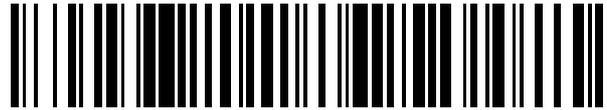


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 529 384**

51 Int. Cl.:

F02K 3/072 (2006.01)
F02C 7/36 (2006.01)
B64C 11/18 (2006.01)
B64C 11/48 (2006.01)
B64D 35/06 (2006.01)
F16H 3/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.02.2010 E 10703157 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.01.2015 EP 2399018**

54 Título: **Sistema de propulsión para vehículo aéreo con diseño de hélice contrarrotativa y método para la reducción del ruido**

30 Prioridad:

13.02.2009 US 371413

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

19.02.2015

73 Titular/es:

**THE BOEING COMPANY (100.0%)
100 North Riverside Plaza
Chicago, IL 60606-2016, US**

72 Inventor/es:

**MOORE, MATTHEW D.;
BOREN, KELLY L. y
LANGTRY, ROBIN B.**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 529 384 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

Sistema de propulsión para vehículo aéreo con diseño de hélice contrarrotativa y método para la reducción del ruido

5 **INFORMACIÓN SOBRE ANTECEDENTES DE LA TÉCNICA**

Campo

Las realizaciones de la invención se refieren en general al campo de los sistemas de propulsión de aviones, y más en particular a realizaciones de una hélice contrarrotativa con una separación variable entre las hileras de palas.

10

Antecedentes

El continuo aumento del coste del combustible para reactores de aviación y la promulgación y el crecimiento previsto de normativas fiscales relacionadas con el carbono ha dado lugar a un resurgimiento entusiasta en toda la industria hacia la tecnología de la hélice exterior o hélice abierta (prop-fan u open-fan), debido a que la demanda de viajes sigue en ascenso con una presión constante para que se minimicen los aumentos en los precios de los billetes. Al mismo tiempo, debido al aumento en los viajes, los límites legales de ruido impuestos por la Administración Federal de Aviación de los Estados Unidos (FAA, United States Federal Aviation Administration, por sus siglas en inglés) y por las agencias internacionales de certificación de motores y aviones (ICAO) se han vuelto más estrictos. En muchos países, las autoridades de aviación locales han impuesto una combinación de tasas, toques de queda de funcionamiento y cupos límite que tienen por objeto contrarrestar el crecimiento en la exposición al ruido y los costes asociados con la reducción del mismo, incluyendo la insonorización de los hogares. Para su aplicación, muchos aeropuertos han instalado micrófonos en vecindarios sensibles al ruido que a día de hoy obligan a los operadores a sacrificar carga útil y/o autonomía para evitar violar estas políticas locales sobre ruido. Además, se prevé que se podrían imponer costes locales relativos a la calidad del aire u otros costes ambientales relacionados con el carbono.

25

Además, la evolución en la demanda de servicios directos entre puntos fijos de mayor alcance que superen los tradicionales mercados de aviones de fuselaje estrecho y la flexibilidad en la operación hacen que los diseñadores hagan más hincapié en la eficiencia en el consumo de combustible que en otras soluciones.

30

Se puede conseguir una mejora en el consumo de combustible mediante la reducción de la velocidad de crucero; sin embargo, esto puede aumentar el tiempo de vuelo y ser no deseado por los pasajeros, el beneficio neto en combustible puede ser realmente pequeño, se pueden originar problemas de integración en el tráfico aéreo, puede que se reduzca el número de vuelos comerciales en un día determinado, y esta estrategia puede realmente dar lugar a un incremento de otros costes de operación de la aerolínea. Con objeto de alcanzar las velocidades de crucero de los aviones a reacción de hoy en día (~ Mach 0,8) se necesitan sistemas de hélices contrarrotativas abiertas (CROF, counter rotating open fans, por sus siglas en inglés), ya que las turbohélices de una sola rotación/etapa están limitadas en la práctica a velocidades de crucero de aproximadamente Mach 0,7 debido a su insuficiente empuje específico.

35

40

Las hélices contrarrotativas abiertas tienen fuentes de ruido complejas que las turbohélices de una sola rotación no tienen; en concreto el ruido de interacción con la estela de la hélice y el ruido de interacción con el torbellino de la punta de la pala. Estas dos fuentes de ruido pueden dar lugar a un ruido ambiental exterior que afecte a las comunidades próximas al aeropuerto, ruido en la cabina que afecte al confort de los pasajeros y a fatiga acústica estructural en el avión.

45

Existe una interrelación muy compleja entre estas fuentes de ruido y el rendimiento propulsivo neto en las diferentes estrategias de diseño. El ruido de interacción con la estela, que es indeseable, y el rendimiento propulsivo, que es deseado, tienden a disminuir al hacerse mayor la separación entre las hélices. Sin embargo, el ruido de interacción con el torbellino, que es indeseable, puede realmente aumentar con la separación dependiendo del número de Mach de la corriente libre, los efectos del flujo localizado, el ángulo de ataque y el diámetro de la hilera de la hélice situada aguas abajo debido a la contracción del tubo de corriente después de la primera hilera de palas.

50

Para los diseñadores es normalmente de mayor prioridad evitar la interacción con el torbellino, aunque los únicos medios en los diseños actuales para llevar a cabo esto es "recortar" o reducir el diámetro del rotor trasero o situado aguas abajo. Sin embargo, esto puede llevar consigo a una penalización en cuanto a rendimiento ya que la eficacia aerodinámica se puede ver comprometida de la misma manera que un ala fija por una pérdida en el ratio envergadura/alargamiento. Una cuestión clave para el diseñador es que la interacción con el torbellino se ve afectada por varios factores. La fuerza del torbellino se ve influenciada fundamentalmente por la carga de la punta de la pala y la trayectoria del torbellino de la punta de la pala se ve muy afectada por el momento de la corriente libre y el ángulo de ataque. A velocidades de crucero menores, el torbellino de la punta de la pala se pliega hacia la parte central del rotor trasero o situado aguas abajo, interaccionando con él y dando origen al ruido de interacción con el torbellino. Debido a esto, los diseñadores de motores CROF de la técnica anterior han optado normalmente por un grado de separación agresivo y un recorte también agresivo (10% o más), de manera que la interacción con el torbellino se evite bajo condiciones límite de operación tales como, por ejemplo, los mayores valores de empuje y

60

65

trayectoria ascendente con una contracción máxima de la columna del torbellino. Esto puede dar lugar a un rendimiento reducido del avión en todas las condiciones de operación.

5 El memorándum técnico de la NASA, documento "Some design philosophy for reducing the community noise of advanced counter-rotation propellers" de James H Dittmar, de 1 de agosto de 2005, analiza que el ruido se considera que es causado por la interacción de las estelas de la hélice situada aguas arriba y de los torbellinos con la hélice situada agua abajo. Las técnicas de reducción del ruido se dividen en dos categorías: 1) reducir la fuerza de las estelas y los torbellinos y 2) reducir la respuesta de las palas situadas aguas abajo a los mismos. Se señala que el ruido de la interacción con la estela se reduce mediante el aumento de la separación de las hélices y la
10 disminución del coeficiente de resistencia de las palas. El ruido de interacción con el torbellino se podría eliminar al pasar los torbellinos por encima de las puntas de las palas situadas aguas abajo, y se podría reducir mediante un aumento en la separación o una disminución en la circulación inicial. La respuesta de las palas situadas aguas abajo se podría reducir mediante un aumento en el parámetro de frecuencia reducida o desfasando la respuesta de diferentes secciones para obtener un efecto de cancelación mutua. Se señala que una separación desigual entre
15 pala y pala en las palas situadas aguas abajo podría tener efectos sobre la molestia que genera el ruido de las hélices contrarrotativas.

COMPENDIO

20 Las realizaciones a modo de ejemplo proporcionan un sistema de propulsión para vehículo aéreo que incorpora un núcleo motor con un eje de potencia para accionar una hilera de palas exterior. El eje de potencia está conectado para la transmisión de potencia con una unidad de transmisión de contrarrotación que acciona una hilera de palas interior en movimiento de contrarrotación con respecto a la hilera de palas exterior. Un actuador se acopla con el eje para su traslación desde una primera posición retraída a una segunda posición extendida.

25 En una primera realización a modo de ejemplo la unidad de transmisión de contrarrotación porta la hilera de palas interior, extendiéndose y estando soportado el eje de potencia a través de la unidad. Un aspecto de la realización incluye una unidad de control de paso de la hilera de palas interior y una unidad de control de paso de la hilera de palas exterior.

30 En una implementación de la realización a modo de ejemplo, la hilera de palas exterior está situada aguas arriba con respecto a la hilera de palas interior en una configuración de tracción y la potencia suministrada por el eje de potencia a la hilera de palas exterior es menor que la potencia suministrada a la hilera de palas interior por la unidad de transmisión de contrarrotación con la hilera de palas exterior en la posición extendida. En una configuración a modo de ejemplo, la relación de la potencia suministrada a la hilera de palas exterior y a la hilera de palas interior es
35 sustancialmente menor que 1,0 durante las secciones operacionales sensibles al ruido del vuelo. Esta realización dispone además que la hilera de palas interior tiene un diámetro recortado en menos del 5% de un diámetro de la hilera de palas exterior.

40 Para adaptarse a los diferentes requisitos operativos, la traslación del eje concéntrico en las realizaciones a modo de ejemplo es variable de forma incremental desde la primera posición hasta la segunda posición. La unidad de transmisión de contrarrotación emplea una transmisión variable continua para obtener una velocidad de rotación variable diferencial entre las hileras de palas interior y exterior, que es ajustable para la traslación de la hilera de palas exterior. La unidad de transmisión de contrarrotación incluye una unidad de control de paso de la hilera de palas interior y la hilera de palas exterior incluye una unidad de control de paso. Se incluye un controlador para el
45 ajuste de la traslación de la hilera de palas exterior, para el control de las unidades de control de paso de las hileras de palas interior y exterior y para el control de la transmisión variable para llevar a cabo un plan de operación predeterminado.

50 En una realización alternativa las hileras de palas interior y exterior comprenden una hélice carenada. En una realización alternativa adicional la hilera de palas exterior está situada aguas abajo con respecto a la hilera de palas interior en una configuración de empuje.

55 La reducción del ruido en una propulsión por hélice contrarrotativa se lleva a cabo proporcionando un núcleo motor, accionando una hilera de palas exterior desde el núcleo motor y accionando una hilera de palas interior desde el núcleo motor. La hilera de palas exterior se separa por traslación de la hilera de palas interior en la operación a baja velocidad y se controla la distribución de potencia entre la hilera de palas interior y la hilera de palas exterior para obtener una generación de potencia menor en la hilera de palas situada aguas arriba en la posición trasladada.

60 Las características, funciones y ventajas que se han analizado se pueden conseguir de forma independiente en diferentes realizaciones de la presente invención o se pueden combinar en otras realizaciones, cuyos detalles adicionales se pueden ver con referencia a la siguiente descripción y dibujos.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

65 La figura 1 es una vista lateral en sección parcial de una primera realización de tracción, con la hilera de palas situada aguas arriba en una posición retraída.

- La figura 2A es una vista lateral de unos componentes seleccionados como se muestran en la figura 1, con la hilera de palas exterior en la posición retraída.
- La figura 2B es una vista lateral de los componentes seleccionados como se muestran en la figura 2A, con la hilera de palas exterior en la posición extendida.
- 5 La figura 3 es una vista lateral parcial en sección de la realización de la figura 1 con la hilera de palas situada aguas arriba en una posición extendida.
- La figura 4A es una vista lateral en sección de los componentes seleccionados como se muestran en las figuras 2A y 2B con la hilera de palas exterior retraída.
- 10 La figura 4B es una vista lateral en sección de los componentes seleccionados como se muestran en las figuras 2A y 2B con la hilera de palas exterior extendida.
- La figura 4C es una vista en sección en detalle de la hilera de palas exterior y la hilera de palas interior con sus unidades de control de paso asociadas y la unidad de transmisión de contrarrotación concéntrica y de buje del eje, con la hilera de palas exterior en la posición retraída.
- 15 La figura 4D es una vista en sección en detalle de la hilera de palas exterior y la hilera de palas interior con sus unidades de control de paso asociadas y la unidad de transmisión de contrarrotación concéntrica y de buje del eje, con la hilera de palas exterior en la posición extendida.
- La figura 4E es una vista parcial en sección de una disposición de motor completa con las hileras de palas, bujes y elementos de cubierta mostrados en sección, con la hilera de palas exterior retraída.
- 20 La figura 4F es una vista parcial en sección de una disposición de motor completa con las hileras de palas, bujes y elementos de cubierta mostrados en sección, con la hilera de palas exterior extendida, y que muestra un sistema de control en forma de diagrama de bloques.
- La figura 5 es una representación gráfica de la planificación de control de la separación en funcionamiento de las hileras de palas.
- 25 La figura 6 es una representación gráfica de la planificación de una relación preferida de potencia del eje entre las hileras de palas situadas aguas arriba y aguas abajo.
- La figura 7 es una representación esquemática del torbellino creado por la hilera de palas situada aguas arriba y su interacción con una hilera de palas recortada situada aguas abajo en los diseños de la técnica anterior.
- 30 La figura 8 es una representación esquemática del torbellino reducido creado por la hilera de palas situada aguas arriba en las realizaciones descritas y su interacción con una hilera de palas situada aguas abajo que tiene un recorte reducido.
- La figura 9 es un gráfico del coeficiente de sustentación y coeficiente de resistencia normalizados de las hileras de palas situadas aguas arriba y aguas abajo.
- 35 La figura 10A es una vista lateral en sección de una realización de una hélice contrarrotativa carenada con una hilera de palas delantera desplazable en su posición retraída.
- La figura 10B es una vista lateral en sección de la realización de una hélice contrarrotativa carenada de la figura 10A con una hilera de palas delantera desplazable en su posición extendida.
- La figura 11A es una vista lateral en sección de una realización con una configuración de empuje que tiene la hilera de palas exterior en su posición retraída.
- 40 La figura 11B es una vista lateral en sección de la realización con una configuración de empuje de la figura 11A que tiene la hilera de palas exterior en su posición extendida.
- La figura 12 es una vista en sección de una realización con una hélice contrarrotativa abierta separada con respecto a un núcleo motor en una configuración de tracción.
- 45 La figura 13 es una vista en sección de una realización con una hélice contrarrotativa abierta separada con respecto a un núcleo motor en una configuración de empuje.
- La figura 14 es un diagrama de flujo del control del funcionamiento de la hélice contrarrotativa abierta para la obtención de un rendimiento optimizado y una reducción del ruido.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

- 50 Las realizaciones descritas en la presente memoria proporcionan hélices contrarrotativas abiertas (CROF) que tienen un posicionamiento/separación ajustable de las hileras adyacentes de palas de perfil aerodinámico durante el funcionamiento, para hacer posible así una optimización en tiempo real del rendimiento y el ruido en secciones seleccionadas del perfil de vuelo. Una primera realización mostrada en la figura 1 emplea una configuración de tracción que tiene un núcleo motor 10 que acciona una hélice o hilera de palas exterior situada aguas arriba 12 y una
- 55 hélice o hilera de palas interior situada aguas abajo 14. En esta realización, la hilera de palas situada aguas arriba tiene un diámetro mayor y es la hilera exterior con respecto al núcleo motor, y la hilera de palas situada aguas abajo es la hilera interior con respecto al núcleo motor y tiene un diámetro menor. Para la descripción de la presente memoria, hélice, hilera de palas y rotor tendrán un significado sustancialmente idéntico. El núcleo motor incorpora unas entradas 16 que proporcionan aire de combustión a una sección de compresor de múltiples etapas 18 con una
- 60 cámara de combustión 20 y una sección de turbina 22. La potencia se transmite a las hileras de palas 12 y 14 por medio de un eje 24 accionado por la sección de turbina 22. La hilera de palas situada aguas abajo incorpora una unidad de control de paso de las palas 26 integrada en una unidad de transmisión de contrarrotación concéntrica 28 de la hélice delantera que se soporta en un cojinete estructural y en un anillo de soporte 30 (como se ve y describe en mayor detalle con respecto a las figuras 4E y 4F). El eje 24 está soportado de forma giratoria por la unidad de

transmisión de contrarrotación concéntrica 28 y transmite potencia por medio de la unidad de transmisión a la hilera de palas interior como se describirá con respecto a las figuras 4A y 4B.

5 Como se ve mejor en las figuras 2A y 2B, el eje 24 se acopla por medio de una placa de presión 32 para el
 10 posicionamiento de la hilera de palas exterior situada aguas arriba 12 con respecto a la hilera de palas interior
 situada aguas abajo 14. Un actuador 34, que en diferentes realizaciones puede ser hidráulico, neumático o
 15 electromecánico, se encaja en la periferia exterior del núcleo motor 10 y proporciona un accionamiento lineal de la
 placa de presión 32 por medio de una varilla de accionamiento lineal 36 y un brazo angulado 38. En la realización
 mostrada el actuador 34 está soportado en una placa de montaje trasera 40 integral con el núcleo motor, a través de
 la cual gira el eje 24 de potencia y que proporciona un punto de soporte adicional del motor, tal y como se analiza
 posteriormente con respecto a las figuras 4E y 4F. La figura 1 y la figura 2A muestran el actuador 34 en una primera
 posición retraída que sitúa la hilera de palas exterior o situada aguas arriba 12 muy próxima a la hilera de palas
 interior o situada aguas abajo 14 para la obtención de un rendimiento máximo optimizado, como se describirá más
 adelante. Las figuras 2B y 3 muestran el actuador 34 en una posición extendida desplazando el eje 24 de
 accionamiento hasta una segunda posición de extensión máxima para la separación de la hilera de palas exterior o
 situada aguas arriba 12 de la interior o situada aguas abajo 14.

20 Las figuras 4A – 4D muestran en detalle la configuración de la unidad de transmisión de contrarrotación 28, la
 unidad asociada de control de paso 26 de la hilera de palas interior, así como la unidad de control de paso 42 de la
 hilera de palas exterior 12. El eje 24 primario hace girar a la unidad de control de paso 42 delantera y unos
 engranajes de contrarrotación 44 de la unidad de transmisión de contrarrotación concéntrica 28 obtienen potencia
 del eje 24 primario mediante su acoplamiento a las acanaladuras 45 del eje 24 para así accionar la unidad de control
 25 de paso 26 trasera de la hilera de palas situada aguas abajo. El mecanismo de engranaje puede disponer de una
 capacidad de transmisión variable continua para así cambiar la relación de transmisión de la distribución de potencia
 entre las unidades de control de paso delantera y trasera de las hileras de palas exterior e interior, respectivamente.
 La combinación de la velocidad de giro de cada hilera de palas y el ajuste del control de paso asociado permite
 llevar a cabo la planificación del empuje real proporcionado por cada hilera de palas.

30 Como se muestra en detalle en las figuras 4C y 4D, una copa de fijación 47 se acopla a las acanaladuras 45 y gira
 concéntricamente con el eje 24, estando soportada por unos conjuntos de cojinetes 49 que están situados dentro de
 la unidad de control de paso 26 de la hilera de palas interior. La unidad de control de paso 42 de la hilera de palas
 exterior incorpora una pestaña trasera 43 que en la posición retraída se aloja en la copa de fijación 47. El giro
 coincidente de la copa de fijación y del eje proporciona un soporte de apoyo adicional para el eje y hace innecesario
 35 todo tipo de requisito de “giro” de los cojinetes cuando ocurre la retracción de la hilera de palas exterior,
 manteniendo una velocidad de giro constante entre la copa de fijación y la pestaña trasera de la hilera de palas
 exterior por el acoplamiento.

40 Las figuras 4E y 4F muestran una configuración a modo de ejemplo de las realizaciones descritas para su
 integración en un avión. El núcleo motor 10 incorpora unos puntos de sujeción 23 y 25, que se complementan por el
 anillo de soporte 30 concéntrico y en realizaciones alternativas por la placa de montaje trasera 40, que se fijan a
 unas conexiones estructurales existentes en un pílón o en un soporte de motor alternativo que tiene puntos de
 anclaje estructurales designados en general como los elementos 31. El núcleo motor 10 está alojado en un carenado
 45 11 y una cubierta aerodinámica dividida 13a, 13b aloja las unidades de control de paso 42 y 26, así como la unidad
 de transmisión de contrarrotación concéntrica 28.

50 En la realización mostrada, las palas situadas aguas arriba 46 en la hilera de palas exterior 12 están diseñadas con
 un factor de eficacia ligeramente inferior al de las palas situadas aguas abajo 48 que constituyen la hilera de palas
 interior 14. El factor de eficacia es una medida de la capacidad de una hélice (o en el caso presente de una hélice
 abierta) para absorber energía. Se define como la relación entre el área de las palas del rotor y el área del disco
 55 rotor. En una realización a modo de ejemplo el factor de eficacia mínimo de la hilera de palas situada aguas arriba
 es de aproximadamente 150 y una relación preferida de factor de eficacia entre la hilera de palas situada aguas
 arriba y la hilera de palas situada aguas abajo es inferior a 0,9. Las puntas 50 de las palas situadas aguas arriba
 pueden incorporar un conformado u otro tratamiento para la reducción de la intensidad del torbellino de la punta de
 la pala.

60 La distribución de la potencia del eje entre la hilera de palas situada aguas arriba y la hilera de palas situada aguas
 abajo es ajustable por medio de la separación entre las palas, el paso de las palas o una combinación de los dos, y
 se regula de forma transparente para el piloto por medio de la utilización del sistema de gestión de vuelo (FMS, flight
 management system, por sus siglas en inglés) y del control digital de motor de plena autoridad (FADEC, full authority
 65 digital engine control, por sus siglas en inglés). Para un ajuste incremental muy fino de esta relación, se puede llevar
 a cabo una actuación sobre el paso de las palas alternas si la hilera de palas tiene un número par de palas. Como se
 muestra en la figura 6, la relación deseada de la potencia del eje aguas arriba/aguas abajo es sustancialmente
 menor que 1 (nominalmente 0,8) para números de Mach de vuelo entre 0,1 y 0,4. Esto hace posible que la hilera de
 palas situada aguas abajo soporte la mayor parte de la potencia total del eje durante el despegue y otras fases
 operacionales sensibles al ruido, reduciendo la intensidad de la distorsión aguas arriba que la pala trasera encuentra

en esta realización mediante un rotor trasero con un recorte total menor que en la técnica actual. Con números de Mach por encima de 0,4 hasta un rendimiento máximo aproximado a Mach 0,8, la relación deseada de la potencia del eje aguas arriba/aguas abajo está entre 1,2 y 1,3 (nominalmente 1,25), haciendo posible que la hilera de palas situada aguas arriba soporte la mayor parte de la potencia del eje a velocidades de crucero mayores. La reducción combinada del ruido de interacción con la estela que proporciona la relación preferida entre el coeficiente de sustentación y el coeficiente de resistencia (CL/CD, coefficient of lift / coefficient of drag, por sus siglas en inglés) y la reducción de la potencia del eje en la hilera de palas situada aguas arriba hace posible una separación menor cuando la hilera de palas situada aguas arriba está retraída en una posición segunda o de alto rendimiento para lograr así un ruido de interacción con la estela constante y una mayor eficacia en la propulsión. Además, la reducción de la potencia del eje y del mach relativo en la parte de punta de la hilera de palas situada aguas arriba reduce la fuerza del torbellino de la punta de la pala y el ruido.

La realización descrita proporciona un rendimiento máximo en la posición retraída o de mínima separación. Como se muestra en la figura 5, que proporciona una planificación de la separación en funcionamiento preferida entre la hilera de palas situada aguas arriba y la hilera de palas situada aguas abajo, las palas se disponen inicialmente en la posición de separación mínima que es aproximadamente de 0,1 a 0,2 veces el diámetro del disco de las palas situadas aguas arriba, con activación de la extensión de la hilera de palas situada aguas arriba hasta aproximadamente 0,4 a 0,5 veces el diámetro del disco de las palas situadas aguas arriba a aproximadamente Mach 0,4. Esto hace posible una separación óptima de las hileras de palas para hacer mínimo el ruido a baja velocidad, durante el despegue y en las fases operacionales del ascenso inicial. En las realizaciones mostradas, el desplazamiento incremental de las hileras de palas entre las posiciones extendida y retraída hasta alcanzar la separación y la distribución de la potencia del eje deseadas se regula mediante tablas de rendimiento en un control digital de motor de plena autoridad (FADEC) como una función del ángulo de ataque (AOA, angle of attack, por sus siglas en inglés) y de la velocidad aerodinámica o del número de Mach. La contracción del tubo de corriente es una función consistente y medible del AOA y del número de Mach que se puede calcular a partir de los datos proporcionados por la central aerodinámica (ADS, air data system, por sus siglas en inglés) del avión y que se suministra junto con la salida del sistema de gestión de vuelo (FMS) al control digital de motor de plena autoridad (FADEC) para llevar a cabo el control del avión. La lógica de separación protege por tanto de forma nominal el rotor situado aguas abajo de la interacción con los torbellinos de las puntas de las palas creados por el rotor situado aguas arriba que sigue al tubo de corriente. Una capacidad incorporada dentro de un controlador integrado de la unidad de control de paso (PCU, pitch control unit, por sus siglas en inglés) y dentro de la lógica de los sistemas FADEC para reducir de forma parcial la sustentación generada por las palas de la hilera que se desplaza; reduciendo de esta forma la potencia requerida por el actuador para el desplazamiento de la hilera. La configuración, tal y como se describe con respecto a las figuras 1 a 4F, hace posible la extensión del actuador para el posicionamiento de la hilera de palas situada aguas arriba en la posición extendida.

Se proporciona una compensación frente a una condición anómala en el sistema para fijar las hileras de palas o retraer la hilera de palas situada aguas arriba. En concreto, cuando el avión pasa la sección sensible al ruido del plan de vuelo se emplea un mecanismo de inmovilización para fijar en posición el disco de la hélice frontal, de manera que si ocurre una pérdida de presión hidráulica o neumática se evita una extensión brusca del disco rotor frontal, lo cual podría afectar a la estabilidad del avión o dar lugar a una operación del motor. Se prefieren los sistemas de inmovilización mecánicos para las situaciones en las que el disco rotor está completamente retraído, aunque se recomienda un sistema fluido que consta de una válvula de retención para las situaciones en las que ocurre un fallo en el sistema actuador mientras el disco rotor está parcialmente extendido. Cada uno de los sistemas a modo de ejemplo evita la extensión brusca del disco rotor frontal.

En los sistemas CROF convencionales, la parte central del torbellino 52 producido por la hilera de palas situada aguas arriba requiere que se recorte la hilera de palas situada aguas abajo, como muestra la figura 7, para reducir la interacción del ruido con el torbellino cuando las hileras de palas se separan para minimizar el ruido de interacción con la estela. Debido a que el movimiento del torbellino de la punta de la pala se regula en función de la velocidad aerodinámica delantera y el ángulo de ataque de entrada, el recorte se fija normalmente a un nivel por medio del cual se evita la interacción con el torbellino por encima de las condiciones límite durante las secciones operacionales sensibles al ruido del vuelo. Se requiere normalmente un recorte que reduzca la envergadura total 54 de las palas situadas aguas abajo en aproximadamente un 10% - 20% para así reducir el ruido por 3 EPNdB, y es lo común en la técnica. Unos requisitos relativos al ruido más estrictos pueden incrementar el recorte requerido para dar cumplimiento a lo relativo al ruido, aunque una fuerte penalización en cuanto al rendimiento acompaña a cualquier recorte. Con las realizaciones descritas, la reducción del torbellino de la punta de la pala 52' mostrada en la figura 8 hace posible que la envergadura total 54' de las palas situadas aguas abajo se recorte en aproximadamente un 5% o menos con respecto al diámetro de la hilera de palas situada aguas arriba.

En muchos diseños de hélices contrarrotativas abiertas, los datos indican que la mayor parte del ruido de interacción con la estela de las hélices abiertas se genera cerca de la punta de la pala del rotor situado aguas abajo. La fuerza del ruido de interacción con la estela depende fuertemente del déficit de velocidad en la estela del rotor situado aguas arriba. A su vez, el déficit de velocidad en la estela del rotor situado aguas arriba es fundamentalmente una función del coeficiente de resistencia y de la distancia al borde de salida del rotor situado aguas arriba. A medida

que el coeficiente de sustentación de la pala (es decir, el empuje) aumenta, hay un punto en el que la resistencia se incrementa sustancialmente y da lugar a un significativo déficit de velocidad en la estela y a un aumento del ruido si el segundo rotor recibe esta estela. Esto se ilustra en la figura 9. En la presente realización, el ruido del despegue se puede minimizar mediante la planificación de la descomposición del empuje entre el rotor situado aguas arriba y el rotor situado aguas abajo para así minimizar la resistencia (y por tanto el déficit de velocidad en la estela) del rotor situado aguas arriba, mientras que a la vez es posible alcanzar el empuje de despegue requerido. Esto se ilustra en la figura 9, en la que el rotor situado aguas arriba tiene un coeficiente de sustentación de sección normalizado en la punta de la pala (C_l), identificado con la referencia 55, de aproximadamente 0,65, operando en el rango de bajo coeficiente de resistencia o "drag bucket", mientras que el rotor situado aguas abajo está operando a un C_l mayor, identificado con la referencia 56, de aproximadamente 0,8, como se describió anteriormente con respecto a la operación de despegue y de baja velocidad mostrada en la figura 5. Tener en el rotor situado aguas abajo un C_l mayor que en el rotor situado aguas arriba durante las condiciones de despegue permite una separación entre las palas menor para un ruido de interacción con la estela equivalente, con una reducción aceptable en el rendimiento en el despegue.

Volviendo a la figura 4F, el control de la separación de las hileras de palas, del paso y de la potencia del eje aplicada se lleva a cabo por medio de acciones combinadas del sistema de gestión de vuelo (FMS) del avión y de la unidad de control digital de motor de plena autoridad (FADEC), los cuales controlan el sistema de planificación de las palas 60. El FMS y el FADEC procesan simultáneamente los datos de las condiciones y la configuración del avión, las entradas del control por piloto 62 y los datos del aire 64 para hacer posible el control del núcleo motor por medio de las entradas 63 a la unidad de control de motor. Los ajustes de la configuración del paso de la unidad de control de paso 42 delantera y de la unidad de control de paso 26 trasera se proporcionan por medio de las entradas de control 65 y 66, respectivamente, desde el FADEC. Las entradas de control 68 a la transmisión variable continua de la caja de engranajes 44 de la unidad de giro 28 distribuyen la potencia del eje generada por el núcleo motor a la hilera de palas situada aguas arriba y a la hilera de palas situada aguas abajo a través de las unidades de control de paso 26 y 42. El control del actuador 34 de desplazamiento se proporciona por medio del FADEC a través de la entrada de control 70. El control por medio del FADEC de la distribución de potencia, la separación de las hileras de palas y el paso hace posible una separación óptima de la hilera de palas situada aguas abajo para la obtención de una máxima salida de la turbulencia y rendimiento que varían con la potencia del eje en el rotor situado aguas arriba y con la velocidad aerodinámica delantera. A pesar de que se muestran modelos de la planificación de la separación a modo de ejemplo en la figura 6, como se ha descrito anteriormente, la planificación de la separación variable y en tiempo real proporcionada por el FADEC hace posible la configuración de la hélice más eficiente a lo largo de todo el régimen de vuelo dentro de las condiciones límite de ruido, y la separación se puede optimizar de forma continua en vuelo para todas las velocidades aerodinámicas certificadas y ángulos de trayectoria de vuelo. Esto incluye las condiciones de emergencia en el despegue o en el aterrizaje en las que las hélices se cierran hasta la posición de máximo rendimiento. Una realización a modo de ejemplo puede proporcionar una mejora en el rendimiento de la hélice de al menos un 1,0% con respecto a la combinación de separación y recorte necesaria para cumplir con los requisitos de ruido en un sistema CROF 'fijo'. Tal mejora en el rendimiento de la hélice equivale a una mejora en el consumo específico de combustible del 1%.

Las figuras 10A y 10B muestran una realización de una hélice contrarrotativa carenada que emplea una separación variable entre la hélice situada aguas arriba 70 y la hélice situada aguas abajo 72. En esta realización, la hélice situada aguas arriba es la hilera exterior con respecto al núcleo motor y se acciona mediante el eje 71. La hélice situada aguas abajo es la hilera interior con respecto al núcleo motor y se acciona mediante la unidad de transmisión de contrarrotación 73, la cual es accionada por medio del núcleo motor y el eje 71 de soporte concéntrico. La figura 10A muestra la hélice exterior en su posición retraída, mientras que la figura 10B muestra la hélice en su posición extendida. En esta realización, se puede emplear un actuador de separación similar al descrito en la realización anterior, o como el que se describirá en detalle con respecto a las figuras 11A y 11B. El plano de giro de la hélice situada aguas abajo 72 es fijo, de manera que el funcionamiento del compresor de baja presión (LPC, low pressure compressor, por sus siglas en inglés) no se ve afectado. Una parte delantera 78 del conducto 80 de la hélice en la que ocurre el desplazamiento de la hélice situada aguas arriba es de sección transversal constante, de manera que la separación entre la punta de la hélice y el conducto de la hélice no cambia durante el movimiento de la hélice situada aguas arriba. El carenado reforzado de la hélice 82 también se extiende hacia adelante en este espacio de actuación. Se proporciona la capacidad de modular de forma continua la separación de la hélice durante las condiciones de vuelo, como se ha descrito anteriormente con respecto a la realización CROF, por medio de la cual se puede mantener una separación óptima para el rendimiento de la hélice en la zona exterior a las secciones operacionales sensibles al ruido de las condiciones de vuelo y para adaptarse a cuestiones de rendimientos de admisión fuertemente no vistos tales como viento de costado u operaciones con ángulos de ataque elevados (ángulo alfa elevado).

En la realización de la hélice contrarrotativa carenada descrita en la presente memoria, el rango de separación preferido para las hélices situadas aguas arriba y aguas abajo es reducido, debido a limitaciones prácticas en el diseño estructural del conducto de la hélice, con un ratio de separación con respecto al diámetro de la hélice en un valor mínimo de aproximadamente 0,2 y en un valor máximo de aproximadamente 0,4. Debido a una física análoga, el ratio C_L/C_D preferido especificado en la figura 9 para la realización CROF se aplica también; sin embargo esto se

mantiene completamente gracias a la capacidad de separación, ya que no se emplea ninguna unidad de cambio de paso para las palas de la hélice en la realización mostrada.

5 Las figuras 11A y 11B muestran otra realización de una configuración de “empuje” de la hélice contrarrotativa abierta. El núcleo motor 90 incluye una cámara de combustión 92 seguida en la trayectoria del flujo por una sección de turbina de alta presión 94 y una sección de turbina de potencia desacoplada 96. El eje 102 gira de forma concéntrica en la unidad de transmisión de contrarrotación 104 e intercambia potencia con ella. La unidad de transmisión de contrarrotación se acciona mediante la sección de turbina de potencia desacoplada, accionando así la hilera de palas interior 98. El eje 102 suministra potencia a la hilera de palas exterior o situada aguas abajo 100 por medio de un cuerpo de buje 108. En esta realización, la hilera de palas o rotor situada aguas abajo es la hilera exterior con respecto al núcleo motor y la hilera de palas o rotor situada aguas arriba es la hilera interior con respecto al núcleo motor. La traslación del eje por medio de un cilindro de presión 109 que acciona un pistón 110 que es integral con el eje 102 hace que se extienda el rotor exterior hacia atrás, realizando un ajuste de la separación entre los rotores situados aguas arriba y aguas abajo. Un conducto de salida de movimiento 112 (que se ve mejor en la figura 11B) proporciona continuidad al flujo de salida del núcleo motor. En la realización mostrada, una cubierta giratoria 114 proporciona una aerodinámica de salida al flujo de salida. Se proporcionan unas juntas giratorias 116 entre la carcasa del motor y las hileras de palas giratorias. Además, en la realización mostrada una unidad de control de paso 118 delantera proporciona un control del paso de las palas en la hilera de palas situada aguas arriba y una unidad de control de paso 120 trasera proporciona un control del paso de las palas en la hilera de palas situada aguas abajo.

25 Como se ha descrito anteriormente para el sistema CROF con configuración de tracción, la unidad de transmisión de contrarrotación 104 puede emplear una transmisión variable continua para hacer posible una optimización de la entrada de potencia del eje a la hilera de palas situada aguas arriba y a la hilera de palas situada aguas abajo, de acuerdo a la velocidad de giro, por medio del control del paso de las palas. Además, la conducción del aire ambiente a través de los orificios de ventilación dispuestos entre las hileras de palas situadas aguas arriba y aguas abajo se puede utilizar para reducir la magnitud de la exposición al calor de los componentes giratorios de la hilera de palas situada aguas abajo. En un accionamiento neumático o hidráulico del cilindro de presión 109, un fallo en el actuador permitiría un empuje de la hilera de palas exterior que daría lugar de forma natural a la retracción y disposición de las hileras de palas en la posición de separación mínima.

35 Las realizaciones adicionales mostradas en las figuras 12 y 13 desplazan axialmente las hileras de palas desde el núcleo motor. Estas realizaciones proporcionan una capacidad especialmente ventajosa para los vehículos aéreos que requieren que el núcleo motor generador de gas se aloje, completa o parcialmente, dentro de la superficie exterior del avión, tal como en una configuración de fuselaje integrado. La realización mostrada se puede aplicar también en un vehículo aéreo que requiera diámetros grandes de hélice, tal como en un avión de despegue y aterrizaje vertical (VTOL, vertical takeoff and landing, por sus siglas en inglés). Un núcleo motor 130 incorpora un eje de toma de fuerza 132 que se extiende desde la línea central del motor. En las realizaciones a modo de ejemplo, el eje de toma de fuerza se acopla al motor a través de una bifurcación del bastidor trasero de la turbina. Una caja de engranajes 134 proporciona una transformación de potencia a un eje central 136 que se extiende a través de una unidad de transmisión de contrarrotación concéntrica 140 asociada con una hilera de palas interior 142, como se ha descrito anteriormente con respecto a las figuras 4A – 4D. La hilera de palas exterior o situada aguas arriba 144, que se acciona por el eje central, es desplazable con respecto a la hilera de palas interior o situada aguas abajo por medio de un actuador 146 que desplaza el eje como se ha descrito anteriormente. En realizaciones alternativas, la caja de engranajes 134 puede estar integrada dentro de la unidad de transmisión de contrarrotación.

50 En la figura 13 se muestra una configuración de empuje, en la que la hilera de palas exterior o situada aguas abajo 150 se desplaza hacia atrás sobre un eje concéntrico 152, como se ha descrito con respecto a la realización de las figuras 11A y 11B. El control del ratio de potencia del eje transmitida a la hilera de palas interior o situada aguas arriba 154 y a la hilera de palas situada aguas abajo y el recorte limitado de la hilera de palas situada aguas abajo se lleva a cabo como se ha descrito anteriormente con respecto a la realización inicial. Las realizaciones mostradas en las figuras 12 y 13 pueden ser ventajosas ya que ningún conjunto de hilera de palas de la hélice se ve afectado por la contaminación de salida del núcleo generador de gas y no se influye o afecta a la corriente de aire de entrada del núcleo motor.

55 El funcionamiento del sistema de traslación de las realizaciones descritas se lleva a cabo como se muestra en la figura 14. Se proporciona un núcleo motor para generar potencia, como se define en la etapa 1402. La potencia del núcleo motor se extrae por medio de las turbinas de baja presión para el accionamiento de una hilera de palas exterior mediante un eje, como se define en la etapa 1404, y para el accionamiento de una hilera de palas interior mediante una transmisión de contrarrotación que soporta concéntricamente al eje, como se muestra en la etapa 1406. Para la optimización de la separación de las hileras de palas interior y exterior que optimice el rendimiento aerodinámico y el ruido se monitorizan los datos del sistema de datos del aire y del sistema de gestión de vuelo, etapa 1408, y la hilera de palas exterior realiza un movimiento de traslación con respecto a la hilera de palas interior para lograr una operación optimizada, incluyendo de forma especial la operación a baja velocidad en el perfil de despegue, según se determina por un controlador que se basa en los datos del ADS y el FMS, como se muestra en

- etapa 1410. La distribución de potencia entre la hilera de palas interior y la hilera de palas exterior se controla para obtener un ratio optimizado de generación de potencia entre la hilera de palas situada aguas arriba y la hilera de palas situada aguas abajo, basándose en la posición de desplazamiento, como se muestra en la etapa 1412. La distribución de potencia se puede llevar a cabo en algunas realizaciones alternando el control del paso para los incrementos de potencia transmitida a las hileras de palas. Además, se puede llevar a cabo una reducción momentánea de la sustentación de la hilera de palas en traslación para así minimizar la fuerza requerida para la traslación de la hilera de palas.
- 5
- 10
- Habiendo ya descrito diferentes realizaciones de la invención en detalle, como se requiere en las leyes de patentes, los expertos en la técnica reconocerán modificaciones y sustituciones en las realizaciones específicas descritas en la presente memoria. Tales modificaciones están dentro del alcance e intención de la presente invención, tal y como se define en las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de propulsión para vehículo aéreo, que comprende:

5 un núcleo motor (10, 130);
 un eje de potencia (24);
 una hilera de palas exterior (12) accionada por el eje de potencia;
caracterizado por:

10 una hilera de palas interior (14) accionada en movimiento de contrarrotación con respecto a la hilera de palas exterior por medio de un mecanismo de engranaje concéntrico que transmite la potencia del núcleo motor con el eje; y
 un actuador (34) que se acopla con el eje para trasladar la hilera de palas exterior desde una primera posición retraída a una segunda posición extendida.

15 2. El sistema de propulsión para vehículo aéreo según se define en la reivindicación 1, en el que el mecanismo de engranaje concéntrico comprende:

20 una unidad de transmisión de contrarrotación (28) que porta la hilera de palas interior (14), extendiéndose y estando soportado dicho eje de potencia (24) a través de dicha unidad de transmisión de contrarrotación.

25 3. El sistema de propulsión para vehículo aéreo según se define en la reivindicación 2, en el que la unidad de transmisión de contrarrotación (28) comprende una transmisión variable continua para obtener una velocidad de rotación variable diferencial entre las hileras de palas interior (14) y exterior (12), ajustable para la traslación de la hilera de palas exterior;
 en el que la unidad de transmisión de contrarrotación se conecta con una unidad de control de paso (26) de la hilera de palas interior (14); y
 en el que además la hilera de palas exterior (12) incluye una unidad de control de paso (42).

30 4. El sistema de propulsión para vehículo aéreo según se define en la reivindicación 3, en el que las unidades de control de paso (26, 42) se secuencian de manera que sólo se cambia el paso de hileras de palas alternas si las hileras de palas tienen números pares de palas.

35 5. El sistema de propulsión para vehículo aéreo según se define en la reivindicación 3, en el que la hilera de palas exterior está situada aguas arriba con respecto a la hilera de palas interior en una configuración de tracción y la potencia suministrada por el eje de potencia (24) a la hilera de palas exterior es menor que la potencia suministrada a la hilera de palas interior por la unidad de transmisión de contrarrotación (28) con la hilera de palas exterior en la posición extendida.

40 6. El sistema de propulsión para vehículo aéreo según se define en la reivindicación 5, en el que la relación de la potencia suministrada a la hilera de palas exterior (12) y a la hilera de palas interior (14) es aproximadamente 0,8.

45 7. El sistema de propulsión para vehículo aéreo según se define en la reivindicación 6, en el que la hilera de palas interior (14) tiene un diámetro recortado en menos del 5% de un diámetro de la hilera de palas exterior (12).

8. El sistema de propulsión para vehículo aéreo según se define en la reivindicación 1, en el que la traslación del eje es variable de forma incremental desde la primera posición hasta la segunda posición.

50 9. El sistema de propulsión para vehículo aéreo según se define en la reivindicación 8, en el que la unidad de transmisión de contrarrotación (28) comprende una transmisión variable continua para obtener una velocidad de rotación variable diferencial entre las hileras de palas interior (14) y exterior (12), ajustable para la traslación de la hilera de palas exterior, e incluye además una unidad de control de paso (26) de la hilera de palas interior, y la hilera de palas exterior incluye una unidad de control de paso (42) y comprende además:

55 un controlador para el ajuste de la traslación de la hilera de palas exterior, para el control de las unidades de control de paso de las hileras de palas interior y exterior y para el control de la transmisión variable para llevar a cabo un plan de operación predeterminado.

60 10. El sistema de propulsión para vehículo aéreo según se define en la reivindicación 1, en el que la hilera de palas exterior está situada aguas arriba con respecto a la hilera de palas interior en una configuración de tracción; o la hilera de palas exterior está situada aguas abajo con respecto a la hilera de palas interior en una configuración de empuje.

65 11. El sistema de propulsión para vehículo aéreo según se define en la reivindicación 9, en el que las hileras de palas interior (14) y exterior (12) comprenden una hélice carenada.

- 5 12. El sistema de propulsión para vehículo aéreo según se define en la reivindicación 1, en el que las hileras de palas interior y exterior se desplazan axialmente desde el núcleo motor (130) y que comprende además un eje de toma de fuerza (132) que se extiende desde el núcleo motor y que interconecta el núcleo motor con las hileras de palas interior y exterior.
- 10 13. Un método para la reducción del ruido en una propulsión por hélice contrarrotativa, que comprende:
proporcionar un núcleo motor (10, 130);
accionar una hilera de palas exterior (12) desde el núcleo motor;
accionar una hilera de palas interior (14) desde el núcleo motor;
caracterizado por:
- 15 separar por traslación la hilera de palas exterior (12) de la hilera de palas interior en la operación a baja velocidad;
controlar la distribución de potencia entre la hilera de palas interior y la hilera de palas exterior para obtener una generación de potencia menor en la hilera de palas situada aguas arriba en la posición trasladada.
- 20 14. El método de la reivindicación 13, en el que controlar la distribución de potencia incluye alternar el control del paso para los incrementos de potencia transmitida a las hileras de palas (12, 14); y
en el que controlar la distribución de potencia incluye reducir de forma momentánea la sustentación de la hilera de palas en traslación para así minimizar la fuerza requerida para la traslación de la hilera de palas.
- 25 15. El método de la reivindicación 13, que comprende además proporcionar una transmisión de contrarrotación (28) para transmitir potencia para el accionamiento de las hileras de palas interior (14) y exterior (12).
- 30 16. El método de la reivindicación 13, en el que la traslación de la hilera de palas exterior (12) para la optimización de la separación se controla basándose en los datos del sistema de datos del aire y del sistema de gestión de vuelo.
- 35 17. El método de la reivindicación 13, que comprende además disponer la hilera de palas exterior y la hilera de palas interior en una configuración de tracción con la hilera de palas interior situada aguas abajo y teniendo un diámetro menor que la hilera de palas exterior; o
disponer la hilera de palas exterior y la hilera de palas interior en una configuración de empuje con la hilera de palas exterior situada aguas abajo y teniendo un diámetro menor que la hilera de palas interior.

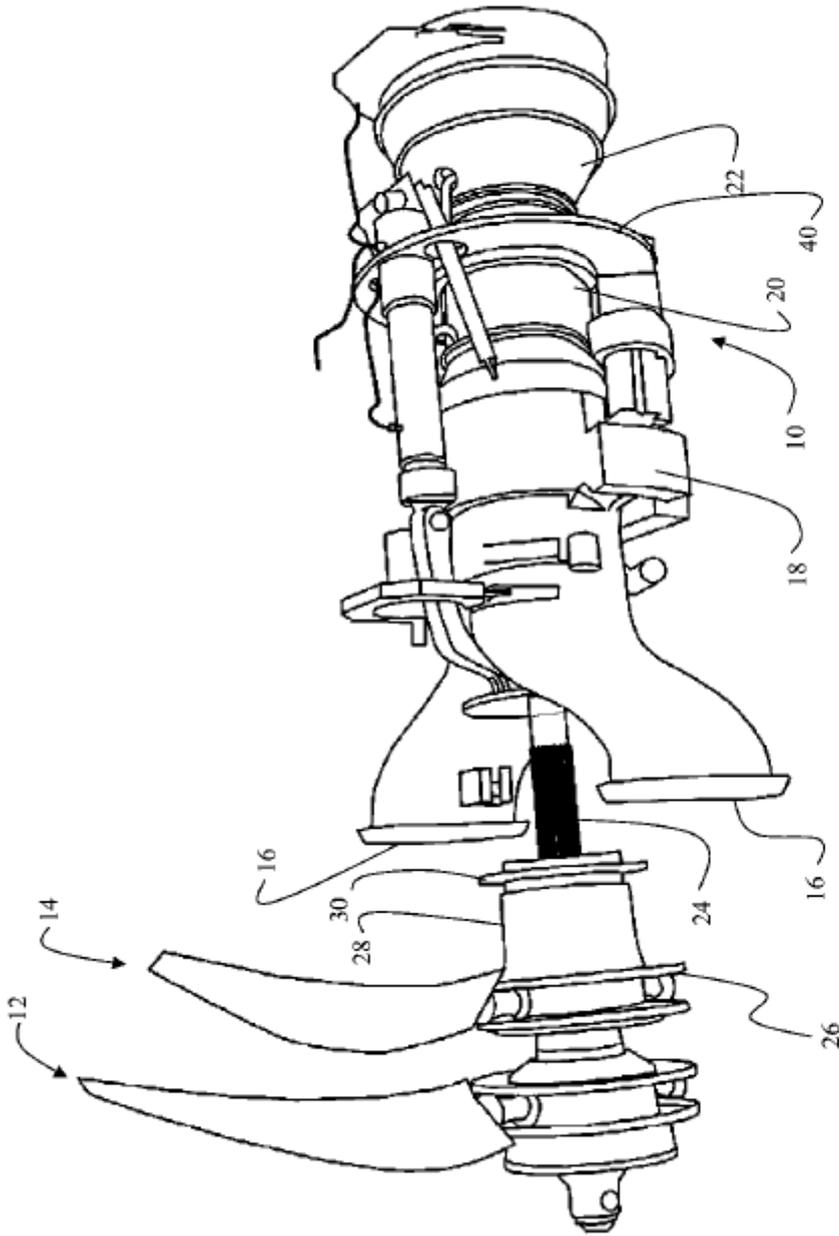


FIG. 1

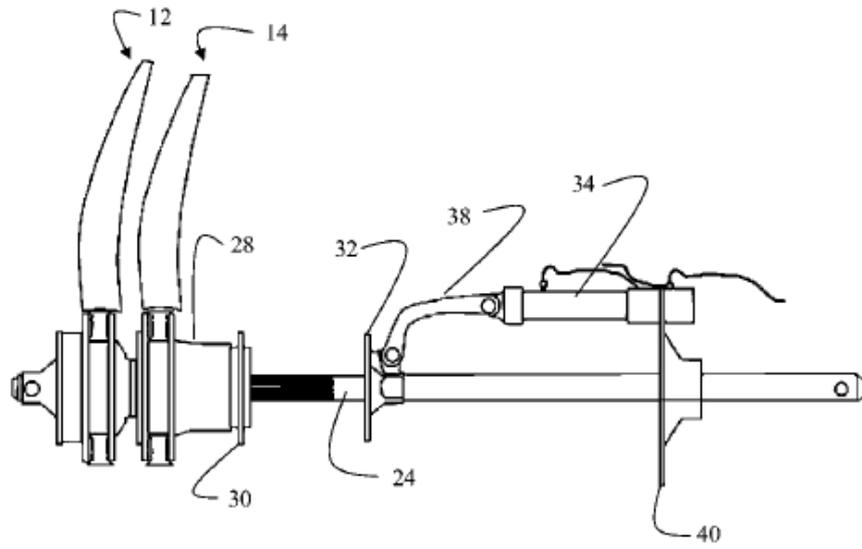


FIG. 2A

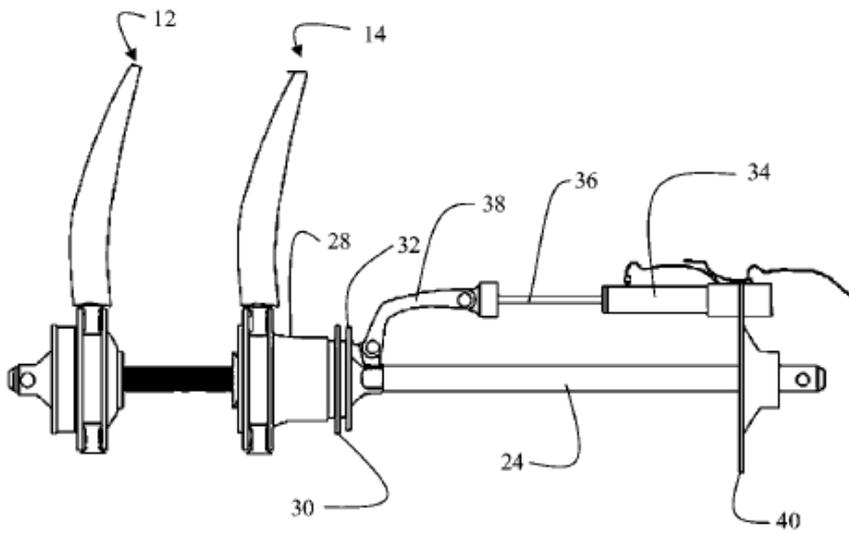


FIG. 2B

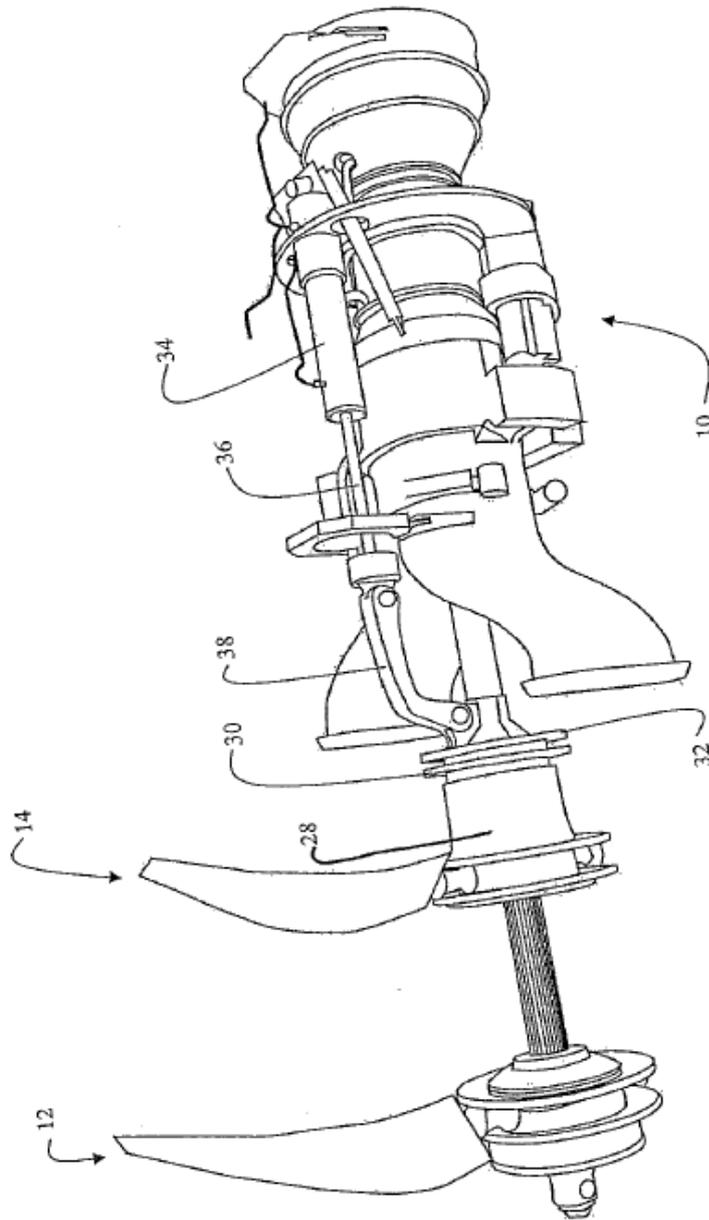


FIG. 3

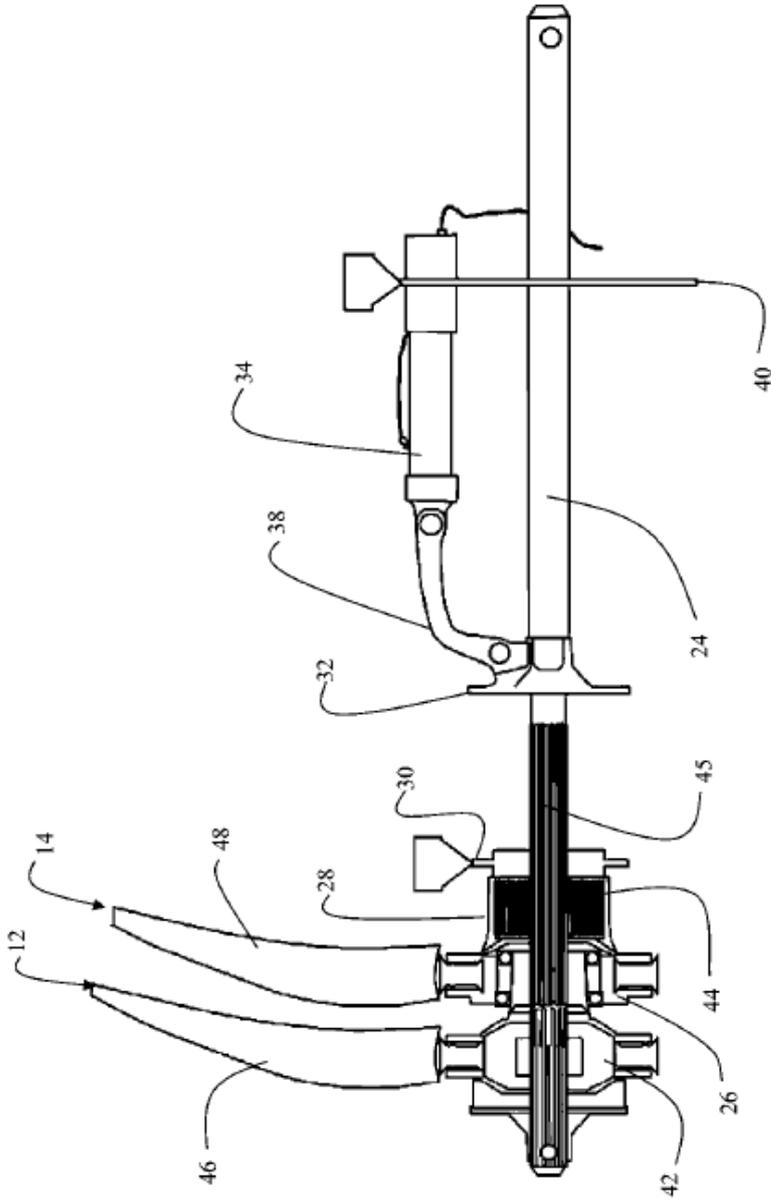


FIG. 4A

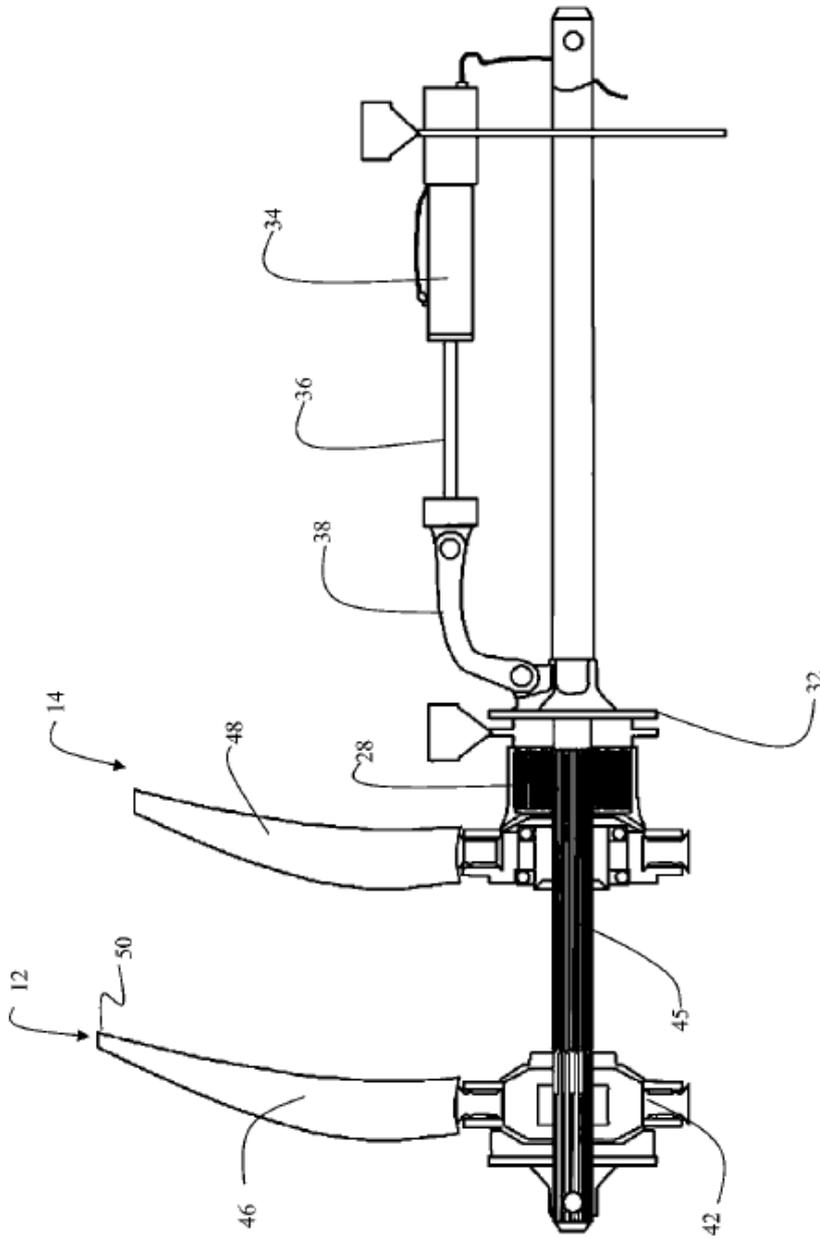


FIG. 4B

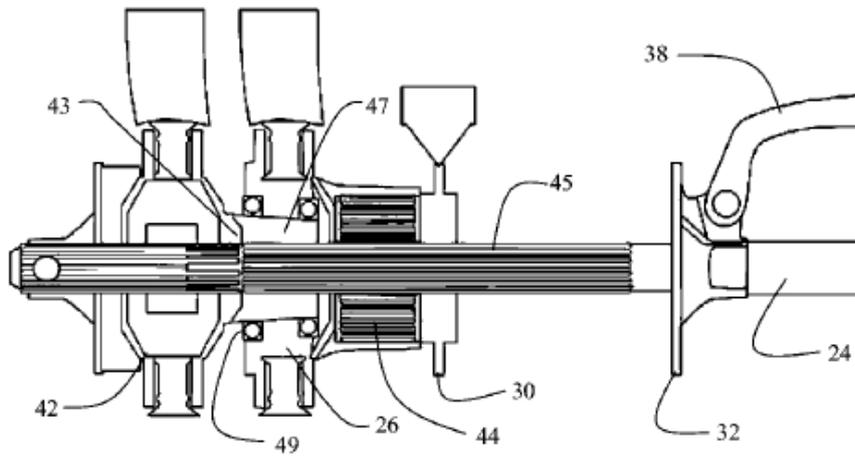


FIG. 4C

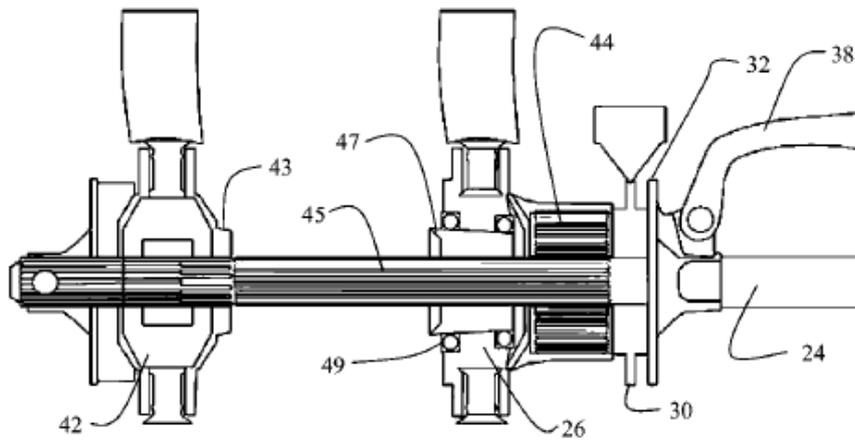


FIG. 4D

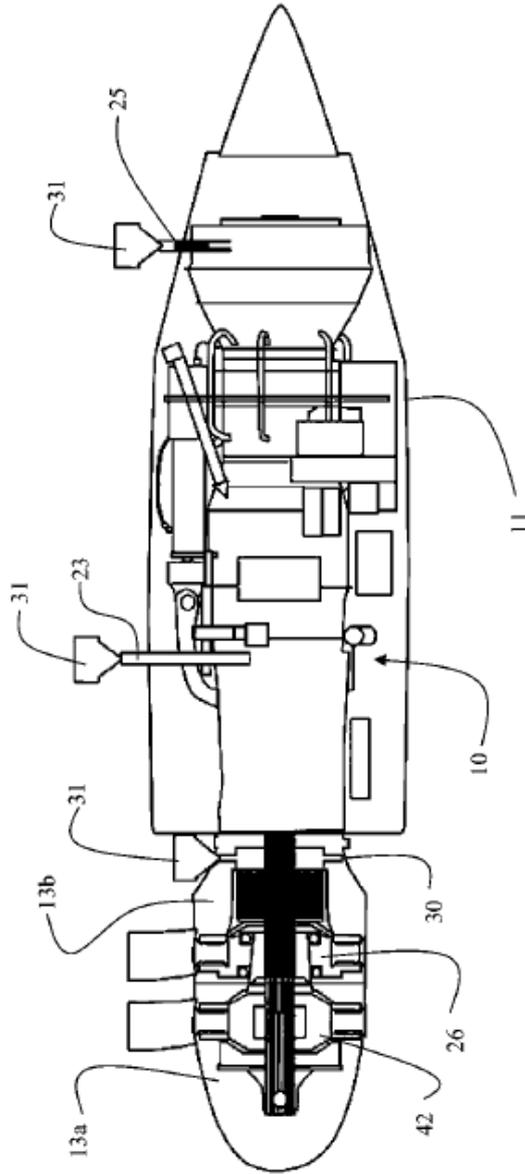


FIG. 4E

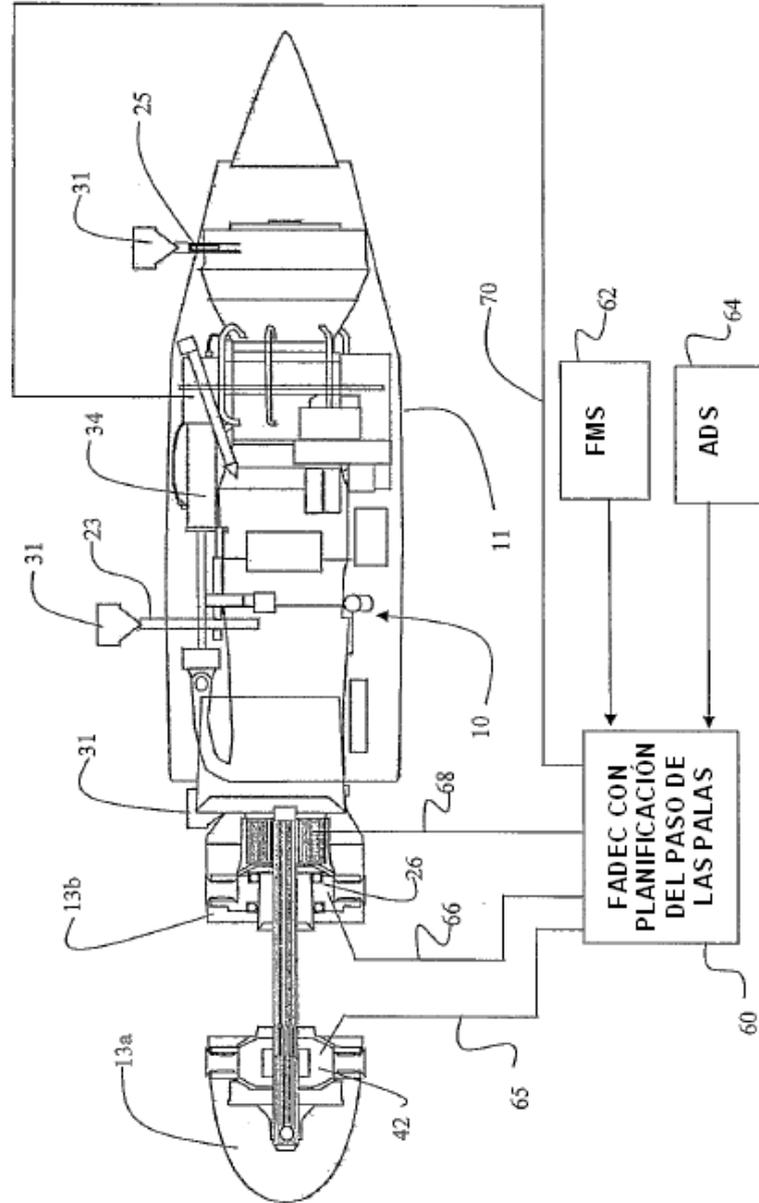


FIG. 4F



FIG. 5

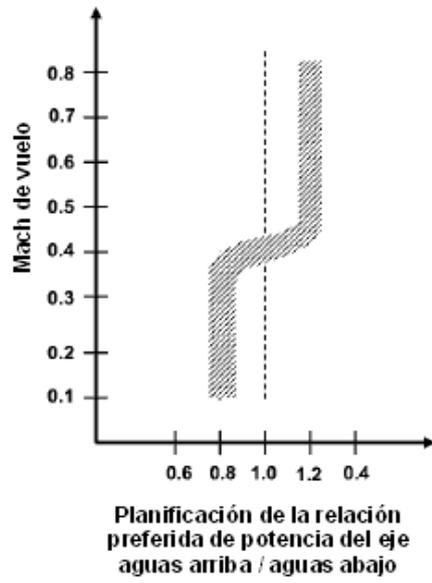


FIG. 6

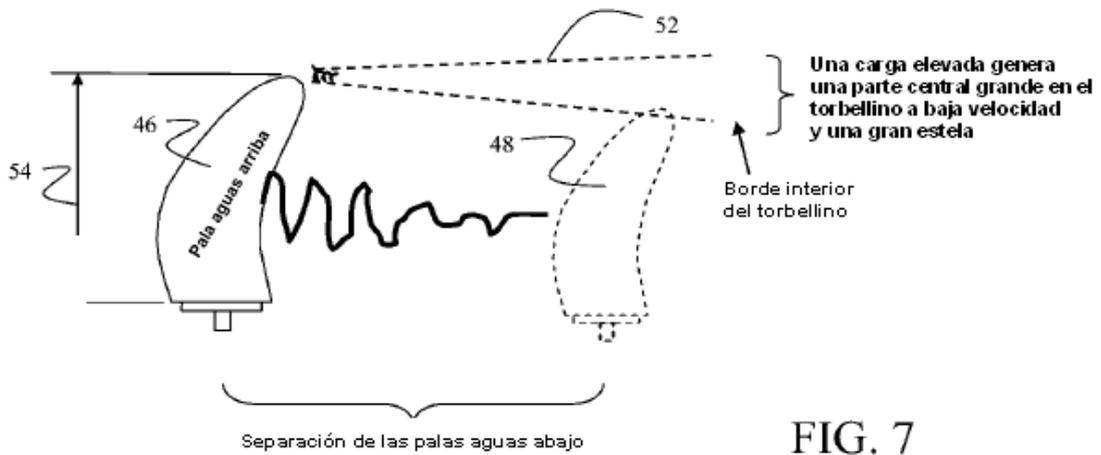


FIG. 7
TÉCNICA ANTERIOR

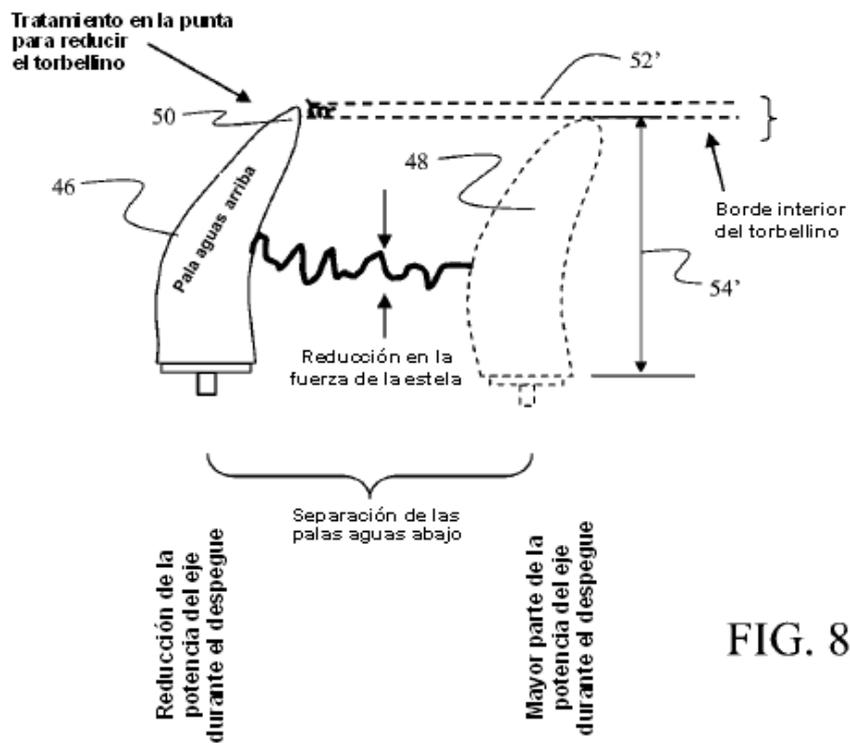


FIG. 8

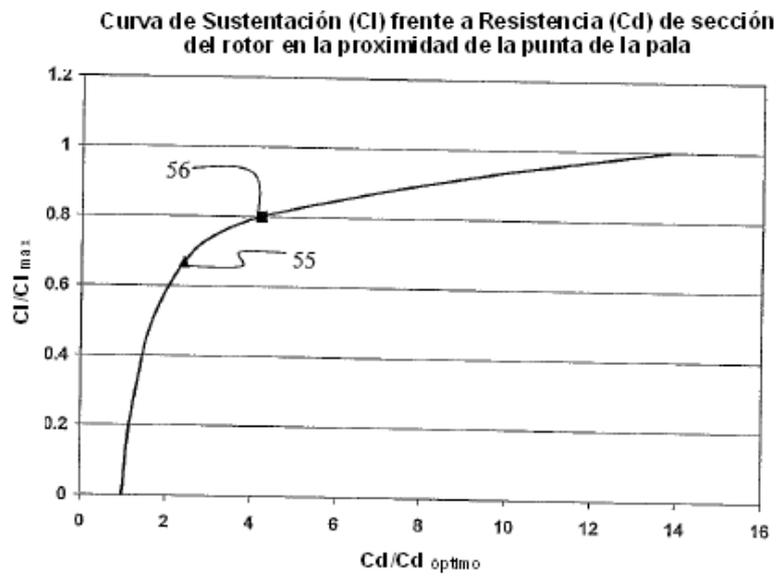


FIG. 9

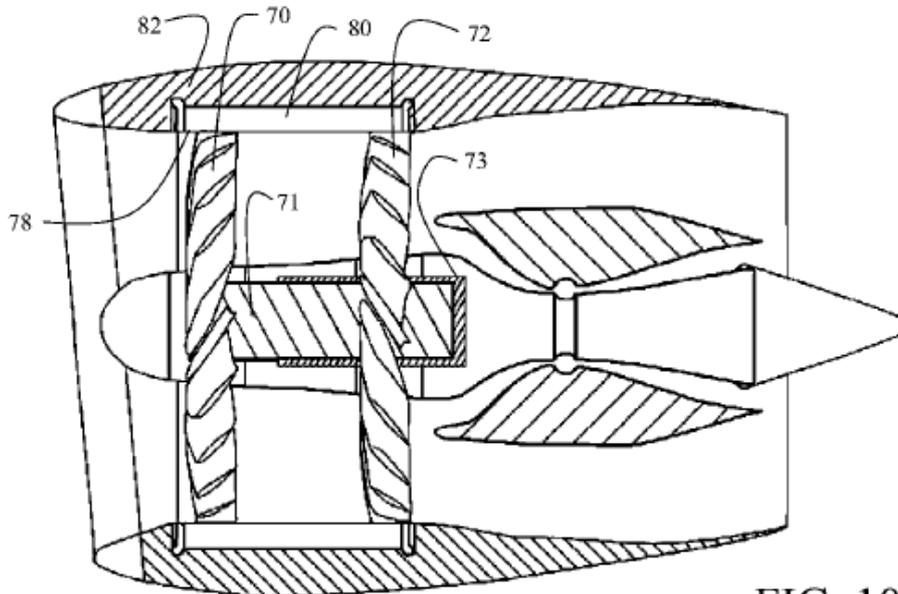


FIG. 10A

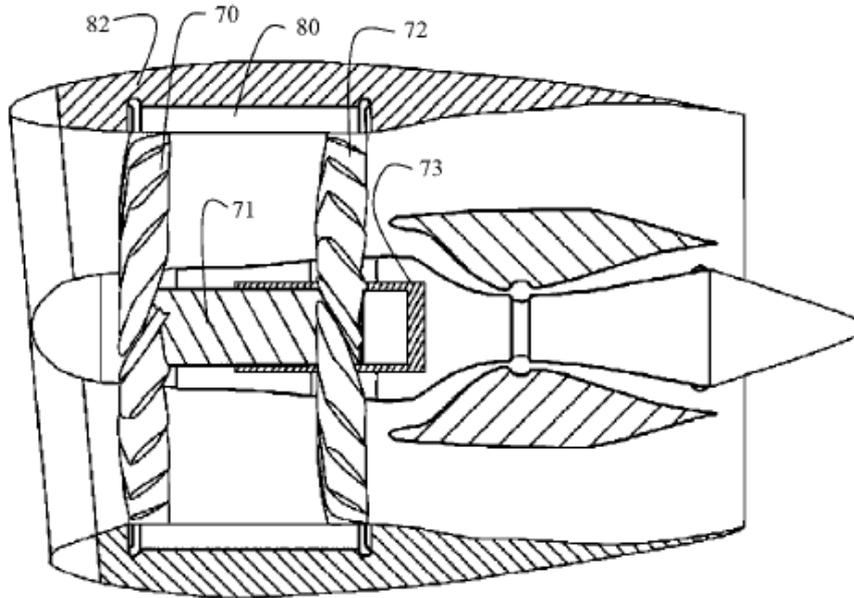


FIG. 10B

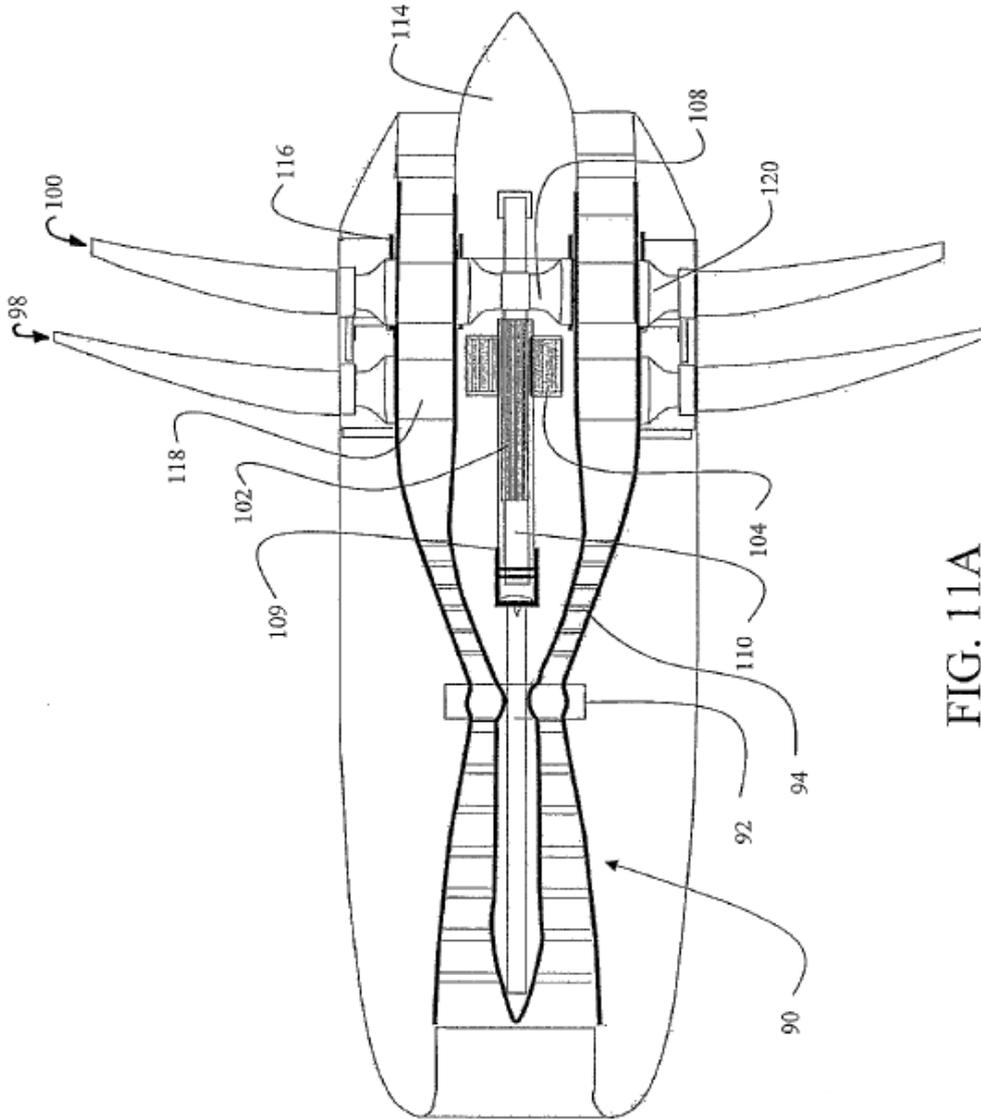


FIG. 11A

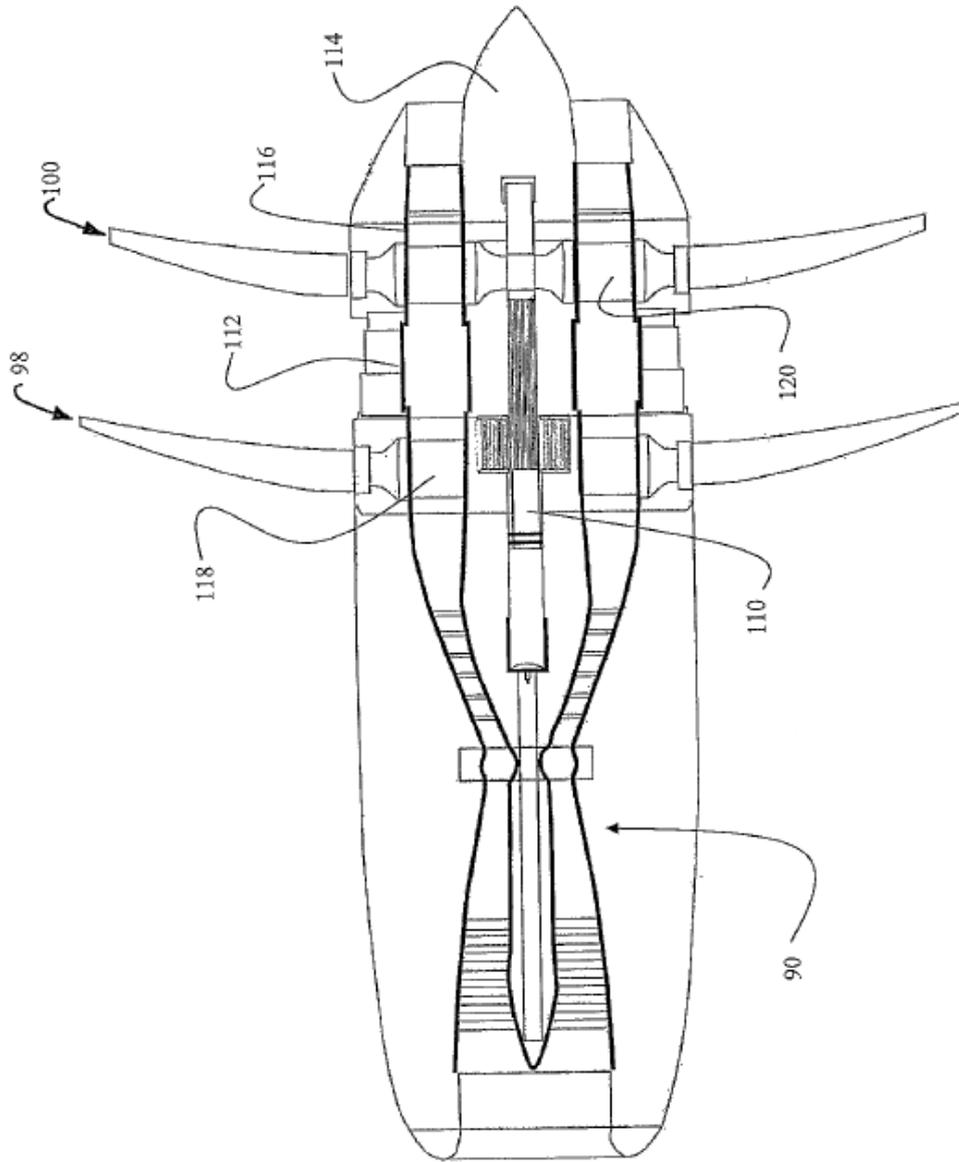


FIG. 11B

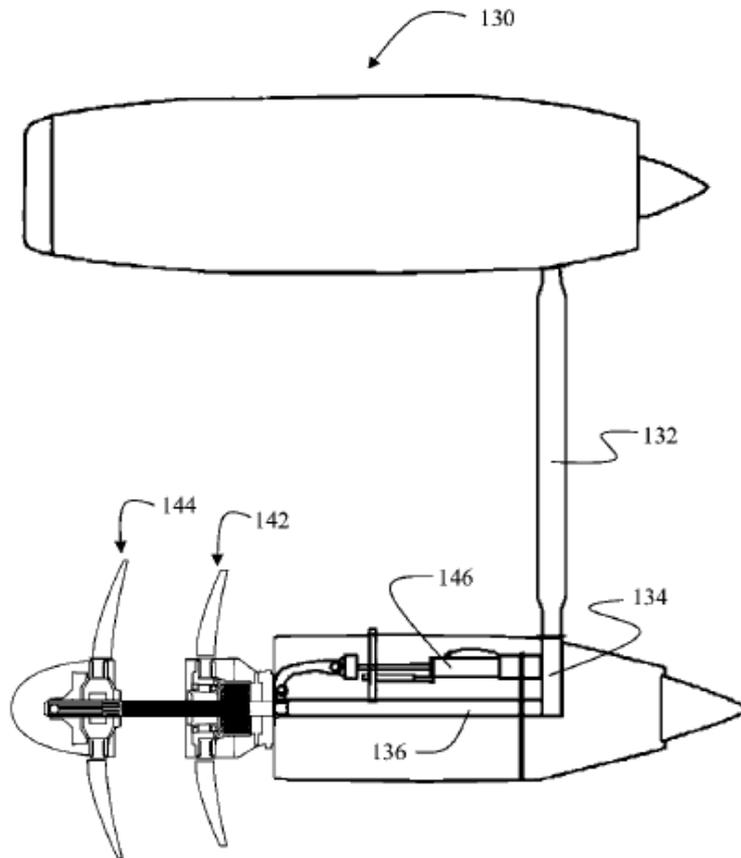


FIG. 12

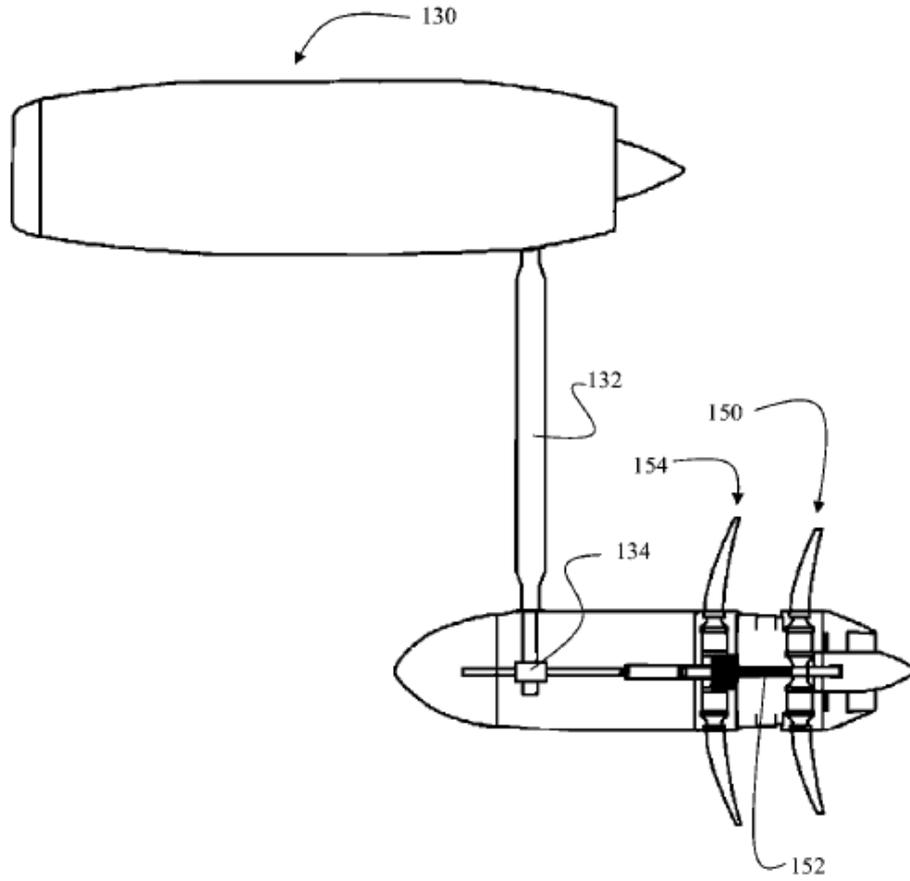


FIG. 13

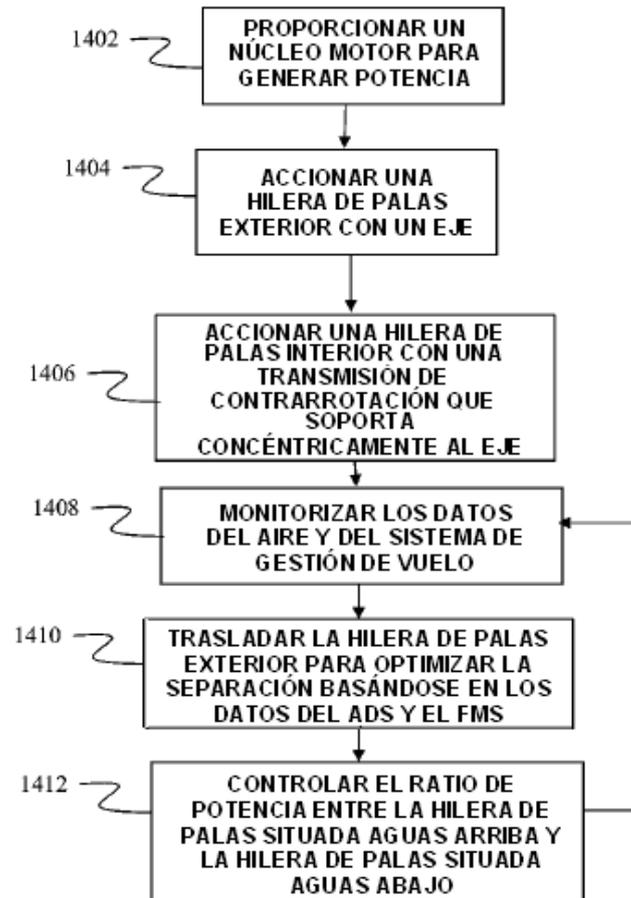


FIG. 14