

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 654 386**

51 Int. Cl.:

**B64D 39/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.08.2010 E 10173782 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.10.2017 EP 2289800**

54 Título: **Método y aparato para controlar un embudo de reabastecimiento de combustible**

30 Prioridad:

**31.08.2009 US 551177**

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

**13.02.2018**

73 Titular/es:

**THE BOEING COMPANY (100.0%)  
100 North Riverside Plaza  
Chicago, IL 60606-1596, US**

72 Inventor/es:

**MUSGRAVE, JEFFREY L. y  
STECKO, STEPHEN M.**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

**ES 2 654 386 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

Método y aparato para controlar un embudo de reabastecimiento de combustible.

Antecedentes

5 Las realizaciones de la presente divulgación se relacionan en general al reabastecimiento de combustible aéreo y, más particularmente, a métodos y aparatos para controlar un embudo de reabastecimiento de combustible.

10 El reabastecimiento de combustible aéreo implica la transferencia de combustible a partir de una aeronave, tal como a partir de una aeronave cisterna, a otra aeronave, tal como una receptora. Por ejemplo, se puede utilizar reabastecimiento de combustible aéreo con el fin de extender el rango de las aeronaves que viajan largas distancias sobre áreas que no tienen puntos de aterrizaje o reabastecimiento de combustible factibles. El reabastecimiento de combustible aéreo se puede utilizar por diversos tipos de aeronaves, que incluyen, por ejemplo, aeronaves de ala fija y/o helicópteros.

15 Un sistema para facilitar el reabastecimiento de combustible aéreo es un sistema de sonda y embudo de reabastecimiento de combustible aéreo. En un sistema de sonda y embudo de reabastecimiento de combustible aéreo, una aeronave cisterna puede extender una manguera flexible alargada que tiene un embudo unido a su extremo distal, a la vez que una aeronave receptora que tiene una sonda de reabastecimiento de combustible que se extiende a partir de allí, se acerca a la aeronave cisterna. La sonda de reabastecimiento de combustible está configurada para acoplarse al embudo a la vez que se encuentra en vuelo para iniciar la transferencia de combustible. Típicamente, el operador de la aeronave receptora a partir de la cual se extiende la sonda de reabastecimiento de combustible se encarga de maniobrar la aeronave receptora de manera que la sonda de reabastecimiento de combustible ingrese y se acople al embudo.

20 Desafortunadamente, el movimiento del embudo puede hacer que el enganche de la sonda de reabastecimiento de combustible con el embudo sea una tarea desafiante. Entre otras fuerzas que actúan sobre el embudo, la onda de proa que se crea por la aeronave receptora que transporta la sonda de reabastecimiento de combustible puede provocar el desplazamiento del embudo. Además, las ráfagas de viento o similares también pueden provocar que el embudo se desplace con relación a la sonda de reabastecimiento de combustible. Dicho movimiento inesperado e impredecible del embudo de reabastecimiento de combustible aumenta la complejidad de la operación de reabastecimiento de combustible aéreo. Como tal, puede aumentar el tiempo requerido para el reabastecimiento de combustible aéreo, lo que potencialmente disminuye la efectividad general de la misión. Además, el movimiento del embudo podría causar daños al conjunto de la manguera y el embudo y/o a la aeronave receptora que lleva la sonda de reabastecimiento de combustible.

25 En un esfuerzo por hacer contacto con el embudo y evitar parte del movimiento del embudo, los pilotos de la aeronave receptora que llevan la sonda de reabastecimiento de combustible pueden a veces interceptar el embudo a velocidades relativamente elevadas. Si bien la interceptación del embudo a mayor velocidad puede superar algunas de las complicaciones introducidas por el movimiento del embudo, la interceptación del embudo a una velocidad mayor puede crear una oscilación de la manguera que puede afectar negativamente la integridad de la manguera y de este modo la entrega de combustible.

30 Con el fin de reducir el movimiento de un embudo, los embudos se han diseñado con supresión pasiva de perturbaciones, como por ejemplo mediante el diseño de dosel del embudo. A este respecto, pueden diseñarse embudos que tengan sistemas de supresión de perturbaciones pasivas algo diferentes, para diferentes intervalos de velocidad de aire. Además, la supresión de perturbación pasiva de un embudo puede combinarse con el control de tensión activa para reducir aún más el movimiento del embudo. Sin embargo, los embudos que tienen supresión de perturbación pasiva pueden moverse aún más de forma inesperada e impredecible de lo que se desea. Por ejemplo, los embudos que tienen supresión pasiva de perturbaciones pueden no ser capaces de rechazar las ondas de proa que tienden a empujar el embudo lejos de una sonda de reabastecimiento de combustible.

35 Un sistema de control activo que controla activamente un embudo de reabastecimiento de combustible se describe en la US2007/0262203. Puede ser deseable proporcionar un método, aparato y sistema que pueda superar uno o más de los problemas descritos anteriormente, así como otros posibles problemas.

40 De acuerdo con una realización, se proporcionan un método, aparato y sistema para facilitar el reabastecimiento de combustible aéreo. A este respecto, se proporcionan un método y aparato de acuerdo con las realizaciones de la presente divulgación para controlar un embudo de reabastecimiento de combustible, facilitando de este modo el acoplamiento del embudo con una sonda de reabastecimiento de combustible de una manera que puede disminuir el tiempo requerido para dicho acoplamiento y que por lo tanto puede aumentar la efectividad general de la misión a la vez que se reduce la posibilidad de daño atribuible a la operación de reabastecimiento de combustible aéreo.

45 En una realización, se proporciona un método para controlar un embudo de reabastecimiento de combustible. El método recibe un error respectivo para al menos un estado asociado con una manguera o un embudo. El método también puede recibir una indicación del estado real del embudo. El método de esta realización también puede determinar un comando que se emitirá a un actuador transportado por el embudo con base en el estado real del

embudo, el error respectivo para al menos un estado asociado con la manguera o el embudo, y un comando real que ha sido previamente emitido al actuador. De acuerdo con el método de esta realización, se puede emitir un comando al actuador, es decir, un comando actualizado.

5 En otra realización, puede proporcionarse un aparato para controlar un embudo de reabastecimiento de combustible. El aparato puede incluir un procesador que está configurado para recibir un error respectivo para al menos un estado asociado con una manguera o un embudo. El procesador también puede configurarse para recibir una indicación del estado real del embudo. El procesador puede configurarse para determinar un comando que se emitirá a un actuador transportado por el embudo con base en el estado real del embudo, el error respectivo para al menos un estado asociado con la manguera o el embudo y un comando real que ha sido previamente emitido al actuador. El embudo puede configurarse para emitir un comando al actuador.

10 En una realización adicional, se proporciona un sistema de reabastecimiento de combustible que incluye un embudo de reabastecimiento de combustible que comprende al menos un actuador y procesador. El procesador está configurado para recibir un error respectivo para al menos un estado asociado con una manguera o un embudo. El procesador también está configurado para recibir una indicación del estado real del embudo. Además, el procesador está configurado para determinar un comando que se emitirá al actuador en función del estado real del embudo, el error respectivo de al menos un estado asociado con la manguera o el embudo y un comando real que se ha emitido previamente para el actuador. Además, el procesador de esta realización puede configurarse para emitir el comando al actuador.

15 En las realizaciones anteriores, el error respectivo que se recibe puede incluir errores para al menos un estado asociado con la manguera y al menos un estado asociado con el embudo. El error respectivo puede, en una realización, incluir el error de velocidad respectivo para al menos un estado asociado con la manguera o el embudo. Por ejemplo, el error de velocidad respectivo puede incluir al menos uno de un error para una tasa de elevación de manguera, un error para una tasa de azimut de manguera, un error para una tasa de inclinación del embudo, un error para una tasa de guiñada de embudo o un error para una tasa de balanceo del embudo.

20 En una realización, también se puede recibir una representación de presión dinámica con el comando que se debe emitir al actuador que se determina con base también en la presión dinámica. El embudo de reabastecimiento de combustible de una realización puede incluir una diversidad de actuadores. En esta realización, la determinación del comando puede incluir la determinación de un comando respectivo para emitirse a cada uno de la diversidad de dispositivos de actuación. Como tal, la emisión del comando de acuerdo con esta realización también puede incluir la emisión del comando respectivo a cada uno de la diversidad de dispositivos de actuación.

25 Las características, funciones y ventajas que se han discutido se pueden lograr de forma independiente en diversas realizaciones de la presente descripción, cuyos detalles adicionales se pueden observar con referencia a la siguiente descripción y dibujos.

Breve descripción de las diversas vistas de los dibujos

35 Habiendo descrito así la descripción en términos generales, ahora se hará referencia a los dibujos adjuntos, que no están necesariamente dibujados a escala, y en los que:

40 La Figura 1 es una representación esquemática de una aeronave cisterna que tiene una manguera alargada y un embudo de reabastecimiento de combustible, así como una aeronave receptora que tiene una sonda de reabastecimiento de combustible que se extiende a partir de allí de acuerdo con una realización de la presente divulgación;

La Figura 2 es un diagrama de bloques de un sistema de reabastecimiento de combustible que tiene un embudo de reabastecimiento de combustible con al menos un actuador y un procesador para controlar el embudo de reabastecimiento de combustible de acuerdo con las realizaciones de la presente divulgación;

45 La Figura 3 es un diagrama de bloques de operaciones realizadas por un mezclador de control para controlar un embudo de reabastecimiento de combustible de acuerdo con las realizaciones de la presente divulgación; y

La Figura 4 es un diagrama de flujo de las operaciones realizadas para controlar un embudo de reabastecimiento de combustible de acuerdo con las realizaciones de la presente divulgación.

Descripción detallada

50 La presente divulgación se describirá ahora más completamente a continuación con referencia a los dibujos adjuntos, en los que se muestran algunas, pero no todas las realizaciones. De hecho, estas realizaciones pueden tener muchas formas diferentes y no deben interpretarse como limitantes a lo que se expone aquí; en lugar de ello, estas formas de realización se proporcionan de modo que esta divulgación satisfaga los requisitos legales aplicables. Los números similares se refieren a elementos similares en todas partes.

55 Con referencia ahora a la Figura 1, se representa una operación de reabastecimiento de combustible aéreo. A este respecto, una aeronave 10 cisterna tiene una manguera 12 alargada que se extiende a partir de allí. La manguera

alargada incluye un extremo proximal que es transportado por la aeronave cisterna y puede estar acoplado operativamente con un depósito de combustible que también es transportado por la aeronave cisterna. El depósito de combustible puede estar ubicado dentro del fuselaje, la estructura del ala u otro compartimento dentro de la aeronave cisterna. La manguera alargada puede configurarse para ser tomada a partir de la posición extendida y puede, por ejemplo, enrollarse en un conjunto de tambor giratorio que puede estar dispuesto dentro de la aeronave cisterna, tal como dentro del fuselaje de la aeronave cisterna. El extremo distal de la manguera alargada en general se extiende hacia atrás y debajo de la aeronave cisterna. Un embudo 14 de reabastecimiento de combustible puede estar acoplado operativamente con el segundo extremo de la manguera alargada para estar en comunicación fluida con el mismo. Como se muestra en la Figura 1, una aeronave 16 receptora que lleva una sonda 18 de reabastecimiento de combustible puede aproximarse a la aeronave cisterna, tal como a partir de la parte posterior y debajo, en un esfuerzo para enganchar la sonda de reabastecimiento de combustible con el embudo y, a partir de ese momento, proporcionar el reabastecimiento de combustible aéreo de combustible de la aeronave receptora. A la vez que la operación de reabastecimiento de combustible aéreo se representa en la Figura 1 junto con la aeronave de ala fija, otros tipos de aeronaves también pueden confiar en el reabastecimiento de combustible aéreo, que incluye, por ejemplo, helicópteros.

El embudo 14 de reabastecimiento de combustible puede incluir uno o más actuadores. El embudo de reabastecimiento de combustible puede incluir una variedad de diferentes tipos de actuadores. Por ejemplo, el embudo de reabastecimiento de combustible puede incluir actuadores de dosel que pueden servir para colocar porciones del dosel en un estado expandido en el que la porción respectiva del embudo tiene un perfil más grande o un estado retraído en el que la porción respectiva del embudo tiene un perfil reducido como se describe, por ejemplo, en la Patente de Estados Unidos No. 7,219,857 de John F. Takas, et al. Alternativamente, el embudo de reabastecimiento de combustible puede incluir uno o más actuadores en forma de un timón-elevador como se describe, por ejemplo, mediante la aplicación PCT No. PCT/US08/85587 presentada el 4 de Diciembre de 2008. A la vez que se han descrito dos tipos de actuadores, el embudo de reabastecimiento de combustible puede incluir otros tipos de actuadores en otras realizaciones, que incluyen, por ejemplo, superficies de control.

En una realización, representada esquemáticamente en la Figura 2 y descrita a continuación, el embudo 14 de reabastecimiento de combustible incluye una pluralidad de actuadores. Por ejemplo, un embudo de reabastecimiento de combustible puede incluir un actuador 17 de estribor y un actuador 19 de babor para proporcionar deflexión u otro movimiento controlado en la dirección de azimut. En esta realización, el actuador de estribor puede configurarse para proporcionar control relativo al movimiento del embudo de reabastecimiento de combustible en una dirección de estribor, y el actuador de babor puede configurarse para proporcionar control con relación al movimiento del embudo de reabastecimiento de combustible en una dirección de puerto. Además o alternativamente, el embudo puede incluir primer y segundo actuadores 20 y 22 de elevación. Los primer y segundo actuadores de elevación pueden estar configurados para proporcionar control relativo al movimiento del embudo de reabastecimiento de combustible en direcciones verticales opuestas, tales como direcciones ascendentes y descendentes. Aunque se describe una realización de un embudo de reabastecimiento de combustible que tiene cuatro actuadores, un embudo de reabastecimiento de combustible puede incluir cualquier número de actuadores y los actuadores se pueden posicionar o configurar de modo que proporcionen control del embudo de reabastecimiento de combustible en cualquier número de direcciones diferentes.

Con referencia ahora a la Figura 3, se representa un mezclador de control para controlar un embudo 14 de reabastecimiento de combustible según las realizaciones de la presente descripción. El mezclador de control que se representa en la Figura 3 puede ser automático y en general se implementa a través de un ordenador, tal como un ordenador de control de vuelo o similar. Como tal, el mezclador de control puede incorporarse en un producto de programa por ordenador que dirige el ordenador de control de vuelo para emitir comandos apropiados a la diversidad de actuadores con el fin de controlar el embudo según se desea.

El mezclador de control recibe una serie de parámetros de entrada. Como se muestra en la Figura 3 y en el bloque 60 de la Figura 4, el mezclador de control puede recibir una indicación del estado 34 real del embudo 14. En una realización, puede recibirse un vector  $\bar{x}(t)$  de estado, el cual incluye las posiciones angulares y/o tasas de la manguera y el conjunto de embudo. Los respectivos estados del vector de estado de embudo se pueden medir directamente o estimar a través de un modelo que tiene un filtro Kalman extendido. Con respecto a la medición de los respectivos estados del vector de estado de embudo, se pueden proporcionar una unidad 24 de medición inercial (IMU) y/o sensores 26 de posición como se muestra en la Figura 2 para proporcionar información de aceleración y posición con respecto al embudo de reabastecimiento de combustible y la manguera en relación con el eje de elevación y el eje de azimut. A este respecto, la unidad de medida inercial puede proporcionar información de aceleración que incluye velocidad angular y aceleración lineal, a la vez que los sensores de posición pueden proporcionar información de posición que incluye la posición angular. Aunque el vector de estado del embudo puede incluir una amplia variedad de estados diferentes, el vector de estado del embudo de la realización que se ilustra incluye el ángulo y la tasa de elevación de la manguera, el ángulo y la frecuencia del azimut de la manguera, el ángulo y la frecuencia de inclinación del embudo, el ángulo y la velocidad de guiñada de embudo y el ángulo y la velocidad de balanceo del embudo, tal como lo proporciona la unidad de medida inercial.

El mezclador de control de la Figura 3 también puede recibir una presión 36 dinámica para la aeronave 10 que puede medirse, por ejemplo, mediante un sistema 28 de datos de aire. Ver, por ejemplo, la Figura 2 y el bloque 62 de la

Figura 4. Además del vector 34 de estado de embudo y la presión dinámica, el mezclador de control también puede recibir errores para los diversos estados 34 de embudo, como se indica por el bloque 64 de la Figura 4. En relación con la realización ilustrada, por ejemplo, se puede recibir el error de la tasa de elevación de la manguera, el error de la tasa de azimut de la manguera, el error de la tasa de inclinación del embudo, el error de la velocidad de guiñada del embudo y el error de la tasa de balanceo del embudo. Sin embargo, en realizaciones en las que el vector de estado de embudo incluye estados adicionales o diferentes, los errores pueden incluir asimismo tipos de errores adicionales o diferentes. En estos ejemplos, un error de aceleración puede ser la diferencia entre la tasa deseada y la tasa real multiplicada por una ganancia predefinida. Con respecto a la tasa de elevación de la manguera, por ejemplo, el error de la tasa de elevación de la manguera puede ser la diferencia entre la tasa deseada de elevación de la manguera y la tasa real de elevación de la manguera. Como se indicó anteriormente, la tasa real puede medirse, tal como a través de la unidad 24 de medición inercial.

Como se muestra en la Figura 3, un mezclador de control de embudo de una realización puede por lo tanto recibir un vector  $\bar{x}(t)$  de estado de embudo (designado como elemento 34), la presión  $qbar$  dinámica (designada como elemento 36) y los diversos errores 38 de estado y puede entonces procesar los diversos errores de estado para generar los comandos  $\bar{u}(t)$  del actuador de embudo (designado como elemento 40) para controlar el(los) actuador(es) del embudo 14. El mezclador de control puede operar un proceso relativamente continuo con la aceleración y posición actualizadas del embudo de reabastecimiento de combustible que se detecta repetidamente por los diversos sensores 26 de posición y la unidad 24 de medición inercial y luego se proporciona como información de posición e información de aceleración a partir de la cual pueden determinarse los errores de estado. Los errores de estado, a su vez, se proporcionan al mezclador de control para la generación de comandos actualizados del actuador. Como resultado, los sensores pueden detectar y enviar información de posición y aceleración de manera sustancialmente continua. De esta manera, el mezclador de control puede determinar y luego utilizar los diversos errores de estado para controlar el(los) actuador(es) del embudo para reducir los errores de estado y así acercar la diferencia entre los estados deseados y los estados reales más cerca a cero. En una realización, los comandos del actuador también pueden cambiar sustancialmente de forma continua a medida que cambian los errores de estado. En otras palabras, los comandos del actuador pueden generarse sustancialmente de forma continua para reducir o minimizar los errores de estado.

El mezclador de control puede asignar prioridades a los errores 38 de estado ponderando los errores de estado. A este respecto, el mezclador de control puede incluir una matriz K de ponderación que tiene un peso respectivo asociado con cada error de estado, con el peso estableciendo la prioridad relativa del error de estado respectivo. Con respecto a la realización de la Figura 3, la matriz K de ponderación se representa con los pesos 42 individuales asociados con los respectivos errores de estado. Ver también el bloque 66 de la Figura 4. Por ejemplo, la matriz de ponderación puede establecer una prioridad para el error de tasa de cabeceo del embudo que se representa, por ejemplo, por un peso relativamente grande tal que el mezclador de control puede generar comandos de actuador para reducir y/o minimizar el error de tasa de cabeceo antes o más rápido que el error de tasa de guiñada del embudo. En otro ejemplo, la matriz de ponderación puede establecer una prioridad para el error de tasa de guiñada del embudo de forma que el mezclador de control puede generar comandos de actuador para reducir y/o minimizar el error de tasa de guiñada del embudo antes o más rápidamente que el error de velocidad de cabeceo. En aún otros ejemplos, la matriz de ponderación puede establecer la misma prioridad tanto para el error de velocidad de cabeceo y el error de tasa de guiñada de tal manera que esos errores de estado pueden procesarse y reducirse al mismo tiempo de la misma manera. La prioridad definida por la matriz de ponderación puede determinarse por el diseñador del mezclador de control.

Después de que se establece la prioridad, los errores de estado ponderado pueden proporcionarse a una matriz B de autoridad de control (designada como 44 en la realización de la Figura 3), junto con el vector  $\bar{x}$  de estado del embudo y la presión  $qbar$  dinámica. La matriz B de autoridad de control es un elemento de y puede construirse por el mezclador de control como la transposición de una matriz de efectividad de control con la matriz de efectividad de control construida para determinar el movimiento requerido del(los) actuador(es) para crear los errores de aceleración. Al tomar la transposición de esta matriz, la matriz de la autoridad de control puede permitir determinar el movimiento requerido del(los) actuador(es) para contrarrestar y/o anular los errores de aceleración. Por lo tanto, la matriz de autoridad de control puede representar la matriz de transposición de la matriz de efectividad de control derivada de las pruebas de túnel de viento, pruebas de vuelo o de alguna otra forma de análisis. Más específicamente, las fuerzas y los momentos creados por el movimiento del actuador pueden medirse a través de la prueba del túnel de viento del(los) actuador(es) del modelo. El procesamiento de la derivada de los momentos con respecto al movimiento del(los) actuador(es) puede permitir la determinación de la efectividad del control del(los) actuador(es) que se está(n) probando.

En otras palabras, la matriz B de autoridad de control se define para representar cambios en la aceleración de estado respectiva del embudo 14 en respuesta a cambios en la diversidad de actuadores. La matriz incluye una diversidad de términos con cada término que representa el cambio en una aceleración de estado respectiva del embudo en respuesta al cambio de un actuador respectivo. Como tal, la matriz representa la manera en que se anticipa que el embudo responderá a los cambios en los actuadores. Típicamente, la matriz está construida para tener una diversidad de filas y una diversidad de columnas. Cada columna en general incluye una diversidad de términos, cada uno de los cuales define el cambio anticipado en una aceleración de estado respectiva del embudo en respuesta al cambio en el

mismo actuador. Por lo tanto, cada columna de la matriz representa los cambios anticipados en la aceleración del estado del embudo debido a un cambio de un actuador respectivo.

En una realización, la matriz B de autoridad de control es una matriz  $n \times m$ , donde  $n$  es el número de estados y  $m$  es el número de dispositivos de actuación. Por ejemplo, en una realización en la que el mezclador de control recibe un vector  $\bar{x}$  de estado del embudo que tiene diez estados diferentes con cinco estados diferentes, por ejemplo, las diversas velocidades de embudo, que afectan la aceleración de embudo y el embudo tiene cuatro actuadores, la matriz de la autoridad de control puede ser una matriz de  $5 \times 4$  ensamblando las filas en función de los estados que afectan la aceleración de embudo. La matriz de la autoridad de control permite que los errores de aceleración de estado se traduzcan en un movimiento correspondiente del actuador asociado. En otras palabras, la matriz de autoridad de control puede usar los errores de aceleración del estado ponderado para determinar el movimiento que impartirá el actuador para reducir y/o minimizar los errores de velocidad, que actúan como errores de aceleración sustitutivos cuando se multiplican por una ganancia. Por lo tanto, la matriz de autoridad de control puede representar el comportamiento físico del actuador y su influencia sobre los errores de aceleración.

La matriz B de autoridad de control puede construirse mediante una diversidad de técnicas. En una técnica, la matriz se construye como resultado de cálculos numéricos. En esta técnica, se proporcionan los estados  $\bar{x}$  actuales del embudo 14 y los ajustes actuales de los actuadores  $\bar{u}$ . Con base en los estados actuales del embudo y la configuración real de los actuadores, se determinan las fuerzas y torsiones que actúan sobre el embudo. Al factorizar la masa y la inercia del embudo, se pueden determinar las aceleraciones de estado.

Con el fin de determinar las fuerzas y torsiones resultantes que actúan sobre el embudo, se determinan los coeficientes aerodinámicos para la condición de vuelo actual, tal como se define por los estados  $\bar{x}$  actuales del embudo, tales como los que se basan en bases de datos aerodinámicas o conocidos por aquellos con habilidades en la técnica. Las fuerzas y torsiones resultantes sobre el embudo pueden determinarse en función de los coeficientes aerodinámicos y la masa del embudo a través de ecuaciones de acumulación de fuerza, también conocidas por los expertos en la técnica. Los cambios anticipados en las aceleraciones de estado del embudo pueden entonces determinarse analíticamente a partir de las ecuaciones de acumulación de fuerza y las fuerzas de reacción.

Con respecto a la realización ilustrada, la tasa de cambio de cada estado  $\dot{\bar{x}}(t)$  se puede definir de la siguiente manera:

$$\dot{\bar{x}}(t) = f\left(\bar{x}(t), \bar{u}(t), qbar\right)$$

en donde  $\bar{x}(t)$  representa el vector de estado de embudo que incluye información de posición y velocidad,  $\bar{u}(t)$  representa los comandos actuales del actuador,  $qbar$  representa la presión dinámica y la relación funcional entre  $\dot{\bar{x}}(t)$  y  $\bar{x}(t)$ ,  $\bar{u}(t)$  y  $qbar$  se pueden definir como se describió anteriormente con la velocidad de cambio de cada tasa de embudo que es una aceleración. Como tal, la matriz B de autoridad de control para un sistema que tiene un vector de estado variable con cinco estados que afectan la aceleración del embudo, como la tasa de elevación de la manguera, la tasa de azimut de la manguera, la tasa de inclinación del embudo, la tasa de guiñada del embudo y la tasa de balanceo del embudo, y un embudo de reabastecimiento de combustible que tiene cuatro actuadores que se pueden representar de la siguiente manera:

$$B(\bar{x}, \bar{u}, qbar) = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1(\bar{x}, \bar{u}, qbar)}{\partial u_1} & \frac{\partial f_1(\bar{x}, \bar{u}, qbar)}{\partial u_2} & \frac{\partial f_1(\bar{x}, \bar{u}, qbar)}{\partial u_3} & \frac{\partial f_1(\bar{x}, \bar{u}, qbar)}{\partial u_4} \\ \frac{\partial f_2(\bar{x}, \bar{u}, qbar)}{\partial u_1} & \frac{\partial f_2(\bar{x}, \bar{u}, qbar)}{\partial u_2} & \frac{\partial f_2(\bar{x}, \bar{u}, qbar)}{\partial u_3} & \frac{\partial f_2(\bar{x}, \bar{u}, qbar)}{\partial u_4} \\ \frac{\partial f_3(\bar{x}, \bar{u}, qbar)}{\partial u_1} & \frac{\partial f_3(\bar{x}, \bar{u}, qbar)}{\partial u_2} & \frac{\partial f_3(\bar{x}, \bar{u}, qbar)}{\partial u_3} & \frac{\partial f_3(\bar{x}, \bar{u}, qbar)}{\partial u_4} \\ \frac{\partial f_4(\bar{x}, \bar{u}, qbar)}{\partial u_1} & \frac{\partial f_4(\bar{x}, \bar{u}, qbar)}{\partial u_2} & \frac{\partial f_4(\bar{x}, \bar{u}, qbar)}{\partial u_3} & \frac{\partial f_4(\bar{x}, \bar{u}, qbar)}{\partial u_4} \\ \frac{\partial f_5(\bar{x}, \bar{u}, qbar)}{\partial u_1} & \frac{\partial f_5(\bar{x}, \bar{u}, qbar)}{\partial u_2} & \frac{\partial f_5(\bar{x}, \bar{u}, qbar)}{\partial u_3} & \frac{\partial f_5(\bar{x}, \bar{u}, qbar)}{\partial u_4} \end{bmatrix}$$

Como se describió anteriormente, el vector 34 de estado de embudo y la presión 36 dinámica se reciben por el mezclador de control, a la vez que los comandos  $u_i$  de actuador actuales, son los comandos provistos por la instancia anterior de la matriz B de autoridad de control. A este respecto,  $i$  designa un respectivo actuador. Típicamente, los comandos actuales del actuador se representan por un vector  $\bar{u}$  el cual incluye un término que define el estado al que está actualmente comandado cada actuador respectivo.

Con base en los comandos actuales del actuador,  $\bar{u}$ , se determinan los cambios anticipados en la diversidad de estados del embudo. A este respecto, un embudo 14 que está en vuelo tiene diversos estados  $x_j$ , que incluyen la tasa de elevación de la manguera, la tasa de azimut de la manguera, la tasa de cabeceo del embudo, la tasa de guiñada del embudo, la tasa de balanceo del embudo y similares, en donde  $j$  representa el estado respectivo en esta instancia. Los estados actuales del embudo normalmente se representan por un vector  $\bar{x}$  de estado del sistema.

Como se indica por el bloque 68 de la Figura 4, la matriz de control genera el producto escalar de cada error de velocidad, por ejemplo, el error de velocidad de elevación de manguera, el error de la tasa de azimut de la manguera, el error de la tasa de cabeceo del embudo, el error de la tasa de guiñada del embudo y el error de la tasa de balanceo de embudo, con la matriz B de autoridad de control para determinar el comando  $\dot{u}(t)$  de tasa de actuador (designado como 46 en la realización de la Figura 3) requerido para reducir o eliminar los errores 38 de estado. Dado que los actuadores están sujetos típicamente a al menos algunas limitaciones, tales como limitaciones en la tasa de cambio permisible del actuador, también se pueden imponer limitaciones sobre el cambio permitido de cada actuador de manera que los comandos resultantes emitidos a los actuadores no intenten exceder las limitaciones de los actuadores. Aunque pueden imponerse diferentes limitaciones sobre diferentes actuadores, se pueden limitar los comandos de velocidad del actuador, tal como a través de un limitador 48 vectorial, para evitar que se comande a un actuador respectivo que cambie a una velocidad que exceda un límite predefinido. A este respecto, los límites superior e inferior pueden predefinirse de manera que la velocidad de cambio permisible del actuador respectivo deba permanecer dentro del rango aceptable limitado por el(los) límite(es). Ver el bloque 70 de la Figura 4.

Con el fin de convertir la velocidad de cambio del actuador que se proporciona por la matriz B de la autoridad de control para crear el cambio deseado en las velocidades de estado  $y$ , a su vez, el estado del embudo 14 en los comandos del actuador, las tasas de cambio se pueden integrar como se representa por  $\frac{1}{s}$  con los comandos resultantes también limitados de tal manera que cada actuador permanezca dentro de un rango predefinido. Ver el bloque 50 de la Figura 3 y el bloque 72 de la Figura 4. Por ejemplo, la posición de una superficie de control puede estar limitada para permanecer dentro de un rango predefinido de posiciones, como también típicamente definido por límites superiores e inferiores predeterminados.

Una vez que los cambios deseados en los actuadores se han limitado apropiadamente para impedir que se exija a cualquier actuador que exceda sus límites predefinidos, se emiten los cambios en cada actuador que se ha determinado que efectúan el cambio deseado en las tasas de estado del flujo como comandos para cada uno de los actuadores. Ver el bloque 74 de la Figura 4. Como tal, se verá afectado el cambio deseado en las tasas de estado  $y$ , a su vez, el cambio deseado en el vector de estado del embudo.

Como se describió anteriormente, el método y el aparato de las realizaciones de la presente descripción pueden determinar el estado deseado de cada actuador para estabilizar activamente el embudo 14 controlable, compensando así la variación no lineal de la eficacia del control aerodinámico debido a cambios en la posición angular de la manguera y el embudo, y la velocidad y altitud de la aeronave. Adicionalmente, las realizaciones del método y el aparato de la presente divulgación pueden limitar la velocidad de cambio de los comandos a los actuadores para obligar al comando a situarse dentro de las capacidades de funcionamiento del comando de los actuadores. Aunque se ha descrito anteriormente una realización que proporciona comandos a cuatro actuadores transportados por un embudo de reabastecimiento de combustible, el método y el aparato de las realizaciones de la presente divulgación pueden proporcionar comandos apropiados para un número menor o mayor de actuadores a bordo de un embudo de reabastecimiento de combustible, así como teniendo en cuenta un vector de estado del embudo que tiene más o menos tasas de estado. Al mejorar la autoridad de control sobre un embudo de reabastecimiento de combustible y proporcionar una envolvente de compensación mejorada, una aeronave receptora puede encontrar más fácilmente conectar el embudo con una sonda de reabastecimiento de combustible, aumentando así la efectividad general de la misión y reduciendo el desgaste del embudo y de la sonda receptora, reduciendo la respuesta del embudo a la onda de proa creada por la aeronave receptora y reduciendo la necesidad de acercarse al embudo a una velocidad cercana que es más alta de lo que se desearía.

Como se indicó anteriormente, el método de control que incluye el mezclador de control de la Figura 3 puede automatizarse y, como tal, puede implementarse mediante un ordenador, tal como se representa en la Figura 2. En este sentido, el ordenador de la Figura 2 incluye circuitos de procesamiento que están configurados para realizar el procesamiento de datos, la ejecución de aplicaciones y otros servicios de procesamiento y gestión de acuerdo con una realización de ejemplo de la presente descripción. Por ejemplo, los circuitos de procesamiento pueden construir e implementar la matriz K de ponderación y la matriz B de autoridad de control, así como las funciones de limitación de velocidad, integración y limitación de comandos, como se representa en la Figura 3 y en los bloques 66-74 de la Figura 4. Los circuitos de procesamiento pueden incorporarse como un chip de circuito (por ejemplo, un chip de circuito integrado) configurado (por ejemplo, con hardware, software o una combinación de hardware y software) para realizar operaciones que se describen aquí. Sin embargo, en algunas realizaciones, los circuitos de procesamiento pueden incorporarse como una porción de un servidor, ordenador, ordenador portátil, estación de trabajo, ordenador de control de vuelo o uno cualquiera o más de diversos otros dispositivos informáticos.

En una realización de ejemplo, el ordenador de la Figura 2 también incluye uno o más dispositivos 32 de memoria tales como, por ejemplo, memoria volátil y/o no volátil que puede ser fija o desmontable. El dispositivo de

almacenamiento puede configurarse para almacenar información, datos, aplicaciones, instrucciones o similares para permitir que los circuitos de procesamiento lleven a cabo diversas funciones de acuerdo con las realizaciones de ejemplo de la presente descripción. Por ejemplo, el dispositivo de memoria podría configurarse para almacenar datos de entrada para el procesamiento por los circuitos de procesamiento. Adicionalmente o alternativamente, el dispositivo de memoria podría configurarse para almacenar instrucciones para la ejecución por los circuitos de procesamiento.

En una realización, los circuitos de procesamiento pueden incluir un procesador 30. El procesador se puede realizar de diversas formas diferentes. Por ejemplo, el procesador puede incorporarse como diversos medios de procesamiento tales como un microprocesador u otro elemento de procesamiento, un coprocesador, un controlador u otros dispositivos informáticos o de procesamiento que incluyen circuitos integrados tales como, por ejemplo, un ASIC (circuito integrado específico de la aplicación), una FPGA (matriz de puerto programable en campo), un acelerador de hardware o similar. En una realización de ejemplo, el procesador puede configurarse para ejecutar instrucciones almacenadas en el dispositivo 32 de memoria o accesibles de otro modo para el procesador. Como tal, ya sea configurado mediante métodos de hardware o software, o mediante una combinación de los mismos, el procesador puede representar una entidad (por ejemplo, incorporada físicamente en un circuito) capaz de realizar operaciones de acuerdo con realizaciones de la presente invención configuradas en consecuencia. Por lo tanto, por ejemplo, cuando el procesador se incorpora como un ASIC, FPGA o similar, el procesador puede ser hardware específicamente configurado para llevar a cabo las operaciones que se describen aquí. Alternativamente, como otro ejemplo, cuando el procesador se incorpora como un ejecutor de instrucciones de software, las instrucciones pueden configurar específicamente el procesador para realizar las operaciones que se describen aquí.

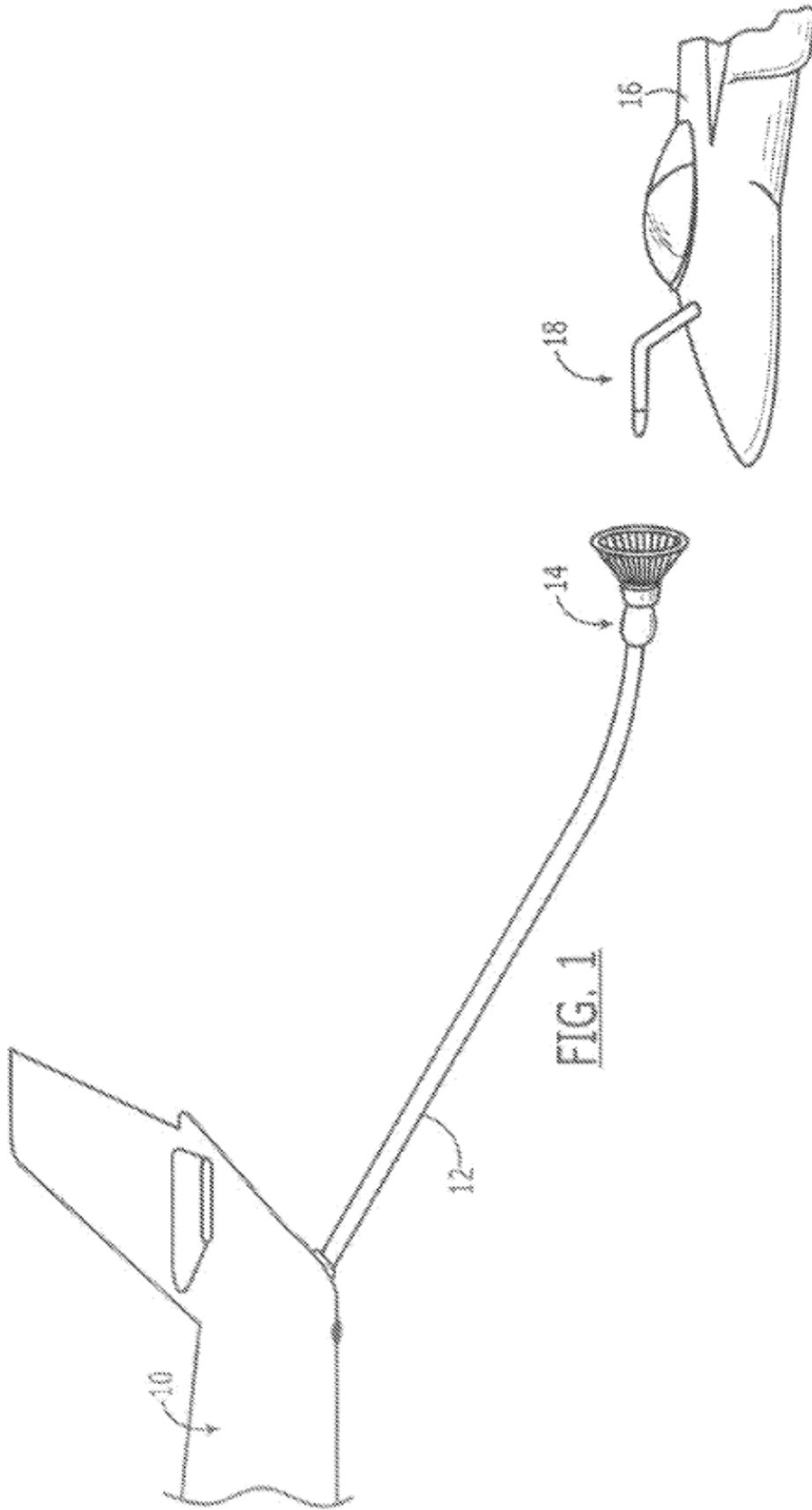
Las realizaciones del método y aparato de la presente divulgación pueden, por lo tanto, ponerse en práctica usando un aparato tal como se representa en la Figura 2. Sin embargo, pueden practicarse otras realizaciones en conexión con un producto de programa de ordenador configurado para funcionar de acuerdo con realizaciones de la presente divulgación. A este respecto, las Figuras 3 y 4, como se describió anteriormente, son ilustraciones de un método y producto de programa de acuerdo con realizaciones de ejemplo. Cada bloque o etapa de las Figuras 3 y 4, y combinaciones de bloques en las Figuras 3 y 4, pueden implementarse por diversos medios, tales como hardware, firmware, procesador, circuitos y/u otro dispositivo asociado con la ejecución de software que incluye una o más instrucciones del programa de ordenador. Así, por ejemplo, uno o más de los procedimientos descritos anteriormente pueden realizarse por instrucciones de programa por ordenador, los cuales pueden realizar los procedimientos descritos anteriormente y pueden almacenarse mediante un dispositivo de almacenamiento (por ejemplo, un dispositivo 32 de memoria) y ejecutarse mediante circuitos de procesamiento (por ejemplo, el procesador 30).

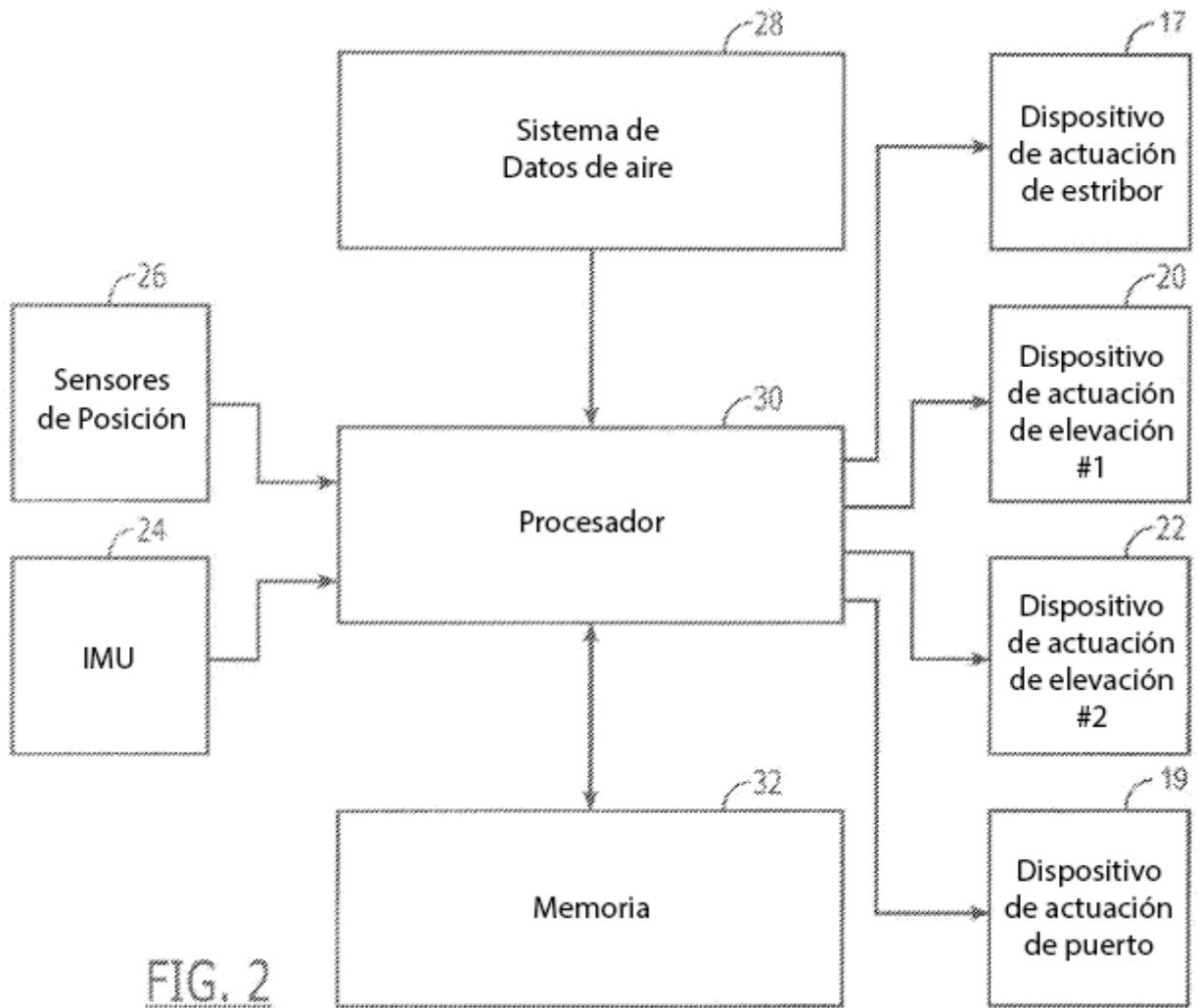
Como se apreciará, cualquiera de las instrucciones almacenadas del programa informático puede cargarse en un ordenador u otro aparato programable (por ejemplo, hardware) para producir una máquina, de modo que las instrucciones que se ejecutan en el ordenador u otro aparato programable implementen las funciones especificadas en el(los) bloque(s) o etapa(s) de diagrama de flujo. Estas instrucciones del programa de ordenador también pueden almacenarse en un medio legible por ordenador que comprenden una memoria que puedan dirigir un ordenador u otro aparato programable para funcionar de una manera particular, de modo que las instrucciones almacenadas en la memoria legible puedan producir un artículo de fabricación que incluya instrucciones para implementar la función especificada en el(los) bloque(s) o etapa(s) de diagrama de flujo. Las instrucciones del programa de ordenador también pueden cargarse en un ordenador u otro aparato programable para provocar que se realicen una serie de pasos operacionales en el ordenador u otro aparato programable para producir un proceso implementado por ordenador de modo que las instrucciones que se ejecutan en el ordenador u otro aparato programable proporcionen pasos para implementar las funciones especificadas en el(los) bloque(s) o etapa(s) de diagrama de flujo. Aunque los términos específicos se emplean aquí, se usan solo en un sentido genérico y descriptivo y no con fines de limitación.

**REIVINDICACIONES**

1. Un método para controlar un embudo (14) de reabastecimiento de combustible unido al extremo distal de una manguera (12) flexible alargada que se extiende a partir de una aeronave (10) cisterna, comprendiendo el método:
  - recibir (64) un error respectivo para al menos un estado asociado con la manguera (12) o el embudo (14);
- 5 recibir (60) una indicación de un estado real del embudo (14);
  - determinar (68), con un procesador (30), un comando (40) para ser emitido a un actuador (17, 19, 20, 22) transportado por el embudo (14) con base en el estado real del embudo (14), el error respectivo para al menos un estado asociado con la manguera (12) o el embudo (14) y un comando de corriente que se ha emitido previamente al actuador (17, 19, 20, 22); y
- 10 emitir (74) el comando al actuador.
2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la recepción del error respectivo comprende recibir errores respectivos para al menos un estado asociado con la manguera (12) y para al menos un estado asociado con el embudo (14).
3. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 o 2
- 15 en donde la recepción del error (38) respectivo comprende recibir al menos uno de un error para una tasa de elevación de la manguera, un error para una tasa de azimut de la manguera, un error para una tasa de elevación del embudo, un error para una tasa de guiñada del embudo y un error para una tasa de balanceo del embudo.
4. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, 2 o 3, que comprende además recibir una representación de presión (36) dinámica, y en el que determinar el comando (40) a emitir al actuador (17, 19, 20, 22) transportado por el embudo (14) se basa adicionalmente en la presión (36) dinámica.
- 20
5. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-4, en donde el embudo (14) de reabastecimiento de combustible comprende una diversidad de actuadores (17, 19, 20, 22), en donde la determinación del comando (40) comprende determinar el comando respectivo que se emitirá para cada uno de la diversidad de actuadores (17, 19, 20, 22), y en donde emitir el comando (40) comprende emitir el comando respectivo a cada uno de la diversidad de actuadores (17, 19, 20, 22).
- 25
6. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-5 comprende adicionalmente la ponderación (42) del error respectivo antes de determinar el comando con base en eso.
7. Un aparato para controlar un embudo (14) de reabastecimiento de combustible unido al extremo distal de una manguera (12) flexible alargada que se extiende a partir de una aeronave (10) cisterna, comprendiendo el aparato un procesador (30) configurado para:
  - recibir (64) un error respectivo para al menos un estado asociado con la manguera (12) o el embudo (14);
  - recibir (60) una indicación de un estado real del embudo (14);
  - determinar (68) un comando para ser emitido a un actuador (17, 19, 20, 22) transportado por el embudo (14) con base en el estado real del embudo (14), el error respectivo para al menos un estado asociado con la manguera (12) o el embudo (14) y un comando de corriente que se ha emitido previamente al actuador (17, 19, 20, 22); y
  - emitir (74) el comando al actuador (17, 19, 20, 22).
- 30
8. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 7, en donde el procesador (30) está configurado para recibir el error respectivo al recibir errores respectivos para al menos un estado asociado con la manguera (12) y al menos un estado asociado con el embudo (14).
- 40
9. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 7 u 8, en el que el procesador (30) está configurado adicionalmente para recibir una representación de presión (36) dinámica, y en el que el procesador (30) está configurado para determinar el comando (40) que se emitirá para el actuador (17, 19, 20, 22) transportado por el embudo (14) con base también en la presión (36) dinámica.
- 45
10. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 7, 8 o 9, en el que el embudo de reabastecimiento de combustible comprende una diversidad de actuadores (17, 19, 20, 22), en donde el procesador (30) está configurado para determinar el comando (40) determinando el respectivo comando para emitirse a cada uno de la diversidad de actuadores (17, 19, 20, 22), y en donde el procesador (30) está configurado para emitir el comando (40) emitiendo el comando respectivo a cada uno de la diversidad de actuadores (17, 19, 20, 22).
- 50
11. Un aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 7-10, en donde el procesador está configurado además para ponderar (42) el error respectivo antes de determinar el comando con base en el mismo.

12. Un sistema de reabastecimiento de combustible que comprende:
- 5 un embudo (14) de reabastecimiento de combustible unido al extremo distal de una manguera (12) flexible alargada extensible a partir de una aeronave (10) cisterna, dicho embudo que comprende al menos un actuador (17, 19, 20, 22); y
- un procesador (30) configurado para:
- recibir (64) un error respectivo para al menos un estado asociado con la manguera (12) o el embudo (14);
- 10 recibir (60) una indicación de un estado real del embudo (14); determinar (68) un comando (40) para ser emitido al actuador (17, 19, 20, 22) con base al estado real del embudo (14), el error respectivo para al menos un estado asociado con la manguera (12) o el embudo (14) y un comando de corriente que se ha emitido previamente al actuador (17, 19, 20, 22); y
- emitir (74) el comando al actuador (17, 19, 20, 22).
13. Un sistema de reabastecimiento de combustible de acuerdo con la reivindicación 12, en donde el procesador (30) está configurado para recibir el error respectivo al recibir errores respectivos para al menos un estado asociado con la manguera (12) y para al menos un estado asociado con el embudo (14).
- 15 14. Un sistema de reabastecimiento de combustible de acuerdo con la reivindicación 12 o 13 en donde el procesador (30) está configurado para recibir el error (38) respectivo al recibir al menos uno de un error para una tasa de elevación de la manguera, un error para una tasa de azimut de la manguera, error para una tasa de inclinación del embudo, un error para una tasa de guiñada del embudo y un error para una tasa de balanceo del embudo.
- 20 15. Un sistema de reabastecimiento de combustible de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 12-14, en donde el procesador (30) está configurado además para recibir una representación de presión (36) dinámica, y en donde el procesador (30) está configurado para determinar el comando (40) para ser emitido al actuador (17, 19, 20, 22) transportado por el embudo (14) con base también en la presión (36) dinámica.





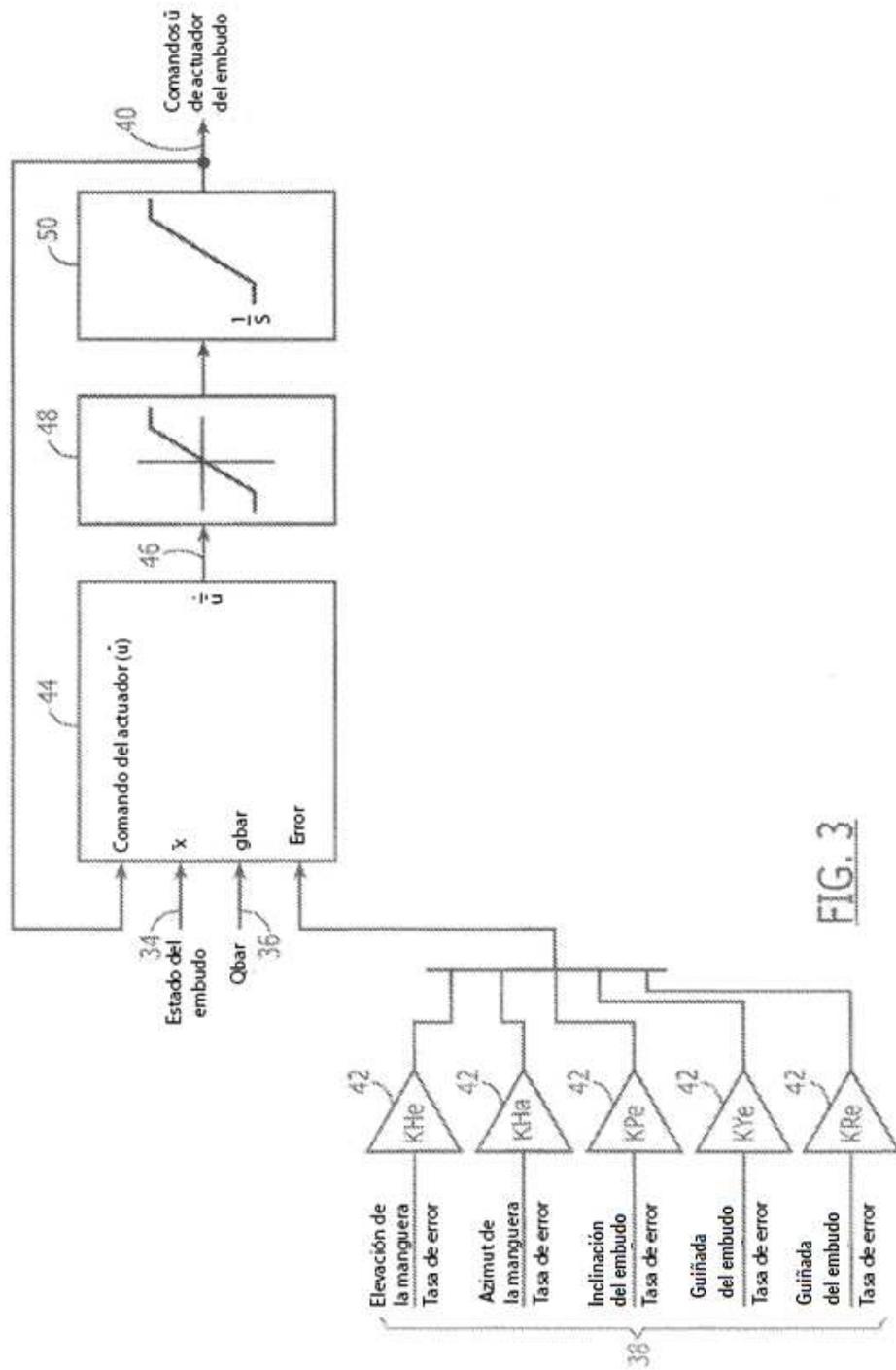


FIG. 3

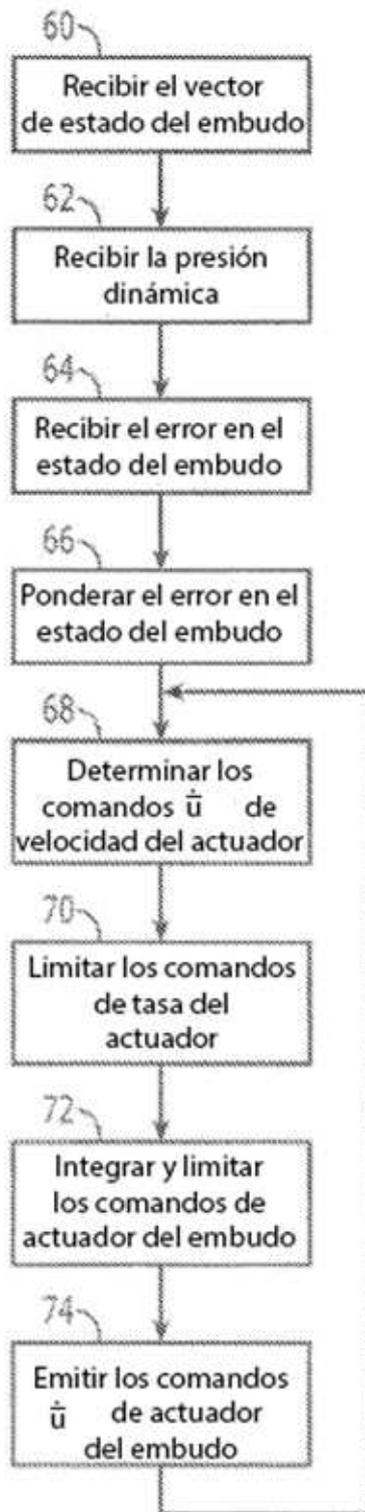


FIG. 4