temperaturas y la salud de turbinas**

30 Prioridad:

06.12.2012 US 201213707174

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

24.02.2020

73 Titular/es:

HONEYWELL INTERNATIONAL INC. (100.0%)
115 Tabor Road
Morris Plains, NJ 07950, US

72 Inventor/es:

MOECKLY, KEVIN;
LING, RICHARD y
SANDOVAL, ROBERT

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 744 256 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

Sistemas de soporte de operaciones y métodos para calcular y evaluar las temperaturas y la salud de turbinas.

Campo técnico

5 La presente invención se refiere al soporte de operaciones de motores con turbinas de gas, y más particularmente, a los sistemas de soporte de operaciones y métodos para calcular y evaluar las temperaturas y la salud de turbinas.

Antecedentes

10 Es deseable controlar la salud de un motor con turbina de gas durante y después de su operación para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente y para llevar un cronograma de mantenimiento apropiado. A modo de ejemplo, es particularmente deseable controlar la salud de los componentes de turbina. Un parámetro que impacta en la salud de los componentes de turbina es la temperatura del aire que fluye a través de la entrada de turbina. Los esquemas de gestión de salud convencionales intentan tener en cuenta este parámetro. Sin embargo, las temperaturas de este tipo se estiman actualmente en base a la información de seguimiento y control en relación a la temperatura de salida de turbina y a la extrapolación de temperaturas de salida en un intento de estimar la temperatura de entrada de turbina. Las estimaciones de temperatura de entrada convencionales pueden no ser lo suficientemente precisas. Las temperaturas de motor en tiempo real dependen de numerosos parámetros, que incluyen combustible, velocidad de operación, otras características de operación, y características individuales del motor. Las estimaciones convencionales pueden no abarcar completamente todos estos parámetros.

20 Con estas consideraciones, la operación y mantenimiento de una aeronave propulsada por un motor con turbina de gas se mejoraría significativamente si hubiese disponible información precisa y en tiempo real de las temperaturas de entrada de turbina del motor. Por ejemplo, tener conocimiento de las temperaturas de entrada de turbina podría permitir cambios operativos para mejorar las temperaturas de entrada y/o brindar información acerca de la salud del motor, incluyendo información acerca de la vida útil remanente de los componentes de turbina y otros componentes de motor. El documento EP2207072 describe un sistema de soporte de operaciones para un motor que incluye una unidad de diagnóstico configurada para recibir datos del motor desde el motor y para generar indicadores de condiciones en base a los datos del motor utilizando un modelo termodinámico. El documento EP1930568 describe un aparato para controlar estados de procesos (sin medir) de una máquina rotativa que presenta una cámara de combustión, p. ej., una turbina de gas, donde se miden las composiciones de eductos que ingresan a la cámara de combustión. El documento US2007/118271 describe un método para estimar parámetros de calidad para una pluralidad de componentes de motor de un motor con turbina de gas, en donde los componentes de motor tienen al menos un sensor sensible al funcionamiento del componente de motor.

30 De la misma manera, es deseable proporcionar sistemas y métodos de soporte de operaciones mejorados que generen información mejorada sobre la temperatura de entrada de turbina e información en relación a la salud. Asimismo, otras propiedades y características de la presente invención serán aparentes a partir de la siguiente descripción detallada de la invención y de las reivindicaciones anejas, tomadas en conjunto con los dibujos que acompañan a la presente memoria y con estos antecedentes de la invención.

Breve compendio

40 La invención se expone según las reivindicaciones anejas. Según una realización de ejemplo, se proporciona un sistema de soporte de operaciones para un motor con una turbina que presenta una entrada de turbina. Este sistema incluye una unidad de modelo de diagnóstico del motor configurada para recibir datos de motor y para generar datos de diagnóstico basados en los datos de motor, estos datos de diagnóstico incluyen escalares. El sistema incluye además una unidad de modelo específico del motor acoplada a la unidad de modelo de diagnóstico del motor y configurada para recibir los escalares de la unidad de modelo de diagnóstico del motor y configurada para generar información de temperatura de entrada de turbina para el motor utilizando un modelo termodinámico. El modelo termodinámico se basa en mapas de componentes asociados al motor. El sistema incluye además una unidad de almacenamiento acoplada a la unidad de modelo específico del motor y configurada para almacenar la información de temperatura de entrada de turbina.

50 Según una realización de ejemplo, se proporciona un método de soporte de operaciones para un motor con una turbina que presenta una entrada de turbina. El método incluye recolectar datos del motor; generar indicadores de condiciones a partir de los datos del motor utilizando un modelo termodinámico basado en mapas de componentes asociados al motor; calcular la información de temperatura de entrada de turbina del motor a partir de los indicadores de condiciones; y almacenar la información de temperatura de entrada de turbina.

Breve descripción de los dibujos

La presente invención se describirá a continuación en conjunto con los siguientes dibujos de figuras, en donde números iguales hacen referencia a elementos iguales, y en donde:

la Fig. 1 es un diagrama de bloque de un sistema de aeronave según una realización de ejemplo;

- 5 la Fig. 2 es un diagrama de bloque de un sistema de soporte de operaciones para dar soporte y sostener el funcionamiento de un motor según una realización de ejemplo; y

la Fig. 3 es una representación esquemática de una presentación visual reproducida en una interfaz gráfica de usuario del sistema de soporte de operaciones de la Fig. 2 según una realización de ejemplo.

Descripción detallada

- 10 La siguiente descripción detallada es meramente un ejemplo en su naturaleza y no pretende limitar la invención o la aplicación y usos de la invención. Además, no se pretende que se limite a cualquier teoría presentada en los antecedentes precedentes o en la siguiente descripción detallada.

En general, las realizaciones de ejemplo que se explican en la presente memoria se relacionan a los sistemas y métodos de soporte de operaciones. Más específicamente, las realizaciones de ejemplo incluyen una unidad de modelo
15 específico del motor que recibe información de motor asociada con un motor de aeronave y que genera información de temperatura del motor utilizando un modelo termodinámico. El modelo termodinámico puede basarse en mapas de componentes y modificarse en base a escalares. La información de temperatura puede ser, por ejemplo, la temperatura de entrada de turbina y utilizarse para determinar la salud de los componentes de turbina, incluyendo la vida útil remanente de los componentes de turbina.

20 La Fig. 1 es un diagrama de bloque de un sistema 100 de aeronave según una realización de ejemplo. En general, el sistema 100 de aeronave incluye un sistema 110 de motor y un sistema 120 de soporte de operaciones. El sistema 110 de motor puede incluir un motor con turbina de gas, tal como un motor para una aeronave. En una realización de ejemplo, el sistema 110 de motor puede incluir compresores que suministran aire comprimido a un combustor. El aire comprimido puede mezclarse con combustible y quemarse en el combustor para producir gases de combustión. Los gases de combustión son dirigidos a turbinas de alta presión y baja presión que extraen energía, por ejemplo, para proporcionar potencia. En general, el sistema 100 descrito en la presente memoria puede ser utilizado en conjunto con cualquier configuración de motor con turbina de gas. En una realización de ejemplo, el sistema 110 de motor es un motor con turbina de gas para una aeronave, tal como un helicóptero, aunque también son posibles otras aplicaciones. A modo de ejemplos, las realizaciones de ejemplo del sistema 100 también pueden utilizarse en vehículos espaciales, buques, submarinos, y otros tipos de vehículos, así como también en aplicaciones industriales. A los fines de simplicidad, las realizaciones que se describen debajo hacen referencia a "aeronaves". El sistema 120 de soporte de operaciones puede utilizarse para dar soporte a un único sistema 110 de motor o a un número de motores, tales como los de una flota de aeronaves.

35 El sistema 120 de soporte de operaciones generalmente da soporte y sostiene la operación de un sistema 110 de motor. Por ejemplo, el sistema 120 de soporte de operaciones procesa datos del motor a partir del sistema 110 de motor; proporciona información acerca del sistema 110 de motor al piloto, tripulación de mantenimiento, y otras partes interesadas; y opcionalmente, controla el funcionamiento del sistema 110 de motor. Como se describe debajo, el sistema 120 de soporte de operaciones proporciona adicionalmente información sobre varios parámetros medidos o calculados, incluyendo información de temperatura de entrada de turbina en tiempo real o actual y predicciones de salud obtenidas en base a la información de temperatura de entrada de turbina.

40 En general, el sistema 120 de soporte de operaciones se localiza dentro de la aeronave. Sin embargo, cualquiera de los componentes del sistema 120 de soporte de operaciones puede localizarse alternativamente fuera de la aeronave o combinando dentro y fuera de la aeronave. En una realización de ejemplo, el sistema 120 de soporte de operaciones puede estar empotrado dentro de la aeronave dentro del control digital del motor con plena autoridad (FADEC), una unidad de control del motor (ECU), o una unidad de sistemas de monitorización de salud y uso (HUMS).

45 La Fig. 2 es un diagrama de bloque más detallado del sistema 120 de soporte de operaciones de la Fig. 1. Tal como se muestra, el sistema 120 de soporte de operaciones incluye un número de unidades o módulos 210, 220, 230, 240, 250 funcionales que incluye una unidad 210 de modelo de diagnóstico del motor, una unidad 220 de modelo específico del motor, una unidad 230 de establecimiento de tendencias y almacenamiento de datos, una interfaz 240 gráfica de usuario (GUI), y una unidad 250 de modelo predictivo. Cada una de las unidades 210, 220, 230, 240, 250 contiene o comparte componentes de procesamiento necesarios para realizar las funciones individuales y colectivas que se explican en mayor detalle a continuación. Como algunos ejemplos, los componentes de procesamiento pueden incluir ordenadores

digitales o microprocesadores con circuitos lógicos, memoria, software y buses de comunicación adecuados para almacenar y procesar los modelos dentro de las unidades que se explican a continuación.

5 Tal como se describe a continuación, el sistema 120 de soporte de operaciones recibe datos de varias partes de la aeronave y dichos datos pueden ser generados por el dentro de la aeronave o recibidos de sistemas externos, aeronaves u operaciones en tierra que están fuera de la aeronave. En particular, el sistema 120 de soporte de operaciones puede recibir datos de la instrumentación de la aeronave de, por ejemplo, la cabina del piloto, el piloto u otros datos de instrumentación del sistema y motor a partir del sistema 110 de motor (Fig. 1).

10 En una realización de ejemplo, el sistema 120 de soporte de operaciones incluye una unidad 210 de modelo de diagnóstico del motor que recibe los datos de instrumentación de la aeronave y los datos de instrumentación del motor como parámetros de entrada. A modo de ejemplo, los datos de instrumentación de la aeronave y los datos de instrumentación del motor pueden incluir cualquier tipo de datos adecuados en relación al motor o la aeronave, como por ejemplo, una o más de los siguientes: horas operativas del motor; presión estática, presión total, geometría variable relevante y temperatura en varias posiciones dentro del sistema 110 del motor (Fig. 1), tales posiciones están asociadas con los compresores, combustores, y turbinas; velocidad de producción de gases; par motor; tensión de sensor de par motor; temperatura en la bola oleoresistente; y flujo de combustible medido. Otros datos del motor pueden incluir la velocidad aerodinámica calibrada de la aeronave, la temperatura ambiente, y la presión ambiente total. En general, todos los parámetros disponibles en los sistemas 110, 120 se encuentran disponibles para su uso en la unidad 210 de modelo de diagnóstico del motor. La unidad 210 de modelo de diagnóstico del motor generalmente evalúa los parámetros de entrada y genera indicadores de diagnóstico con un modelo de diagnóstico, tal como se explica a continuación.

20 El modelo de diagnóstico para la unidad 210 de modelo de diagnóstico del motor desarrolla escalares para cada componente de motor principal de motor. Los escalares de diagnóstico se recolectan, analizan y evalúan estadísticamente y de otras formas para obtener un amplio intervalo de escalares para cada componente que, en este punto, representan los verdaderos aspectos de ese componente. Estos componentes pertenecen frecuentemente, pero no se limitan a, los componentes aerodinámicos rotativos, así como a componentes estáticos, que conforman la trayectoria de gas y la entidad operativa del motor con turbina de gas del sistema 110 de motor (Fig. 1) que están representados de manera básica en mapas dentro del modelo de motor. En una realización de ejemplo, la unidad 210 de modelo de diagnóstico del motor proporciona un condicionamiento de señales tales como verificaciones de dentro de alcance y validación de señal, conversión de unidades, graduación de escala, filtrado/muestreo y detección de estado estacionario. La unidad 210 de modelo de diagnóstico del motor proporciona los indicadores de diagnóstico a la unidad 30 230 de establecimiento de tendencias y almacenamiento de datos, tal como se explica en mayor detalle a continuación.

Los indicadores de diagnóstico de la unidad 210 de modelo de diagnóstico del motor también se proporcionan a una unidad 220 de modelo específico del motor. La unidad 220 de modelo específico del motor incluye una representación matemática de alta fidelidad del sistema 110 de motor (Fig. 1) para el diagnóstico de estado estacionario del motor. Se puede hacer referencia a esta representación matemática como un modelo específico del motor. Los indicadores de diagnóstico de la unidad 210 de modelo de diagnóstico del motor son procesados a través de filtros y tendencias apropiadas antes de transmitirse al modelo específico del motor, que ahora genera parámetros de salida de motor que representan los estados actuales del motor real en tiempo real. Este modelo específico del motor puede producir indicadores de condición, así como cualquier parámetro aerodinámico o termodinámico del motor del motor en marcha, tal como se explica a continuación. Como se mencionó anteriormente, los escalares de diagnóstico se desarrollan en el modelo de diagnóstico del motor. Puesto que los escalares de diagnóstico se aplican a la unidad 220 de modelo específico del motor, que es un modelo similar a la unidad 210 de modelo de diagnóstico del motor, sin la capacidad de diagnóstico del modelo, el modelo se convierte en un modelo específico para el motor al generar los parámetros aerodinámicos y termodinámicos del motor. En otras palabras, en este punto, el modelo es un modelo específico del motor y representa solo a ese motor en particular en ese momento en el tiempo.

45 Generalmente, el modelo específico del motor está empotrado en el sistema 120 de soporte de operaciones para proporcionar un control continuo del motor en cuanto a la salud y/u otros tipos de atributos del motor. Los diagnósticos del motor se logran mediante la adaptación de parámetros de componentes específicos como escalares de diagnóstico dentro del modelo de diagnóstico para estados del motor medidos.

50 En una realización de la unidad 220 de modelo específico del motor, los escalares son la diferencia entre estados potenciales y los estados reales del motor. Estas diferencias podrían ser un resultado, por ejemplo, de diferencias de motor a motor y/o de la erosión de los componentes de motores. En un ejemplo, los escalares pueden representar la erosión del álabe de turbina. Los escalares pueden utilizarse como coeficientes, márgenes, y sumadores usados para ajustar la representación aero-termodinámica del modelo. Como ejemplo, los escalares funcionan para escalar los flujos de aire de componentes de motor y eficiencias para igualar los datos medidos. Este proceso de igualación se alcanza mediante la ejecución de un algoritmo adaptativo que ajusta o adapta de manera iterativa las eficiencias nominales de

componentes de motor utilizando los escalares. Como tal, el modelo de motor termodinámico replica de manera precisa el rendimiento real del motor a través del tiempo, y el modelo se mejora como un modelo específico del motor.

El modelo de la unidad 220 de modelo específico del motor se completa en la totalidad del intervalo operativo del sistema 110 de motor (Fig. 1). El modelo es fiel al funcionamiento real del sistema 110 de motor con turbina de gas (Fig. 1), y las manifestaciones de cambios en rendimiento a nivel componente y a nivel motor de lo que se consideraría un motor "nominal" son superiores a los modelos empíricos basados en algoritmos. Por el contrario, la interacción de modelos empíricos basados en algoritmos puede desfasarse o distorsionarse fácilmente del "verdadero" rendimiento, sin embargo esta distorsión no es intrínsecamente obvia al analizar los resultados generados por modelo de un sistema tal. Un modelo físico aero-termodinámico a nivel componente basado en mapa es mucho más robusto y preciso a lo largo de la vida útil de un motor y produce representaciones de mayor fidelidad de sus componentes.

En resumen, la unidad 220 de modelo específico del motor utiliza uno o más modelos aero-termodinámicos a nivel componente basados en mapa para generar parámetros aerodinámicos y termodinámicos del motor que caracterizan a un motor específico, que a su vez produce un modelo específico del motor que es una representación de alta fidelidad del motor mismo. La unidad 220 de modelo específico del motor proporciona los escalares de diagnóstico del motor a la unidad 230 de establecimiento de tendencias y almacenamiento de datos, tal como se explica en mayor detalle a continuación. La unidad 220 de modelo específico del motor puede diferenciarse de un sistema basado en un algoritmo que utiliza ecuaciones matemáticas para intentar establecer relaciones entre un parámetro y uno o más parámetros del motor. Estos modelos convencionales pueden perder precisión a medida que el motor se desvía de un estado "nominal" con el paso del tiempo o hacia una operación más extrema, alejándose de donde se desarrollaron los algoritmos. Por el contrario, el modelo de la unidad 220 de modelo específico del motor representa las verdaderas relaciones aerofísicas en el motor de la misma forma que lo hace un modelo de componente específico basado en mapa. Puesto que los mapas de componentes han sido en primer lugar desarrollados con prácticas y herramientas de diseño de alta fidelidad, posteriormente sometidos a pruebas exhaustivas en "instalaciones" estrictamente controladas durante la totalidad del intervalo operativo del componente, y ulteriormente confirmados en el motor con múltiples pruebas a nivel motor altamente instrumentadas y altamente controladas, los componentes basados en mapa pueden ofrecer representaciones ventajosas de un motor con turbina de gas y del rendimiento asociado del motor.

El modelo específico del motor generado calcula los parámetros vitales para temperaturas de entrada de turbina, temperaturas y presiones entre etapas de turbina, temperaturas y presiones y flujos de aire de refrigeración/secundario, temperaturas y presiones de salida de combustores, carga de combustores, caudal de combustible y flujos de aire precisos. Donde algunos de estos parámetros pueden medirse sobre motores con turbina de gas más avanzados, este sistema puede incluso proporcionar cálculos precisos para parámetros que no se miden fácilmente en una aplicación real, tal como temperaturas de entrada de turbina, como se explicará a continuación.

En una realización de ejemplo y tal como se ha dado a conocer anteriormente, la unidad 220 de modelo específico del motor genera parámetros asociados con el motor. Esta generación de parámetros se encuentra representada en la Fig. 2 como el módulo 222 de generación de parámetros, aunque los parámetros pueden ser generados por la unidad 220 de modelo específico del motor tal como se ha explicado anteriormente.

Tal como se mencionó anteriormente, la unidad 210 de diagnóstico del motor procesa los datos de motor y aeronave para establecer escalares específicos de mapa de componentes, salud del motor, y salud de componentes. La unidad 220 de modelo específico del motor accede a matrices de escalares de mapas de componentes que se han filtrado, procesado y establecido según tendencia para proporcionar un nivel de fiabilidad acumulado a lo largo de la vida útil del motor. La unidad 220 de modelo específico del motor puede, por ejemplo, ejecutarse en paralelo a cualquier modelo o algoritmo de la unidad 210 de diagnóstico del motor. La unidad 220 de modelo específico del motor representada por el módulo 222 de generación de parámetros, genera (o bien calcula) parámetros dentro del ciclo del motor que no pueden o bien no son medidos en el mismo motor en sí mismo que está funcionando. Los parámetros pueden incluir varias presiones, temperaturas, flujos de aire y velocidades. Un parámetro tal generado en el módulo 222 de generación de parámetros las temperaturas en tiempo real de entrada de turbina del sistema 110 de motor. Como tal, esta temperatura de entrada de turbina puede basarse en datos del motor de la unidad 210 de modelo de diagnóstico del motor, datos de la unidad 230 de establecimiento de tendencias y almacenamiento de datos, y escalares de diagnóstico de motor de otras porciones de la unidad 220 de modelo específico del motor. El parámetro de temperatura de entrada integrado puede ser establecido empíricamente para utilizar los parámetros pertinentes de la trayectoria de gas para calcular de manera precisa las temperaturas de entrada de turbina. Por ejemplo, el parámetro de temperatura de entrada puede ser una función de o puede usar propiedades, temperaturas y presiones y flujos de gas y flujos, temperaturas y propiedades de combustible a través del sistema de motor. Este modelo puede prestarse más fácilmente a realizar cálculos precisos de temperatura utilizando esta información generada por el modelo. El código puede actualizarse o modificarse en caso de que nueva información se encuentre disponible. Típicamente, obtener características de temperatura exactas y medidas de forma directa puede resultar difícil, pero el enfoque basado en modelo permite obtener un cálculo preciso y fiable. La unidad 220 de modelo específico del motor proporciona la temperatura de entrada de turbina en tiempo real a

la unidad 230 de establecimiento de tendencia y almacenamiento de datos, y a la unidad 260 de cálculo de vida útil remanente. Por ejemplo, la información de temperatura de entrada de turbina puede considerarse en conjunto con electrónica aeronáutica u otros sistemas de posicionamiento para realizar un seguimiento de la temperatura a lo largo de distintos parámetros.

5 Tal como se ha explicado anteriormente en referencia a la unidad 220 de modelo específico del motor se utiliza un modelo en el cual los escalares de componentes de motor no reaccionan a los datos de motor para establecer una representación precisa y específica del motor del motor real. Como tal, la unidad 220 de modelo específico del motor puede ser capaz de determinar de manera continua la temperatura de entrada de turbina bajo una condición de evaluación específica (altitud, potencia, configuración de instalación, etc.).

10 La unidad 250 de modelo predictivo recibe los escalares de diagnóstico del motor y otros datos relevantes de la unidad 220 de modelo específico del motor y evalúa los escalares con un modelo termodinámico similar al de la unidad 220 de modelo específico del motor con la excepción de que el modelo termodinámico de la unidad 250 de modelo predictivo no reacciona a los datos de motor. Como tal, la unidad 250 de modelo predictivo puede tener un modelo similar al de la unidad 220 de modelo específico del motor excepto que el modelo es predictivo. En particular, la unidad 250 de modelo predictivo establece tendencias de los componentes de escalares y realiza una proyección de los escalares de diagnóstico desde el presente hacia un momento en el futuro para establecer un modelo de predicción específico del motor para predecir el rendimiento del motor bajo condiciones provistas por un usuario tales como indicadores de pronóstico. En modo "predictivo", el modelo no es más un modelo "específico del motor", sino un modelo "específico del motor a futuro". Como tal, el modelo de la unidad 250 de modelo predictivo puede utilizarse entonces para predecir el rendimiento de motor bajo una condición de evaluación específica (p. ej., temperatura de entrada, altitud, potencia, configuración de instalación, y similares) para producir indicadores de pronóstico. El rendimiento del motor previsto a partir de la unidad 250 de modelo predictivo también se proporciona a la unidad 230 de establecimiento de tendencias y almacenamiento de datos. El resultado que puede analizarse según la tendencia incluye el rendimiento de salida del motor, tales como temperaturas, flujo de combustible, velocidades, y potencias, así como eficiencias de componentes específicos, flujos de aire, y tasas de compresión. Como tal, la unidad 250 de modelo predictivo puede generar parámetros similares a los de la unidad 250 de modelo específico del motor, aunque en condiciones ambientales y operativas del motor predeterminadas, y tales parámetros pueden incluir, como se ha mencionado anteriormente, la temperatura de entrada de turbina.

30 Con un condicionamiento de escalares apropiado, los resultados no son propensos a variar, pero sin embargo pueden rastrear cambios en la salud del motor. Con el análisis de la tendencia lógica y salud histórica, esta técnica también puede detectar cambios repentinos en la salud del motor por eventos tales como daño por objetos extraños o cambios en la instalación. Este modelo, por lo tanto, da cuenta no solo de los cambios en la salud general del motor, sino que también da cuenta de los cambios en la salud de cada componente aerodinámico principal en el motor.

35 Tal como se ha mencionado anteriormente, la unidad 250 de modelo predictivo puede recibir los cálculos de temperatura de entrada de turbina de la unidad 222 de cálculo de temperatura de entrada de turbina. Según esta información, la unidad 250 de modelo predictivo puede estimar la temperatura de entrada de turbina del uso futuro del motor. Las temperaturas de entrada de turbina predichas se proporcionan a la unidad 230 de establecimiento de tendencias y almacenamiento de datos.

40 En una realización de ejemplo, el sistema 110 de motor a su vez incluye una unidad 260 de cálculo de vida útil remanente. En particular, la unidad 260 de cálculo de vida útil remanente puede estimar la vida útil remanente de los componentes de turbina en base a la información de temperatura de entrada de turbina y otros parámetros del motor.

45 Como se ha mencionado anteriormente, el módulo 222 de generación de parámetros de la unidad 220 de modelo específico del motor genera de manera continua valores de temperatura de entrada de turbina basándose en las condiciones de operación del motor, las cuales pueden ser controladas y resumidas en intervalos de tiempo específicos para producir un mantenimiento a temperatura prefijada total. La unidad 260 de cálculo de vida útil remanente puede utilizar esta información para determinar la vida útil remanente de cualquiera de los componentes de turbina de alta temperatura. En una realización de ejemplo, la unidad 260 de cálculo de vida útil remanente puede además controlar la velocidad de rotación y la información de temperatura de los flujos de aire de refrigeración para componentes de turbina (p. ej. descarga del compresor), los cuales pueden emparejarse con la temperatura de entrada de turbina para un cálculo de vida útil mejorado. La vida útil remanente de componentes de turbina puede, por lo tanto, ser calculada instantáneamente a partir de estos parámetros disponibles, proporcionando una capacidad de indicar la vida remanente en tiempo real.

55 De modo similar a la unidad 220 de modelo específico del motor desarrollado anteriormente, la unidad 260 de cálculo de vida útil remanente puede utilizar un modelo termodinámico, específico del para predecir el rendimiento del motor y, en este caso, específicamente la temperatura de entrada de turbina, en una condición de evaluación específica

(temperatura de entrada, altitud, potencia, configuración de instalación, etc.). A partir de esta información, la unidad 260 de cálculo de vida útil remanente puede calcular el daño de componente, al integrar los resultados en el tiempo para poder determinar la vida útil remanente.

5 Si bien no se muestra en la presente, la información de temperatura de entrada turbina puede proporcionarse a una unidad de control de motor para determinar si el funcionamiento del motor puede ser modificado a fin de disminuir las temperaturas y/u operar a temperaturas más altas. Por ejemplo, con la información de temperaturas actuales, el control de estas temperaturas puede implementarse utilizando variables controlables del motor disponibles para alterar el estado de motor a la vez que se cumplen los requisitos de potencia del motor y/o ajustar la potencia del motor. En una realización de ejemplo, la modificación de la operativa puede incluir variar la velocidad del motor, geometría variable, sangrado de motor, flujo de combustible, elección de combustible, parámetros de escape, y/o cambios del ambiente. Un control de motor de este tipo puede producirse automáticamente y/o en la forma de sugerencias para la intervención del piloto o por la elección del modo de operación del motor.

10 La información de temperatura de entrada de turbina y otros parámetros, que incluyen los cálculos de vida útil remanente, pueden proporcionarse a una interfaz 240 gráfica de usuario (GUI), por ejemplo, ubicada dentro de la cabina del piloto de la aeronave para la consideración del piloto. La GUI 240 típicamente incluye al menos un dispositivo de visualización y un dispositivo de entrada del usuario. La GUI 240 generalmente incluye cualquier dispositivo de visualización apropiado para visualizar la información descrita en la presente memoria y un dispositivo de entrada para interactuar con el sistema 120 de soporte de operaciones. Los visualizadores de este tipo pueden incluir cualquier tipo de medio de visualización capaz de presentar visualmente información del vuelo multicolor o monocromática para un piloto u otros miembros de la tripulación, tales como, por ejemplo, sistemas de visualización CRT y de paneles planos (p. ej. visualizadores CRT, LCD, visualizadores OLED, visualizadores de plasma, proyectores, HDD, HUD, etc.). La GUI 240 puede ser parte de un visualizador principal de vuelo y/o de una unidad de visualización multifunción. La GUI 240 puede incluir un generador de visualización de gráficos para generar los comandos de visualización apropiados y simbología resultante, tal como se explica en mayor detalle a continuación. En general, el dispositivo de entrada del usuario permite a un usuario (p. ej., piloto, copiloto, miembro de la tripulación) interactuar con el sistema 120 de soporte de operaciones y puede presentarse como un teclado, un panel táctil, un teclado, un ratón, una pantalla táctil, una palanca de mando, un micrófono, un dispositivo de visualización interactivo, y/u otro dispositivo o mecanismo adecuado adaptado para recibir entradas de un usuario. En esta realización, la GUI 240 se localiza dentro de una cabina del piloto de la aeronave. Se debe apreciar que, en la práctica, la GUI 240 puede ubicarse fuera de la aeronave (p. ej., en tierra como parte de un centro de control de tráfico u otro centro de comandos) y acoplarse de manera comunicativa con la aeronave.

15 Como se ha mencionado anteriormente, la unidad 230 de establecimiento de tendencias y almacenamiento de datos puede recibir datos de una cantidad de fuentes, incluyendo parámetros de entrada del motor (p.ej., el sistema 110 de motor), indicadores de diagnóstico de la unidad 210 de modelo de diagnóstico del motor, parámetros del motor de la unidad 220 de modelo específico del motor, indicadores de pronósticos de la unidad 250 de modelo predictivo, y parámetros tales como información de temperatura de entrada de turbina a partir del módulo 222 de generación de parámetros. Como tal, la unidad 230 de establecimiento de tendencias y almacenamiento de datos puede incluir cualquier medio adecuado de base de datos o de almacenamiento y componentes de procesamiento necesarios para recibir, almacenar y proporcionar información relevante para las distintas unidades 210, 220, 240, 250 y/o sistemas externos. Por ejemplo, la unidad 230 de establecimiento de tendencias y almacenamiento de datos proporciona una recopilación y almacenamiento de datos, así como el análisis estadístico y establecimiento de tendencias para su empleo en el análisis histórico o el rendimiento de temperatura en el tiempo. El establecimiento de tendencias de datos de los cálculos de temperatura puede utilizarse para aumentar la fiabilidad de estos números.

20 Como una unidad 230 de almacenamiento histórico, el sistema 120 de soporte de operaciones proporciona evidencia no solo de las temperaturas de la entrada de turbina en cualquier momento dado, sino que también evidencia la temperatura acumulada en un segmento de tiempo elegido. Con los registros históricos de temperatura de entrada de turbina, y tendencias versus tiempo, nivel de uso, y posición, se pueden realizar proyecciones respecto a niveles de temperatura en el futuro. De esta forma, un motor puede ser designado para acciones de mantenimiento. El establecimiento de tendencias de datos también proporciona la oportunidad de eliminar ciertos datos o predicciones si se determina que son anómalos. Con una base de datos apropiada de datos de rendimiento antiguos del motor y temperatura de entrada de turbina, se pueden realizar una cantidad de proyecciones o usos a partir de este historial.

25 En una realización de ejemplo, el análisis estadístico de los datos recolectados y generados por el sistema 120 de soporte de operaciones en la unidad 230 de establecimiento de tendencias y almacenamiento de datos puede considerarse por una unidad de mantenimiento (no se muestra) para determinar si el motor necesita mantenimiento. Por ejemplo, los datos de este tipo pueden resultar en que la tripulación en tierra ajuste el cronograma de mantenimiento de la aeronave y/o realice acciones correctivas con respecto a temas de turbina.

La Fig. 3 es un dispositivo 300 de visualización de la GUI 240 según una realización de ejemplo. El dispositivo 300 de visualización puede incluir cualquiera de los parámetros, entradas y/o salidas detalladas anteriormente, entre ellos indicadores de salud, datos de entrada de motor, escalares de diagnóstico, información de mantenimiento, y similares. En esta realización de ejemplo, el dispositivo 300 de visualización incluye información 310 de temperatura de entrada de turbina. La información 310 de temperatura de entrada de turbina, incluye la temperatura del aire en la entrada de turbina (p. ej., en °F), y en algunas realizaciones, las temperaturas pueden mostrarse con relación al tiempo. Tal como se muestra en la Fig. 3 la temperatura de entrada de turbina también puede arrojar alertas o mensajes 320, si la temperatura excede un límite predeterminado. Tal como se muestra en la Fig. 3 el dispositivo 300 de visualización puede proporcionar la información de la vida útil remanente para un componente o sistema. En la realización representada, la información 330 de la vida útil remanente incluye la vida útil remanente de las turbinas (p. ej., en horas o distancia). En general, puede proporcionarse cualquier representación visual o gráfica apropiada.

Como se ha mencionado anteriormente, el sistema 120 de soporte de operaciones se explica en conjunto con un motor de aeronave. Sin embargo, se pueden proporcionar otros tipos de aplicaciones de motor. Una aplicación de motor aplicable incluye, pero no se limita a, propulsión de avión (ventilador, turboreactor, turboeje, turbohélice), propulsión de helicóptero (turbohélice), y unidades de potencia auxiliares de aeronaves, unidad de potencia terrestre, conjuntos de generación de potencia, sistemas de potencia a bordo, y turbinas industriales de gas.

Como tal, el sistema 120 de soporte de operaciones posibilita cálculos mejorados de información de temperatura de entrada de turbina y otros parámetros específicos del motor, posibilitando de esta manera pronósticos de salud mejorados tales como la vida útil remanente. Por ejemplo, la vida de turbina puede verse afectada por niveles de temperatura de trayecto del caudal, y la inexactitud de temperatura de entrada de turbina puede resultar directamente en imprecisiones en la determinación de la vida útil remanente de componentes de secciones calientes como los álabes de turbinas, boquillas, anillos sujetadores, y similares. Además, la sensibilidad de la vida del componente con respecto a la temperatura de entrada de turbina depende tanto del modo del fallo (deslizamiento, oxidación, fatiga, etc.) como de la configuración de componentes (p. ej., refrigerado v. sin refrigerar). Para un álabe de turbina sin refrigerar, el cual puede limitarse por un mecanismo de fallo por termofluencia, la imprecisión en la temperatura de entrada de turbina puede resultar en una imprecisión en la temperatura del álabe de metal la cual representa casi la totalidad del error en la temperatura de entrada de turbina. A modo de ejemplo, una regla de oro típica para mecanismos de fallo por termofluencia es que un cambio de 25°F en la temperatura del metal resulta en un crédito o débito del doble de la vida, p. ej., errores tan pequeños como de 5°F en la temperatura del metal puede resultar en un error en la vida de termofluencia del 15%. Los mecanismos adicionales de oxidación y fatiga son sensibles a la temperatura. En la industria de la turbina de gas en donde el coste de operación y mantenimiento de motor es costoso, una mejora en la precisión de los algoritmos de vida útil remanente en el orden de 5-15% ofrece ahorros significativos en los costes de propiedad como resultado de las posibles mejoras en los intervalos de mantenimiento del motor y la reducción del riesgo de fallos en componentes.

Esto posibilita un funcionamiento y mantenimiento más seguro y eficaz. Por ejemplo, el sistema puede, por lo tanto, determinar de manera más precisa el daño de componentes utilizando niveles de temperatura de entrada de turbina en lugar de temperatura de salida de turbina y proporcionar técnicas analíticas a bordo para determinar la vida útil remanente y hacer un seguimiento de la salud con fines históricos. El sistema utiliza una temperatura de entrada de turbina derivada que es inherentemente más precisa puesto que da cuenta de muchos factores y condiciones adicionales respecto del rendimiento del motor y de los componentes individuales, p. ej., los modelos de cálculo se actualizan a medida que cambia el estado de salud del motor.

A los fines de la brevedad, las técnicas convencionales relacionadas al procesamiento de gráficos e imágenes, navegación, planificación de vuelos, controles de aeronaves, y otros aspectos funcionales de los sistemas (y los componentes operativos individuales de los sistemas) pueden no estar descritos en detalle en la presente memoria. Además, las líneas de conexión que se muestran en varias de las figuras contenidas en la presente memoria pretenden representar las relaciones funcionales de ejemplo y/o acoplamientos físicos entre los distintos elementos. Se ha de observar que muchas de las relaciones funcionales o conexiones físicas alternativas o adicionales pueden estar presentes en una realización del objeto.

Los expertos en la técnica apreciarán que los diversos bloques lógicos, módulos, circuitos y etapas de algoritmos ilustrativos descritos en conexión con las realizaciones descritas en la presente memoria pueden implementarse como hardware electrónico, software informático o una combinación de ambos. Algunas de las realizaciones e implementaciones se describen anteriormente en términos componentes de bloque de funcionales y/o lógicos (o módulos) y distintas etapas de procesamiento. Sin embargo, se ha de observar que los componentes de bloque (o módulos) de este tipo pueden estar representados por una cantidad de hardware, software, y/o componentes de firmware configurados para realizar las funciones especificadas. A los fines de ilustrar esta intercambiabilidad de hardware y software, se han descrito anteriormente varios componentes, bloques, módulos, circuitos y etapas ilustrativas, en general, en términos de su funcionalidad. Si la implementación de esta funcionalidad se realiza como

hardware o software dependerá de la aplicación particular y limitaciones del diseño impuestas sobre el sistema general. Una realización de un sistema o de un componente puede emplear varios componentes de circuito integrados, p. ej., elementos de memoria, elementos de procesamiento digital de señales, elementos lógicos, tablas de consulta, o similares, los cuales pueden realizar una variedad de funciones bajo el control de uno o más microprocesadores u otros dispositivos de control. Además, los expertos en la técnica apreciarán que las realizaciones descritas en la presente memoria son meramente implementaciones de ejemplo.

Los numerosos bloques, módulos, circuitos lógicos ilustrativos descritos en relación con las realizaciones descritas en la presente memoria pueden implementarse o ejecutarse con un procesador de propósito general, un procesador de señal digital (DSP), un circuito integrado de aplicaciones específicas (ASIC), una disposición de puertos programables de campo (FPGA) u otro dispositivo lógico programable, puerto discreto o transistor lógico, componentes de hardware discretos o una combinación de los mismos diseñada para realizar las funciones descritas en la presente memoria. El procesador de propósito general puede ser un microprocesador, pero en la alternativa, el procesador puede ser cualquier procesador, controlador, microcontrolador o máquina de estado convencional. Un procesador también puede implementarse como una combinación de dispositivos informáticos, p. ej., una combinación de un DSP y un microprocesador, una pluralidad de microprocesadores, uno o más microprocesadores en conjunto con un núcleo DSP, o cualquiera otra configuración de este tipo.

Las etapas de un método o algoritmo descrito en conexión con las realizaciones descritas en la presente memoria pueden estar realizadas directamente en el hardware, en un módulo de software ejecutado por un procesador o en una combinación de los dos. Un módulo de software puede residir en la memoria RAM, memoria flash, memoria ROM, memoria EPROM, memoria EEPROM, registros, disco duro, un disco extraíble, un CD-ROM o cualquier otra forma de medio de almacenamiento conocida en la técnica. Un medio de almacenamiento de ejemplo está acoplado al procesador de manera que el procesador pueda leer información de, y escribir información en, el medio de almacenamiento. En una alternativa, el medio de almacenamiento puede ser integral al procesador. El procesador y el medio de almacenamiento puede residir en el ASIC. El ASIC puede residir en un terminal de usuario. En una alternativa, el procesador y el medio de almacenamiento pueden residir como componentes discretos en un terminal de usuario.

A pesar de que al menos una realización ha sido presentada en la descripción detallada anterior de la invención, se debe apreciar que existe un amplio número de variaciones. Debería también apreciarse que la realización de ejemplo o las realizaciones de ejemplo son solo ejemplos, y que no pretenden limitar de ninguna manera el alcance, aplicación o configuración de la invención. Más bien, la descripción detallada anterior proporcionará a los expertos en la técnica una hoja de ruta conveniente para implementar una realización de ejemplo de la invención. Debe entenderse que se pueden realizar varios cambios en la función y disposición de los elementos descritos en una realización de ejemplo sin alejarse del alcance de la invención tal como se establece en las reivindicaciones anejas.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema (120) de soporte de operaciones para un motor (110) con una turbina que presenta una entrada de turbina, que comprende:
- 5 una unidad (210) de modelo de diagnóstico del motor configurada para recibir datos del motor (110) y para generar datos de diagnóstico basados en los datos del motor, estos datos diagnósticos incluyen escalares;
- una unidad (220) de modelo específico del motor acoplada a la unidad (210) de modelo de diagnóstico del motor y configurada para recibir los escalares de la unidad (210) de modelo de diagnóstico del motor y configurada para generar información (310) de temperatura de entrada de turbina utilizando la temperatura de entrada de turbina actual para el
- 10 motor un modelo termodinámico, estando el modelo termodinámico basado en mapas de componentes asociados con el motor (110);
- una unidad (250) de modelo predictivo acoplada a la unidad (220) de modelo específico del motor y configurada para evaluar la información (310) de temperatura de entrada de turbina y para estimar la temperatura de entrada de turbina en un uso futuro del motor, en donde la unidad (250) de modelo predictivo está configurada para generar indicadores de pronóstico de componentes de la turbina en base a la temperatura de entrada de turbina del uso futuro del motor; y
- 15 una unidad (230) de almacenamiento acoplada a una unidad (220) de modelo específico del motor y configurada para almacenar la información (310) de temperatura de entrada de turbina.
2. El sistema (120) de soporte de operaciones según la reivindicación 1, en donde la unidad (220) de modelo específico del motor está configurada para generar indicadores de condición basados en los datos de diagnóstico utilizando el
- 20 modelo termodinámico.
3. El sistema (120) de soporte de operaciones según la reivindicación 1, comprende además una interfaz (240) gráfica de usuario acoplada a la unidad (220) de modelo específico del motor y configurada para visualizar la información (310) de temperatura de entrada de turbina.
4. El sistema (120) de soporte de operaciones según la reivindicación 1, comprende además una unidad (260) de
- 25 cálculo de vida útil remanente acoplada a la unidad (220) de modelo específico del motor y configurada para generar la vida útil remanente de los componentes de la turbina según la información (310) de temperatura de entrada de turbina.
5. El sistema (120) de soporte de operaciones según la reivindicación 4, en donde la unidad (260) de cálculo de vida útil remanente está configurada para generar un indicador de advertencia basado en la vida útil remanente de los componentes de la turbina.
- 30 6. El sistema (120) de soporte de operaciones según la reivindicación 1, en donde la unidad (220) de modelo específico del motor está configurada para calcular la información (310) de temperatura de entrada de turbina en tiempo real.
7. El sistema (120) de soporte de operaciones según la reivindicación 1, en donde la unidad (220) de modelo específico del motor está configurada para calcular la información (310) de temperatura de entrada de turbina basada en al menos una de la temperatura de motor, presión de aire del motor, flujo de aire del motor, caudal de combustible del motor y velocidad del motor.
- 35 8. El sistema de soporte de operaciones según la reivindicación 1, comprende además una unidad de control del motor configurada para recibir la información de temperatura de turbina del motor y para modificar la operación del motor con el fin de disminuir o aumentar la temperatura de entrada de turbina del uso futuro del motor utilizando variables controlables del motor disponibles, a la vez que cumple con los requisitos de potencia del motor.
- 40

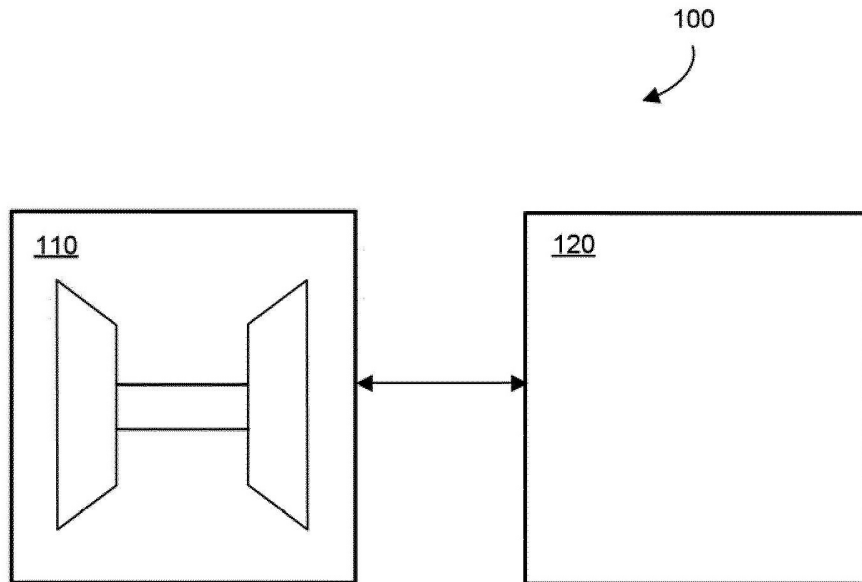


FIG. 1

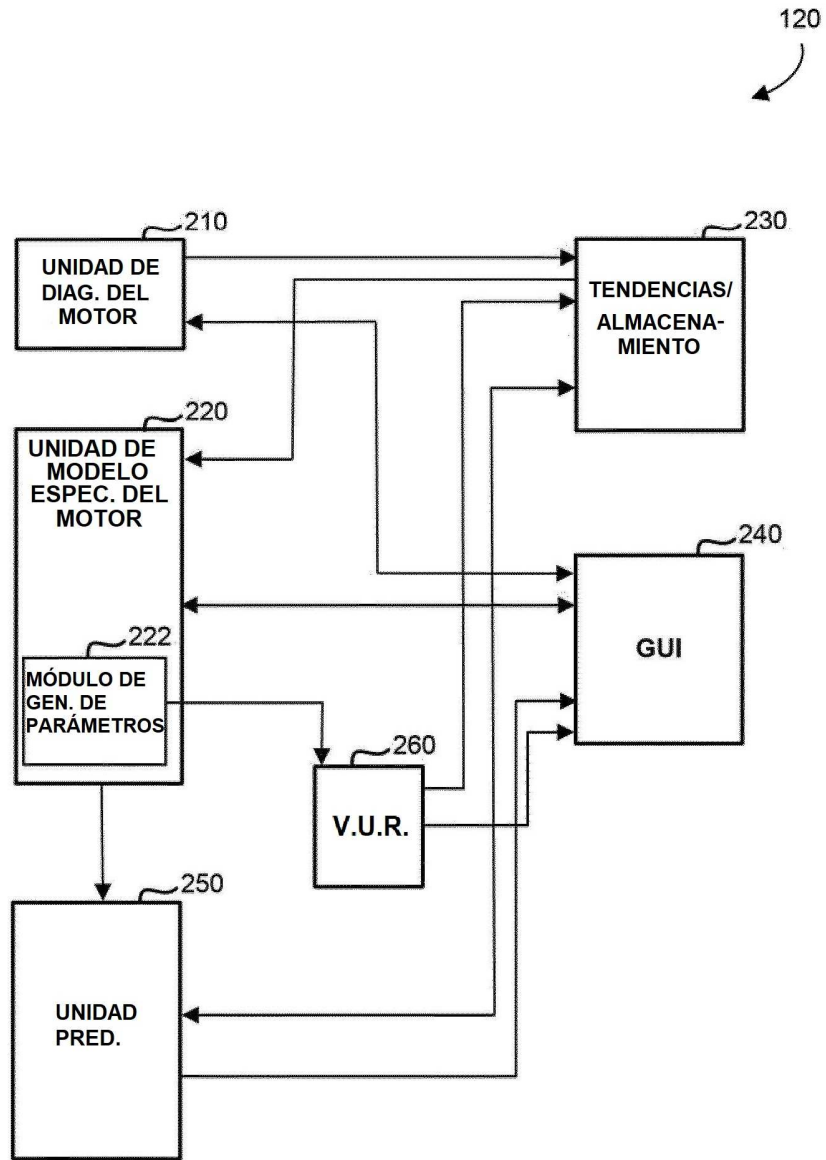


FIG. 2

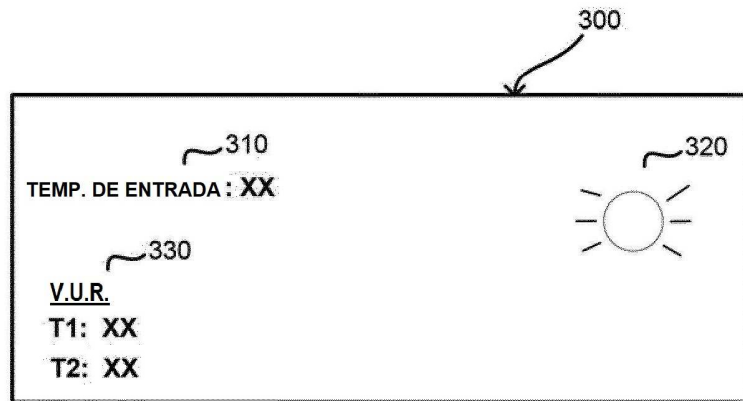


FIG. 3