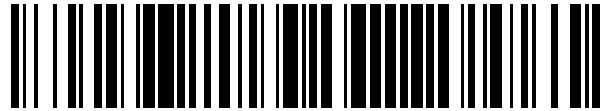


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 694 427**

51 Int. Cl.:

G05D 1/08

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.06.2013** E 13382217 (1)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.08.2018** EP 2811359

54 Título: **Método y sistema de control de velocidad de la aeronave**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
20.12.2018

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

D'ALTO, LUIS PEDRO

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 694 427 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 sistema de control de velocidad de la aeronave.

La invención se refiere a métodos y sistemas para de control de la velocidad de una aeronave. Los métodos y sistemas divulgados en el presente documento son particularmente ventajosos para vehículos aéreos no tripulados.

5 Para el correcto funcionamiento de una aeronave, su velocidad del aire debe mantenerse entre los límites superior e inferior. Por encima del límite superior, la velocidad del aire de una aeronave puede causar daños estructurales. Por debajo del límite inferior, la velocidad del aire de una aeronave puede ser insuficiente y la aeronave puede detenerse. Los límites impuestos a las aeronaves incorporan, habitualmente, algún tipo de factor de seguridad y, por lo tanto, no se corresponden exactamente con la velocidad a la que puede ocurrir el daño estructural o el bloqueo.

10 Los sistemas convencionales para garantizar que las aeronaves funcionen dentro de estos límites implican manipular ya sea las entradas o las salidas de los dispositivos de control para controlar las superficies de control o los motores de la aeronave. Tal manipulación implica métodos complejos de "predicción de límites" para predecir cuándo se romperá un límite de velocidad del aire y/o métodos de "evitación de límites" para determinar un cambio en las entradas o salidas de los dispositivos de control.

15 La invención puede proporcionar métodos y sistemas más simples y más confiables para garantizar el funcionamiento seguro de las aeronaves.

Los documentos US2010/0042270 y US4609988 divulgan sistemas de control para el control de cabeceo de aeronaves.

20 Según un primer aspecto de la invención, se proporciona un sistema para el control de la velocidad de una aeronave, que comprende: al menos un dispositivo de control de bucle externo (21), en el que el/cada dispositivo de control de bucle externo (21) está dispuesto para recibir una o más variables de vuelo objetivo (11) y para emitir un cabeceo objetivo nominal; un dispositivo de control de bucle interno (40) dispuesto para recibir un cabeceo objetivo y emitir una señal de control (50) para controlar al menos un dispositivo de control de aeronave; y un módulo de saturación (100) dispuesto para recibir el cabeceo objetivo nominal y para emitir un cabeceo objetivo para el
25 dispositivo de control de bucle interno (40), en el que el cabeceo objetivo nominal está limitado entre un límite superior y un límite inferior por el módulo de saturación (100) para generar el cabeceo objetivo, caracterizado por que:

el límite inferior se calcula basándose en una diferencia entre la velocidad del aire actual y la velocidad del aire máxima permitida; o
30 el límite superior se calcula en función de la diferencia entre la velocidad del aire actual y la velocidad del aire mínima permitida.

Según un segundo aspecto de la invención, se proporciona un método para controlar el cabeceo de una aeronave, que comprende: definir un límite superior para un cabeceo objetivo; definir un límite inferior para un cabeceo objetivo; recibir una o más variables de vuelo objetivo (11); calcular un cabeceo objetivo nominal a partir de una o
35 más variables objetivo; aplicar el límite superior y el límite inferior para limitar el cabeceo objetivo nominal para generar un cabeceo objetivo; y calcular una señal de control para controlar al menos un dispositivo de control de aeronave desde el cabeceo objetivo, caracterizado por que:

definir un límite inferior para un cabeceo objetivo comprende calcular el límite inferior en función de la diferencia entre la velocidad del aire actual y la velocidad del aire máxima permitida; o
40 definir un límite superior para un cabeceo objetivo comprende calcular el límite superior en función de una diferencia entre la velocidad del aire actual y la velocidad del aire mínima permitida.

Para una mejor comprensión de la invención y para mostrar el modo en que se puede poner en práctica la misma, ahora se hará referencia, solo a modo de ejemplo, a los dibujos adjuntos, en los que:

la figura 1 muestra un sistema de la técnica anterior para controlar el cabeceo de una aeronave; y

45 la figura 2 muestra una realización de un sistema de la invención para controlar el cabeceo de una aeronave.

Las aeronaves pueden variar en configuración, por ejemplo, por movimiento de *flaps* o *slats*. Para cada configuración, una aeronave tiene una velocidad del aire máxima asociada que define la velocidad máxima, relativa a la masa de aire a través de la cual viaja, a la que la aeronave puede viajar con seguridad; por ejemplo, las velocidades más altas pueden causar daños estructurales y/o resultar en los efectos aerodinámicos adversos, tales como amortiguar, o impedir que la aeronave maniobre con eficacia. La frase velocidad del aire máxima para la
50

aeronave, tal como se utiliza más adelante, significa la velocidad del aire máxima correspondiente a la configuración de la aeronave en el momento oportuno. Por razones de seguridad, a menudo se prefiere definir una velocidad del aire máxima permitida como inferior a la velocidad del aire máxima verdadera por un factor de seguridad adecuado.

5 Para cada configuración, una aeronave también tendrá una velocidad del aire de maniobra mínima asociada que define la velocidad más baja, relativa a la masa de aire a través de la cual la aeronave está viajando, a la que la aeronave puede maniobrar de manera segura sin detenerse. La frase velocidad del aire de maniobra mínima para la aeronave, tal como se utiliza más adelante, significa la velocidad del aire de maniobra mínima correspondiente a la configuración de la aeronave en el momento oportuno. Por razones de seguridad, a menudo se prefiere definir una
10 velocidad del aire mínima permitida como más alta que la velocidad del aire de maniobra mínima verdadera por un factor de seguridad adecuado.

Como se muestra en la figura 1, convencionalmente, un sistema para el control del cabeceo de una aeronave incluirá una pluralidad de dispositivos de control de bucle externo 21, 22, 23, 24 y un dispositivo de control de bucle interno 40.

15 El dispositivo de control de bucle interno 40 recibe un objetivo de cabeceo y calcula el modo en que manipular uno o más dispositivos de control 60 de la aeronave para lograr el cabeceo objetivo. Preferentemente, el dispositivo de control 60 es una superficie de control móvil, tal como un timón de profundidad.

El dispositivo de control de bucle interno 40 genera una señal de control 50 (por ejemplo, para controlar un timón de profundidad) basada en el objetivo de cabeceo proporcionado por un dispositivo de control de bucle externo 21, 22, 23, 24.

20 Cada dispositivo de control de bucle externo 21, 22, 23, 24 recibe una entrada 11, 12, 13, 14. La entrada 11, 12, 13, 14 puede ser configurada por un piloto, o por un plano de vuelo predeterminado, e indica los variables de vuelo deseados (como la altitud, el ángulo de la ruta de vuelo, la velocidad del aire, la velocidad vertical, etc.) que deben alcanzarse.

25 Cada dispositivo de control de bucle externo 21, 22, 23, 24 calcula el objetivo de cabeceo para emitirlo al dispositivo de control de bucle interno 40.

Un interruptor 30 selecciona qué dispositivo de control de bucle externo 21, 22, 23, 24 instruye al dispositivo de control de bucle interno 40.

30 Cada dispositivo de control de bucle externo 21, 22, 23, 24 será responsable de determinar un cabeceo objetivo para una fase particular de un plan de vuelo. Por ejemplo, el dispositivo de control de bucle externo 21 puede ser responsable de controlar el cabeceo durante el ascenso, mientras que el dispositivo de control de bucle externo 22 puede ser responsable de controlar el cabeceo durante el descenso, etc.

35 Para un correcto funcionamiento, la velocidad del aire de una aeronave debe mantenerse entre los límites superior e inferior. Por encima del límite superior, la velocidad del aire de una aeronave puede causar daños estructurales. Por debajo del límite inferior, la velocidad del aire de una aeronave puede ser insuficiente y la aeronave puede detenerse. Los límites impuestos a las aeronaves incorporan, habitualmente, algún tipo de factor de seguridad y, por lo tanto, no se corresponden exactamente con la velocidad a la que puede ocurrir el daño estructural o el bloqueo.

40 Los sistemas convencionales que aseguran que las aeronaves funcionen dentro de estos límites implican la manipulación de las entradas 11, 12, 13, 14 al sistema de control o la señal de control 50 emitida por el dispositivo de control del bucle interno 40. Tal manipulación implica métodos complejos de "predicción de límites" para predecir el momento en que se romperá un límite de velocidad del aire y/o métodos de "evitación del límite" para determinar un cambio en las entradas 11, 12, 13, 14 y/o la señal de control 50.

La figura 2 muestra una realización de la invención en la que se puede lograr la operación segura de una aeronave limitando la salida del objetivo de cabeceo por cada uno de los dispositivos de control de bucle externo 21, 22, 23, 24.

45 Preferentemente, esta limitación se logra mediante el uso del módulo de saturación 100.

Como con la técnica anterior, la realización incluye uno o más dispositivos de control de bucle externo 21, 22, 23, 24 y un dispositivo de control de bucle interno 40. Cuando se proporciona una pluralidad de dispositivos de control de bucle externo 21, 22, 23, 24, se puede proporcionar un interruptor 30 para seleccionar el dispositivo de control de bucle externo 21, 22, 23, 24.

50 El sistema puede disponerse de tal manera que los dispositivos de control de bucle externo 21, 22, 23, 24

proporcionen objetivos de cabeceo al dispositivo de control de bucle interno 40 a través del módulo de saturación 100.

5 El módulo de saturación 100 puede recibir una entrada de los dispositivos de control de bucle externo 21, 22, 23, 24 y proporcionar una salida de un objetivo de cabeceo a la entrada del control de bucle interno 40. Cuando se proporciona un interruptor 30, el módulo de saturación puede estar ubicado en la salida del interruptor 30, o un módulo de saturación 100 puede estar ubicado en la salida de cada dispositivo de control de bucle externo 21, 22, 23, 24.

10 El módulo de saturación 100 puede comparar el objetivo de cabeceo recibido de los dispositivos de control de bucle externo 21, 22, 23, 24 con un límite de cabeceo superior y un límite de cabeceo inferior, y proporcionar una salida de un objetivo de cabeceo que está limitada por el límite de cabeceo superior y el límite de cabeceo inferior.

Es decir, si el objetivo de cabeceo recibido de los dispositivos de control de bucle externo 21, 22, 23, 24 excede el límite de cabeceo superior, entonces el módulo de saturación 100 emitirá un objetivo de cabeceo al dispositivo de control de bucle interno 40 igual al límite superior.

15 Si el objetivo de cabeceo recibido de los dispositivos de control de bucle externo 21, 22, 23, 24 está por debajo del límite de cabeceo inferior, entonces el módulo de saturación 100 emitirá al dispositivo de control de bucle interno 40 un objetivo de cabeceo igual al límite inferior.

20 Si el objetivo de cabeceo recibido de los dispositivos de control de bucle externo 21, 22, 23, 24 está entre el límite de cabeceo superior y el límite de cabeceo inferior, entonces el módulo de saturación 100 emitirá al dispositivo de control de bucle interno 40 un objetivo de cabeceo igual al recibido de los dispositivos de control de bucle externo 21, 22, 23, 24.

El límite del cabeceo superior y el límite del cabeceo inferior se pueden calcular utilizando uno o más filtros de velocidad del aire.

Específicamente, el límite de cabeceo superior puede calcularse utilizando un filtro de velocidad del aire mínima 110, y el límite de cabeceo inferior puede calcularse utilizando un filtro de velocidad del aire máxima 120.

25 Preferentemente, los filtros de velocidad del aire máxima 120 pueden recibir una señal de entrada representativa de la diferencia entre la velocidad del aire actual y la velocidad del aire máxima permitida, y proporcionar una señal de salida que es una función de la señal de entrada.

30 Preferentemente, los filtros de velocidad del aire mínima 110 pueden recibir una señal de entrada representativa de la diferencia entre la velocidad del aire actual y la velocidad del aire mínima permitida, y proporcionar una señal de salida que es una función de la señal de entrada.

En realizaciones preferentes, los filtros de velocidad del aire 110, 120 aplican una función que comprende uno o más de: un término proporcional a la señal de entrada; y un término proporcional a la derivativa de la señal de entrada.

Por ejemplo, la función puede ser una suma o una suma ponderada de los términos.

35 Los filtros de velocidad del aire 110, 120 descritos anteriormente comprenden filtros proporcional-derivativos. Sin embargo, esto no es esencial. Se puede utilizar cualquier forma de filtro lineal y no lineal. Sin embargo, los filtros lineales son, generalmente, preferentes. Más preferentemente, los filtros de velocidad del aire 110, 120 pueden comprender filtros lineales sin efecto integral. Por ejemplo, los filtros de velocidad del aire 110, 120 pueden comprender dispositivos de control de "retardo de avance" que no tienen polos en el origen.

40 Cualquier forma de dispositivo de control puede ser adecuada para su uso como un dispositivo de control de bucle externo 21, 22, 23, 24. En realizaciones preferentes, uno o más de los dispositivos de control de bucle externo 21, 22, 23, 24 pueden comprender un dispositivo de control PID. Como se sabe en la técnica, el funcionamiento correcto de los dispositivos de control PID puede verse obstaculizado por la saturación del accionador, por lo que la magnitud de una señal de control de un dispositivo de control supera la que puede alcanzar un accionador. Esto podría ocurrir en algunas realizaciones debido a que la capacidad de los dispositivos de control de bucle externo 21, 22, 23, 24 para controlar el cabeceo de la aeronave se ve obstaculizada por uno o más filtros de velocidad del aire. En otras palabras, la salida nominal de los dispositivos de control del bucle externo 21, 22, 23, 24 puede volverse inestable debido a la naturaleza indirecta de su control sobre la aeronave. Si bien no es esencial, se puede usar una técnica llamada "compensación de enrollado" para compensar tal saturación. La compensación de enrollado es una técnica bien conocida en la que la salida del integrador está limitada para evitar que la señal de control cause la saturación del accionador. Por lo tanto, se contemplan realizaciones en las que los dispositivos de control de bucle externo 21, 45 50 22, 23, 24 incorporan compensación de enrollado.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema para el control de la velocidad de una aeronave, que comprende:

5 al menos un dispositivo de control de bucle externo (21), en el que el/cada dispositivo de control de bucle externo (21) está dispuesto para recibir una o más variables de vuelo objetivo (11) y para emitir un cabeceo objetivo nominal;
 un dispositivo de control de bucle interno (40) dispuesto para recibir un cabeceo objetivo y emitir una señal de control (50) para controlar al menos un dispositivo de control de aeronave; y
 un módulo de saturación (100) dispuesto para recibir el cabeceo objetivo nominal y para emitir un cabeceo objetivo para el dispositivo de control de bucle interno (40),
 10 en el que el cabeceo objetivo nominal está limitado entre un límite superior y un límite inferior por el módulo de saturación (100) para generar el cabeceo objetivo,
caracterizado por que:
 el límite inferior se calcula basándose en una diferencia entre la velocidad del aire actual y la velocidad del aire máxima permitida; o
 15 el límite superior se calcula en función de la diferencia entre la velocidad del aire actual y la velocidad del aire mínima permitida.

2. El sistema según la reivindicación 1, que comprende una pluralidad de dispositivos de control de bucle externo (21, 22, 23, 24) y un interruptor (30) para seleccionar un cabeceo objetivo nominal seleccionado del cabeceo objetivo nominal proporcionado por cada dispositivo de control de bucle externo (21, 22, 23, 24), en el que el módulo de saturación (100) está dispuesto para recibir el cabeceo objetivo nominal seleccionado.
 20

3. El sistema según cualquier reivindicación anterior, que comprende un filtro de velocidad del aire máxima (120) para calcular el límite inferior.

4. El sistema según la reivindicación 3, en el que el filtro de velocidad del aire máxima (120) comprende un filtro lineal sin efecto integral.

25 5. El sistema según cualquier reivindicación anterior, que comprende un filtro de velocidad del aire mínima (110) para calcular el límite superior.

6. El sistema según la reivindicación 5, en el que el filtro de velocidad del aire mínima (110) comprende un filtro lineal sin efecto integral.

7. Un método para el control del cabeceo de una aeronave, que comprende:

30 definir un límite superior para un cabeceo objetivo;
 definir un límite inferior para un cabeceo objetivo;
 recibir una o más variables de vuelo objetivo (11);
 calcular un cabeceo objetivo nominal a partir de una o más variables objetivo;
 35 aplicar el límite superior y el límite inferior para limitar el cabeceo objetivo nominal para generar un cabeceo objetivo, y
 calcular una señal de control para controlar al menos un dispositivo de control de aeronave desde el cabeceo objetivo,
caracterizado por que:
 40 definir un límite inferior para un cabeceo objetivo comprende calcular el límite inferior en función de una diferencia entre la velocidad del aire actual y la velocidad del aire máxima permitida; o
 definir un límite superior para un cabeceo objetivo comprende calcular el límite superior en función de una diferencia entre la velocidad del aire actual y la velocidad del aire mínima permitida.

8. El método según la reivindicación 7, que comprende:

45 calcular una pluralidad de cabeceos objetivo nominales a partir de una o más variables objetivo; y
 seleccionar un cabeceo objetivo nominal seleccionado de la pluralidad de cabeceos objetivo nominales,
 en el que la etapa de aplicar un límite superior y un límite inferior para limitar el cabeceo objetivo nominal para generar un cabeceo objetivo comprende aplicar un límite superior y un límite inferior para limitar el cabeceo objetivo nominal seleccionado para generar un cabeceo objetivo.

50 9. El método según la reivindicación 7 o la reivindicación 8, que comprende calcular el límite inferior utilizando un filtro de velocidad del aire máxima (120).

10. El método según una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, que comprende calcular el límite inferior utilizando un filtro lineal sin efecto integral.
 11. El método según una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 10, que comprende calcular el límite superior usando un filtro de velocidad del aire mínima (110).
- 5 12. El método según una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 11, que comprende calcular el límite superior utilizando un filtro lineal sin efecto integral.

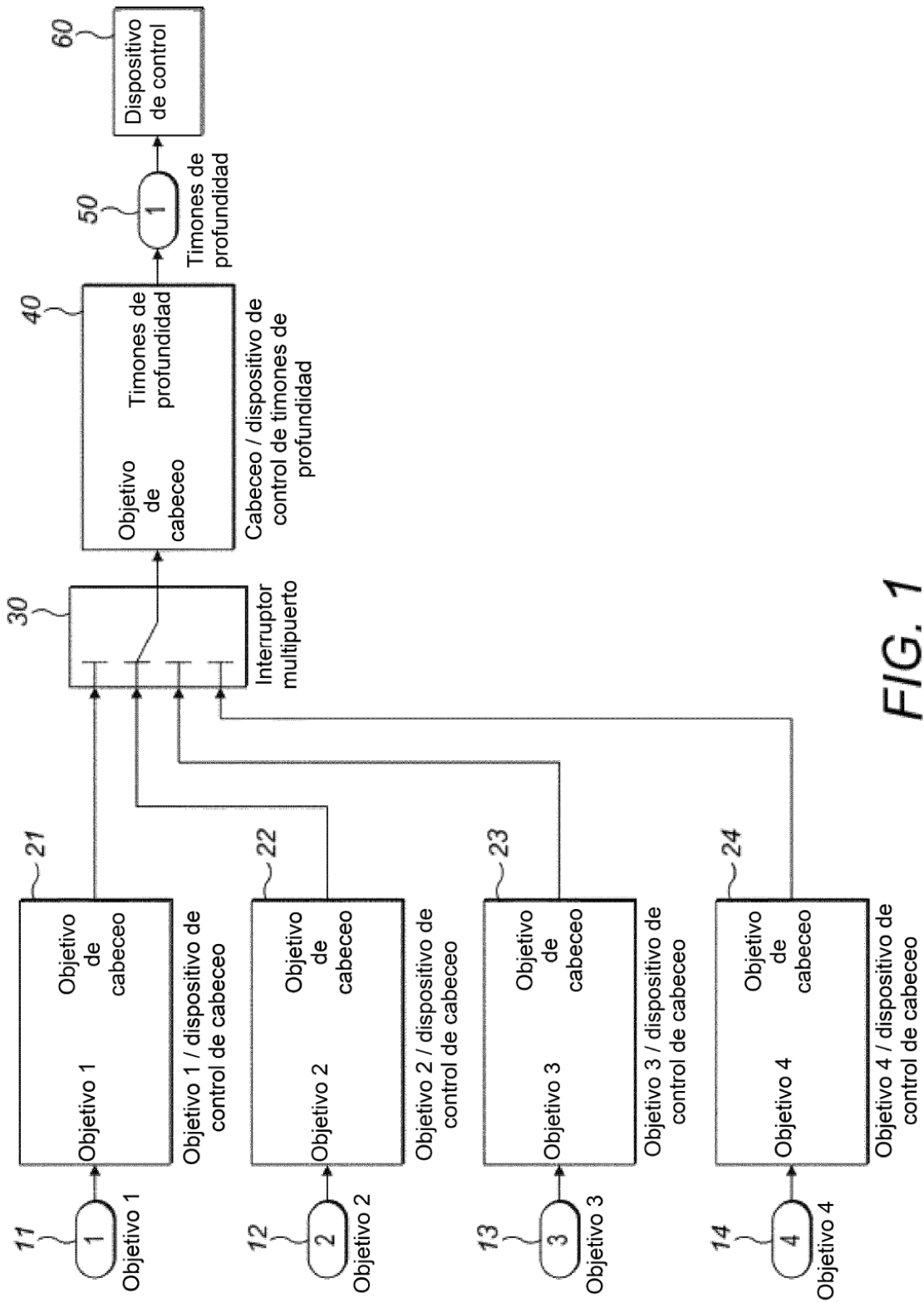


FIG. 1

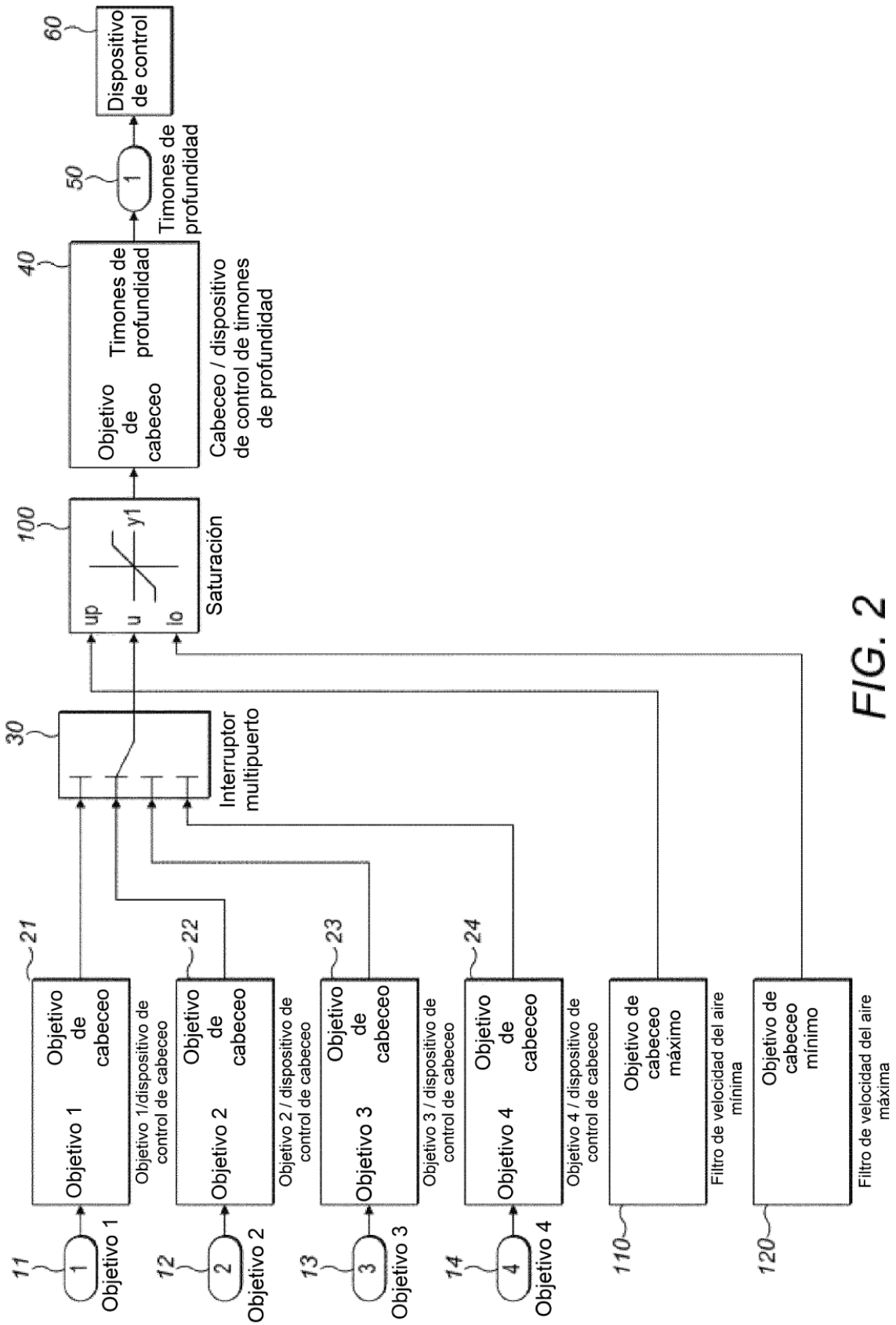


FIG. 2