

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 638 322**

51 Int. Cl.:

G08G 5/00 (2006.01)

G08G 5/02 (2006.01)

G01C 23/00 (2006.01)

G05D 1/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.11.2012 E 12382474 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.05.2017 EP 2738753**

54 Título: **Especificación de prestación de navegación**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
19.10.2017

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**DE PRINS, JOHAN L. y
GÓMEZ, RAMÓN**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 638 322 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

Especificación de prestación de navegación

Campo técnico

5 La presente invención se refiere a métodos de guía de sistema de gestión de vuelo y, en particular, a la comparación de prestación de navegación de los métodos de guía.

Antecedentes de la técnica

Las rutas de vuelo generalmente se calculan en tres dimensiones, es decir altitud y posición lateral. Calcular una ruta de vuelo en cuatro dimensiones requiere que las tres posiciones dimensionales de la aeronave se especifiquen durante un número de puntos en el tiempo.

10 La capacidad de volar una aeronave de acuerdo con una ruta de vuelo predeterminada con precisión de tal forma que su posición como una función de tiempo es predecible se está volviendo cada vez más importante en el control de tráfico aéreo. Esto permitiría que el control de tráfico aéreo relajase las separaciones entre aeronaves, conduciendo a un uso más eficiente del espacio aéreo.

15 Típicamente, una aeronave se aproxima a un aeropuerto con la guía de controladores de tráfico aéreo. Los controladores de tráfico aéreo tienen la tarea de garantizar la llegada segura de la aeronave a su destino, mientras también garantiza que se maximiza la capacidad del aeropuerto. El primer requisito generalmente se cumple garantizando que las separaciones especificadas mínimas se mantienen entre aeronaves. Control de tráfico aéreo está sujeto a incertidumbres que pueden actuar para atenuar la separación aeronaves tales como vientos variables, tanto en velocidad como dirección, y diferentes prácticas de pilotaje. No obstante, grandes números de aeronaves pueden operar de forma segura confinadas en un espacio relativamente pequeño ya que el control de tráfico aéreo puede corregir estas incertidumbres a un nivel táctico usando guía vectorial, cambio de velocidad y/o cambio de altitud. Una aproximación típica a un aeropuerto implicará una aproximación por etapas en la que la aeronave se autoriza para descender en las etapas a altitudes sucesivamente más bajas a medida que permite otro tráfico aéreo.

25 La mayoría de aeronaves comerciales están equipadas con sistemas de gestión de vuelo que ofrecen navegación automatizada en el descenso. Por ejemplo, la Figura 1 muestra cómo podría operar un sistema de este tipo. En la etapa 101 el sistema de gestión de vuelo planifica una trayectoria de referencia para el descenso en un aeropuerto. La trayectoria de referencia será de acuerdo con requisitos y reglas de gestión de tráfico aéreo establecidos por el sistema de gestión de vuelo. La aeronave se dirige automáticamente a lo largo de la trayectoria. El sistema supervisa desviaciones en tiempo real a partir de la trayectoria de referencia en la etapa 102. El sistema de guía de
30 gestión de vuelo corrige desviaciones en la etapa 103, ajustando uno o más parámetros de vuelo a expensas de otros. Por ejemplo, puede mantenerse la posición a expensas del tiempo o vice versa.

Un ejemplo particular de un sistema de gestión de vuelo es un sistema de navegación vertical automatizado (VNAV) con diferentes modos, tales como VNAV PATH que se usa habitualmente en descenso. VNAV PATH usa un método de ruta en elevador para rastrear un perfil de referencia vertical. En este modo la aeronave rastrea un perfil de
35 energía potencial de referencia, mientras los motores permanecen a una potencia de ralentí de referencia. Desviaciones de energía inesperadas, tales como causadas por errores en la intensidad y/o dirección del viento previstas, afectarán a la energía cinética. Es decir, la velocidad respecto al suelo de la aeronave puede cambiarse debido a la intensidad del viento, que a su vez resulta en cambios en la posición de aeronave con el paso del tiempo.

40 Un modo de operación diferente de un sistema de gestión de vuelo es VNAV SPEED que se controla comparando cómo la velocidad del aire en el elevador rastrea un perfil de referencia de velocidad del aire. En este modo desviaciones de energía inesperadas esencialmente resultan en desviaciones de energía potenciales junto con algo de desviación de energía cinética que surge debido a la relación entre velocidad del aire y velocidad respecto al suelo.

45 Un método de guía más avanzado usado por los Boeing 737 es un método de Tiempo Requerido de Llegada (RTA) que combina VNAV PATH con nuevos cálculos de rutas para cumplir con un tiempo objetivo de llegada en un punto de paso dado.

Adicionalmente, en investigación actual hay un método de guía de cuatro dimensiones en el que la aeronave rastrea una referencia de velocidad respecto al suelo. En el método todos los errores se introducen en la posición vertical de
50 la aeronave usando los elevadores.

Se han desarrollado otros métodos de guía de cuatro dimensiones que aplican correcciones de energía a la

aeronave usando aerofrenos y aceleradores respectivamente para disminuir y aumentar la energía cinética. Métodos de guía de cuatro dimensiones adicionales intentan cumplir un tiempo de llegada objetivo que aplica correcciones de energía desplegando dispositivos de hipersustentación (flaps) y tren de aterrizaje antes o después en el descenso.

5 Finalmente los diversos diferentes métodos de guía, principios y sistemas tienen cada uno alguna combinación de desviación vertical y temporal a partir de una trayectoria de referencia. Estadísticas en estas desviaciones verticales y temporales resultarán en prestación de navegación real vertical y temporal prevista, conocidos como V-ANP y T-ANP. También pueden surgir desviaciones adicionales por considerar factores externos que tienen diversas inexactitudes, por ejemplo velocidad del viento prevista o masa de aeronave.

10 En futuras Operaciones de Súper Densidad como parte de la siguiente generación de gestión de tráfico aéreo se espera que trayectorias de cuatro dimensiones se contraerán entre el aire y el suelo. Deben establecerse limitaciones a cualquier desviación a las trayectorias para evitar conflictos en el espacio aéreo, especialmente cuando las aeronaves están confluyendo, están en senda o cuando cruzan tráfico. Un objetivo de la siguiente generación de normas de gestión de tráfico aéreo también es ser capaz de acomodar una producción aumentada de aeronaves para hacer frente al aumento del tráfico. Esto puede lograrse estableciendo especificaciones más estrictas en el tiempo de llegada de aeronave. Por lo tanto, el proveedor de servicio de navegación aérea (ANSP) necesitará establecer una especificación para la prestación de navegación temporal y vertical requerida (T-RNP y V-RNP) similar a especificaciones actuales establecidas para prestación de navegación requerida lateral. En los Estados Unidos la Autoridad Federal de Aviación ha solicitado información de la industria de aeronaves y gestión de tráfico aéreo de modo que puede cerciorarse y establecer finalmente requisitos de navegación razonables sin restringir excesivamente las operaciones de aeropuerto. Por lo tanto, existe una necesidad para una técnica para considerar y determinar requisitos de prestación de navegación vertical y temporal (V-RNP y T-RNP) adecuados.

15 La definición de valores apropiados para prestación de navegación vertical y temporal (V-RNP y T-RNP) no es sencilla porque no pueden establecerse independientemente unos de otros. Como se ha descrito anteriormente, principios de conservación de energía proporcionan conexiones entre ellos. Es decir, el tiempo de llegada a un punto de paso particular puede adelantarse acelerando la aeronave, por ejemplo apuntando la nariz hacia abajo para perder altura y aumentar la velocidad de la aeronave. Adicionalmente, ciertas combinaciones pueden no ser viables y dependerán del tipo y los niveles de equipo de la aeronave.

20 Otro factor a tenerse en cuenta son los requisitos operativos de un aeropuerto dado. Por ejemplo, un aeropuerto con poco tráfico en una ciudad o entorno metropolitano puede necesitar un V-RNP más estricto a expensas de un T-RNP relajado, mientras que un aeropuerto con mucho tráfico puede establecer un T-RNP ajustado durante las horas de hora punta. En particular, el T-RNP puede limitar los tipos de aeronaves que pueden cumplir con los requisitos de navegación durante ese tiempo. Pero un T-RNP de este tipo necesitaría relajarse en otros momentos porque de otra manera los tipos de aeronave que entran en ese aeropuerto serían restringidos.

25 En la actualidad, prestación de navegación vertical únicamente se evalúa en términos de la precisión de la guía de vuelo tal como controlada por, por ejemplo, un método de ruta en elevador. En otras palabras, la prestación vertical se determina por la precisión con la que la aeronave rastrea la parte vertical de la trayectoria de referencia en la presencia de errores técnicos de vuelo y errores de sistema de navegación. La investigación en prestación de navegación temporal se ha centrado en precisión de entrega/tiempo en puntos de paso específicos, tales como el umbral de pista o correcciones de medidor. La evaluación de precisión tanto temporal como vertical de métodos de guía verticales con respecto a un perfil de descenso entre el aire y suelo añade nueva complejidad.

30 El documento US 2009/0112464 divulga un método y aparato para comprobación cruzada de procedimientos de prestación de navegación requeridas, incluyendo si desviación lateral está dentro de un umbral. AERO Magazine, N.º 12, de octubre de 2000, editada por Boeing Company, incluye un artículo "Required Navigation Performance", que describe un Manual de Vuelo de Avión que es una fuente de información en certificación de equipo, tales como conformidad con RNP.

35 Como se ha mencionado anteriormente los V-RNP y T-RNP están conectados entre sí hasta tal extremo que la especificación de límites para uno impacta en el otro. Para ayudar a los proveedores de servicio de navegación aérea (ANSP) en el establecimiento de límites en V-RNP y T-RNP sería útil poder ver sus relaciones y cómo los diversos sistemas de gestión de vuelo y modos de control afectan la relación.

40 Sumario de la invención

45 La presente invención proporciona un método de formulación de una especificación para prestación de navegación requerida temporal y vertical, T-RNP y V-RNP, como se expone en la reivindicación 1. Es decir, establecer límites en desviaciones en tiempo y altitud, por ejemplo en aproximación en llegadas a un aeropuerto. V-RNP también se conoce como prestación VNAV (navegación vertical) o confinamiento VNAV. El método comprende: calcular desviaciones temporales y verticales a partir de una trayectoria de referencia para uno o más métodos de guía de

- gestión de vuelo para uno o más tipos de aeronaves; y comparar las desviaciones temporales y verticales con requisitos operativos de un aeropuerto. Por ejemplo, la comparación puede realizarse para comparar diferentes tipos de aeronaves que ejecutan diferentes métodos de guía de gestión de vuelo. La comparación puede considerar en su lugar o adicionalmente diferentes tipos de aeronaves que ejecutan los mismos métodos de guía de gestión de vuelo.
- 5 Los diferentes tipos de aeronaves pueden tener diferentes características y por lo tanto resultan en diferentes variaciones de prestación. Adicionalmente, el mismo tipo de aeronave puede ejecutarse en diferentes métodos de guía de gestión de vuelo.
- El método comprende adicionalmente generar la especificación para prestación de navegación requerida temporal y vertical basándose en la etapa de comparación. El método también puede tener en cuenta los métodos de guía disponibles que cumplen con al menos una de las prestaciones de navegación requeridas temporal y vertical.
- 10 El método también puede tener en cuenta los métodos de guía disponibles que cumplen con al menos una de las prestaciones de navegación requeridas temporal y vertical.
- En una realización alternativa pero relacionada, la comparación puede ser con un valor de referencia o especificación de referencia en lugar de con requisitos operativos de un aeropuerto. El valor de referencia o especificación de referencia puede usarse, por ejemplo, durante el desarrollo del método de guía.
- La etapa de comparación comprende generar un mapa de dichas desviaciones temporales y verticales a partir de la trayectoria de referencia para cada uno de dichos uno o más métodos de guía de gestión de vuelo para el uno o más tipos de aeronaves; y determinar el mapa para cada uno de dichos uno o más métodos de gestión de vuelo para el uno o más tipos de aeronaves en comparación con los requisitos operativos o referencia para generar la especificación. El mapa puede comprender un diagrama, cuadro o gráfico trazando desviaciones de tiempo y altitud para cada método de guía de gestión de vuelo y/o tipo de aeronave.
- 15 La etapa de comparación comprende generar un mapa de dichas desviaciones temporales y verticales a partir de la trayectoria de referencia para cada uno de dichos uno o más métodos de guía de gestión de vuelo para el uno o más tipos de aeronaves; y determinar el mapa para cada uno de dichos uno o más métodos de gestión de vuelo para el uno o más tipos de aeronaves en comparación con los requisitos operativos o referencia para generar la especificación. El mapa puede comprender un diagrama, cuadro o gráfico trazando desviaciones de tiempo y altitud para cada método de guía de gestión de vuelo y/o tipo de aeronave.
- La etapa de calcular desviaciones temporales y verticales a partir de una trayectoria de referencia puede comprender calcular prestación de navegación real temporal y vertical para el uno o más métodos de guía de gestión de vuelo del uno o más tipos de aeronaves. Prestación de navegación real temporal y vertical puede ser la prestación simulada usando un método de guía de sistema de gestión de vuelo dado y parámetros de entrada tales como específicos a un tipo de aeronave, aeropuerto y carga. Por otra parte, la prestación de navegación requerida establece la prestación objetivo o especificación.
- 20 La etapa de calcular desviaciones temporales y verticales a partir de una trayectoria de referencia puede comprender calcular prestación de navegación real temporal y vertical para el uno o más métodos de guía de gestión de vuelo del uno o más tipos de aeronaves. Prestación de navegación real temporal y vertical puede ser la prestación simulada usando un método de guía de sistema de gestión de vuelo dado y parámetros de entrada tales como específicos a un tipo de aeronave, aeropuerto y carga. Por otra parte, la prestación de navegación requerida establece la prestación objetivo o especificación.
- 25 La etapa de calcular desviaciones temporales y verticales a partir de una trayectoria de referencia puede comprender calcular prestación de navegación real temporal y vertical para el uno o más métodos de guía de gestión de vuelo del uno o más tipos de aeronaves. Prestación de navegación real temporal y vertical puede ser la prestación simulada usando un método de guía de sistema de gestión de vuelo dado y parámetros de entrada tales como específicos a un tipo de aeronave, aeropuerto y carga. Por otra parte, la prestación de navegación requerida establece la prestación objetivo o especificación.
- La etapa de calcular prestación de navegación real temporal y vertical incluye desviaciones a partir de una trayectoria de referencia que resulta de incertidumbres que afectan a predicción de trayectoria. Estas desviaciones pueden resultar a partir de incertidumbres que afectan a predicción de trayectoria y pueden incluir errores técnicos de vuelo y/o errores de sistema de navegación. Las incertidumbres pueden comprender uno o más de: imprecisión en masa de aeronave especificada, imprecisión de predicción de viento y temperatura e imprecisión de distancia de desplazamiento o tiempo de desplazamiento a pista de la aeronave.
- 30 La etapa de calcular prestación de navegación real temporal y vertical incluye desviaciones a partir de una trayectoria de referencia que resulta de incertidumbres que afectan a predicción de trayectoria. Estas desviaciones pueden resultar a partir de incertidumbres que afectan a predicción de trayectoria y pueden incluir errores técnicos de vuelo y/o errores de sistema de navegación. Las incertidumbres pueden comprender uno o más de: imprecisión en masa de aeronave especificada, imprecisión de predicción de viento y temperatura e imprecisión de distancia de desplazamiento o tiempo de desplazamiento a pista de la aeronave.
- La especificación puede comprender valores máximos para las desviaciones temporales y verticales desde un punto a lo largo de la trayectoria de referencia. La desviación máxima a lo largo de la trayectoria de referencia puede basarse en desviaciones previstas a producirse en uno o más puntos de medición a lo largo de la trayectoria o calculada sobre todo el perfil de descenso. El método preciso puede depender de requisitos operativos de aeropuerto específicos. Por ejemplo, el ANSP puede únicamente imponer restricciones RNP en puntos de confluencia de tráfico específicos y puede no referirse a desviaciones a lo largo de la ruta hacia esos puntos de confluencia.
- 35 La especificación puede comprender valores máximos para las desviaciones temporales y verticales desde un punto a lo largo de la trayectoria de referencia. La desviación máxima a lo largo de la trayectoria de referencia puede basarse en desviaciones previstas a producirse en uno o más puntos de medición a lo largo de la trayectoria o calculada sobre todo el perfil de descenso. El método preciso puede depender de requisitos operativos de aeropuerto específicos. Por ejemplo, el ANSP puede únicamente imponer restricciones RNP en puntos de confluencia de tráfico específicos y puede no referirse a desviaciones a lo largo de la ruta hacia esos puntos de confluencia.
- La trayectoria de referencia puede comprender un descenso en llegadas.
- 40 La presente invención proporciona también un método de determinación de conformidad de un método de guía de sistema de gestión de vuelo de una aeronave a una especificación de prestación de navegación requerida como se expone en la reivindicación 10.
- El método puede realizarse en vuelo en aproximación o en anticipación de llegada al aeropuerto especificado. El método también puede realizarse durante el diseño de una aeronave y sistema de guía de gestión de vuelo en particular, para evaluar el confinamiento alcanzable para un conjunto de escenarios. En una fase de diseño de este tipo, la comparación podría ser un valor referencia en lugar de requisitos operativos de un aeropuerto o podría usarse una especificación para un aeropuerto particular. El método comprende: calcular desviación temporal y vertical real a partir de una trayectoria de referencia del método de guía de sistema de gestión de vuelo para la aeronave; comparar la desviación temporal y vertical real con una especificación de prestación de navegación requerida temporal y vertical; y proporcionar una indicación si el método de guía de gestión de vuelo de la aeronave cumple con la prestación de navegación requerida basándose en la comparación.
- 45 El método puede realizarse en vuelo en aproximación o en anticipación de llegada al aeropuerto especificado. El método también puede realizarse durante el diseño de una aeronave y sistema de guía de gestión de vuelo en particular, para evaluar el confinamiento alcanzable para un conjunto de escenarios. En una fase de diseño de este tipo, la comparación podría ser un valor referencia en lugar de requisitos operativos de un aeropuerto o podría usarse una especificación para un aeropuerto particular. El método comprende: calcular desviación temporal y vertical real a partir de una trayectoria de referencia del método de guía de sistema de gestión de vuelo para la aeronave; comparar la desviación temporal y vertical real con una especificación de prestación de navegación requerida temporal y vertical; y proporcionar una indicación si el método de guía de gestión de vuelo de la aeronave cumple con la prestación de navegación requerida basándose en la comparación.
- 50 El método puede realizarse en vuelo en aproximación o en anticipación de llegada al aeropuerto especificado. El método también puede realizarse durante el diseño de una aeronave y sistema de guía de gestión de vuelo en particular, para evaluar el confinamiento alcanzable para un conjunto de escenarios. En una fase de diseño de este tipo, la comparación podría ser un valor referencia en lugar de requisitos operativos de un aeropuerto o podría usarse una especificación para un aeropuerto particular. El método comprende: calcular desviación temporal y vertical real a partir de una trayectoria de referencia del método de guía de sistema de gestión de vuelo para la aeronave; comparar la desviación temporal y vertical real con una especificación de prestación de navegación requerida temporal y vertical; y proporcionar una indicación si el método de guía de gestión de vuelo de la aeronave cumple con la prestación de navegación requerida basándose en la comparación.
- El método comprende adicionalmente uno o más de: ajustar el método de guía de gestión de vuelo para cumplir con la prestación de navegación requerida relajando ajustes de prestación de navegación temporal o vertical del método de guía de gestión de vuelo; y cambiar a un método de guía de gestión de vuelo alternativo y recalcular la prestación

de navegación vertical y temporal. Al menos una de las etapas de ajuste y cambio puede producirse en vuelo. Tal ajuste y cambio etapas podrían producirse en vuelo si el método de guía permite ajuste simple, por ejemplo, basándose en establecimiento de los requisitos T-RNP y V-RNP. El ajuste y cambio también podrían realizarse antes de salida si el aeropuerto de llegadas tiene una especificación sustancialmente estática.

- 5 El método puede comprender adicionalmente volar la aeronave de acuerdo con un método de guía de gestión de vuelo compatible.

La presente invención comprende además aparato informático dispuesto para realizar cualquiera de los métodos expuestos anteriormente.

- 10 La presente invención proporciona también una aeronave que comprende un aparato informático dispuesto para realizar cualquiera de los métodos expuestos anteriormente.

La presente invención proporciona un programa informático que comprende instrucciones que cuando se ejecutan en un ordenador, provocan que el ordenador realice cualquiera de los métodos expuestos anteriormente.

La presente invención proporciona adicionalmente un medio legible por ordenador que tiene almacenado en el mismo un programa informático como se expone anteriormente.

- 15 Breve descripción de los dibujos

Las realizaciones de la presente invención, junto con aspectos de la técnica anterior, se describirán ahora con referencia a los dibujos adjuntos, de los que:

la Figura 1 es un diagrama de flujo que muestra etapas de método de un sistema de guía de gestión de vuelo durante el vuelo;

- 20 las Figuras 2a-2c ilustran una aeronave que sigue una trayectoria de referencia y en la que la aeronave se desvía de la trayectoria de referencia;

la Figura 3 es un diagrama que correlaciona estadísticas de desviaciones temporales y verticales de una serie de métodos de guía de sistema de gestión de vuelo;

la Figura 4 es el diagrama de la Figura 3 con límites de ejemplo en T-RNP y V-RNP; y

- 25 la Figura 5 es un diagrama de flujo que muestra etapas de método en la determinación de un mapa de prestación de navegación T-RNP y V-RNP y la especificación de aeropuerto resultante.

Descripción detallada

- 30 Describimos un método para ayudar en la especificación de prestación de navegación requerida temporal y vertical (T-RNP y V-RNP) para aeronave desde un punto de vista de gestión de tráfico aéreo. En realizaciones, el método se aplica a llegadas de aeronaves, por ejemplo, para descender a un aeropuerto.

- 35 En descenso el sistema de navegación vertical del sistema de gestión de vuelo a bordo guía a la aeronave a lo largo de un perfil de descenso de referencia previsto. Incertidumbres e imprecisiones provocan desviaciones de altitud y tiempo del perfil de referencia. El sistema de gestión de vuelo combate estas incertidumbres distribuyendo desviaciones entre desviaciones de altitud y tiempo para producir la prestación de navegación real vertical y temporal, respectivamente V-RNP y T-RNP.

- 40 Una fuente importante de incertidumbre comúnmente acordada dentro de la comunidad ATM es el viento. La magnitud de esta fuente de incertidumbre depende naturalmente de la calidad de la predicción de viento. La calidad de predicción puede asumirse la misma para todos los sistemas, pero la magnitud de la incertidumbre que resulta puede depender de la manera en que el sistema de gestión de vuelo hace uso de estos datos. Por lo tanto, pueden usarse escenarios de referencia y estudios específicos de aeropuertos. Otras fuentes de incertidumbre se describen en este documento y se toman en cuenta en los métodos.

- 45 Las Figuras 2a-2c muestran una aeronave recorriendo una trayectoria de referencia. Como se muestra en la figura 2a, la trayectoria de referencia puede tener una altitud A sobre una ubicación P como se muestra en la figura 2b. De acuerdo con una trayectoria de referencia se planifica que la aeronave pase sobre la ubicación P en el momento T. Sin embargo, como se muestra en la figura 2b, incertidumbres e imprecisiones pueden desviar la llegada de la aeronave de tal forma que se retrasa por un tiempo ΔT . Como alternativa, la aeronave que llega sobre la ubicación

P puede desviarse por una altitud ΔA pero llegar sobre la ubicación en línea con el tiempo de referencia T. La Figura 2c muestra la trayectoria de referencia para descenso en llegadas con la aeronave llegando a la altitud A y tiempo T planificados a la ubicación P. La ubicación P puede ser un punto de paso u otra ubicación tales como especificadas por latitud y longitud.

5 Como se expone anteriormente, la distribución de la desviación entre tiempo y altitud dependerá del sistema de gestión de vuelo usado. Por ejemplo, un sistema de gestión de vuelo del tipo VNAV-PATH puede introducir desviaciones en el dominio temporal para mantener la prestación de altitud requerida. Como alternativa, otros sistemas de gestión de vuelo pueden introducir desviaciones en el dominio vertical para mantener la prestación temporal requerida. Adicionalmente hay disponibles sistemas de gestión de vuelo que usan diversos principios para obtener posiciones intermedias en las que las desviaciones son algunas combinaciones, a diversos grados, de desviaciones de altitud y temporales.

La Figura 3 es un mapa de cuantificación de las desviaciones en tiempo y altitud relativas de un número de métodos de guía de sistema de gestión de vuelo, por ejemplo para llegadas a un aeropuerto dado.

15 La Figura 3 se obtiene realizando el método de acuerdo con la Figura 5. Antes de considerar las implicaciones del mapa de la Figura 3 es apropiado primero describir el método.

La Figura 5 muestra ocho etapas 501 a 508. El método se implementa usando una herramienta adecuada para modelar la prestación de diversos métodos de guía de sistema de gestión de vuelo. Una herramienta adecuada es la herramienta de Boeing conocida como banco de Prueba de Concepto ATM Futuro (FACT), que es un simulador de tráfico rápido con fortaleza en el modelado de métodos de guía de sistema de gestión de vuelo existentes y novedosos.

Las primeras etapas del método son para formular una trayectoria de referencia 502 basándose en parámetros de entrada que pueden referirse al tipo de la aeronave, carga, condiciones meteorológicas, método de guía de sistema de gestión de vuelo y aeropuerto. En la etapa 503 se determinan desviaciones en la trayectoria de referencia basándose en el método de guía que se usa teniendo en cuenta incertidumbres que afectan trayectoria tales como viento, temperatura y cualquier incertidumbre en carga de aeronave. Las desviaciones se calculan usando simulaciones Monte Carlo para determinar variaciones aleatorias en las principales incertidumbres. Para la mayoría de métodos de guía el tamaño de las desviaciones depende de la distancia recorrida o tiempo que puede ser específico del escenario de llegada y concepto de gestión de tráfico usados. En la etapa 504 el modelo se ejecuta de tal forma que el sistema de gestión de vuelo corrige desviaciones para mantenerse tan cerca como sea posible del perfil de tiempo/descenso de acuerdo con el criterio de método de guía de sistema de gestión de vuelo. La simulación para el método de guía de sistema de gestión de vuelo dado resulta en la prestación de navegación real temporal y vertical, conocidos como T-ANP y V-ANP respectivamente. Desviaciones máximas en tiempo y altitud determinadas se incluyen en un mapa de desviación, tal como se muestra en la figura 3.

Para proporcionar una comparación de otros métodos de guía de sistema de gestión de vuelo la simulación se repite en la etapa 506 usando métodos alternativos de sistema de guía de gestión de vuelo para producir valores para T-ANP y V-ANP para los otros métodos de guía. Como se indica en la etapa 507 las desviaciones a partir de la trayectoria de referencia se mapean como se muestra en la figura 3. El mapa puede referirse a desviaciones en llegadas de aeronaves a un aeropuerto o desviaciones en un punto de paso específico. El mapa de la Figura 3 tiene la desviación en altitud $\epsilon_{\text{altitud}}$ a lo largo de la abscisa y tiene la desviación en tiempo ϵ_{tiempo} a lo largo de la ordenada. Las líneas discontinuas curvadas entre los dos ejes son líneas que representan la equivalencia entre desviación de tiempo y altitud.

Los puntos mapeados indican la media de las desviaciones máximas en tiempo y altitud que se trazan como ϵ_{tiempo} y $\epsilon_{\text{altitud}}$. Los intervalos representan un intervalo de confinamiento del 95 % para la desviación máxima. Pueden usarse otras mediciones de desviación para ilustrar los puntos e intervalos.

45 El mapa de la Figura 3 incluye siete métodos de guía de sistema de gestión de vuelo, a saber, VNAV-PATH, VNAV-SPD, RTA, CDA-MP, control GS y variaciones del método CDA-MP. VNAV-PATH, VNAV-SPD y RTA son métodos de guía existentes y se han descrito anteriormente en referencia a la técnica anterior. Los métodos de guía restantes son métodos novedosos dirigidos a mejorar la precisión de tiempo. Control GS se refiere a control de velocidad respecto al suelo. CDA-MP representa llegada de descenso continua para previsibilidad máxima. CDA-MP se basa en ajustar el ángulo de descenso para mantener una referencia de velocidad respecto al suelo dentro de una precisión dada. Los motores de la aeronave se establecen sustancialmente a ralentí, pero aerofreno y/o acelerador pueden ajustarse para mantener la desviación vertical dentro de los límites. Este enfoque se dirige para proporcionar máxima previsibilidad en tiempo de llegada a cualquier punto en el descenso.

55 Como se expone anteriormente, los detalles del método de guía determinan cómo se distribuyen las desviaciones entre posición vertical y posición temporal (a lo largo de la pista). Extremos son los métodos VNAV-PATH y control

5 GS que respectivamente siguen de forma precisa el perfil trayectoria de referencia vertical y el perfil tiempo/posición a lo largo de pista. Sin embargo, al introducir todas las desviaciones en o bien tiempo o posición, el otro tiempo y posición tienen una gran desviación. Para reducir desviaciones de tal forma que el método resultante está más cerca del origen del mapa de la Figura 3, necesitan aplicarse más correcciones de energía. El método RTA (Tiempo de Llegada Requerido) de los Boeing 737 intenta minimizar las desviaciones de tiempo objetivo recalculando el perfil de descenso con una nueva velocidad de descenso si se considera necesario. El perfil de descenso recalculado requiere uso de acelerador y/o aerofreno para ajustar la velocidad y volver a un perfil de descenso de motor al ralentí.

10 El método CDA-MP también requiere correcciones de motor aplicadas mediante el uso del acelerador y/o aerofreno, pero se aplican de una manera diferente al método RTA resultando en diferentes prestaciones de navegaciones reales y desviaciones.

En general correcciones de energía se hacen a expensas de consumo de combustible como se indica mediante la flecha en la Figura 3 que ilustra que cuánto más cerca al origen mayor será la actividad de motor y uso de combustible.

15 Como se ha mencionado anteriormente, también se muestran variaciones al método de guía CDA-MP en la Figura 3. CDA-MP de ralentí no aplica correcciones de energía y todas las desviaciones adicionales se introducen en desviaciones de altitud. CDA-MP de ralentí "suelto" relaja el control sobre el ángulo de descenso disminuyendo de este modo la previsibilidad temporal, pero reduciendo la desviación vertical.

20 Como se muestra en la figura 3 los métodos RTA y CDA-MP están más cerca del origen en términos de desviaciones mínimas. Los otros cinco métodos, a saber, VNAV-PATH, VNAV-SPD, CDA-MP de ralentí "suelto", CDA-MP de ralentí y control GS, se encuentran en una de las líneas curvas discontinuas que muestran una correspondencia entre desviación temporal y vertical.

25 La Figura 4 se basa en la Figura 3 pero usa el mapa de la Figura 3 para evaluar especificaciones candidatas para la prestación de navegación requerida temporal y vertical, T-RNP y V-RNP. En la evaluación se tienen en cuenta operaciones de aeropuerto.

30 Para que una aeronave cumpla el deseado RNP, la aeronave debería cumplir la prestación en el 95 % de las llegadas. La Figura 4 muestra un RNP basado solamente en prestación de navegación requerida vertical indicado mediante la línea V-RNP. Una especificación de este tipo podría aplicarse a un aeropuerto metropolitano de densidad de llegadas baja en el que la posición vertical es más importante que el tiempo. En este caso, la especificación descarta todos los métodos de guía CDA-MP junto con el método Control GS. Únicamente los métodos de guía VNAV y RTA cumplen la especificación. En el establecimiento de una especificación temporal, no debería establecerse por debajo de T-RNP3 para aceptar aeronaves con todos los otros métodos de guía restantes.

35 Si se desea que la especificación también debería establecer un límite temporal relativamente riguroso, tal como se indica mediante la línea T-RNP en la Figura 4, entonces únicamente aeronaves que utilicen el método de guía RTA cumplirían con la especificación. Para que más aeronaves cumplan con la especificación, el fabricante del sistema de gestión de vuelo podría ajustar el método de guía CDA-MP que de acuerdo con la Figura está cerca de cumplir con la especificación T-RNP y V-RNP. Esto podría lograrse moviendo la prestación CDA-MP a la izquierda en la Figura 4 permitiendo más correcciones de energía a expensas de consumo de combustible ligeramente superior.

Las líneas T-RNP1 y T-RNP2 proporcionan otros ejemplos de especificaciones RNP.

40 El mapa identifica intercambios entre T-RNP y V-RNP y pueden usarse para ayudar el establecimiento de requisitos razonables de acuerdo con las necesidades del sistema ATM o requisitos de aeropuerto locales. El mapa proporciona información de la viabilidad de combinaciones T-RNP y V-RNP y el tipo o aeronave y mezcla de aeronave que cumpliría la especificación. Una vez que T-RNP y V-RNP se han especificado, pueden determinarse separaciones apropiadas entre aeronaves entrantes. Las separaciones pueden usarse a continuación en el programador de un gestor de llegadas de aeropuerto.

Además, la información V-RNP puede tenerse en cuenta para diseñar procedimientos de llegadas con ventanas de altitud que tienen perfiles de descenso eficientes de combustible.

50 Para las aerolíneas el beneficio puede ser una programación más eficiente y efectiva por el control de tráfico aéreo (ATC) de vuelos entrantes a un aeropuerto, de tal forma que se retrasan menos vuelos en aproximación. Adicionalmente, menos intervenciones tácticas por control de tráfico aéreo y menos retrasos resultarán en ahorro de combustible para las aerolíneas.

El mapa y métodos también pueden realizarse durante el diseño de una aeronave, y sistema de guía de gestión de

5 vuelo en particular, para evaluar el confinamiento alcanzable para un conjunto de escenarios. En una fase de diseño de este tipo, la comparación podría ser con un valor de referencia en lugar de requisitos operativos de un aeropuerto o podría usarse una especificación para un aeropuerto particular. En realizaciones, puede requerirse una comparación específica de aeropuerto para algunos aeropuertos ya que la magnitud de incertidumbres en condiciones atmosféricas puede ser muy específica debido a las condiciones climáticas y elevación de aeropuerto. Adicionalmente la estructura específica de procedimientos de llegada de un aeropuerto también puede tener un efecto en los resultados de confinamiento.

10 Se apreciará por los expertos en la materia que son posibles muchas variaciones y modificaciones dentro del alcance de la invención como se exponen mediante las reivindicaciones adjuntas. Por ejemplo, puede usarse otro sistema de guía de gestión de vuelos y herramientas de simulación.

REIVINDICACIONES

1. Un método de formulación de una especificación para prestación de navegación requerida temporal y vertical, que comprende:
- 5 calcular desviaciones temporales y verticales a partir de una trayectoria de referencia para uno o más métodos de guía de gestión de vuelo para uno o más tipos de aeronaves;
- comparar las desviaciones temporales y verticales con requisitos operativos de un aeropuerto o con un escenario de referencia; y
- generar la especificación para prestación de navegación requerida temporal y vertical basándose en la etapa de comparación,
- 10 en el que la etapa de comparación comprende:
- generar un mapa de dichas desviaciones temporales y verticales a partir de la trayectoria de referencia para cada uno de dichos uno o más métodos de guía de gestión de vuelo para el uno o más tipos de aeronaves; y
- determinar el mapa para cada uno de dichos uno o más métodos de guía de gestión de vuelo para el uno o más tipos de aeronaves en comparación con los requisitos operativos o escenario de referencia para generar la especificación.
- 15 2. El método de la reivindicación 1, en el que puntos en el mapa representan desviaciones máximas en tiempo y altitud.
3. El método de la reivindicación 2, en el que intervalos alrededor de los puntos representan un intervalo de confinamiento para la desviación máxima.
- 20 4. El método de cualquier reivindicación anterior, en la que la etapa de cálculo de desviaciones temporales y verticales a partir de una trayectoria de referencia comprende calcular prestación de navegación real temporal y vertical para el uno o más métodos de guía de gestión de vuelo del uno o más tipos de aeronaves.
5. El método de la reivindicación 3, en el que el cálculo prestación de navegación real temporal y vertical incluye desviaciones a partir de una trayectoria de referencia que resulta de incertidumbres que afectan a predicción de trayectoria.
- 25 6. El método de la reivindicación 5, en el que las incertidumbres que afectan a predicción de trayectoria incluyen errores técnicos de vuelo y/o errores de sistema de navegación.
7. El método de la reivindicación 5 o la reivindicación 6, en el que las incertidumbres comprenden uno o más de: imprecisión en masa de aeronave especificada, imprecisión de predicción de viento y/o temperatura, imprecisión en predicción de distancia de desplazamiento o tiempo de desplazamiento a pista de la aeronave, variaciones en acciones de control de piloto manual e imprecisión en el modelo de prestación de aeronave contenido en el sistema de gestión de vuelo.
- 30 8. El método de cualquier reivindicación anterior, en el que la especificación comprende un valor máximo para las desviaciones temporales y verticales desde un punto a lo largo de la trayectoria de referencia.
- 35 9. El método de cualquier reivindicación anterior, en el que la trayectoria de referencia comprende un descenso en llegadas.
10. Un método de determinación de conformidad de un método de guía de gestión de vuelo de una aeronave a una especificación de prestación de navegación requerida, comprendiendo el método:
- 40 calcular desviación temporal y vertical real a partir de una trayectoria de referencia del método de guía de gestión de vuelo para la aeronave;
- comparar la desviación temporal y vertical real con una especificación de prestación de navegación requerida temporal y vertical; y
- proporcionar una indicación de si el método de guía de gestión de vuelo de la aeronave cumple con la prestación de navegación requerida basándose en la comparación,

comprendiendo el método además uno o más de:

ajustar el método de guía de gestión de vuelo para cumplir con la prestación de navegación requerida relajando ajustes de prestación de navegación temporal o vertical del método de guía de gestión de vuelo; y

5 cambiar a un método de guía de gestión de vuelo alternativo y recalcular la prestación de navegación vertical y temporal.

11. El método de la reivindicación 10, en el que al menos una de las etapas de ajuste y cambio se produce en vuelo o antes de la salida.

12. El método de cualquiera de la reivindicación 10 u 11, comprendiendo además hacer volar la aeronave de acuerdo con un método de guía de gestión de vuelo compatible.

10 13. Aparato informático dispuesto para realizar el método de cualquier reivindicación anterior.

14. Una aeronave que comprende un aparato informático dispuesto para realizar el método de la reivindicación 10 u 11.

15. Un programa informático que comprende instrucciones que cuando se ejecutan en un ordenador, provocan que el ordenador realice el método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9.

15 16. Un medio legible por ordenador que tiene almacenado en el mismo un programa informático de acuerdo con la reivindicación 15.

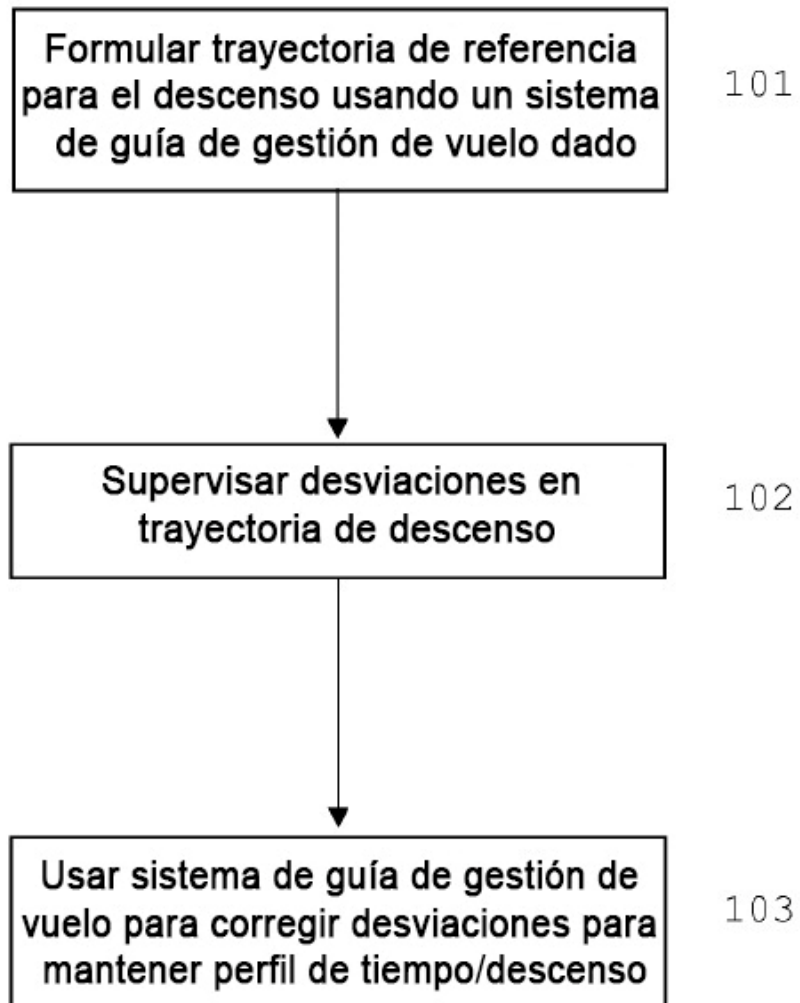


Figura 1

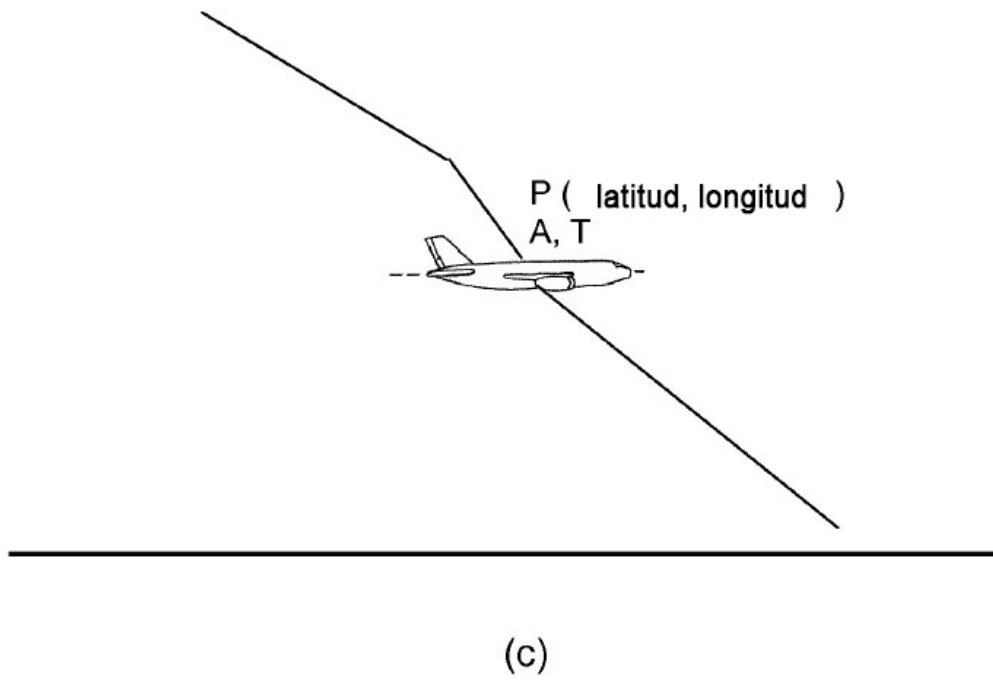
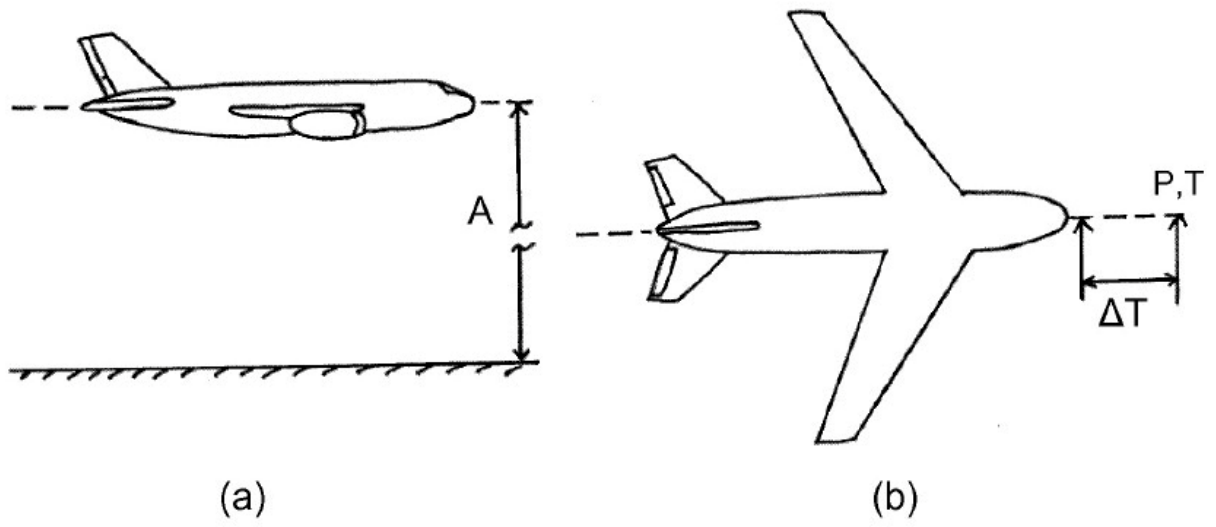


Figura 2

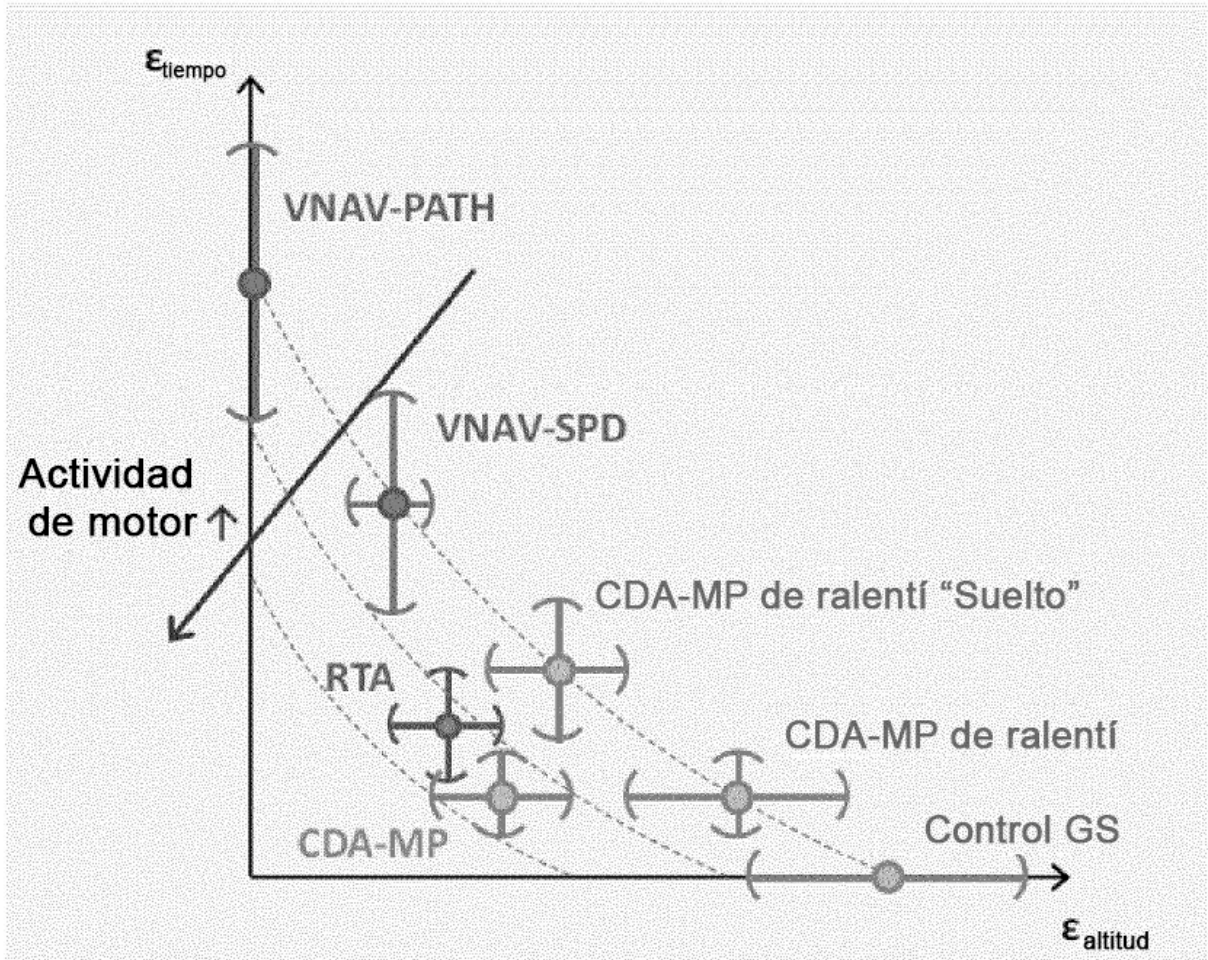


Figura 3

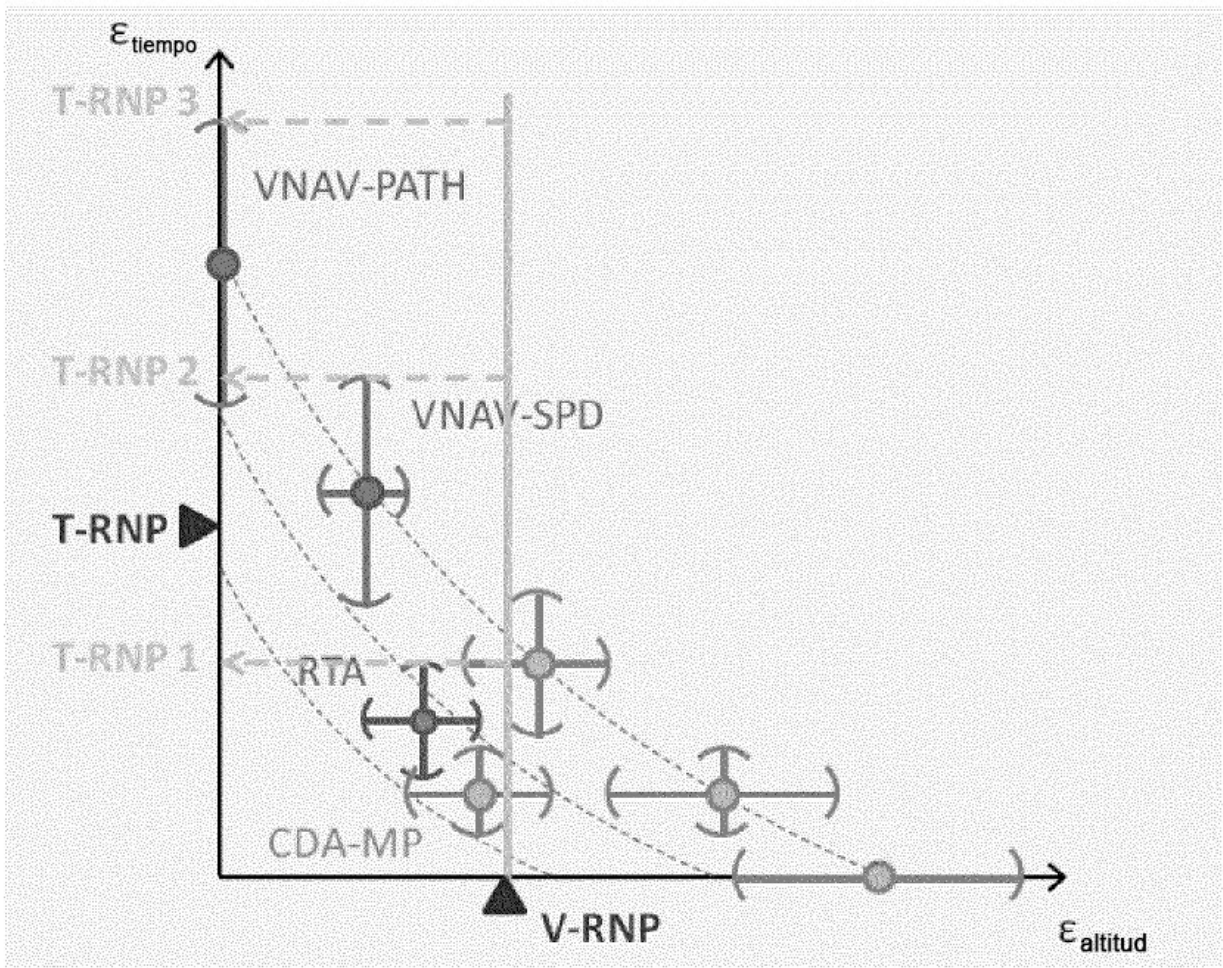


Figura 4

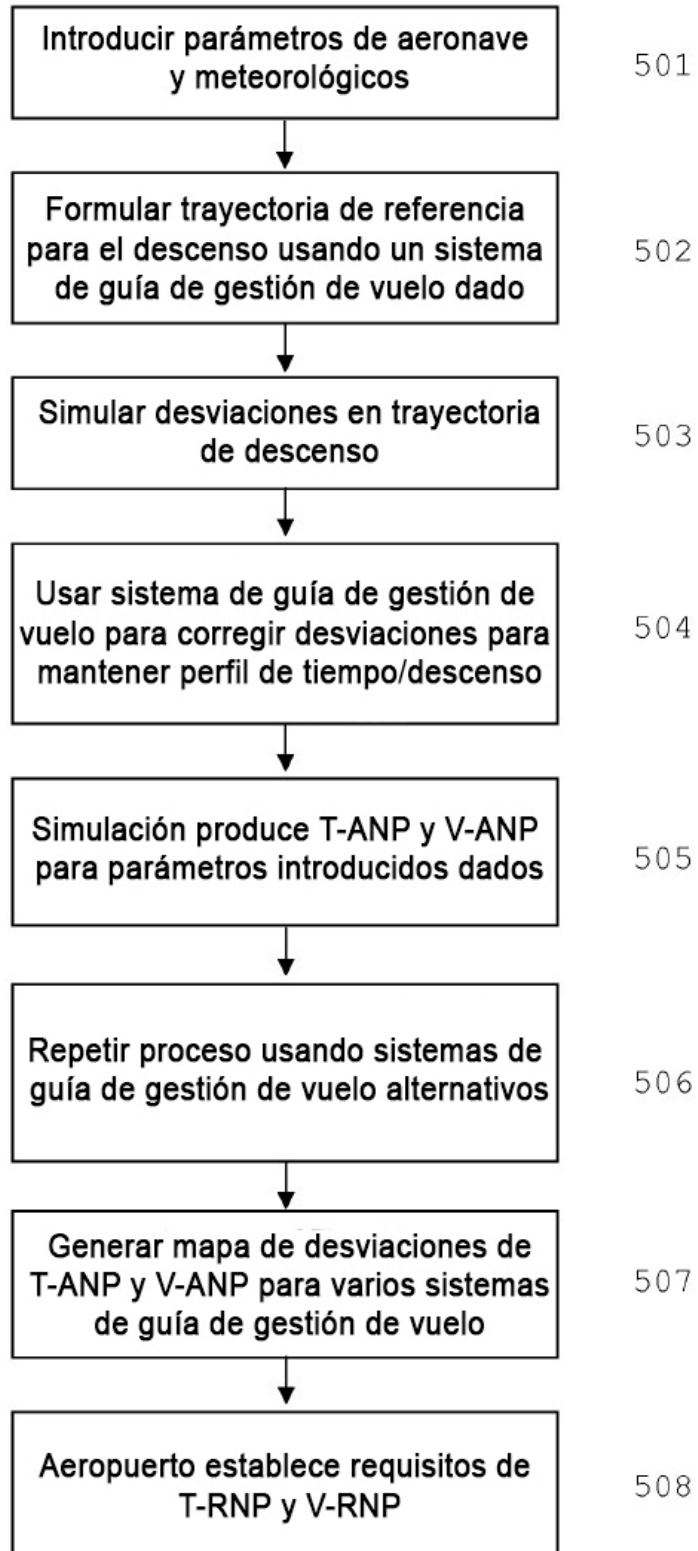


Figura 5