(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 778 027**

(51) Int. CI.:

G01F 23/284 (2006.01)
G01F 23/292 (2006.01)
B64D 37/00 (2006.01)
B64D 37/04 (2006.01)
G01F 22/00 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.11.2013 PCT/GB2013/052896**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **22.05.2014 WO14076455**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.11.2013 E 13789379 (8)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.01.2020 EP 2920559**

(54) Título: **Aeronave con medidor de combustible por reflectometría en el dominio del tiempo**

(30) Prioridad:

16.11.2012 GB 201220658

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
07.08.2020

(73) Titular/es:

AIRBUS OPERATIONS LIMITED (100.0%)
Pegasus House, Aerospace Avenue, Filton
Bristol BS34 7PA, GB

(72) Inventor/es:

HASKINS, RICHARD y
LAM, JOSEPH K-W

(74) Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

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

Aeronave con medidor de combustible por reflectometría en el dominio del tiempo

Campo de la invención

La presente invención se refiere a un medidor de combustible por reflectometría en el dominio del tiempo (TDR) para medir un nivel de llenado de combustible en un depósito de combustible de una aeronave.

Antecedentes de la invención

En los sistemas convencionales de medición de combustible de aeronaves, se utilizan docenas de sondas basadas en capacitancia por toda el ala. La gran cantidad de sondas da como resultado una elevada penalización de peso y un alto coste de instalación.

El documento GB-A-2184229 divulga una disposición de detección óptica de temperatura para detectar el nivel de un cuerpo de líquido que comprende un elemento sensor de fibra óptica que está sumergido en dicho líquido sobre parte o partes de su longitud, estando adaptada la disposición de medición de temperatura para detectar y/o medir una diferencia significativa en la temperatura de la fibra en el(los) punto(s) donde está sumergida en el líquido. La parte o partes de la fibra óptica que no están en contacto con el líquido pueden calentarse o enfriarse a una temperatura significativamente mayor o menor que el resto de la fibra óptica sumergida en el líquido. La disposición de medición de temperatura utiliza reflectometría óptica en el dominio del tiempo con luz retrodispersada Rayleigh o Raman o luz fluorescente de retorno.

El documento US-A-2011/0246100 describe métodos y sistemas que se divulga que usan reflectometría en el dominio del tiempo para determinar la identidad de un fluido en un recipiente, y para determinar si la calidad de un fluido en un recipiente está dentro de parámetros aceptables. Los métodos se implementan en sistemas para identificar una capa de fluido en un recipiente, tal como combustible, agua líquida o hielo libres, detectar el mal abastecimiento de combustible o la contaminación del combustible y detectar cambios en el estado del fluido, tales como la formación de hielo.

El documento DE 10 2008 031 439 divulga un método y un sistema para determinar el nivel de combustible en un depósito de aeronave que incluye fibras ópticas que se extienden a lo largo de las paredes del depósito.

Sumario de la invención

Un primer aspecto de la invención proporciona una aeronave de acuerdo con la reivindicación 1.

Un segundo aspecto de la invención proporciona un método para medir un nivel de llenado de combustible de acuerdo con el método de la reivindicación 13.

La presente invención proporciona un sistema de medición de combustible que permite realizar dos mediciones de nivel de combustible independientes mediante un único medidor de combustible, estando asociada cada medición con un tiempo de recepción de uno de los pulsos reflejados respectivos. Esto proporciona redundancia y, opcionalmente, se puede usar un promedio de las dos mediciones de nivel de combustible para proporcionar una estimación general más precisa del nivel de combustible.

Preferiblemente, los tiempos de recepción del primer y segundo pulsos reflejados se usan para determinar dos mediciones de nivel de combustible independientes. Opcionalmente, los tiempos de recepción del primer y segundo pulsos reflejados pueden usarse para determinar un volumen de combustible en el depósito de combustible. En este caso, los tiempos de recepción del primer y segundo pulsos reflejados se usan normalmente en combinación con otros datos de sensores de actitud y/u otras mediciones de nivel de combustible de otros medidores, y/u otras mediciones de nivel de combustible del mismo medidor para determinar el volumen de combustible.

En las realizaciones preferidas descritas a continuación, el medidor de combustible solo puede generar un máximo de dos mediciones de nivel de combustible para cada nivel de llenado, pero el cable podría ondularse para proporcionar más piezas de cable conectadas en serie que pasan a través de una transición combustible/espacio vacío para proporcionar mediciones adicionales.

El primer y segundo pulsos electromagnéticos reflejados pueden recibirse en cualquier orden, dependiendo de si la primera o segunda parte de cable está más lejos a lo largo del cable del generador de señales.

La primera y la segunda partes de cable generalmente pasan desde/hacia el mismo espacio vacío, aunque para una geometría compleja del depósito de combustible, pueden pasar desde/hacia dos espacios vacíos distintos.

Para el al menos un nivel de llenado, la primera parte de cable puede extenderse en un ángulo agudo con respecto a

la horizontal (por ejemplo, entre 5 grados y 40 grados con respecto a la horizontal) en la primera ubicación donde este se extiende hacia abajo dentro del combustible y/o la segunda parte de cable puede extenderse en un ángulo agudo con respecto a la horizontal (normalmente entre 5 grados y 40 grados con respecto a la horizontal) en la segunda ubicación donde este se extiende hacia arriba fuera del combustible. Alternativamente, la primera y/o segunda partes de cable pueden extenderse verticalmente donde se extienden dentro o fuera del combustible.

El cable puede estar suspendido dentro del depósito sin estar montado en las paredes del depósito de combustible, pero más preferiblemente la primera parte de cable está montada en una primera pared del depósito de combustible y la segunda parte de cable está montada en una segunda pared del depósito de combustible. La primera y segunda paredes pueden ser opuestas o adyacentes. En el caso de paredes adyacentes, entonces las partes de cable se encuentran normalmente en una esquina, que puede ser un punto alto o bajo del depósito.

Normalmente, el cable comprende además una tercera parte de cable en serie con el generador de señales y la primera y segunda partes de cable; el depósito de combustible tiene dos paredes laterales opuestas y una pared superior o inferior que se extiende entre las paredes laterales; y las tres partes de cable están unidas a las dos paredes laterales opuestas y a la pared superior o inferior. Esto permite que el cable se extienda prácticamente por toda la dimensión horizontal del depósito y permite que el medidor TDR tome lecturas de ubicaciones que están ampliamente separadas.

Opcionalmente, el cable comprende además una tercera y cuarta partes de cable en serie con el generador de señales y la primera y segunda partes de cable; en donde el depósito de combustible tiene dos paredes laterales opuestas y paredes superior e inferior que se extienden entre las paredes laterales; y las cuatro partes de cable están unidas a las dos paredes laterales opuestas y a las paredes superior e inferior. La disposición del cable en un bucle de esta manera permite que el medidor mida un amplio intervalo de niveles de llenado.

El depósito de combustible puede tener un punto bajo y un punto alto que están separados horizontalmente. No se puede medir un amplio intervalo de niveles de llenado de dicho depósito de combustible con un solo medidor que se extiende verticalmente, por lo tanto, la invención proporciona un medio para medir un amplio intervalo de niveles de llenado en dicho depósito con un solo medidor.

Para una geometría de depósito sencilla, ambas partes de cable pueden pasar a través de una transición combustible/espacio vacío para la mayoría (o todos) los niveles de llenado. Alternativamente, puede haber un segundo nivel de llenado del combustible en el depósito de combustible que es más alto que el primer nivel de llenado y en el que la primera parte de cable está completamente sumergida en el combustible de forma que no pasa a través de una transición combustible/espacio vacío. En tal caso, preferiblemente la segunda parte de cable se extiende hacia arriba fuera del combustible hacia un espacio vacío y el segundo nivel de llenado se mide recibiendo un pulso electromagnético reflejado desde la segunda parte de cable donde este se extiende hacia arriba fuera del combustible y determinando un tiempo de recepción del pulso electromagnético reflejado.

Normalmente, al menos parte de cable (que puede ser la primera o segunda parte) se extiende al menos parcialmente horizontalmente dentro del depósito de combustible, opcionalmente también con un elemento de extensión vertical para que el cable se extienda en un ángulo agudo con respecto a la horizontal.

Preferiblemente, al menos parte de cable discurre a lo largo de una pared inferior del depósito de combustible.

El depósito de combustible normalmente tiene una profundidad vertical y una dimensión horizontal (por ejemplo, anchura o longitud) y el cable se extiende a través de más del 70 % de la dimensión horizontal del depósito de combustible (preferiblemente más del 80 % y, lo más preferiblemente, más del 90 %). Esto permite que el medidor TDR tome lecturas de ubicaciones que están ampliamente separadas dentro del depósito de combustible.

El cable y el depósito del ala tienen cada uno un tramo normal al plano de simetría, y el tramo del cable es más del 70 % del tramo del depósito del ala, preferiblemente más del 80 % del tramo del depósito del ala y, lo más preferiblemente, más del 90 % del tramo del depósito del ala.

Normalmente, el depósito del ala junto con la primera y/o segunda partes de cable forman un ángulo ascendente (en el caso de un ala diédrica) o descendente (en el caso de un ala anédrica), a medida que se extiende lejos del plano de simetría a lo largo del tramo del ala. Por lo tanto, la primera y/o segunda partes de cable en ángulo pueden proporcionar una medición del nivel de combustible para un amplio intervalo de niveles de llenado, a diferencia de los sistemas convencionales que requieren una gran cantidad de sensores separados a lo largo del ala.

Normalmente, el depósito de combustible tiene una pared de proa y una pared de popa, en relación con el movimiento de avance de la aeronave, y cada medidor de combustible TDR pasa a través de la pared de proa o la pared de popa.

Se puede recibir un pulso electromagnético adicional reflejado desde el cable por donde este pasa a través de una transición entre agua y combustible. El medidor de combustible, en este caso, puede generar una salida que indica

la presencia de agua en respuesta a la recepción del pulso electromagnético adicional reflejado, y/o puede determinar un nivel de agua de acuerdo con un tiempo de recepción del pulso electromagnético adicional reflejado.

El cable puede ser un cable de fibra óptica (para el caso en que los pulsos electromagnéticos son pulsos ópticos) o puede ser un cable conductor de electricidad (para otras longitudes de onda en el espectro electromagnético, tales como microondas).

El depósito de combustible puede tener un medidor de combustible TDR más, que colectivamente generan tres o más mediciones de nivel de combustible que definen una superficie que dependerá de un volumen de combustible en el depósito, así como de un cabeceo y balanceo del depósito con respecto a la horizontal. El sistema normalmente comprende además una disposición de procesador para estimar el volumen de combustible en el depósito de acuerdo con las tres o más mediciones de nivel de combustible.

Breve descripción de los dibujos

Las realizaciones de la invención se describirán ahora con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

la Figura 1 es una vista isométrica de un primer sistema de depósito de combustible;

la Figura 2 es una vista frontal del sistema de la Figura 1;

la Figura 3 es una vista en planta del sistema de la Figura 1;

las Figuras 4a y 4b muestran los pulsos de señal en el cable en los tiempos t0 a t7;

la Figura 5 es una vista esquemática de un cable de doble hilo;

la Figura 6 es una vista frontal de un segundo sistema de depósito de combustible;

la Figura 7 es una vista isométrica de un tercer sistema de depósito de combustible;

la Figura 8 es una vista frontal de una aeronave que comprende el primer, segundo o tercer sistemas de combustible de las Figuras 1-7;

la Figura 9 es una vista en planta de la aeronave; y

la Figura 10 es una vista del lado de babor de la aeronave.

Descripción detallada de la(s) realización(es)

Un sistema de depósito de combustible mostrado en las Figuras 1-3 comprende un depósito central 1 y un depósito del ala de babor 2. Con referencia a las Figuras 2 y 3, el depósito central tiene paredes laterales de babor y estribor 3,4; paredes superior e inferior 5,6; y paredes de proa y popa 7,8. Del mismo modo, el depósito del ala tiene paredes laterales internas y externas 3,10; paredes superior e inferior 11,12; y paredes de proa y popa formadas por largueros 13,14. El sistema tiene un depósito del ala de estribor que es una imagen especular del depósito del ala de babor y no se muestra.

El sistema de las Figuras 1-3 es parte de una aeronave mostrada en las Figuras 8-10. La aeronave tiene un fuselaje 70, un par de alas 71,72 y un plano de simetría 60.

El depósito del ala 2 forma la parte central del ala de babor 72, y se muestra con un ángulo diédrico ascendente; en otras palabras, está inclinado ascendentemente en un ángulo agudo en relación con una línea normal al plano de simetría 60 a medida que se extiende lejos del fuselaje en dirección hacia el exterior. En la Figura 2, el ángulo diédrico de la pared superior 11 está marcado como θ1 y el ángulo diédrico de la pared inferior 12 está marcado como θ2.

El ángulo diédrico del depósito del ala 2 significa que el punto bajo 50 del depósito está en el extremo interior o raíz del depósito del ala, mientras que el punto alto 51 del depósito está en el extremo externo o de la punta del depósito del ala, separados horizontalmente del punto bajo 50 por todo el tramo 52 del depósito del ala 2.

Cada depósito se llena y se vacía independientemente. En la Figura 2 se muestra un solo nivel de llenado 15 para el combustible en el depósito central, mientras que se muestran tres niveles de llenado 16-18 para el depósito del ala.

En cada depósito de combustible están instalados dos medidores de combustible de reflectometría en el dominio del tiempo (TDR). Cada medidor TDR comprende un generador de señales y un cable que está dentro del depósito de combustible y está acoplado al generador de señales. Cada cable puede comprender un solo hilo de cobre (que

puede tener o no una cubierta aislante) o un par de hilos 21a, 21b como se muestra en la Figura 5.

El depósito central 1 tiene un medidor TDR en el lado de babor y el otro en el lado de estribor. Solo se describirá el medidor TDR de estribor; el otro medidor TDR es idéntico. El cable del medidor TDR de estribor tiene un extremo proximal 55 mostrado en la Figura 3 que pasa a través de un conector 23 en la pared de popa 8 y está conectado a un generador de señales 30. El cable tiene tres partes de cable 20, 21 y 22 dentro del depósito que están acopladas en serie al generador de señales 30 a través del extremo proximal 55. La parte de popa 20 del cable se extiende verticalmente hacia abajo dentro del depósito de combustible lejos del conector 23 y paralela al plano de simetría 60. La parte de popa 20 del cable está montada en la pared de popa 8 mediante conectores (no mostrados). El cable gira después hacia delante en una esquina en la parte inferior del depósito que conduce a la parte inferior del cable 21 mostrada en la Figura 1, que se extiende hacia delante y aproximadamente paralela al plano de simetría 60 a lo largo de la pared inferior 6 (a la que está unido mediante conectores - no mostrados). El cable gira después hacia arriba para formar una parte de proa 22 del cable que se extiende verticalmente hacia arriba a lo largo de la pared de proa 7 a la que está unido mediante conectores (no mostrados) hasta el extremo distal del cable donde termina el cable.

Las partes de cable 20,22 están dispuestas de tal manera que para la mayoría de los niveles de llenado del combustible en el depósito de combustible (incluido el nivel de llenado 15 que se muestra en la Figura 2) la parte de cable 20 se extiende hacia abajo desde un espacio vacío 70 hacia el combustible en una ubicación de popa y la parte de cable 22 se extiende hacia arriba dentro del espacio vacío 70 fuera del combustible en una ubicación de proa que está separada horizontalmente de la primera ubicación por prácticamente toda la dimensión de proa a popa del depósito central 1.

Las Figuras 4a y 4b muestran los pulsos eléctricos en el cable en los tiempos t0 a t7. El generador de señales 30 genera un impulso de entrada eléctrica 31 que se transmite desde el generador de señales al extremo proximal del cable en el tiempo t0. Se genera un primer pulso reflejado 37 en el tiempo t1 y se recibe en el tiempo t2 desde la transición de aire a combustible 36 donde la parte de popa 20 del cable se extiende hacia abajo y dentro del combustible. Se genera un segundo pulso reflejado 39 en el tiempo t3 y se recibe en el tiempo t7 desde la transición de combustible a aire 38 donde la parte de proa 22 del cable se extiende hacia arriba y fuera del combustible.

Los tiempos de recepción t2, t7 del primer y segundo pulsos reflejados 37, 39 son utilizados después por un procesador de señales 34 (mostrado en la Figura 3) para determinar dos estimaciones del nivel de combustible. Por ejemplo, el procesador 34 puede obtener las dos estimaciones del nivel de combustible introduciendo las diferencias de tiempo (t2-t0) y (t7-t0) en una tabla de consulta.

Tal y como se muestra en la Figura 4b, también se genera un tercer pulso reflejado 35 en la transición 36 en el tiempo t6 pero este pulso no se procesa. También se puede generar un pulso reflejado adicional (mostrado ahora) cuando el pulso de entrada 31 llega al final del cable. Este pulso reflejado adicional puede ser atenuado por un atenuador (no mostrado) al final del cable.

El medidor de babor para el depósito central es idéntico al medidor de estribor descrito anteriormente, de modo que, entre ellos, los medidores generan cuatro mediciones de nivel de combustible, cada uno asociado con un tiempo de recepción de un pulso de retorno respectivo. El volumen de combustible en el depósito de combustible es determinado después por el procesador de señales 34 como sigue.

Para definir una superficie plana, se requieren tres puntos de esa superficie. Estos tres puntos deben ubicarse lo más separados posible para minimizar la incertidumbre en la definición de la superficie. Como se ha mencionado anteriormente, los dos medidores generan entre ellos cuatro mediciones de nivel de combustible, que pueden designarse como L1, L2, L3 y L4. Si se toma un subconjunto de tres de estas mediciones de nivel (por ejemplo, L1, L2 y L3), entonces esto define una superficie S1 que dependerá del volumen de combustible en el depósito, así como del cabeceo y balanceo de la aeronave con respecto a la horizontal. Si se toma otro subconjunto de tres de estas mediciones de nivel (por ejemplo, L1, L2 y L4) entonces esto define una superficie S2. Con las cuatro mediciones L1-L4, el procesador 34 determina cuatro superficies S1-S4 de esta manera, y determina después una superficie promedio S (media) que es la media de estas cuatro superficies S1-S4. La superficie promedio S (media) se introduce en una tabla de consulta que genera el volumen de combustible en el depósito de combustible para mostrar al piloto y/o almacenar para su posterior análisis.

Si una de las cuatro mediciones de nivel se omite o es errónea, entonces solo puede definirse una única superficie S por las tres mediciones de nivel restantes. En este caso, la superficie S todavía se puede introducir en la tabla de consulta que genera el volumen de combustible en el depósito de combustible, aunque con una precisión menor que si se dispusiera de cuatro mediciones de nivel.

Si dos de las cuatro mediciones de nivel se omiten o son erróneas (por ejemplo, si uno de los dos medidores de TDR en el depósito de combustible está roto), las dos mediciones de nivel restantes no pueden definir una superficie. En este caso, el procesador 34 puede usar alguna otra medición para determinar el cabeceo y balanceo de la aeronave y, por lo tanto, inferir una superficie que puede introducirse en la tabla de consulta. Por ejemplo, el procesador 34

puede tomar una superficie S(ala) del combustible en el depósito del ala y asumir que la superficie en el depósito central es paralela a S(ala). Así, con dos mediciones de nivel desde el depósito central, el procesador 34 puede determinar dos superficies que pasan a través de esos dos niveles y son paralelas con S(ala), e introducir el promedio de estas superficies en la tabla de consulta. Alternativamente, el procesador 34 puede recibir entradas de sensores de actitud que miden el cabeceo y balanceo de la aeronave, y usarlos con las dos mediciones de nivel desde el depósito central para determinar dos superficies que pasan a través de esos dos niveles y son paralelas a los ejes de cabeceo y balanceo de la aeronave e introducir el promedio de estas superficies en la tabla de consulta.

Finalmente, si tres de las cuatro mediciones de nivel se omiten o son erróneas (por ejemplo, si uno de los medidores de TDR está roto), la única medición de nivel restante en combinación con S(ala) y/o los sensores de actitud, e introducir esta única entrada de superficie en la tabla de consulta.

En la realización de la Figura 1, cada medidor de combustible solo puede generar un máximo de dos mediciones de nivel de combustible para cada nivel de llenado. Sin embargo, cada cable podría tener un perfil ondulado más complejo para que pase a través de la transición combustible/espacio vacío más de dos veces para dar más mediciones. En este caso, preferiblemente, el cable no se encuentra en un solo plano, entonces las tres o más mediciones de combustible pueden usarse para definir una superficie del combustible.

Si hay un charco de agua en el fondo del depósito central y el cable pasa a través de él, entonces también se recibirán dos pulsos reflejados relativamente débiles adicionales entre el primer y el segundo pulsos reflejados para cada medidor TDR: uno de la transición de combustible a agua y el otro de la transición de agua a combustible. Esto permite que los medidores del depósito central generen entre ellos hasta cuatro mediciones de nivel de agua, cada uno asociado con un tiempo de recepción de un pulso de retorno respectivo. El nivel de agua puede ser determinado entonces por el procesador de señales 34 de acuerdo con una o todas estas mediciones de nivel de agua.

El sistema de medidor de combustible para el depósito del ala 2 funciona a lo largo de líneas similares. El depósito del ala 2 también tiene dos medidores de combustible: uno en el lado de proa y el otro en el lado de popa. Solo se describirá el medidor de proa; el otro medidor será idéntico. El cable del medidor de proa tiene un extremo proximal 56 que pasa a través de un conector 28 en el larguero de proa 13 hasta un generador de señales 31, y un extremo distal en el extremo más alejado del cable. El cable tiene tres partes de cable 25, 26 y 27 dentro del depósito que están acopladas en serie al generador de señales 31 a través del extremo proximal 56. La parte interna 25 del cable se extiende verticalmente hacia abajo, alejándose del conector 28 y paralela al plano de simetría 60. La parte interna 25 del cable está montada en el larguero de proa 13 mediante conectores (no mostrados). El cable gira después hacia fuera en una esquina cerca del punto bajo 50 en el fondo del depósito y conduce a una parte inferior 26 del cable que se extiende hacia arriba y lateralmente lejos del plano de simetría 60 en el ángulo diédrico θ2 a lo largo de la pared inferior 12 (a la que está unido mediante conectores, no mostrados). El cable gira después hacia arriba en una segunda esquina para formar una parte externa corta 27 del cable que se extiende verticalmente hacia arriba a lo largo de la pared externa 10 a la que está unido por conectores (no mostrados) hasta el extremo distal del cable. El extremo distal del cable está cerca del punto alto 51 en la parte superior del depósito. El cable y el depósito del ala tienen cada uno un tramo 53,52 normal al plano de simetría 60 de la aeronave. Para obtener lecturas para la mayoría de los niveles de llenado, el tramo 53 del cable es solo un poco menor que el tramo 52 del depósito del ala; en este caso, el tramo 53 es aproximadamente el 95 % del tramo 52 del depósito del ala.

Las partes de cable 25,26 están dispuestas de tal manera que para el nivel de llenado 16, la parte interna 25 del cable se extiende hacia abajo desde un espacio vacío 71 por encima del combustible y hacia el combustible en una ubicación interna 40 y la parte de cable inferior 26 se extiende hacia arriba y fuera del combustible en el mismo espacio vacío 71 en una ubicación externa 41 que está separada de la ubicación interna en una cantidad que varía dependiendo del nivel exacto de llenado.

Para los niveles de llenado 17 y 18, la parte interna 25 del cable está completamente sumergida, de modo que no pasa a través de la superficie superior del combustible. Para el nivel de llenado 17, la parte inferior 26 del cable se extiende hacia arriba y hacia fuera del combustible en un espacio vacío 72 en la ubicación 42. Para el nivel de llenado 18, la parte externa 27 del cable se extiende verticalmente hacia arriba y hacia fuera del combustible en un espacio vacío 73 en la ubicación 43.

El medidor TDR de popa para el depósito del ala es idéntico al medidor de proa, entonces, entre ellos, el procesador 34 puede usar los dos medidores para generar dos o cuatro mediciones de nivel de combustible (dependiendo del nivel de combustible), cada una asociada con un tiempo de recepción de un pulso de retorno respectivo.

Si hay cuatro niveles de combustible disponibles, entonces el procesador 34 puede calcular el volumen de combustible en el depósito del ala utilizando el mismo proceso descrito anteriormente para el depósito central, pero usando una tabla de consulta diferente asociada con el depósito del ala. Si solo hay disponibles uno o dos niveles de combustible del depósito del ala, entonces aún pueden definirse una o dos superficies del depósito del ala (y, por lo tanto, los volúmenes de combustible) mediante estas una o dos mediciones del nivel del depósito del ala en combinación con la superficie medida en el depósito central y/o los sensores de actitud.

Al igual que con el depósito central, si hay un charco de agua en el punto bajo 50 en el fondo del depósito del ala y el cable pasa a través de él, entonces también se recibirán dos pulsos reflejados relativamente débiles adicionales entre el primer y el segundo pulsos reflejados para cada medidor TDR: el primero de la transición de combustible a agua y el segundo de la transición de agua a combustible. Esto permite que los medidores del depósito del ala generen entre ellos hasta cuatro mediciones de nivel de agua, cada uno asociado con un tiempo de recepción de un pulso de retorno respectivo. El nivel de agua puede ser determinado entonces por el procesador de señales 34 de acuerdo con una o todas estas mediciones de nivel de agua.

La Figura 6 muestra un sistema de medidor de combustible en bucle para el depósito del ala 2 que genera cuatro mediciones de nivel para la mayoría de los niveles de llenado, a diferencia del sistema de las Figuras 1-3. El sistema es similar al que se muestra en las Figuras 1-3, por lo que solo se describirán las diferencias. La parte externa 27 del cable conduce a una tercera esquina donde el cable gira hacia dentro y discurre hacia abajo y lateralmente en el ángulo diédrico θ1 a través de una parte superior 29 del cable a lo largo de la pared superior 11 a la que está unido mediante conectores (no mostrados) hasta el extremo distal 57 del cable, que está cerca del conector 28. La parte superior 29 del cable está en serie con las otras tres partes de cable 25-27 y el generador de señales. Al igual que con la realización de la Figura 1, el tramo 53 del cable es solo un poco menor que el tramo del depósito del ala, como lo es el tramo de cada parte de cable individual 26, 29.

Para el nivel de llenado intermedio 17, la parte superior 29 del cable se extiende hacia abajo desde el espacio vacío y hacia el combustible en la ubicación 44 y la parte inferior 26 del cable se extiende hacia arriba y fuera del combustible dentro del espacio vacío en la ubicación 42. Para el nivel de llenado superior 18, la parte superior 29 del cable se extiende hacia abajo desde el espacio vacío hacia el combustible en la ubicación 45 y la parte externa 27 del cable se extiende verticalmente hacia arriba y fuera del combustible dentro del espacio vacío en la ubicación 43.

En la disposición de la Figura 2, solo están disponibles cuatro mediciones de nivel de combustible para el nivel relativamente bajo de combustible 16. Esto es aceptable para operaciones de vuelo normales, ya que solo se requiere una alta precisión del volumen de combustible cuando el nivel de combustible es bajo. A diferencia de ello, la disposición de la Figura 6 puede proporcionar un alto nivel de precisión para los niveles de combustible alto y bajo.

La Figura 7 muestra otro sistema de medidor de combustible alternativo que es similar al mostrado en la Figura 1, excepto que se le ha dado la vuelta para que los conectores estén cerca del fondo del depósito de combustible en lugar de en la parte superior.

El cable del medidor de estribor en el depósito central tiene un extremo proximal que pasa a través del conector 23a en la pared de popa 7 a un generador de señales (mostrado ahora) y un extremo distal opuesto al conector 23a. El cable tiene una parte de popa 20a del cable que se extiende verticalmente hacia arriba dentro del depósito de combustible lejos del conector 23a y paralela al plano de simetría 60. La parte de popa 20 del cable está montada en la pared de popa 7 mediante conectores (no mostrados). El cable gira después hacia delante en una esquina en la parte superior del depósito hacia una parte superior 21a del cable que se extiende hacia delante a lo largo de la pared superior 5 (a la que está unido mediante conectores, no mostrados) lejos de la esquina. El cable gira después hacia abajo para formar una parte de proa 22a del cable que se extiende verticalmente hacia abajo a lo largo de la pared de proa 8 a la que está unido mediante conectores (no mostrados) al extremo distal del cable en o cerca del fondo del depósito.

Se da la vuelta de manera similar al sistema de medidor de combustible para el depósito del ala 2. El cable del medidor de proa tiene un extremo proximal que pasa a través del conector 28a en el larguero de proa a un generador de señales (no mostrado) y un extremo distal en un extremo opuesto del cable. El cable tiene una parte interna 25a del cable que se extiende verticalmente hacia arriba dentro del depósito de combustible lejos del conector 28a, que está cerca del punto bajo del depósito del ala. La parte interna 25a del cable está montada en el larguero de proa mediante conectores (no mostrados). El cable gira después hacia fuera en una esquina en la parte superior del depósito y tiene una parte superior 26a del cable que se extiende hacia arriba y lateralmente en el ángulo diédrico θ1 a lo largo de la pared superior (a la que está unido mediante conectores, no mostrados) lejos de la esquina. El cable gira después hacia abajo cerca del punto alto para formar una parte externa 27a del cable que se extiende verticalmente hacia abajo a lo largo de la pared externa 10 a la que está unido por conectores (no mostrados) hasta el extremo distal del cable.

Cuando el depósito está al nivel de llenado 18, la parte externa 27a del cable se extiende hacia abajo desde el espacio vacío hacia el combustible y la parte superior 26a del cable se extiende hacia arriba y fuera del combustible hacia el mismo espacio vacío. Para el nivel de llenado 17, la parte superior 26a del cable se extiende hacia arriba y fuera del combustible dentro del espacio vacío. Para el nivel de llenado 16, la parte interna 25a del cable se extiende verticalmente hacia arriba y fuera del combustible dentro del espacio vacío.

A diferencia de los medidores TDR del depósito del ala de la Figura 1, cada medidor TDR del depósito del ala en la Figura 7 solo puede generar una única lectura de nivel de agua.

Al igual que con la Figura 6, los cables en el depósito del ala de la Figura 7 se pueden extender a lo largo de la

pared inferior para hacer volver el cable cerca del conector 28a casi completando un circuito completo y permitiendo cuatro mediciones para la mayoría de los niveles de llenado de combustible. Esto también permitirá que cada cable genere dos lecturas de nivel de agua si el extremo distal del cable está lo suficientemente cerca del punto bajo del depósito del ala.

A partir del nivel de combustible medido, el procesador 34 puede inferir el volumen de combustible (y, por lo tanto, la masa de combustible) en cada depósito y mostrarlo al piloto y/o almacenarlo en la memoria de un ordenador para su posterior análisis. Técnicamente solo se requiere una sonda TDR por depósito (en combinación con sensores de cabeceo y balanceo), pero se prefieren dos con fines de redundancia, exactitud y comprobación del estado del sistema.

De manera similar, el nivel de agua puede calcularse como se ha mencionado anteriormente y mostrarse al piloto y/o almacenarse en la memoria de un ordenador. Alternativamente, el(los) pulso(s) adicional(es) reflejado(s) de la transición agua/combustible pueden simplemente usarse para indicar la presencia de agua: el sistema genera una salida que puede ser una alerta visual para el piloto o un indicador de agua que se almacena en la memoria de un ordenador para su posterior análisis.

Aunque la invención se ha descrito anteriormente con referencia a una o más realizaciones preferidas, se apreciará que pueden realizarse diversos cambios o modificaciones sin alejarse del alcance de la invención tal como se define en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Una aeronave que comprende un depósito de combustible (2) de la aeronave; y un medidor de combustible de reflectometría en el dominio del tiempo (TDR) instalado en el depósito de combustible de la aeronave para medir el nivel de llenado de combustible en el depósito de combustible de la aeronave, comprendiendo el medidor de combustible TDR un generador de señales electromagnéticas (31) y un cable, comprendiendo el cable una primera parte de cable (25) y una segunda parte de cable (26) que están acopladas en serie al generador de señales, en donde la primera parte de cable se extiende hacia abajo dentro del depósito de combustible y la segunda parte de cable se extiende hacia arriba dentro del depósito de combustible, y en donde la primera y la segunda partes de cable están dispuestas de manera que, al menos, para un nivel de llenado del combustible en el depósito de combustible, la primera parte de cable se extiende hacia abajo dentro del combustible desde un espacio vacío (71) en una primera ubicación y la segunda parte de cable se extiende hacia arriba fuera del combustible dentro de un espacio vacío (71) en una segunda ubicación que está separada de la primera ubicación, **caracterizada por que** el depósito de combustible es un depósito del ala en un ala de la aeronave, la aeronave tiene un plano de simetría (60), al menos parte (26) del cable dentro del depósito del ala se extiende lejos del plano de simetría, el cable y el depósito del ala tienen cada uno un tramo normal al plano de simetría, y el tramo del cable es más del 70 % del tramo del depósito del ala.

2. La aeronave de la reivindicación 1, en donde la primera y la segunda partes de cable están dispuestas de tal manera que, para el al menos un nivel de llenado, la primera parte de cable (25) se extiende en un ángulo agudo con respecto a la horizontal en la primera ubicación donde este se extiende hacia abajo dentro del combustible y/o la segunda parte de cable (26) se extiende en un ángulo agudo con respecto a la horizontal en la segunda ubicación donde este se extiende hacia arriba fuera del combustible.

3. La aeronave de cualquier reivindicación anterior en donde la primera parte de cable (25) está montada en una primera pared del depósito de combustible y la segunda parte de cable está montada en una segunda pared del depósito de combustible.

4. La aeronave de la reivindicación 3 en donde la primera pared del depósito de combustible es opuesta a la segunda pared del depósito de combustible.

5. La aeronave de la reivindicación 3 en donde la primera pared del depósito de combustible es adyacente a la segunda pared del depósito de combustible, con la que coincide en una esquina.

6. La aeronave de cualquier reivindicación anterior en donde el cable comprende además una tercera parte de cable (27) en serie con el generador de señales y la primera y segunda partes de cable; el depósito de combustible tiene dos paredes laterales opuestas y una pared superior o inferior que se extiende entre las paredes laterales; y las tres partes de cable, del cable, están unidas a las dos paredes laterales opuestas y a la pared superior o inferior.

7. La aeronave de cualquier reivindicación anterior, en donde el cable comprende además una tercera (27) y cuarta (29) partes de cable en serie con el generador de señales y la primera y segunda partes de cable; el depósito de combustible tiene dos paredes laterales opuestas y paredes superior e inferior que se extienden entre las paredes laterales; y las cuatro partes de cable, del cable, están unidas a las dos paredes laterales opuestas y a las paredes superior e inferior.

8. La aeronave de cualquier reivindicación anterior que comprende además un procesador dispuesto para determinar un tiempo de recepción de los pulsos electromagnéticos reflejados recibidos desde la primera y segunda partes de cable.

9. La aeronave de cualquier reivindicación anterior que comprende uno o más medidores de combustible TDR instalados en el depósito de combustible de la aeronave para medir un nivel de llenado de combustible en el depósito de combustible de la aeronave, comprendiendo cada medidor de combustible TDR un generador de señales electromagnéticas y un cable, comprendiendo el cable una primera parte de cable y una segunda parte de cable que están acopladas en serie al generador de señales, en donde la primera parte de cable se extiende hacia abajo dentro del depósito de combustible y la segunda parte de cable se extiende hacia arriba dentro del depósito de combustible, y en donde la primera y la segunda partes de cable están dispuestas de manera que, al menos, para un nivel de llenado del combustible en el depósito de combustible, la primera parte de cable se extiende hacia abajo dentro del combustible desde un espacio vacío en una primera ubicación y la segunda parte de cable se extiende hacia arriba fuera del combustible dentro de un espacio vacío en una segunda ubicación que está separada de la primera ubicación.

10. La aeronave de la reivindicación 9, en donde el uno o más medidores de combustible TDR generan colectivamente tres o más mediciones de nivel de combustible que definen una superficie que dependerá de un volumen de combustible en el depósito, así como de un cabeceo y balanceo del depósito con respecto a la horizontal, y el sistema comprende además un procesador dispuesto para estimar el volumen de combustible en el depósito de acuerdo con las tres o más mediciones de nivel de combustible.

11. La aeronave de cualquier reivindicación anterior en donde el depósito del ala junto con la primera y/o segunda partes de cable forma un ángulo ascendente o descendente a medida que se extiende lejos del plano de simetría.

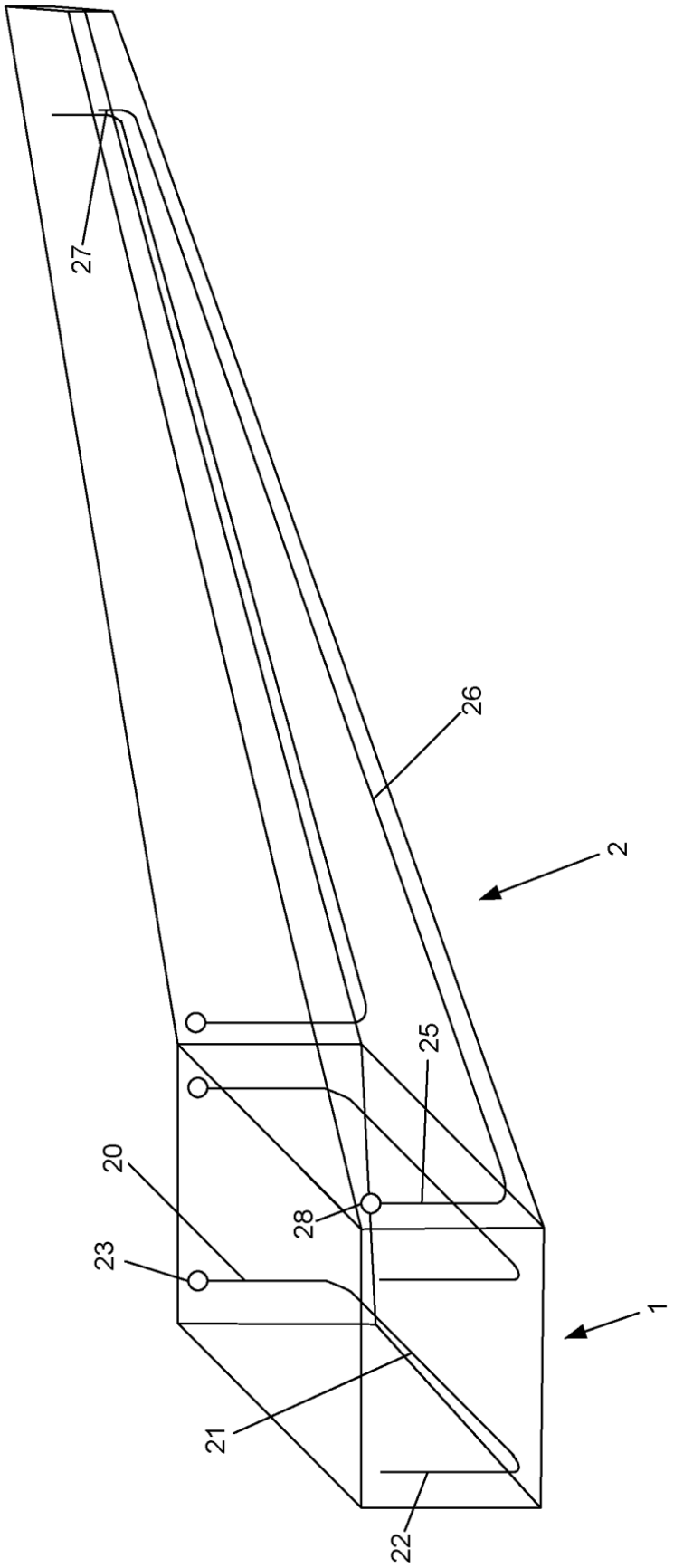
12. La aeronave de cualquier reivindicación anterior en donde el depósito de combustible tiene una pared de proa (13) y una pared de popa (34), en relación con el movimiento de avance de la aeronave, y en donde cada medidor de combustible TDR pasa a través de la pared de proa o la pared de popa.

13. Un método para medir el nivel de llenado de combustible en la aeronave de cualquier reivindicación anterior, comprendiendo el método transmitir un pulso electromagnético de entrada del generador de señales al cable; recibir un primer pulso electromagnético reflejado desde la primera parte de cable donde este se extiende hacia abajo dentro del combustible desde el espacio vacío en la primera ubicación; recibir un segundo pulso electromagnético reflejado desde la segunda parte de cable donde este se extiende hacia arriba fuera del combustible dentro del espacio vacío en la segunda ubicación, y determinar un tiempo de recepción del primer y segundo pulsos electromagnéticos reflejados.

14. El método de la reivindicación 13, que comprende además recibir un pulso electromagnético adicional reflejado desde el cable donde este pasa a través de una transición entre el agua y el combustible; y determinar un tiempo de recepción del pulso electromagnético reflejado adicional.

15. El método de las reivindicaciones 13 o 14 que comprende además estimar un volumen de combustible en el depósito de combustible de acuerdo con el tiempo de recepción del primer y segundo pulsos electromagnéticos reflejados.

Figura 1



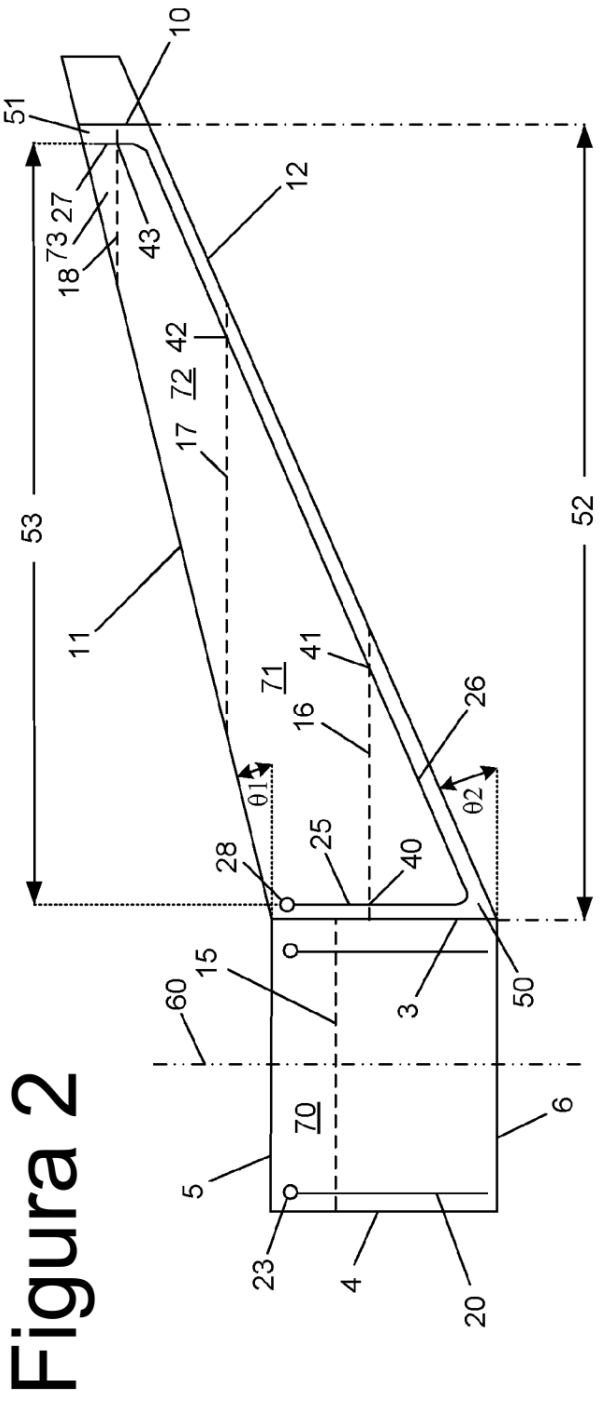


Figura 2

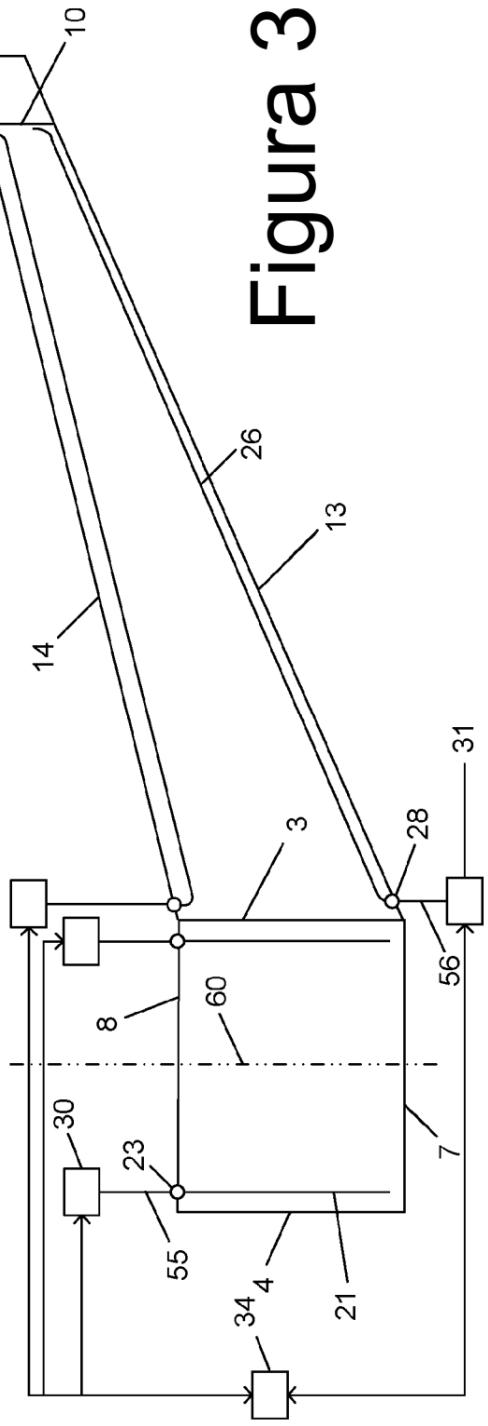


Figura 3

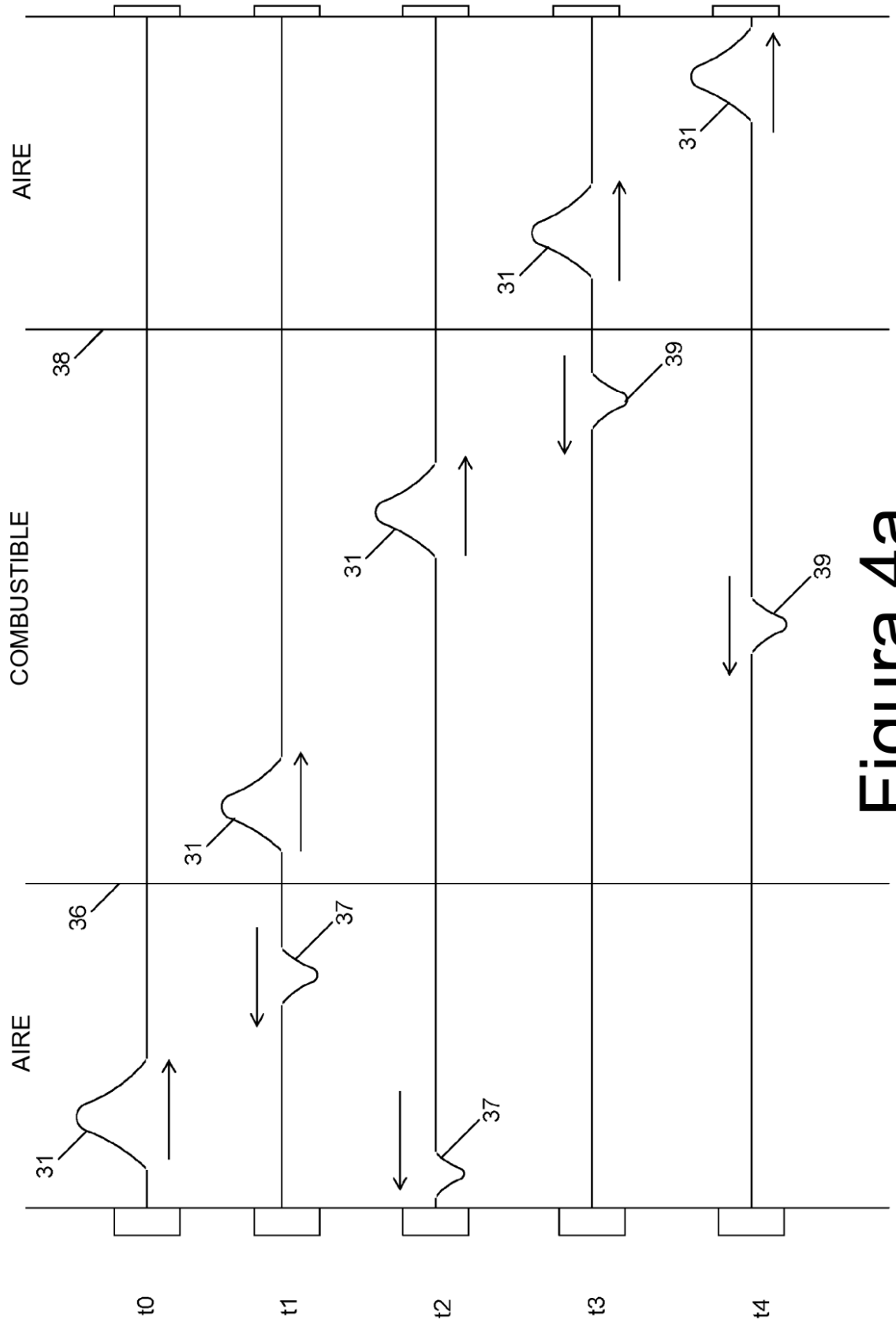

AIRE
COMBUSTIBLE
AIRE
38
36
31
31
31
31
31
37
37
39
39
t0
t1
t2
t3
t4

Figura 4a

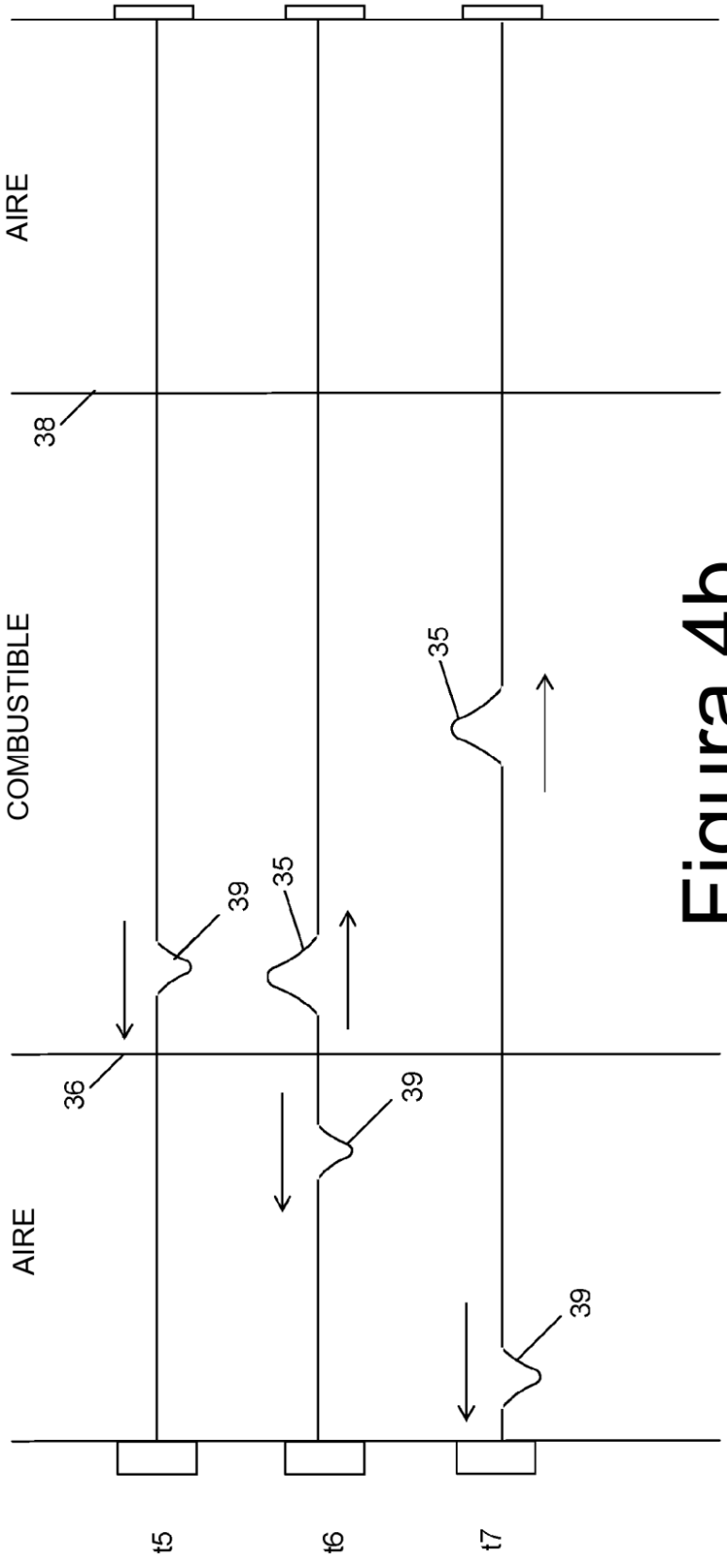


Figura 4b

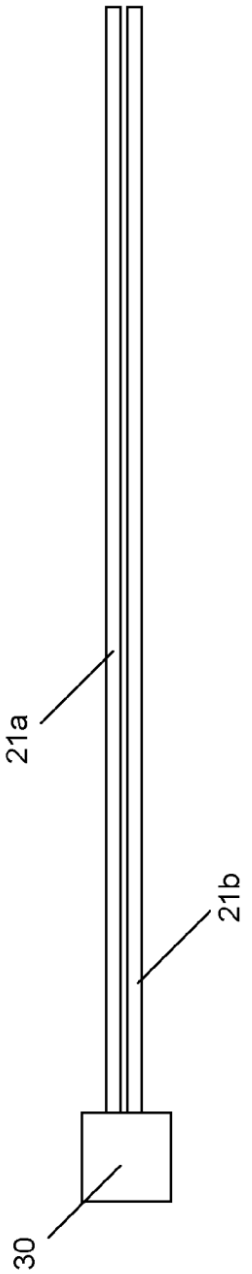


Figura 5

Figura 6

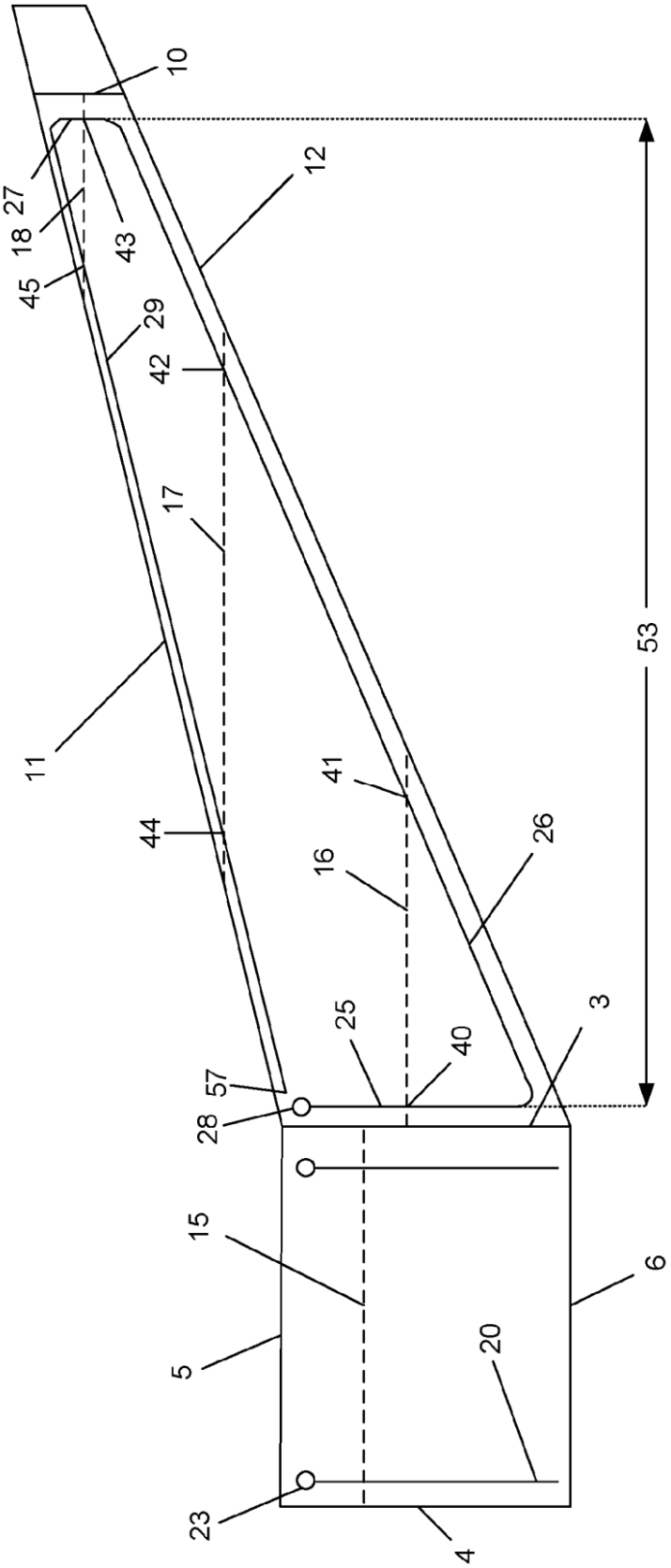
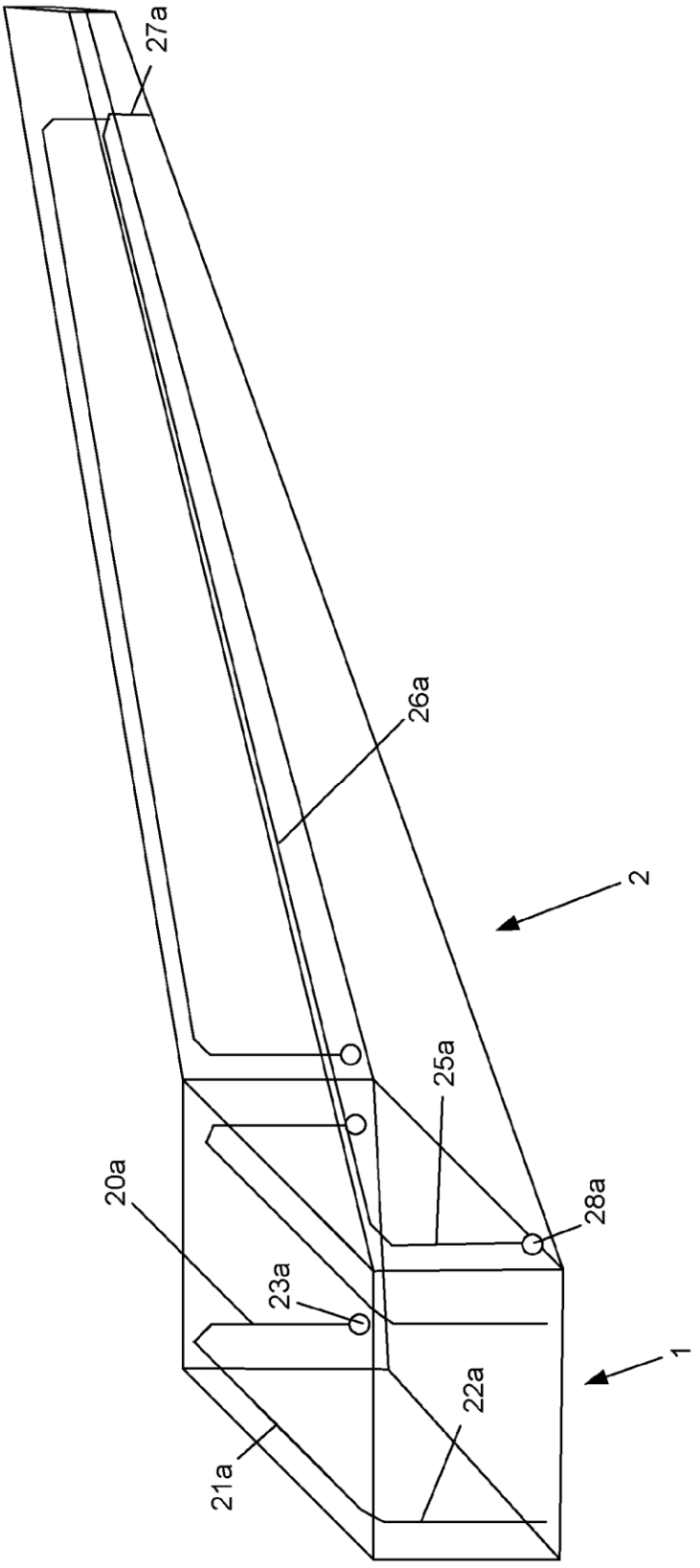


Figura 7



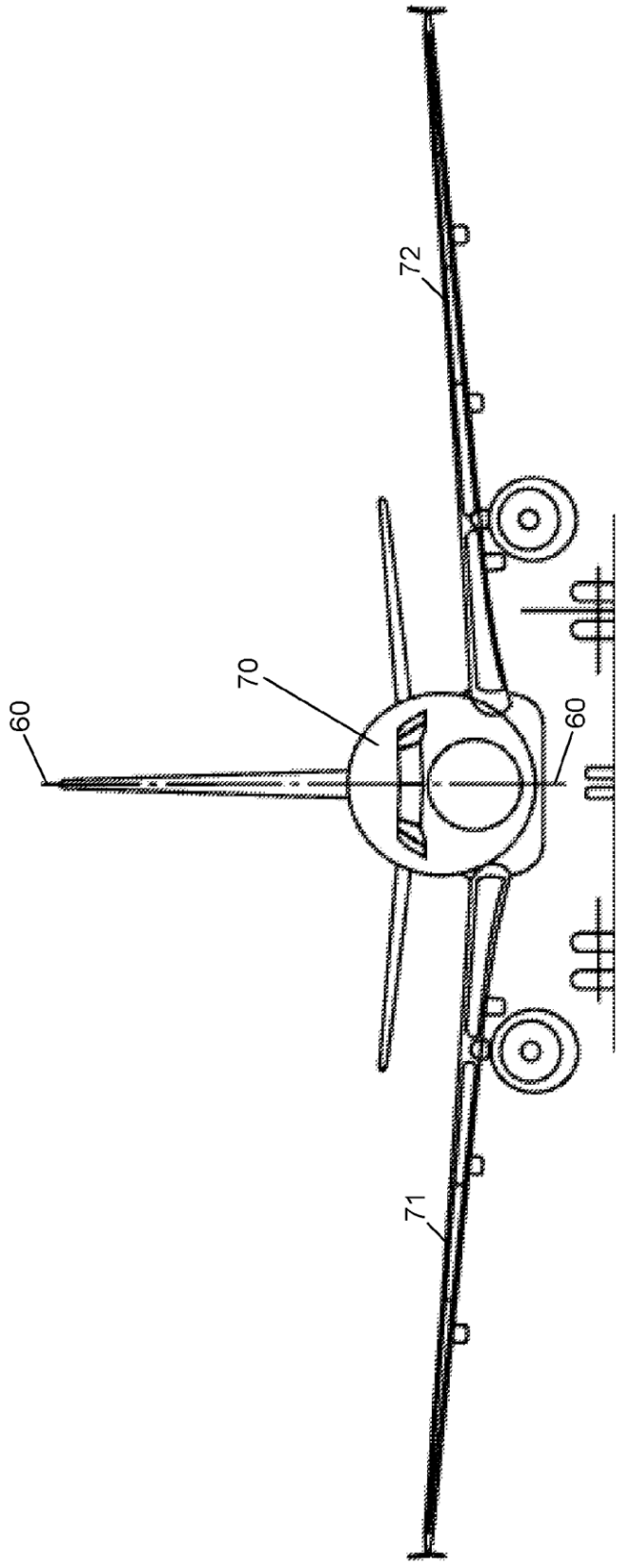


Figura 8

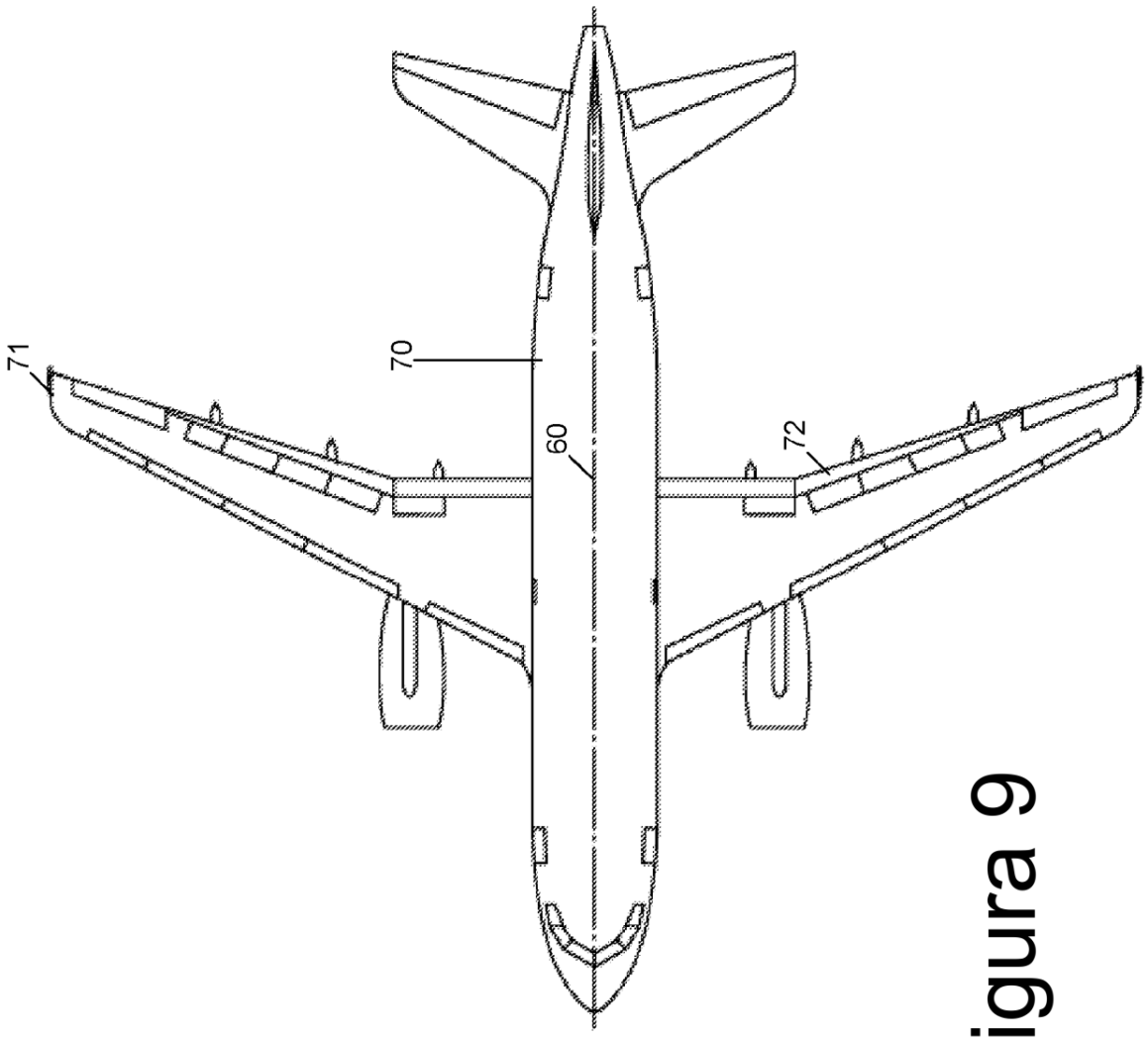


Figura 9

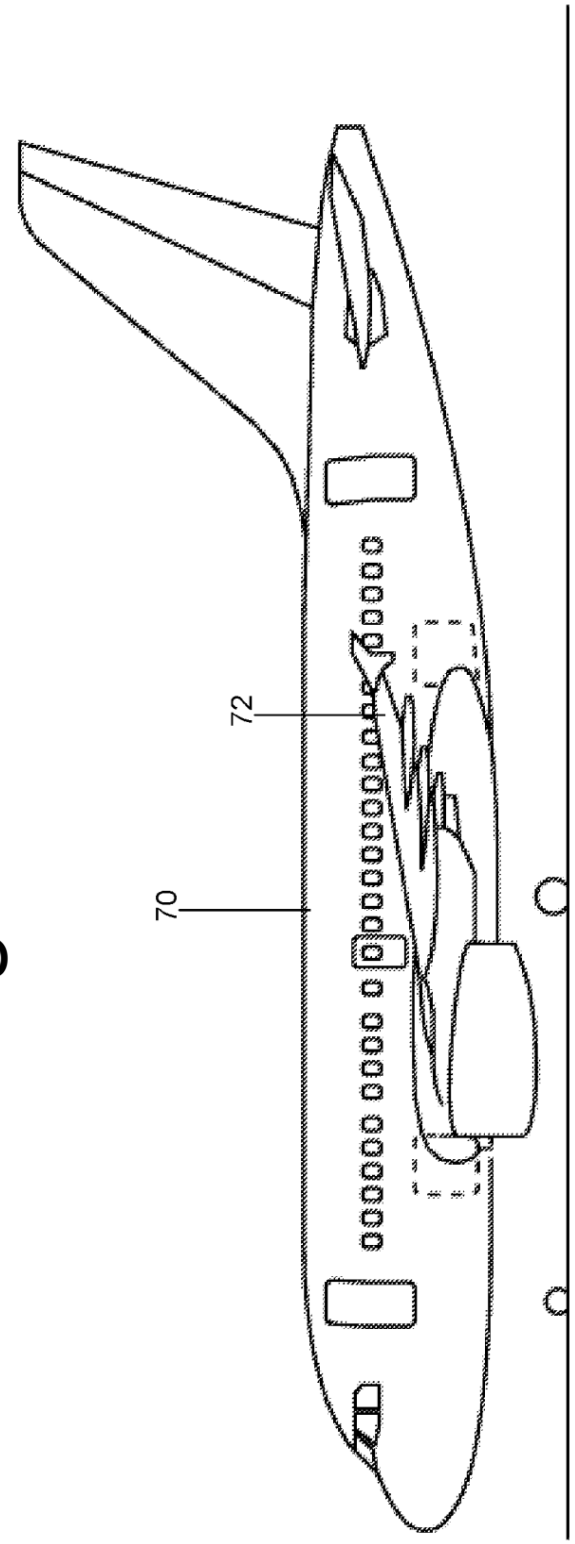



Figura 10