

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 584 203**

51 Int. Cl.:

B64C 11/30 (2006.01)

B64D 27/00 (2006.01)

B64C 27/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.05.2011 E 11166634 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.07.2016 EP 2388191**

54 Título: **Rotor abierto contra-rotatorio (CROR)**

30 Prioridad:

18.05.2010 US 345725 P

18.05.2010 US 345743 P

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

26.09.2016

73 Titular/es:

**HAMILTON SUNDSTRAND CORPORATION
(100.0%)
One Hamilton Road
Windsor Locks, CT 06096-1010, US**

72 Inventor/es:

**DANIELSON, DAVID R.;
CARVALHO, PAUL A.;
RAES, MARK y
PERKINSON, ROBERT H.**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 584 203 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

Rotor abierto contra-rotatorio (CROR)

Antecedentes

5 La presente descripción se refiere a motores de turbina de gas, y más particularmente al funcionamiento beta de un rotor abierto contra-rotatorio (CROR, por sus siglas en inglés).

10 Un rotor abierto contra-rotatorio (CROR) incluye un motor de turbina de gas con rotores contra-rotatorios no carenados fuera de una estructura de góndola. A los motores "*propfan*" se les ha denominado también motores de ultra-alto índice de derivación (UHB, por sus siglas en inglés) y, más recientemente, motores a reacción de rotor abierto. El diseño está pensado para ofrecer la velocidad y prestaciones de un turboventilador (en inglés, "*turbofan*") con la economía de combustible de un turbopropulsor (en inglés, "*turboprop*"). En el documento EP 2163474 se describe un CROR de este tipo, que se considera la técnica anterior más cercana y describe todas las características del preámbulo de la reivindicación independiente 6.

15 Los CROR pueden presentar retos especiales en lo referente a aerodinámica, aeroacústica y dinámica de estructuras, ya que los rotores anterior y posterior se encuentran fuera de la estructura de góndola y están situados relativamente próximos, lo que puede provocar interacciones rotor/rotor.

Compendio

20 Un método para controlar un rotor abierto contra-rotatorio (CROR) de acuerdo con la invención según la reivindicación 1 incluye acoplar mecánicamente, con una leva u otro acoplamiento mecánico, un sistema de cambio de paso de un primer rotor con un sistema de cambio de paso de un segundo rotor; y ordenar un ángulo de pala (Beta1 mandado) del primer rotor de modo que un ángulo de pala (Beta2 real) del segundo rotor sea una función del ángulo de pala mandado (Beta1 mandado), a fin de procurar una relación lineal entre un ángulo de pala real (Beta1 real) y Beta1 mandado del primer rotor y una relación no lineal entre Beta2 real y Beta1 mandado, por medio de una función de programación procurada mecánicamente por dicha leva u otro acoplamiento mecánico.

25 Un rotor abierto contra-rotatorio (CROR) de acuerdo con la invención según la reivindicación 6 incluye un primer rotor; un primer sistema de cambio de paso para cambiar un paso de dicho primer rotor; un segundo rotor; un segundo sistema de cambio de paso para cambiar un paso de dicho segundo rotor; y está caracterizado por que dicho segundo sistema de cambio de paso está acoplado mecánicamente, por medio de una leva u otro acoplamiento mecánico, a dicho primer sistema de cambio de paso; y por que el CROR comprende además: un módulo de control de rotor que se puede hacer funcionar para ordenar un ángulo de pala (Beta1 mandado) de dicho primer rotor de modo que un ángulo de pala (Beta2 real) de dicho segundo rotor sea una función de dicho ángulo de pala mandado (Beta1 mandado), en donde existe una relación no lineal entre Beta2 real y Beta1 mandado, por medio de una función de programación procurada mecánicamente por dicha leva u otro acoplamiento mecánico.

Breve descripción de los dibujos

35 De la siguiente descripción detallada de la realización no limitante que se describe se harán evidentes para los expertos en la técnica diversas características. Los dibujos que acompañan a la descripción detallada se pueden describir brevemente como sigue:

la Figura 1 es una vista general en perspectiva de una realización ilustrativa de motor de turbina de gas para uso con un *propfan* con rotor abierto contra-rotatorio (CROR);

la Figura 2 es una vista ampliada del *propfan* con CROR;

40 la Figura 3 es una representación esquemática de un programa de posiciones de control de rotor;

la Figura 4 es una vista esquemática ampliada de un cojinete de transferencia para el *propfan* con CROR;

la Figura 5 es un diagrama de bloques de una realización no limitante de un sistema de control para controlar los rotores contra-rotatorios no carenados del *propfan* con CROR;

45 la Figura 6 es una representación esquemática de un mapa de control para un rotor anterior del *propfan* con CROR de la Figura 5;

la Figura 7 es una representación esquemática de un mapa de control de un rotor posterior del *propfan* con CROR de la Figura 5;

la Figura 8 es una representación esquemática de un sistema de retroalimentación para un rotor posterior del *propfan* con CROR de la Figura 5;

50 la Figura 9 es un diagrama de bloques de otra realización no limitante de un sistema de control para controlar los

rotores contra-rotatorios no carenados del *propfan* con CROR;

la Figura 10 es una representación esquemática de un mapa de control para un rotor anterior del *propfan* con CROR de la Figura 9;

5 la Figura 11 es una representación esquemática de un mapa de control para un rotor posterior del *propfan* con CROR de la Figura 9;

la Figura 12 es una representación esquemática de un sistema de contrapesos del *propfan* con CROR de la Figura 9;

la Figura 13 es un diagrama de bloques de otra realización no limitante de un sistema de control para controlar los rotores contra-rotatorios no carenados del *propfan* con CROR;

10 la Figura 14 es una representación esquemática de un mapa de control para un rotor anterior del *propfan* con CROR de la Figura 13; y

la Figura 15 es una representación esquemática de un mapa de control para un rotor posterior del *propfan* con CROR de la Figura 13.

Descripción detallada

15 La Figura 1 ilustra esquemáticamente un rotor abierto contra-rotatorio (CROR) 20. El CROR 20 incluye generalmente un motor 22 de turbina de gas con rotores contra-rotatorios no carenados 24, 26 fuera de una estructura 28 de góndola, sobre un eje longitudinal central A del motor. El CROR 20 puede estar configurado como tractor (rotores delante del motor en una configuración de tracción) o como impulsor (lo que se muestra). Aunque en la realización no limitante descrita se representa con una arquitectura específica, se entenderá que los conceptos descritos en la presente memoria son aplicables a otras arquitecturas.

20 El motor 22 de turbina de gas incorpora generalmente una sección 30 de compresor, una sección 32 de combustor y una sección 34 de turbina con una turbina 36 de potencia. La turbina 36 de potencia entrega velocidad y par para mover un sistema 38 de engranajes que mueve los rotores contra-rotatorios no carenados 24, 26. Las secciones están definidas a lo largo del eje longitudinal central A del motor y el sistema 38 de engranajes puede estar ubicado axialmente entre los rotores contra-rotatorios no carenados 24, 26.

25 Haciendo referencia a la Figura 2, el sistema 38 de engranajes en la realización no limitante descrita es una caja de engranajes planetarios diferenciales, que incluye a grandes rasgos un engranaje solar 40 movido por la turbina 36 de potencia, múltiples engranajes planetarios 42, un soporte planetario 44 y un engranaje anular 46 que gira con respecto a una estructura fija 48. El rotor anterior 24 gira con el soporte planetario 44 y el rotor posterior 26 gira en sentido contrario, con el engranaje anular 46.

30 Cada uno de los rotores contra-rotatorios no carenados 24, 26 incluye múltiples palas 24B, 26B de hélice (se muestra una) que están conectadas con el respectivo soporte planetario 44 y engranaje anular 46 a través de un sistema 50, 52 de cambio de paso. Los sistemas 50, 52 de cambio de paso incluyen un actuador anterior 54 para cambio de paso, axialmente móvil, y un actuador posterior 56 para cambio de paso, axialmente móvil, para inclinar las palas 24B, 26B de los rotores en torno a un respectivo eje B1, B2 de pala de rotor, con el fin de conseguir el modo de hélice deseado, por ejemplo "hélice en bandera", "regulación de velocidad de avance", "zona de peligro" por "pozo" de coeficiente de potencia (CP) y "empuje invertido" (Figura 3).

35 Los sistemas 50, 52 de cambio de paso pueden incluir sistemas actuadores hidráulicos lineales con presiones reguladas que pueden ser conducidas a un tubo 60 de transferencia de aceite que contiene al menos cuatro canales hidráulicos separados (Figura 4). El aceite suministrado a través del tubo 60 de transferencia de aceite hacia los actuadores 54, 56 para cambio de paso puede fluir a través de un cojinete 62 de transferencia, de cuatro pistas, situado en el extremo posterior del tubo 60 de transferencia de aceite. El cojinete 62 de transferencia proporciona la conexión hidráulica entre el mecanismo estacionario y el rotatorio. Desde el tubo 60 de transferencia de aceite se suministran al actuador anterior 54 para cambio de paso dos presiones (ajustes grueso y fino del paso - rotor anterior), mientras que se suministran al actuador posterior 56 para cambio de paso las otras dos presiones (ajustes grueso y fino del paso - rotor posterior) a través de un cojinete posterior 64 de transferencia.

40 Cada uno de los actuadores 54, 56 para cambio de paso incluye un pistón de doble efecto con áreas diferenciales dimensionadas conforme a los requisitos estructurales y de rendimiento del actuador para cambio de paso. Cada actuador 54, 56 para cambio de paso incluye una horquilla 54Y, 56Y para cambio de paso que transmite la entrega de fuerza lineal del actuador 54, 56 para cambio de paso a un muñón 24T, 26T de la base de cada pala 24B, 26B de rotor.

50 Haciendo referencia a la Figura 3, un módulo 58 de control de rotor proporciona regulación y control del aceite suministrado al sistema 50, 52 de cambio de paso, para cambiar el paso de los rotores 24, 26 del CROR 20. Debe entenderse que la Figura 3 es una representación en diagrama de bloques de funciones que se podrían implementar, o bien en circuitería física dedicada o bien como rutinas de software programado aptas para ser ejecutadas en un entorno de control electrónico basado en microprocesador, tal como el módulo 58 de control de rotor. El módulo 58 de

control de rotor utiliza dos modos primarios de control de hélice dentro de un sistema de hélice con velocidad constante: control de velocidad fija y control beta. En el vuelo a alta potencia, el CROR 20 se encuentra en el modo de control de velocidad fija que, en la jerga técnica, funciona como un regulador isócrono. Es decir, los rotores 24, 26 representan esencialmente el regulador de la turbina 36 de potencia del motor de turbina de gas. Por lo tanto, el módulo 58 de control de rotor establece un requisito de velocidad fija y a continuación ajusta el ángulo de la pala del rotor para absorber toda la potencia entregada por el motor 22 de turbina de gas, de modo que la velocidad de la pala del rotor quede fija. Aunque puede haber velocidades de rotor seleccionables adicionales para condiciones de vuelo particulares, una vez que se ha seleccionado la velocidad, la variación de potencia se realiza a través del cambio del paso de las palas del rotor en vez de la variación de la velocidad, con el fin de garantizar que las frecuencias de las palas del rotor se mantengan en las franjas preestablecidas y se consiga un rendimiento óptimo.

A medida que se reduce la potencia, disminuye la eficacia de los rotores 24, 26 como reguladores de la turbina 36 de potencia. Es decir, el empeoramiento aumenta a medida que el paso se aproxima al "pozo" de CP, en donde cambios relativamente grandes en el ángulo de las palas del rotor no producen un gran cambio en la absorción de potencia. La "zona peligrosa" del "pozo" de CP es la franja donde que no se pueden controlar de manera eficaz los rotores 24, 26 mediante el cambio del paso de las palas del rotor. Por ejemplo, si se selecciona durante el vuelo un paso de pala del rotor inferior al punto o posición de mínimo paso, la velocidad aerodinámica de avance de la aeronave puede provocar que el rotor actúe como un molino de viento, lo que incrementa la potencia entregada al sistema, de forma que el rotor puede sobreacelerarse. Si se continúa desplazando el ángulo de pala dentro del "pozo", en la dirección de disminuir el paso, esto se traducirá en un aumento de la sobreaceleración hasta que el ángulo de pala llegue a la zona de "empuje invertido", en donde una disminución adicional del ángulo de la pala comenzará a absorber potencia, reduciendo así la velocidad de la hélice, lo que es contraintuitivo. En ciertas situaciones, esta "zona peligrosa" del "pozo" de CP puede dar lugar a inversión de las órdenes, produciendo la sobreaceleración de los rotores.

El punto de mínimo paso es el menor ángulo de pala en el modo de control de velocidad fija, por debajo del cual no se puede controlar con eficacia la velocidad del rotor. Sin embargo, hay que pasar por el punto de de mínimo paso para llegar al paso de empuje invertido. El módulo 58 de control de rotor cambia al modo de control beta, en el cual se regula directamente el paso de la pala del rotor en lugar de su velocidad. El modo de control beta se utiliza normalmente una vez que la aeronave ha tomado tierra y cuando la potencia es relativamente baja, por ejemplo en la marcha en vacío en tierra, operaciones en tierra u operaciones de marcha atrás.

Se hará referencia a la Figura 5, una realización no limitante de un sistema 80 de control con entradas y salidas para controlar los rotores contra-rotatorios no carenados 24, 26 del CROR 20. Las conexiones mecánicas se han dibujado como líneas gruesas desde el motor 22 de turbina de gas hacia el sistema 38 de engranajes, dividiéndose después en dirección a los rotores contra-rotatorios no carenados 24, 26. Las ventanas de función con borde negro grueso entre los trayectos mecánicos representan las relaciones matemáticas generadas por los sistemas mecánicos.

El módulo 58 de control de rotor se comunica con el sistema 50, 52 de cambio de paso y con un módulo 82 de control de motor tal como un control electrónico digital de autoridad plena (FADEC, por sus siglas en inglés) que se comunica con el motor 22 de turbina de gas. Los módulos 58, 82 de control ejecutan algoritmos que se describen en términos de bloques funcionales, y los expertos en la técnica, con el beneficio de esta descripción, entenderán que estas funciones se pueden implementar, o bien en circuitería física dedicada o bien en rutinas de software programado, aptas para ser ejecutadas en realizaciones de módulos de control basados en microprocesador, con diversas configuraciones.

Comenzando en el motor 22 de turbina de gas, Npt es la velocidad de la turbina 36 de potencia y T es el par de la turbina 36 de potencia, que es esencialmente la potencia entregada al sistema de engranajes 38. La salida del sistema 38 de engranajes tiene dos trayectos, porque la caja de engranajes planetarios diferenciales proporciona las dos salidas en contrarrotación hacia los rotores contra-rotatorios no carenados 24, 26.

T1 y Nr1 son el par y la velocidad hacia el rotor anterior 24, y T2 y Nr2 son par y la velocidad hacia el rotor posterior 26. La física del sistema 38 de engranajes genera las siguientes relaciones matemáticas:

$$Nr1 + Nr2 = C * Npt \quad (1)$$

$$T1 = K * T2 \quad (2)$$

en donde

- Nr1 es la velocidad del rotor anterior;
- Nr2 es la velocidad del rotor posterior;
- Npt es la velocidad de la turbina de potencia;
- T1 es el par del rotor anterior;
- T2 es par del rotor posterior;
- C es una constante del sistema de engranajes; y

K es una constante del sistema de engranajes.

5 En el control de velocidad fija con regulación isócrona de velocidad, se mide la velocidad del rotor y se desea que permanezca constante. El módulo 58 de control de rotor puede aumentar o disminuir el ángulo de la pala con el fin de absorber más o menos potencia de la entregada por el motor de turbina de gas, con el fin de mantener constante la velocidad del rotor. La señal de aumento o disminución se denomina BetaDOT, que significa "tasa de cambio de Beta". Para un gobierno estable en el modo de control de velocidad fija es deseable medir el ángulo de pala del rotor. Para las operaciones de asistencia en tierra, tales como la rodadura y el funcionamiento con empuje invertido, es conveniente hacer funcionar el sistema en el modo de control beta. Se requiere retroalimentación beta para ese propósito.

10 Debido a la proximidad del rotor anterior 24 con la estructura estacionaria del motor 22 de turbina de gas, se puede utilizar tecnología convencional para proporcionar retroalimentación de velocidad (Nr1) y beta al módulo 58 de control de rotor. El rotor posterior 26 está relativamente alejado de la estructura estacionaria del motor 22 de turbina de gas, y las señales del rotor posterior 26 deben atravesar al menos dos interfaces en rotación, así como el sistema 38 de engranajes.

15 Para controlar el paso de pala de los rotores contra-rotatorios no carenados 24, 26, se comunican dos bucles de retroalimentación al módulo 58 de control de rotor. Se comunican al rotor anterior 24 una señal de retroalimentación de ángulo de pala (retroalimentación Beta1) y una tasa de cambio mandada de la señal de ángulo de pala (Beta1DOT mandada). Se comunican al rotor posterior 26 una señal de retroalimentación de ángulo de pala (retroalimentación Beta2) y una tasa de cambio mandada de la señal de ángulo de pala (Beta2DOT mandada). En la jerga de control, la elección una tasa de, por ejemplo, cambio de un ángulo de pala del rotor a razón de 3 grados por segundo en la dirección positiva, constituye una orden de tasa de variación y, por lo general, en inglés se denomina DOT a la primera derivada, por lo que BetaDOT sería la tasa de cambio en beta.

El ángulo de pala real del rotor y la velocidad Nr1 del rotor se pueden medir directamente a través de, por ejemplo, sensores magnéticos duales fijados a la estructura estacionaria, adyacentes al rotor anterior 24 para comunicarse con el módulo 58 de control de rotor.

25 La velocidad de rotación del rotor posterior 26 (Nr2 derivada) se calcula a partir de las funciones matemáticas precedentes, de la manera siguiente. Es habitual y necesario que los fabricantes de motores de turbina de gas midan la velocidad de la turbina 36 de potencia con el fin de proporcionar protección de reserva contra la sobreaceleración accidental y para procurar regulación en infraaceleración durante el funcionamiento en modo beta del sistema de rotor. Normalmente se envía esta señal al control 82 del motor para dicha función, y por lo tanto está disponible para el control 58 del rotor. Se puede calcular entonces Nr2 mediante la fórmula $Nr2 = C * Npt - Nr1$. Es decir, en esta realización, la velocidad del rotor posterior se deduce - no se mide. Con Beta1, Beta1DOT, Beta2, Beta2DOT y la velocidad de rotación del rotor posterior 26 (Nr2) se consigue fácilmente el gobierno de la velocidad, con el fin de controlar el ángulo de pala y evitar que el motor 22 se sobreacelere, y mantener la potencia dentro de los límites deseados dentro de diversos regímenes. Sin embargo, esto requiere transmitir las señales Beta2 y Beta2DOT a través de múltiples interfaces en rotación entre el rotor posterior 26 y el módulo 58 de control de rotor, lo que puede ser complicado.

40 En esta configuración, el rotor posterior 26 es totalmente utilizable para operaciones en tierra y con empuje invertido bajo control beta, del mismo modo que el rotor anterior 24 (Figuras 6 y 7). Es decir, se procura una relación lineal entre Beta1 real y Beta1 mandado, así como entre Beta2 real y Beta2 mandado. Esta relación lineal permite ordenar un paso negativo o bien un paso positivo, y que los rotores 24, 26 adopten ese paso mandado. Así, no existen restricciones para el modo beta en operaciones en tierra u operaciones con empuje invertido.

45 Haciendo referencia a Figura 8, para medir la señal de retroalimentación de ángulo de pala (retroalimentación Beta2) del rotor posterior 26, está conectado un conjunto 90 de retroalimentación al actuador posterior 56 para cambio de paso. El conjunto 90 de retroalimentación incluye a grandes rasgos un eje 92 de retroalimentación, un LVDT 94, una junta deslizante 96 y cojinetes 98A, 98B. El eje 92 de retroalimentación se mantiene rotacionalmente estacionario sobre los cojinetes 98A, 98B, a fin de proporcionar un camino rotacionalmente estacionario desde el actuador posterior 56 para cambio de paso hasta el LVDT 94. El cojinete 98A permite la rotación entre el eje 92 de retroalimentación y el rotor anterior 24, mientras que el cojinete 98B permite la rotación entre el eje 92 de retroalimentación y el rotor posterior 26.

50 El conjunto 90 de retroalimentación vigila directamente la posición axial del actuador posterior 56 para cambio de paso. Esta retroalimentación puede ser necesaria sólo por debajo de la posición de "vuelo a mínima carga". El eje 92 de retroalimentación incluye un tope axial 92S, de modo que el eje 92 de retroalimentación está restringido axialmente por encima de la posición de "vuelo a mínima carga". El movimiento axial adicional del actuador posterior 56 para cambio de paso por encima de la posición de "vuelo a mínima carga" es absorbido por la junta deslizante 96, por ejemplo un muelle que se comprime si se supera la posición de "vuelo a mínima carga", con el fin de reducir al mínimo la carrera aplicada al LVDT 94. La limitación de la carrera aumenta la fidelidad de medición que se exige al LVDT 94. Debe entenderse que, como alternativa o adicionalmente, se pueden proporcionar otros distintos sistemas de medición.

Se hará referencia a la Figura 9, otra realización no limitante de un sistema 100 de control con entradas y salidas para

controlar los rotores contra-rotatorios no carenados 24, 26 del CROR 20. En esta realización no limitante, la velocidad de rotación del rotor posterior 26 (Nr2 derivada) se calcula mediante las funciones matemáticas discutidas más arriba, y se elimina la señal de retroalimentación Beta2.

5 Para ordenar al rotor posterior 26 que aumente el paso o bien que disminuya el paso, está disponible suficiente información gracias a las relaciones matemáticas del sistema 38 de engranajes. Es decir, se miden la velocidad Npt de salida de la turbina de potencia y la velocidad Nr1 del rotor anterior y después, mediante las relaciones matemáticas, se calcula la velocidad Nr2 de rotor del rotor posterior 26. El control de la velocidad del rotor en el modo de gobierno por velocidad se lleva a cabo de la misma manera que se ha descrito más arriba para el sistema de la Figura 5, salvo porque las ganancias dinámicas utilizadas para determinar Beta2Dot deben estar diseñadas para que sean compatibles con la condición de funcionamiento menos estable.

10 Puesto que el sistema 100 de control no recibe la señal Beta2 de retroalimentación, al introducir un límite de carrera o un punto de parada físico en el acoplamiento de accionamiento se evita que el rotor posterior 26 adopte el paso de empuje invertido. Es decir, al eliminar el control beta para el rotor posterior 26, se evita que el rotor posterior 26 adopte un paso menor que el punto de mínimo paso (Figura 3). Las operaciones con control beta (por debajo del punto de mínimo paso), tales como la inversión del empuje y otras operaciones en tierra, son ejecutadas exclusivamente por el rotor anterior 24, ya el rotor posterior 26 se mantiene fijo en el punto de mínimo paso cuando se ordena al rotor anterior 24 que adopte un paso menor que el punto de mínimo paso.

15 Siempre que el sistema 100 de control esté en el modo de control beta, el rotor posterior 26 se encuentra en el punto de mínimo paso, y solamente el rotor anterior 24 adoptará ángulos de pala bajos y de empuje invertido. En esta configuración, no se utiliza el rotor posterior 26 para las operaciones en tierra y con empuje invertido bajo control beta, como sí ocurre, sin embargo, con el rotor anterior 24 (Figuras 10 y 11). Es decir, se procura una relación lineal entre Beta1 real y Beta1 mandado, mientras que la relación lineal entre Beta2 real y Beta2 mandado se corta en el punto de mínimo paso.

20 En una realización no limitante, el rotor posterior 26 está físicamente restringido al punto de mínimo paso mediante la limitación física de la carrera del actuador posterior 56 para cambio de paso. Es decir, durante la operación en tierra, se puede llevar el rotor posterior 26 al punto de paso mínimo (denominado frecuentemente punto de "vuelo a mínima carga") y el empuje hacia delante y hacia atrás se controla mediante una combinación de potencia del motor y control beta del rotor anterior 24.

25 Como estrategia de control alternativa, se puede llevar el rotor posterior 26 al punto de parada físico de "hélice en bandera" (Figura 3), ya que el uso del punto de parada mecánico de paso mínimo para el rotor posterior 26 requiere un control de empuje en tierra basado exclusivamente en cambios del paso de pala del rotor anterior 24. Con el rotor posterior 26 en un ángulo de pala de "vuelo a mínima carga", se requiere del rotor delantero 24 una cantidad relativamente mayor de empuje inverso, debido al empuje hacia delante generado por el rotor posterior 26 cuando se aplica potencia invertida, ya que el rotor posterior 26 está restringido al punto de mínimo paso. Como alternativa, para maximizar el empuje inverso neto se puede llevar el rotor posterior 26 al ángulo de pala ("hélice en bandera") que minimice el empuje hacia delante procedente del rotor posterior 26. Esto puede ser particularmente ventajoso cuando se aplica inversión del empuje después de tomar tierra, con el fin de minimizar la carrera de parada de la aeronave.

30 Aunque la minimización del empuje hacia delante generado por el rotor posterior 26 es ventajoso desde la perspectiva de las prestaciones de frenado de una aeronave después de tomar tierra, también puede ser ventajosa la minimización de la variación de la velocidad de rotación, así como la minimización de la velocidad media de rotación del rotor posterior 26 en la operación con inversión de empuje. La reducción al mínimo de las zonas de potencial funcionamiento por velocidad del rotor posterior 26 puede ser crítica para asegurar que se evite hacer funcionar el rotor posterior de forma continua a una velocidad que pueda excitar cualquier frecuencia natural de las palas del rotor. El evitar esto minimizará la posibilidad de acumulación de deterioro por fatiga en los conjuntos de rotor.

35 En el improbable caso de una pérdida de presión hidráulica del sistema de propulsión, están montados contrapesos 102 (Figura 12) en la base de cada una de las palas 24B, 26B del rotor, para proporcionar el aporte de energía necesario para impulsar las palas 24B, 26B del rotor a un paso elevado, con el objetivo de procurar un modo de fallo seguro mediante la eliminación de cualquier situación potencial de sobreaceleración del motor.

40 Un sistema electrónico independiente de protección contra la sobreaceleración y la parada con paso bajo, tal como el descrito en la patente de EE.UU. n.º 6422816 B1, provee protección en el caso de un fallo del sistema de control que de otro modo podría dar lugar a un aumento del número de revoluciones del rotor saliendo de los límites establecidos, o a un ángulo de pala mandado menor que los límites establecidos. En el caso de una pérdida total de alimentación eléctrica al sistema de control de rotor, los rotores 24, 26 son accionados hidráulicamente hacia el paso máximo ("en bandera") para evitar la sobreaceleración, así como violaciones de punto de mínimo paso durante el vuelo. Esto se puede lograr mediante la aplicación de un sesgo eléctrico nulo en la servoválvula electrohidráulica, de modo que, sin alimentación eléctrica a la válvula, la disposición de las bocas es tal que los actuadores 54, 56 son siempre empujados hidráulicamente en la dirección de aumento del paso.

Otra realización no limitante limita el movimiento del rotor posterior 26 al punto de mínimo paso por medio de un

bloqueo del paso tal como el descrito en la solicitud de patente de EE.UU. n.º 2007/0212220A1. En esta realización no limitante, pueden disponerse simétricamente múltiples bloqueos de paso en torno a los actuadores anterior y posterior del rotor, que bloqueen y eviten los desplazamientos no deseados en la dirección de menor paso en caso de pérdida de potencia hidráulica. Esto permite reducir o eliminar los contrapesos, lo que conlleva una reducción del peso del sistema.

5
10
15
20
25
30
35
40

Haciendo referencia a la Figura 13, se ilustra esquemáticamente otra forma de realización no limitante de un sistema 110 de control con entradas y salidas para controlar los rotores contra-rotatorios no carenados 24, 26 del CROR 20. En esta realización no limitante, los sistemas 50, 52 de cambio de paso están acoplados mecánicamente, por ejemplo mediante un husillo de bolas. El ángulo de pala del rotor anterior 24 (Beta1) es mandado, y el ángulo de pala del rotor posterior 26 (Beta2) le sigue, de modo que existe una relación funcional mecánica $B2 = f(B1)$. La relación está predeterminada como se describe en la solicitud de patente de EE.UU. n.º 2010/0310369 A1. Esta configuración suprime la necesidad de señales de retroalimentación para Nr2 y Beta2, así como la señal de mando Beta2DOT procedente del rotor posterior 26. Esto reduce al mínimo la complejidad.

En esta configuración, el rotor posterior 26 se utiliza para las operaciones en tierra y con empuje invertido bajo control beta (Figuras 14 y 15). Aunque se ha procurado una relación lineal entre Beta1 real y Beta1 mandado, del control del rotor posterior 26 a través del rotor anterior 24 se origina una relación no lineal entre los resultados de Beta2 real y Beta1 mandado.

La relación no lineal entre Beta2 real y Beta2 mandado puede establecerse a través de una función de programación procurada, por ejemplo, mecánicamente con una leva u otro acoplamiento mecánico, de modo que la absorción de potencia de los rotores 24, 26 se mande con una sola señal. Así, se manda Beta1 de manera que Beta1 real sea lineal, mientras que Beta 2 es una función no lineal.

Aunque puede que el rotor posterior 26 esté controlado con precisión algo menor que el rotor anterior 24, de hecho se puede mejorar la acústica del CROR 20, ya que se reduce la generación de ruido debido a que las velocidades de los rotores 24, 26 son ligeramente diferentes. Dado que los rotores 24, 26 están situados en serie dentro del flujo de aire, la absorción de energía de cada rotor es distinta, de forma que, cuando se hacen funcionar al unísono, la función reduce ventajosamente la generación de ruido. En otras palabras, un rotor 24, 26 estará girando a la velocidad ordenada, mientras que el otro rotor 26, 24 lo hará a una velocidad próxima, pero distinta, de manera que el resultado final es un CROR 20 relativamente más silencioso.

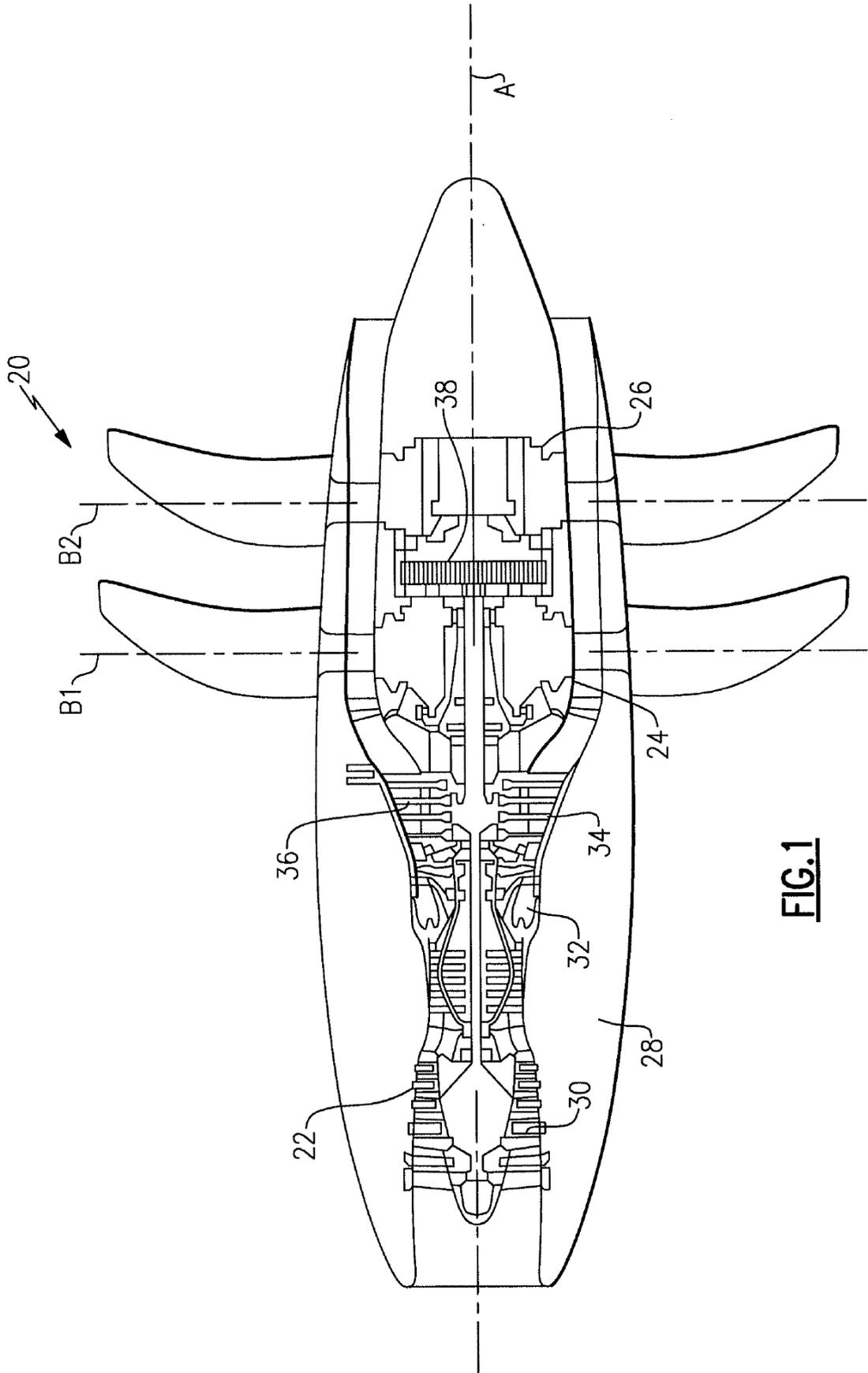
Se entenderá que números de referencia similares identifican elementos correspondientes o similares en los distintos dibujos. También debe entenderse que, aunque en la realización ilustrada se haya descrito una disposición particular de los componentes, otras disposiciones se beneficiarán de esto mismo.

Aunque se muestran, describen y reivindican secuencias de pasos específicos, debe entenderse que los pasos se pueden realizar en cualquier orden, separados o combinados salvo indicación en contrario, y continuarán beneficiándose de la presente descripción.

La descripción que antecede es ilustrativa, y no está definida por sus limitaciones. Aunque en la presente memoria se describen diversas realizaciones no limitantes, un experto ordinario en la técnica reconocerá que diversas modificaciones y variaciones a la luz de las enseñanzas anteriores pueden entrar dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas. Debe entenderse por tanto que, dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas, se puede poner en práctica la descripción de manera distinta a la específicamente descrita. Por esa razón se deben estudiar las reivindicaciones adjuntas para determinar el alcance y contenido verdaderos.

REIVINDICACIONES

1. Un método para controlar un rotor abierto contra-rotatorio (CROR) que comprende los pasos de:
acoplar mecánicamente, con una leva u otro acoplamiento mecánico, un sistema (50) de cambio de paso de un primer rotor (24) con un sistema (52) de cambio de paso de un segundo rotor (26); y
- 5 ordenar un ángulo de pala (Beta1 mandado) del primer rotor, de modo que un ángulo de pala (Beta2 real) del segundo rotor sea una función del ángulo de pala mandado (Beta1 mandado), a fin de procurar una relación lineal entre un ángulo de pala real (Beta1 real) y Beta1 mandado del primer rotor y una relación no lineal entre Beta2 real y Beta1 mandado, por medio de una función de programación procurada mecánicamente por dicha leva u otro acoplamiento mecánico.
- 10 2. El método según la reivindicación 1, en donde el primer rotor es un rotor anterior (24) y el segundo rotor es un rotor posterior (26) a lo largo de un eje común (A) de rotación de un rotor abierto contra-rotatorio en configuración impulsora.
3. El método según la reivindicación 1 o 2, que comprende además ubicar un sistema (38) de engranajes que mueve el primer rotor (24) y el segundo rotor (26), axialmente entre el primer rotor (24) y el segundo rotor (26).
- 15 4. El método según la reivindicación 1, 2 o 3, en donde la velocidad de rotor del segundo rotor (26) es un resultado de bucle abierto que depende de la velocidad mandada del primer rotor (24).
5. El método según cualquier reivindicación precedente, en donde la absorción de potencia de los rotores (24, 26) se manda con una señal de mando.
6. Un rotor abierto contra-rotatorio (CROR) que comprende
un primer rotor (26);
- 20 un primer sistema (52) de cambio de paso para cambiar un paso de dicho primer rotor (26);
un segundo rotor (24);
un segundo sistema (50) de cambio de paso para cambiar un paso de dicho segundo rotor (24);
caracterizado por que dicho segundo sistema (50) de cambio de paso está acoplado mecánicamente, por medio de una leva u otro acoplamiento mecánico, a dicho primer sistema (52) de cambio de paso;
- 25 y por que el CROR comprende además:
un módulo (58) de control de rotor que se puede hacer funcionar para ordenar un ángulo de pala (Beta1 mandado) de dicho primer rotor (26) de modo que un ángulo de pala (Beta2 real) de dicho segundo rotor (24) sea una función de dicho ángulo de pala mandado (Beta1 mandado), en donde existe una relación no lineal entre Beta2 real y Beta1 mandado, por medio de una función de programación procurada mecánicamente por dicha leva u otro acoplamiento mecánico.
- 30 7. El rotor abierto contra-rotatorio (CROR) según la reivindicación 6 en donde dicho primer rotor es un rotor posterior (26) en una configuración impulsora de CROR.
8. El rotor abierto contra-rotatorio (CROR) según la reivindicación 6 o 7, que comprende además un sistema (38) de engranajes que mueve dicho primer rotor (24) y dicho segundo rotor (26), estando dispuesto dicho sistema de engranajes axialmente entre dicho primer rotor (24) y dicho segundo rotor (26).
- 35



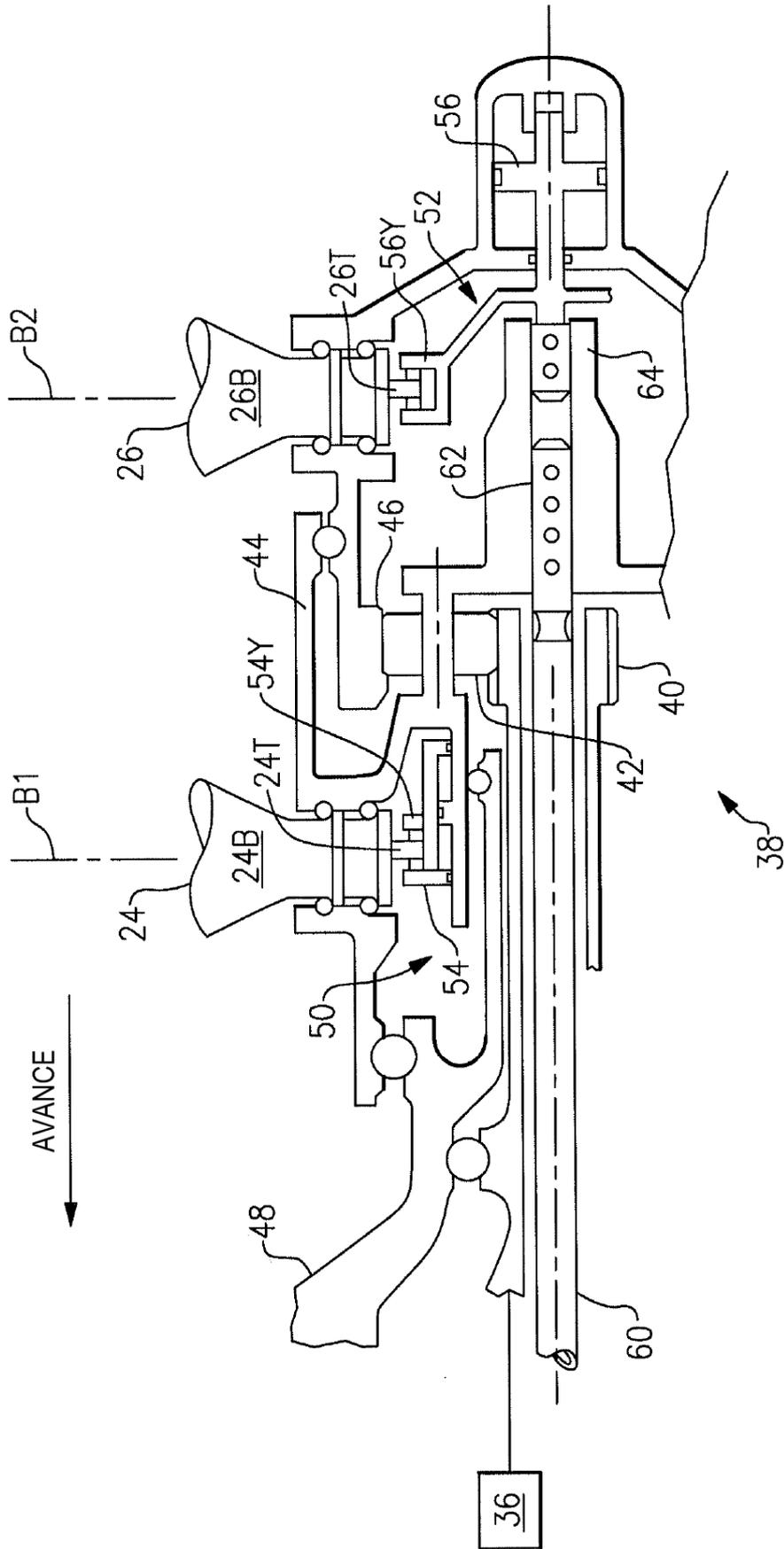


FIG. 2

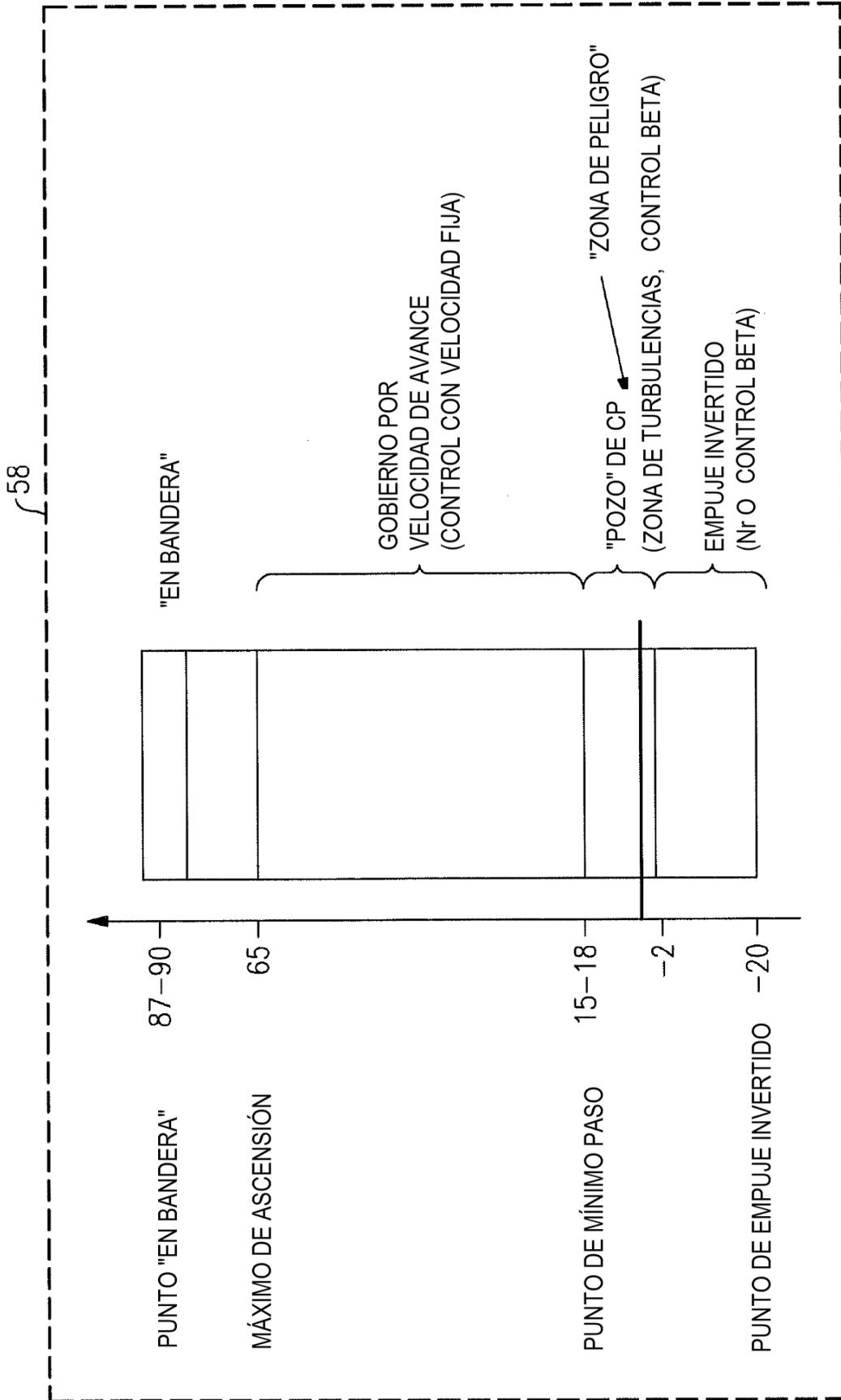


FIG.3

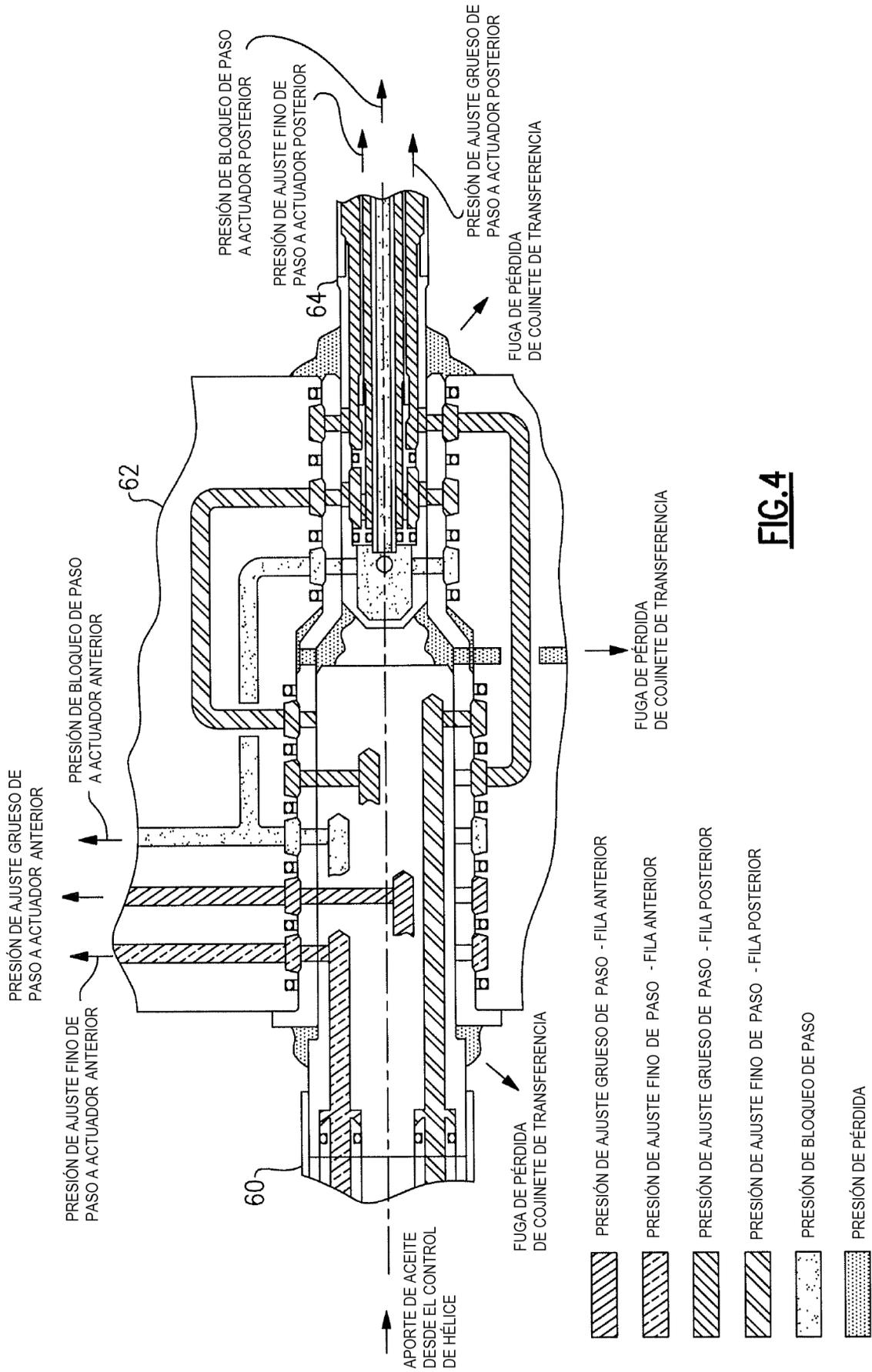


FIG.4

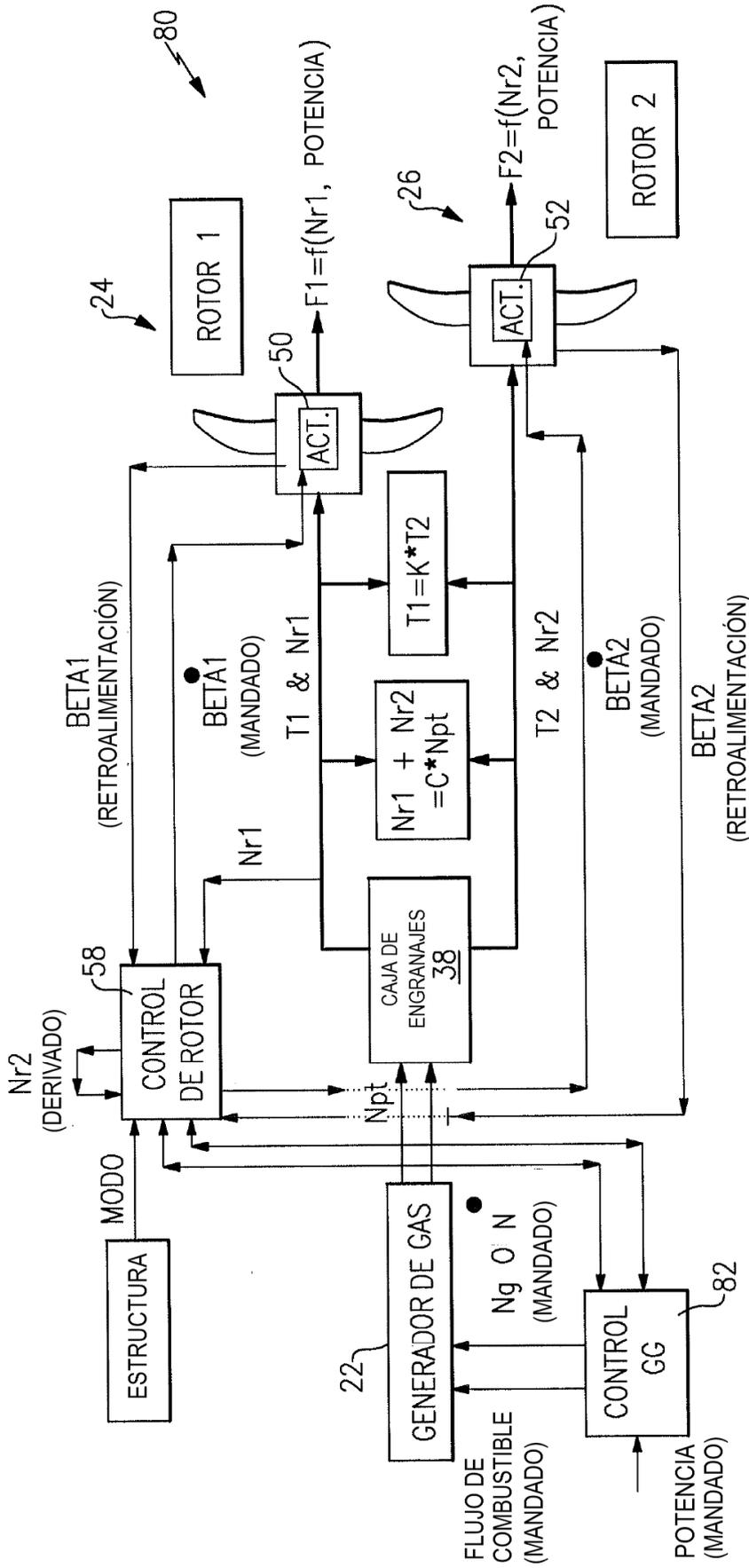


FIG.5

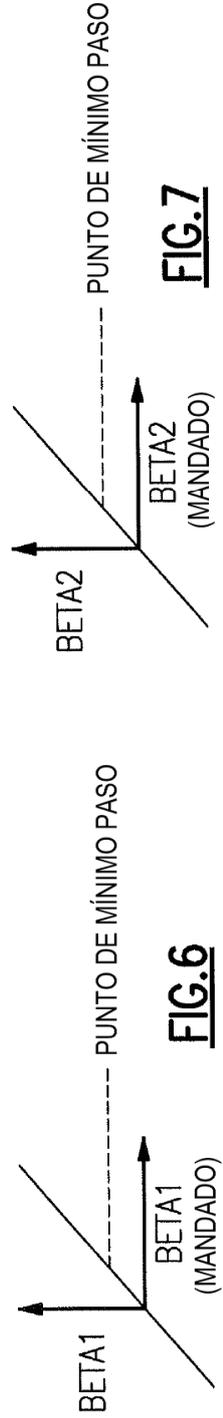


FIG.6

FIG.7

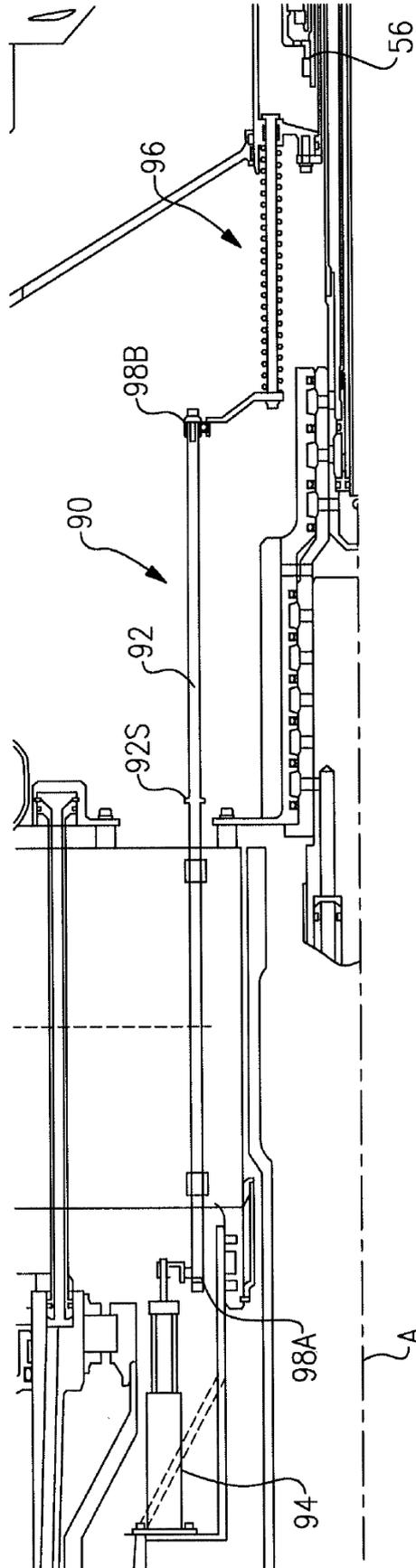


FIG. 8

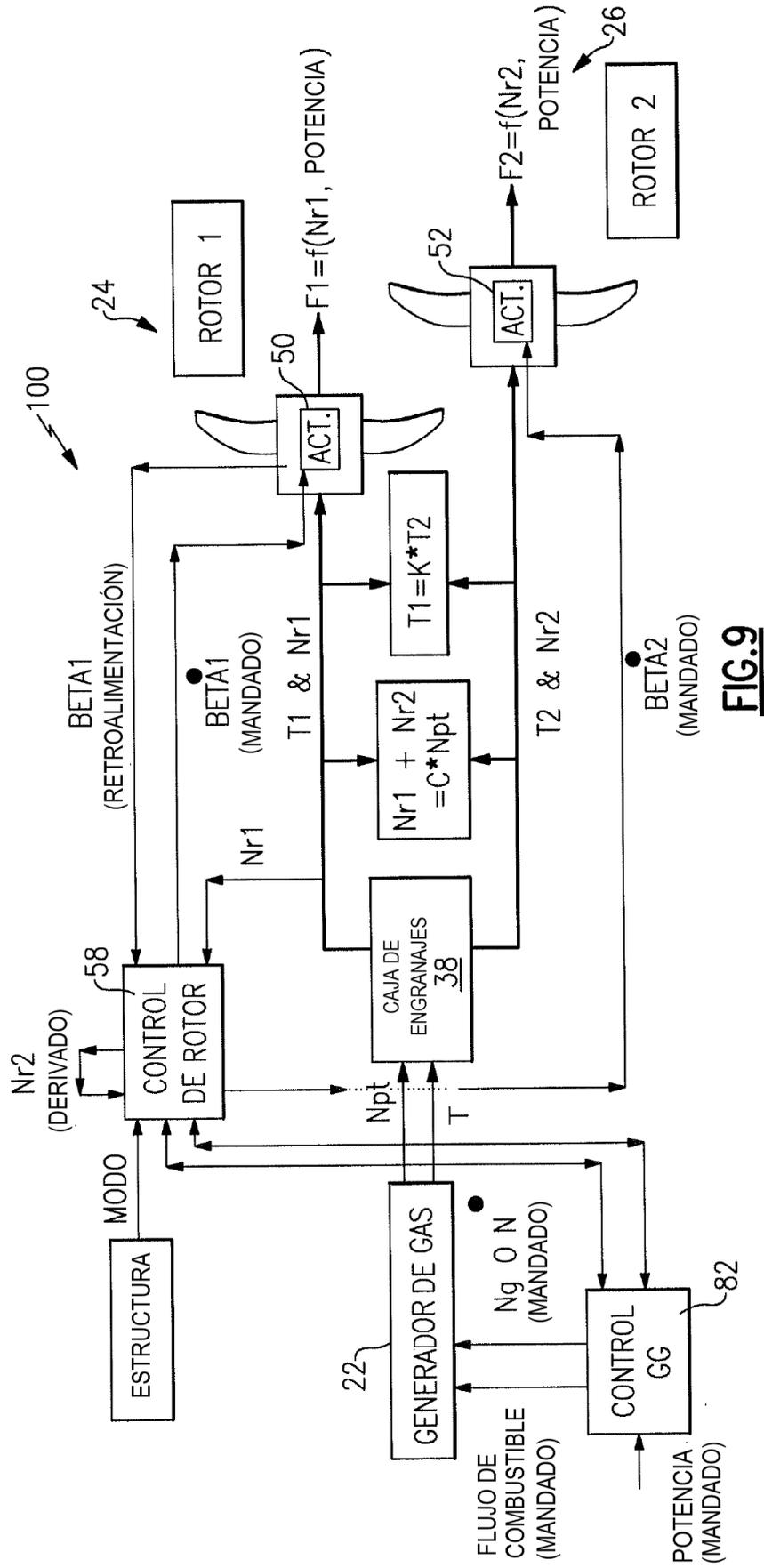


FIG. 9

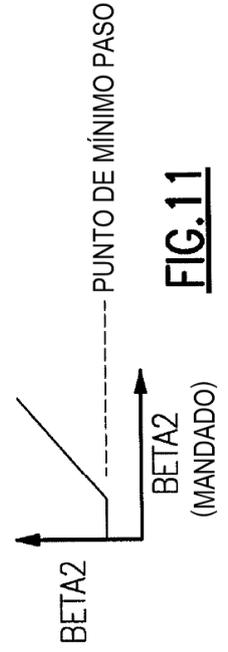


FIG. 11

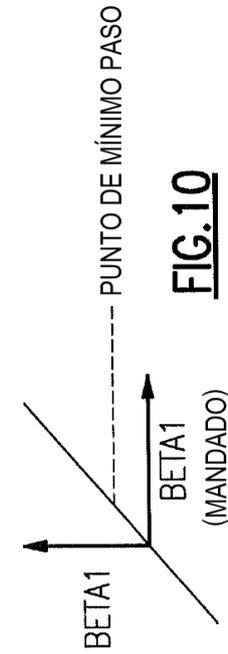


FIG. 10

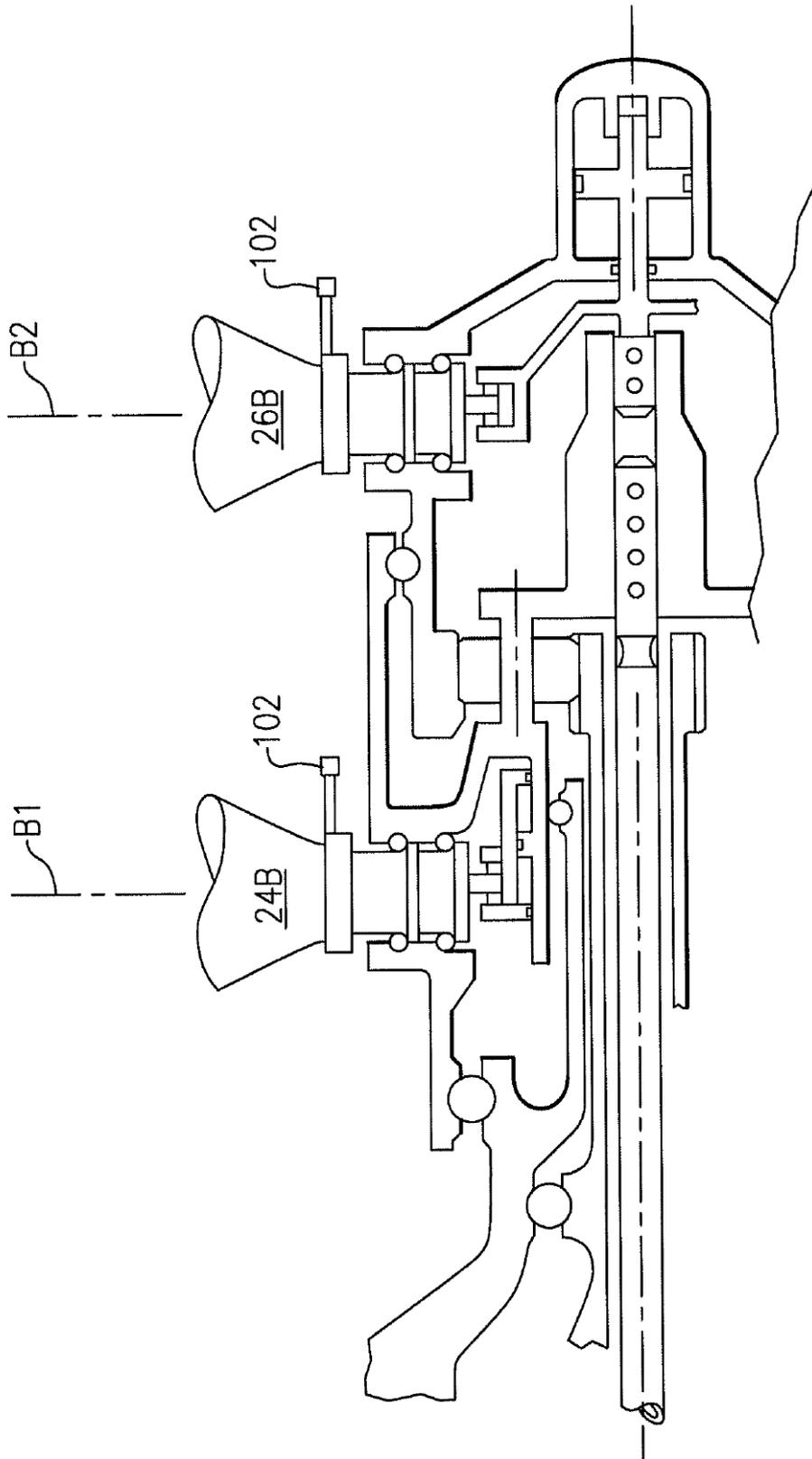


FIG.12

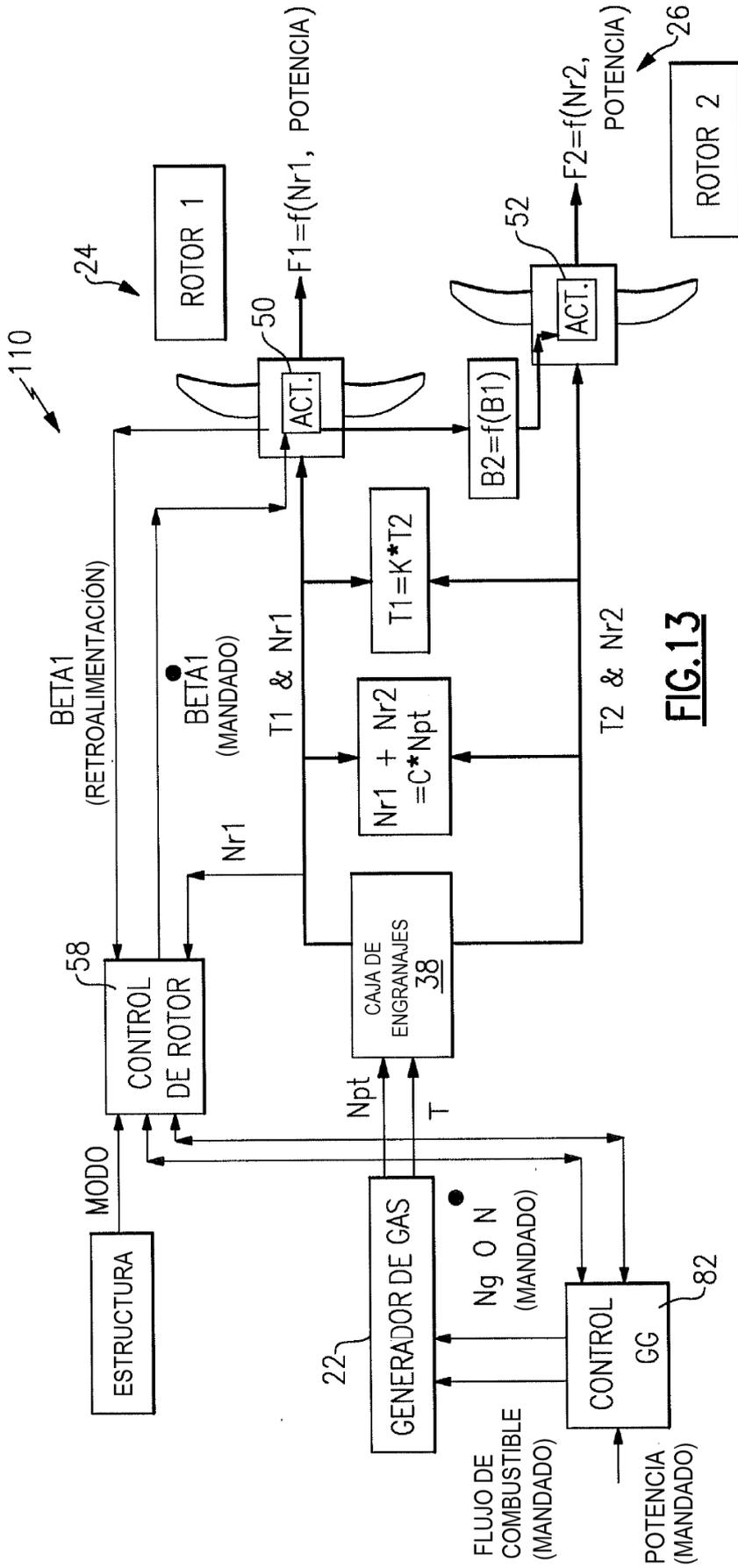


FIG. 13

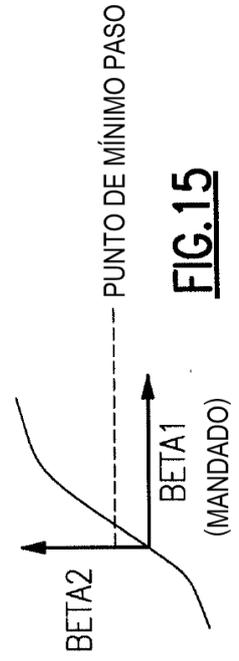


FIG. 14

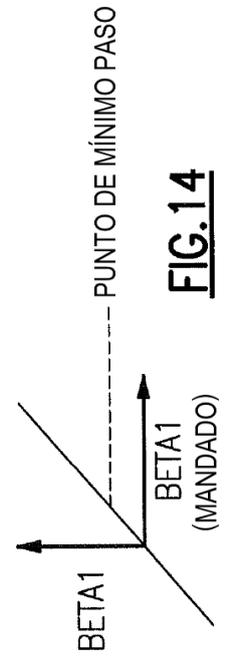


FIG. 15