

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 396 229**

51 Int. Cl.:

F01D 21/14 (2006.01)

F02C 9/28 (2006.01)

F02C 9/46 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.06.2002 E 02254315 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.10.2012 EP 1281846**

54 Título: **Estrategia de control para motor de turbina de gases**

30 Prioridad:

31.07.2001 US 919029

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

20.02.2013

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC COMPANY (100.0%)
1 River Road
Schenectady, NY 12345, US**

72 Inventor/es:

**PISANO, ALAN DAVID;
CONATY, JAMES PATRICK;
WISEMAN, MATTHEW WILLIAM y
SEQUEIRA, SABRINA ANNE**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 396 229 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

Estrategia de control para motor de turbina de gases

5 La presente invención se refiere a sistemas de control para motores de turbina de gases. Se desvelan los sistemas de control conocidos en los documentos US 5622045 y GB 2182723, el primero para la detección y adaptación de daños en el ventilador del motor de turbina de gases y el último para un control de combustible de fallo seguro.

10 En un motor de turbina de gases usado para propulsar una aeronave, ocurren a veces defectos. Mientras muchos de los defectos son menores, algunos son suficientemente significativos como para reducir el empuje del motor en un amplio grado. Por ejemplo, si el motor absorbe un ave grande, pueden producirse daños que comprometan significativamente la capacidad de generación de empuje por parte del motor. Como otro ejemplo, un misil disparado por un terrorista puede producir un daño similar, o peor. Como tercer ejemplo, durante el despegue, el motor puede absorber desechos dejados en una pista.

En tales casos, el piloto puede seguir al menos dos estrategias. Una es continuar la operación del motor, pero con un nivel de empuje reducido. El segundo es parar el motor. La invención proporciona otra estrategia para la operación de un motor de turbina de gases defectuoso.

15 En una forma de la invención, un sistema detecta el daño en un motor de turbina de gases, como mediante la detección de una cantidad de empuje menor de la esperada. Cuando se detecta el daño, la invención toma medidas para intercambiar (1) vida útil futura del motor por (2) empuje actual.

20 Por ejemplo, la invención puede incrementar un límite en la velocidad de un rotor particular, lo que consume vida útil del rotor y otros componentes, pero produce en el presente un empuje más grande. Como otro ejemplo, se puede elevar un límite en la temperatura de entrada de la turbina, lo que de nuevo consume vida útil de los componentes, pero produce en el presente un empuje más grande.

La presente invención proporciona un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 y un aparato de acuerdo con la reivindicación 3.

25 La invención se describirá a continuación con mayor detalle, a modo de ejemplo, con referencia los dibujos, en los que:

La Figura 1 es un esquema simplificado, del tipo de bloques de un motor de aeronave de turbina de gases con una góndola 2.

La Figura 2 muestra el motor de la Figura 1, pero con un agujero 39 en una carcasa del compresor 42.

La Figura 3 es un diagrama de flujo que ilustra los procesos llevados a cabo por una forma de la invención.

30 La Figura 4 ilustra una forma de la invención.

La presente explicación presentará (1) un ejemplo simplificado de una forma de la invención y a continuación (2) una descripción general.

35 La Figura 1 ilustra un motor de turbina de gases simplificado 3, que es simétrico alrededor de la línea central 4. Un ventilador 6 comprime el aire de admisión 7 y proporciona parte 9 a un compresor de alta presión 12. La otra parte 15 es derivada, y se usa para generar empuje. El compresor de alta presión 12 comprime adicionalmente el aire y lo proporciona a una cámara de combustión 18, a la que se suministra el combustible 21 y se quema, añadiendo energía al aire en la forma de calor.

40 La mezcla combustible/aire 22 de alta energía se conduce entonces a una turbina de alta presión 24, que extrae energía mecánica de la mezcla y usa la energía para accionar el compresor de alta presión 12, a través del eje 27. El escape 30 de la turbina de alta presión 24 es conducido a una turbina de baja presión 33, que extrae energía mecánica adicional, y usa esa energía para accionar el ventilador 6, a través del eje 36. El escape 35 de la turbina de baja presión 33 se utiliza para producir empuje, en la medida posible.

45 Supongamos que, como en la Figura 2, tiene lugar un daño en el motor 3, en la forma de un agujero 39 en la carcasa 42 que rodea al compresor de alta presión 12. Este daño puede ser infligido, por ejemplo, en tiempo de guerra por un proyectil que alcance el motor.

Con el agujero 39 presente, se reduce la eficiencia del compresor, debido a la pérdida de aire 41. El aire 9 suministrado a la cámara de combustión 18 se reduce en su flujo de masa y presión. En consecuencia, el empuje del motor 3 se reducirá.

50 La invención detecta la reducción en la eficiencia del compresor, esto es, realiza una inferencia de que ha ocurrido un daño. A continuación, la invención dará los pasos para compensar esta reducción en la eficiencia.

La invención implementa una estrategia que intercambia (1) la vida útil a largo plazo del motor por (2) un incremento presente temporal en el empuje. Esto es, una reducción en la vida útil futura del motor se intercambia por el empuje actual. Se desarrollarán algunos principios antecedentes que explican cómo es posible esta estrategia.

5 Brevemente, muchos de los componentes en un motor de turbina de gases funcionan bajo severas condiciones que se desvían ampliamente de las condiciones de reposo estándar, ambientes de temperatura y presión. Las severas condiciones producen un deterioro por desgaste sobre los componentes, dando a los componentes una vida útil ilimitada. La invención opera el motor bajo unas condiciones más severas que las normales, para obtener un empuje incrementado, pero con el coste de reducir las vidas útiles de muchos de los componentes.

10 Para explicar estos principios con mayor detalle, se señala que algunos componentes operan con un campo de fuerzas centrífugas muy alto. En general, la aceleración centrífuga de un componente rotativo es el (cuadrado de w) x (r), en la que w es la rotación angular en radianes por segundo, y r es la distancia del cuerpo desde el centro de rotación.

Si el radio del compresor de alta presión 12 en la Figura 1 es de 30,48 cm (un pie), y si gira a 10.000 rpm, lo que corresponde a 167 revoluciones por segundo, entonces la aceleración centrífuga es

15 **$(2 \times \text{PI} \times 167) \times (2 \times \text{PI} \times 167) \times (1/\text{segundos al cuadrado}) \times (30,48 \text{ cm}),$**

o aproximadamente $3,4 \times 10^5 \text{ m/s}^2$ (1,1 millones de pies/segundo al cuadrado). Dividiendo esto por la aceleración de la gravedad, $9,81 \text{ m/s}^2$ (32 pies/segundos al cuadrado), da una fuerza de corte de aproximadamente 34.000 g.

Así, este compresor 12 opera bajo un campo de g extremadamente alto: un álabe del compresor que normalmente pese 4,45 newtons (una libra) pesará 151×10^3 newtons (34.000 libras) en operación.

20 Además, algunos componentes están sometidos a temperaturas muy altas, algunas de las cuales realmente exceden las temperaturas de fusión de los materiales usados. Los componentes sometidos a estas últimas temperaturas deben ser refrigerados activamente, para mantenerlos por debajo de la temperatura de fusión. También, están presentes elevadas presiones, a veces excediendo los 2,8 MPa (400 libras por pulgada cuadrada), lo que tensiona los materiales.

25 Las elevadas fuerzas g, las altas temperaturas, y las altas presiones ilustran tres factores que producen elevadas presiones sobre los materiales en el interior del motor.

No solamente estos tres factores, por sí mismos, generan tensiones elevadas, sino también el hecho de que se aplican de una forma cíclica, genera tensiones y desgastes adicionales. Esto es, cuando el motor está en reposo, estos factores están ausentes. Pero cuando se pone al motor en operación, los tres factores, previamente ausentes, aparecen y aplican tensiones al motor.

30 La repetida aplicación de tensiones, seguida de la relajación de las tensiones, crea fatiga en los materiales, dando como resultado frecuentemente roturas por fatiga. De hecho, la vida útil utilizable de muchas piezas, al menos un límite superior de su usabilidad, se mide por el número de tales ciclos que ha experimentado la pieza.

35 Otro factor es la ley de la física que establece que cuando aumenta la temperatura, la resistencia a la tracción de muchos materiales disminuye. Adicionalmente, los componentes hechos de tales materiales pueden experimentar un tipo de deformación conocido como fluencia. De ese modo, si un componente se opera bajo elevada tensión a una temperatura excesivamente alta, ese componente puede quedar deformado permanentemente. Adicionalmente, el deslizamiento no surge necesariamente de modo inmediato, sino a veces después de exposiciones a largo plazo a las tensiones que se acaban de describir.

40 Estas tensiones, y su naturaleza cíclica, hacen que los diseñadores de los motores de turbina de gases impongan límites estrictos a las condiciones de operación de los motores, para limitar de ese modo la tensión máxima aplicada a los componentes dentro del motor. Por ejemplo, la temperatura del gas en el punto 50, en la Figura 2, llamada temperatura de admisión de la turbina, se mantiene dentro de un cierto límite. Si el sistema de control (no mostrado) detecta que se está excediendo el límite, toma ciertas medidas para reducirlo y, si estas medidas fallan, puede parar el motor.

45 Por lo tanto, para resumir estos principios antecedentes: en operación normal, el sistema de control del motor mantiene muchos componentes dentro de un motor de turbina de gases dentro de envolventes de temperatura, presión y velocidades de rotación específicos. Una finalidad fundamental del mantenimiento de los componentes dentro de sus envolventes es maximizar la vida útil del motor.

50 La invención hace una excepción a esta estrategia de control en ciertas situaciones. En el caso de que se detecte una caída en la eficiencia del compresor, como cuando aparece el agujero 39 de la Figura 2, la invención determina que maximizar la vida útil del motor ya no es de importancia primordial. Por el contrario, se le asigna a la obtención de un empuje continuado del motor, incluso durante un período de tiempo limitado, la prioridad más alta, incluso si eso significa finalmente el sacrificio de una vida útil significativa del motor.

A dicho fin, la invención altera las envolventes que se acaban de describir. La invención alterará los límites previamente impuestos sobre uno o más componentes. En este ejemplo de un compresor perforado, se pueden incrementar dos límites: (1) se incrementará el límite sobre la temperatura de admisión de la turbina de alta presión y (2) se elevará el de la velocidad de la turbina de alta presión.

5 Este último incremento incrementará el flujo de masa a través del compresor, lo que compensará la masa de aire perdida a través del agujero 39.

10 El efecto del primer incremento no es tan simple de explicar, pero puede, en general, explicarse por el hecho de que la energía extraída por la turbina se relaciona con la caída de temperatura a través de ella. Si la temperatura de entrada del sistema de turbina doble de la Figura 2 se incrementa, entonces, en general, esas turbinas extraerán más energía.

15 La Figura 3 es un diagrama de flujo que ilustra un proceso generalizado acometido por la invención. El bloque 100 representa las salidas colectivas de los sensores del motor. Un motor de aeronave de turbina de gases moderno está equipado con una matriz de numerosos sensores, que miden temperaturas y presiones en varias localizaciones, y las velocidades de los rotores. Muchos de los sensores, denominados sensores primarios, están equipados con sensores de respaldo, que proporcionan redundancia en el caso de que los sensores primarios fallen.

Las salidas de los sensores se reciben por parte del control (no mostrado) del motor, tal como se indica por el bloque 105. El bloque 110 representa los procedimientos de control del motor, o algoritmos, que se implementan por el control del motor. Los presentes inventores señalan que el bloque 110 es una simplificación, y el sistema de control real, y sus procesos, son bastante complejos.

20 Los sistemas de control del motor son bien conocidos en general. El sistema de control controla varias condiciones operativas del motor 3, tal como (1) la relación combustible-aire, (2) el ángulo de las palas del estator, (3) sangrado del compresor, (4) refrigeración de la envolvente de la turbina y así sucesivamente. Estos parámetros controlados no se muestran en las figuras, pero son conocidos en la técnica.

25 El punto de ramificación 112 en la Figura 3 indica que las salidas de sensores se proporcionan a otro destino, concretamente, el bloque 115, en el que se utilizan posteriormente por la invención. Las salidas recibidas por el bloque 115 pueden incluir todas las salidas de todos los sensores, o pueden incluir sólo salidas de un subconjunto de los sensores.

30 En general, se examinará un vector de salidas de sensores. El vector se puede representar como (P1, P2, ... PN, N1, N2, ... NN, T1, T2, ... TN) en el que P representa presión, N representa velocidades y T representa temperaturas. Los subíndices, concretamente, 1, 2 y N, indican que se miden las presiones, velocidades y temperaturas en diferentes localizaciones del motor. Se pueden medir asimismo otros parámetros, tales como la vibración o la deflexión.

El bloque 120 indica que se examina el vector. El objetivo global es determinar si el vector indica que le ha ocurrido un daño al motor. Son posibles varios enfoques para realizar esta determinación.

35 En un enfoque, se realiza la consulta sobre si los parámetros seleccionados están dentro de unos límites establecidos. Por ejemplo, si la presión de descarga del compresor, en condiciones de crucero, se mantiene por debajo de un cierto valor, se puede deducir entonces la presencia de un daño.

40 En un segundo enfoque, se examina el vector de un motor saludable en condiciones de operación normales. Entonces, se introduce un aspecto de daño seleccionado y se examina el vector correspondiente. A continuación, se introduce un tipo de daño diferente y se repite el proceso.

En efecto, este enfoque deduce una firma para cada tipo de daño. Los tipos de daño que se pueden infligir pueden incluir (1) perforaciones en varias localizaciones, de varios tamaños, (2) ruptura de líneas hidráulicas, neumáticas y eléctricas seleccionadas, (3) pérdida de álabes, o parcial de álabes, en el ventilador, compresor y turbinas y (4) otros.

45 En un tercer enfoque, no se introduce realmente el daño, como en el segundo enfoque, sino que se sintetiza el daño en modelos de ordenador. Se han desarrollado modelos de ordenador muy sofisticados que representan la operación de motores de turbina de gases bajo muchas condiciones operativas, si no todas las posibles. El daño se puede sintetizar en el modelo y se puede determinar la firma resultante del vector.

50 En un cuarto enfoque, la firma del daño de un vector se consigue por el instinto y la experiencia de los diseñadores del motor de turbina de gases.

En el bloque 125 de la Figura 3 indica que se realiza la consulta de si está presente el daño. Si no se infiere un daño, se toma la rama 126 NO y el proceso se repite, comenzando con el bloque 115. Si se infiere un daño, se toma la rama 127 SÍ, y se llega al bloque 130.

El bloque 130 indica que se evalúa el tipo de daño. El bloque 135 indica que se determina un tipo de respuesta, en

base a la evaluación del daño. Los presentes inventores señalan que los bloques 130 y 135 se representan como separados, con finalidades de explicación. En la práctica, es probable que el bloque 130 se pueda eliminar.

5 Por ejemplo, en la práctica, cada firma de daño en el vector tiene asignada una respuesta. En la situación de perforación del compresor descrita anteriormente, la firma puede ser una caída en la presión de descarga del compresor. Las respuestas pueden ser para (1) elevar el límite en la temperatura de admisión de la turbina y (2) elevar el límite sobre la velocidad del compresor de alta presión 12. Sin embargo, no se alcanza necesariamente, o se necesita, una conclusión real de que exista un problema de compresor.

10 Por lo tanto, se muestra el bloque 130 para ilustrar un concepto detrás de una forma de la invención. Pero una evaluación real, esto es, la asignación de un nombre al daño, no es estrictamente necesaria. Por el contrario, se puede acometer un salto directo desde (1) la detección de un vector de desviación a (2) una respuesta para esa desviación.

El bloque 140 indica que se implementa la respuesta adecuada para el daño indicado por el vector.

Los procesos de la Figura 3 se pueden implementar en un único ordenador o en múltiples ordenadores.

Se darán varias características y caracterizaciones de la invención.

15 Una es que el motor opera de acuerdo con una estrategia de control durante la operación normal. La invención busca el daño. Si se detecta el daño, se implementa una estrategia de control diferente. Un ejemplo de una estrategia de control diferente es elevar el límite en la temperatura de admisión de la turbina, tal como en un cuatro por ciento. Otro ejemplo es elevar el límite en la velocidad del núcleo, tal como en un cuatro por ciento. Un tercer ejemplo se basa en la combinación del primer y segundo ejemplos.

20 La expresión operación normal es conocida en la técnica. Sin embargo, no se debe asumir que, para un motor dado, la operación normal siempre signifique que ocurren cantidades similares de deterioro durante todas fases de la operación. Por ejemplo, las condiciones de operación durante el despegue son más severas que las condiciones de crucero y tiene lugar un deterioro mayor en el despegue que en crucero.

25 Una definición de operación normal es que un motor está operando en un modo normal cuando el empuje real se adapta al empuje demandado. El empuje demandado se determina en general por el ángulo de la palanca de gases. Son posibles otras definiciones.

La invención se comprende mejor con referencia a los párrafos precedentes en conjunto con los dibujos. Los siguientes párrafos, a menos que se indique lo contrario, se incluyen para ayudar a una comprensión general de diferentes metodologías.

30 Una segunda característica es que la segunda estrategia de control involucra la alteración de la planificación de una variable controlada. El término planificación es bien conocido, y se refiere al hecho de que un parámetro controlado, tal como una cantidad de flujo de combustible, se calcula, o planifica, en base a numerosos otros parámetros medidos, tales como velocidades de rotación, presiones, temperaturas, y otros similares.

35 Una tercera característica es que no se requieren sensores adicionales. Se usan los sensores existentes en el motor, o un subconjunto de ellos, cuyas salidas están representadas en el vector explicado anteriormente. Los parámetros indicados por esos sensores se usan para deducir la presencia del daño y seleccionar, o modificar, la estrategia de control.

40 Una cuarta característica es que se mantiene una librería de numerosas firmas de daño posibles del vector, proporcionadas al bloque 115 en la Figura 3. Cuando se detecta una firma de daño, se declara un defecto. La declaración puede tomar la forma de informar al piloto de la presencia del defecto y, opcionalmente, de la identidad del defecto. La identidad se asocia con la firma del daño en el momento de la creación de la firma.

45 Una quinta característica es que, en operación normal, el control opera el motor de modo que ningún parámetro, tal como presiones, temperaturas y velocidades excede los límites predefinidos. Se mantiene lo siguiente (1) una librería de firmas de daños, correspondiendo cada una a una condición de daño específica y (2) una estrategia de control para cada firma, y por ello para cada condición de daño. El vector deducido actualmente de parámetros de operación se compara con la librería y, si se haya una coincidencia, se implementa la estrategia de control correspondiente al sector coincidente.

50 En una realización, la estrategia de control seleccionada hace que al menos un parámetro de operación exceda su límite predefinido previo. En otra realización, la estrategia de control seleccionada hace que al menos una planificación de control cambie. En una tercera realización, la estrategia de control seleccionada produce ambos de los cambios descritos en las dos frases precedentes.

Una sexta característica es la supervisión de un conjunto de parámetros que se usan por un sistema de control para controlar la operación del motor. Si la supervisión indica que ha ocurrido un evento predeterminado, tal como un tipo de daño específico, entonces se separa un límite sobre la temperatura o velocidad de su posición de operación

normal, y se continúa la operación del motor.

5 Una séptima característica es que se opera un motor de turbina de gases teniendo límites sobre (1) la temperatura de admisión de la turbina y (2) la velocidad de una turbina de alta presión. Los parámetros seleccionados se supervisan y, si los parámetros, o un subconjunto de ellos, alcanzan un estado predeterminado, entonces uno, o ambos, de los límites se elevan.

En una realización, el estado predeterminado es que el empuje del motor es menor del 95 por ciento del empuje demandado.

En otra realización, el límite sobre la velocidad de la turbina se eleva en un 4 por ciento (de acuerdo con la invención).

10 Una octava característica es que un motor de turbina de gases está funcionando en una forma normal, de acuerdo con un conjunto de algoritmos de control. Se obtiene un conjunto de parámetros de operación y se examinan por un reconocedor de patrones. El reconocedor de patrones es conocido en la técnica. El reconocedor de patrones examina el conjunto de parámetros de operación y busca un patrón que indique que ha ocurrido un problema en el motor. El reconocedor de patrones puede realizar esto comparando el conjunto de parámetros con firmas almacenadas de parámetros, cada una de las cuales indica un problema específico. Si se halla un problema, el conjunto de algoritmos se altera, y el motor continúa funcionando.

15 Se pueden acometer numerosas sustituciones y modificaciones sin separarse del alcance de la invención. Por ejemplo, la invención se ha encuadrado en términos de un motor de aeronave. Sin embargo, motores basados en tierra, tales como los usados en tanques acorazados, pueden utilizar la invención, así como motores de base marina, tales como los usados en barcos.

20

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento, que comprende:

- a) la operación de un motor de turbina de gases (3) de acuerdo con una primera estrategia de control (110);
- b) la búsqueda de daños en el motor (3); y
- 5 c) si se halla un daño, operar el motor de acuerdo con una segunda estrategia de control (140), en la que la segunda estrategia de control (140) permite que un parámetro de operación del motor exceda su valor de operación normal, **caracterizado porque** la segunda estrategia de control (140) permite que un parámetro de operación del motor exceda su valor de operación normal en un cuatro por ciento.

10 2. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la segunda estrategia de control (140) cambia la planificación de una variable controlada.

3. Aparato, que comprende:

- a) un motor de turbina de gases (3);
- b) medios (335) para la operación de motor de turbina de gases de acuerdo con una primera estrategia de control;
- 15 c) medios (330) para

- i) la búsqueda de un daño en el motor; y
 - ii) si se halla el daño, operar el motor de acuerdo con una segunda estrategia de control, en la que la segunda estrategia de control (140) permite que un parámetro de operación del motor exceda su valor de operación normal, **caracterizado porque** la segunda estrategia de control (140) permite que un parámetro de operación del motor exceda su valor de operación normal en un cuatro por ciento.
- 20

4. Aparato de acuerdo con la reivindicación 3, en el que la segunda estrategia de control (140) cambia la planificación de una variable controlada.

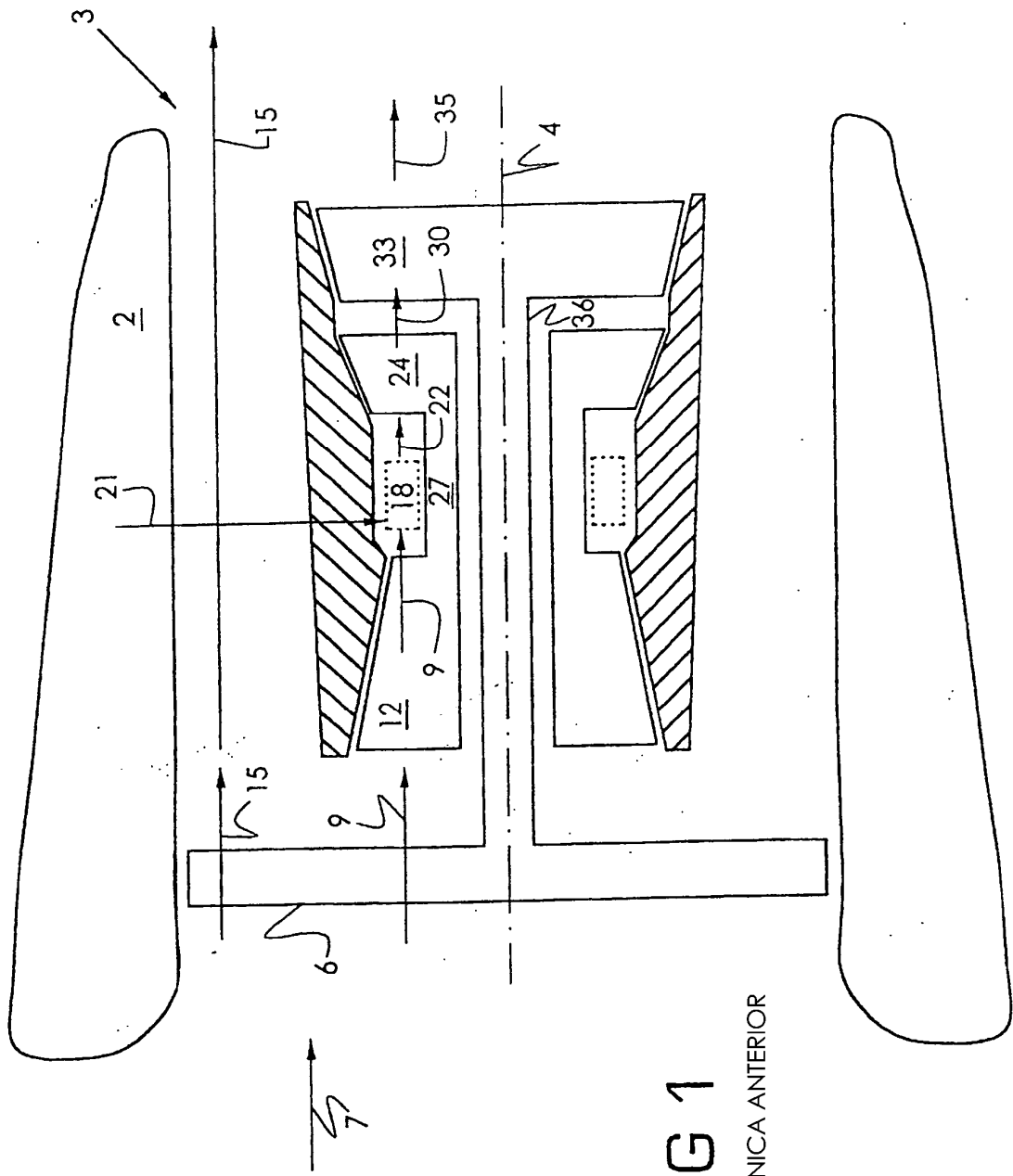


FIG 1
TÉCNICA ANTERIOR

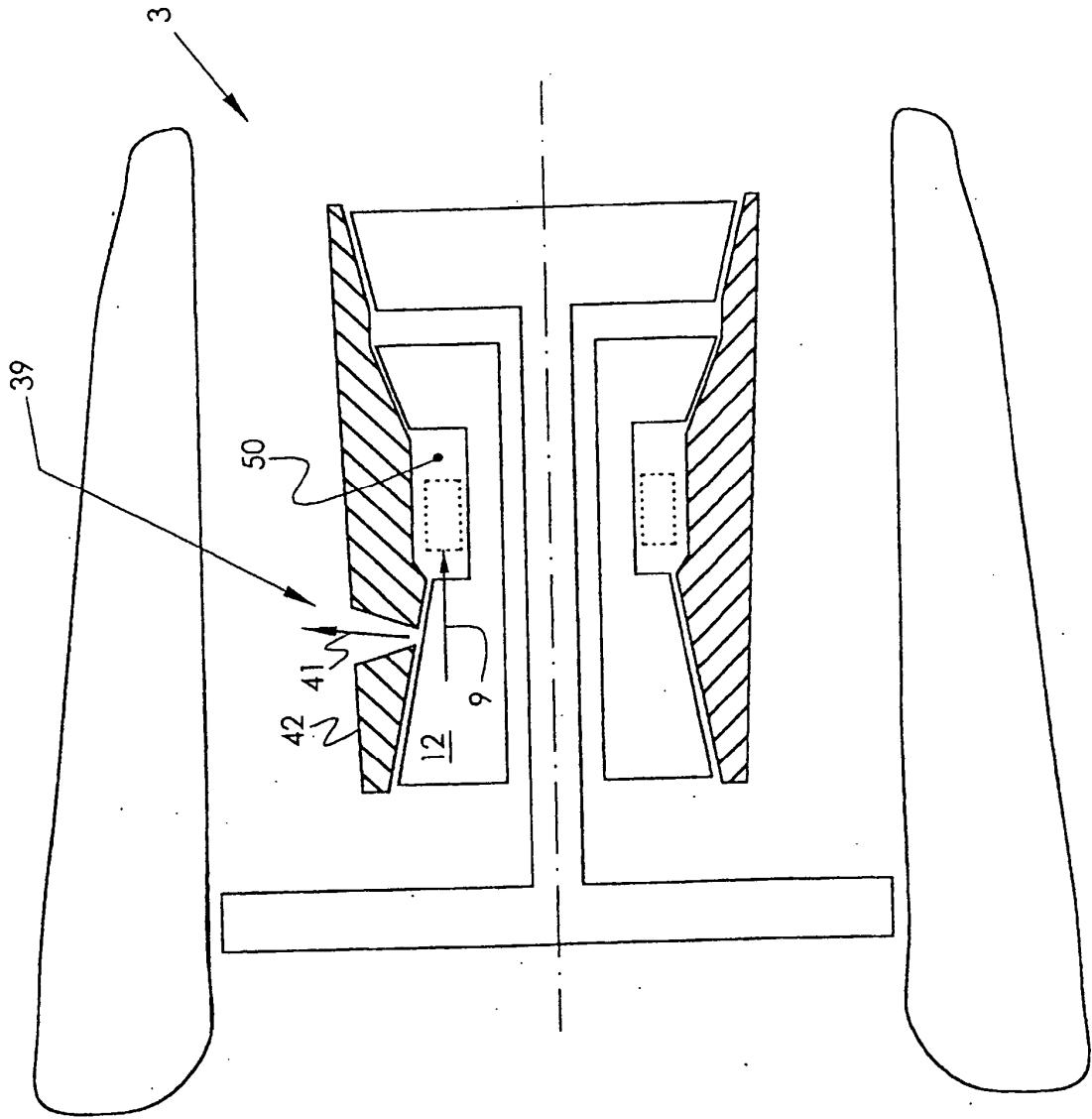


FIG 2

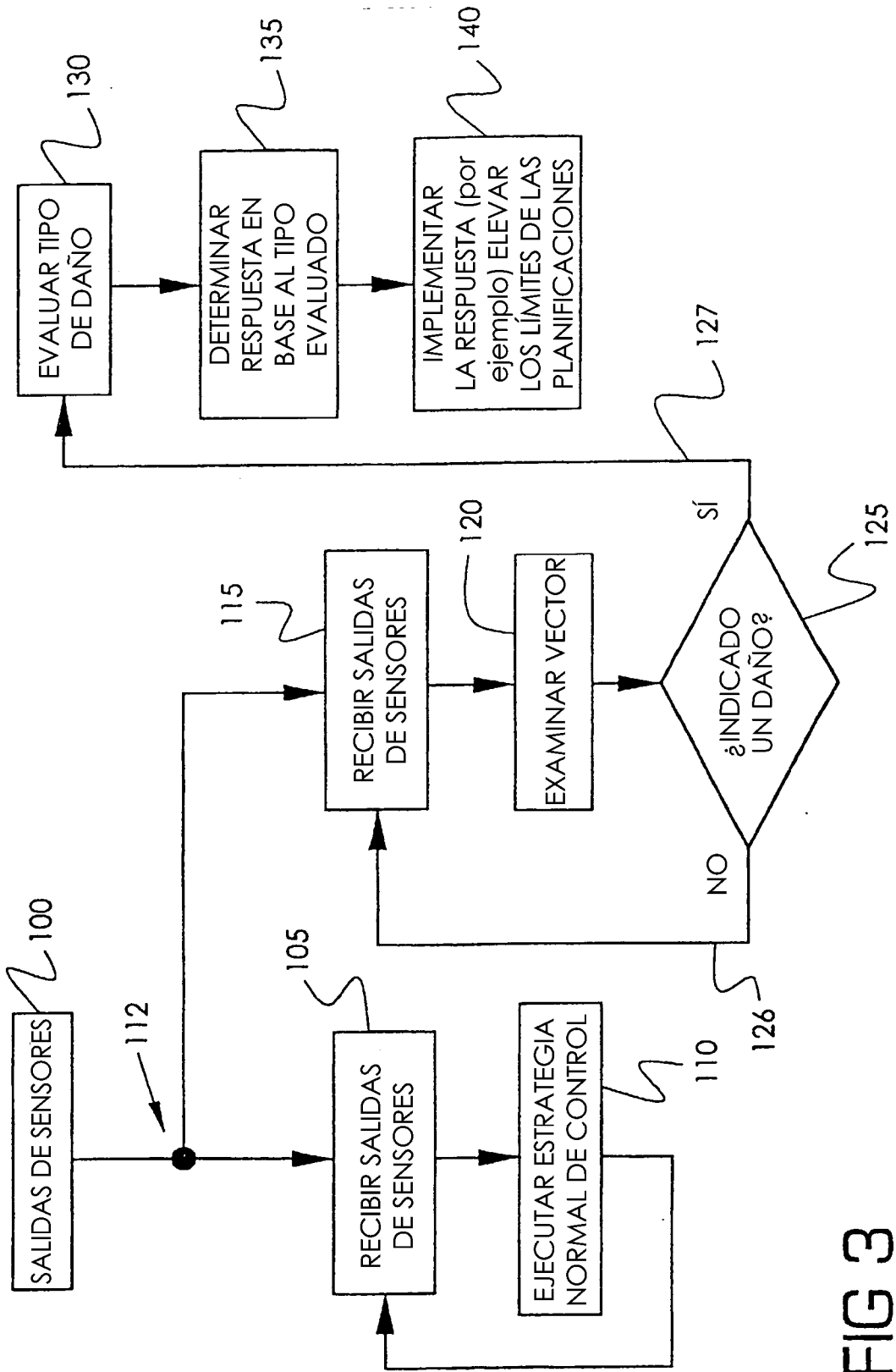


FIG 3

FIG 4

