

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 707 449**

51 Int. Cl.:

G05D 1/06 (2006.01)

G05D 1/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.06.2015** **E 15382338 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.10.2018** **EP 3109723**

54 Título: **Método y sistema para controlar el vuelo de una aeronave sometida a al menos dos tiempos requeridos de restricciones de llegada**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
03.04.2019

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

GARRIDO LÓPEZ, DAVID

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 707 449 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 para controlar el vuelo de una aeronave sometida a al menos dos tiempos requeridos de restricciones de llegada.

Campo de la invención

- 5 Esta descripción se relaciona con un método para controlar el vuelo de una aeronave sometida a al menos dos restricciones de tiempo de llegada requeridas y más específicamente con un método para controlar el vuelo de una aeronave en donde la trayectoria de la aeronave satisface dos tiempos de llegada requeridos en dos puntos de ruta diferentes de una operación de descenso de crucero, al iterar la velocidad de crucero y la velocidad de descenso de la aeronave de forma independiente. El método para controlar el vuelo de la aeronave comienza durante la fase de
10 crucero y al menos dos de los puntos de ruta se encuentran en la fase de descenso del vuelo. La divulgación también se relaciona con el sistema para controlar el vuelo de una aeronave sometida a al menos dos restricciones de tiempo de llegada requeridas y al programa de ordenador que, cuando se ejecuta, lleva a cabo el método citado.

Antecedentes de la invención

- 15 La modernización de la gestión del tráfico aéreo está evolucionando a partir de la gestión con base en la vigilancia (control con base en saber dónde están las aeronaves) hacia la gestión con base en la trayectoria (control con base en saber dónde estará la aeronave). Debido a esta dependencia inherente de la predicción de la trayectoria, este concepto requiere la trayectoria de la aeronave para impedir grandes desviaciones impredecibles.

- 20 La mayoría de las aeronaves comerciales tienen disponible una función de tiempo de llegada requerido (RTA) la cual es potencialmente una función de lado aéreo muy útil para cumplir con las limitaciones de tiempo impuestas por los sistemas de gestión de tráfico aéreo y, en particular, por los administradores de llegadas de un área de terminal de aeropuerto.

La trayectoria de la aeronave bajo el control de RTA se vuelve predecible en el sentido de que, con suerte, la aeronave alcanzará el punto de ruta objetivo de RTA en el tiempo previsto (y requerido).

- 25 La función RTA de una aeronave se activa cuando el piloto define un tiempo de llegada requerido a un punto de ruta objetivo por delante de la posición actual. Una aplicación importante de la función de RTA ocurre cuando la aerolínea, la Gestión de Tránsito Aéreo, el piloto u otra autoridad impone una restricción de tiempo de llegada cerca del aeropuerto de destino. En ese caso, la función RTA puede activarse cuando el vuelo aún está en la fase de crucero, pero el punto de ruta objetivo está dentro de la fase de descenso. La función predice entonces una trayectoria que satisface la restricción de tiempo y modifica en consecuencia las velocidades de vuelo. Sin embargo, las funciones
30 operativas actuales de RTA consideran solo un RTA en un solo punto de ruta.

- Si el vuelo está en la fase de crucero y el punto de ruta objetivo está en la fase de descenso, una función RTA convencional no predice las trayectorias que varían la velocidad de crucero y la velocidad de descenso, y más específicamente la velocidad Mach de crucero e independientemente, la velocidad del aire calibrada de descenso (CAS). En su lugar, la función RTA convencional itera sobre el índice de coste (CI) el cual combina las variaciones de Mach y CAS. Cada CI define una combinación Mach/CAS única, dada la altitud de crucero, el peso y las condiciones meteorológicas. El CI se utiliza para la predicción de la trayectoria inicial, así como para las correcciones de velocidad durante la operación.

- 35 Un sistema de gestión de llegadas con base en la trayectoria puede definir ventanas de tiempo en puntos de ruta cruciales, por ejemplo, en un punto de ruta donde convergen más de una llegada, y luego en un punto de ruta más cercano a la aproximación de la pista para mantener la secuencia correcta de aterrizaje de aeronaves. Por lo tanto, imponer RTA en dos puntos de ruta diferentes beneficiaría la combinación y el espaciamiento del tráfico entrante en ambas altitudes elevadas y luego más cerca de la aproximación final a la pista.

- 45 Sin embargo, las funciones de RTA convencionales no pueden impedir las desviaciones de tiempo con respecto a los tiempos de llegada estimados inicialmente a los puntos de ruta intermedios. Las soluciones actuales, como la que se describe en el documento de patente de los Estados Unidos US8150565 B2, rompen la trayectoria de referencia en tantos segmentos de trayectoria como puntos de ruta intermedios, y calculan un par de velocidad de crucero/descenso para cada segmento de trayectoria, en donde cada par de velocidad de crucero/descenso cumple con los correspondientes RTA en el punto de ruta intermedio por delante. Esta solución ignora los tiempos de llegada más allá del siguiente punto de ruta de RTA y calcula una pluralidad de trayectorias que necesariamente implican una serie de
50 cambios de velocidad y más requisitos computacionales. Esta solución es por lo tanto, ineficiente.

Las capacidades informáticas actuales permiten calcular diversas combinaciones diferentes de Mach/CAS que se pueden volar y que no están acopladas por el CI. Los pares de velocidad de crucero/descensos arbitrarios se pueden utilizar para planificar trayectorias siempre que las velocidades estén dentro de los límites de los límites de velocidad de la aeronave.

- 55 Resumen de la invención

ES 2 707 449 T3

Para lograr las ventajas e impedir los inconvenientes enumerados anteriormente, la presente divulgación proporciona una mejora significativa con respecto a las soluciones existentes, ya que describe un método y un sistema para controlar el vuelo de una aeronave sometida a al menos dos restricciones de tiempo de llegada requeridas. El principal objetivo de la presente invención es calcular una trayectoria única que cumpla con al menos dos tiempos de llegada requeridos a los diferentes puntos de ruta correspondientes considerando cambios independientes de la velocidad de crucero y la velocidad de descenso para las predicciones de la trayectoria durante la ejecución de la función RTA.

Una primera realización de la presente invención es un método para controlar el vuelo de una aeronave sometida a al menos dos limitaciones de tiempo de llegada requeridas. El método comprende las etapas de:

a) recibir al menos dos tiempos requeridos de llegada (RTA_n), cada tiempo de llegada requerido (RTA_n) en un punto de ruta (WPT_n) objetivo correspondiente, cada punto de ruta (WPT_n) objetivo es diferente entre sí y al menos dos puntos de ruta objetivo se localizan en una fase de descenso del vuelo;

b) determinar un conjunto de pares de velocidad de crucero y velocidad de descenso para cada uno de los tiempos de llegada requeridos, donde cada par satisface el tiempo de llegada (RTA_n) requerido correspondiente en el punto de ruta (WPT_n) objetivo correspondiente,

c) seleccionar un único par de velocidad de crucero y velocidad de descenso existente en cada uno de los conjuntos de pares de velocidad de crucero y velocidad de descenso; y,

d) determinar una trayectoria de aeronave única que satisfaga el par de velocidad de crucero y velocidad de descenso seleccionados.

El método se ejecuta, al menos la primera vez, durante la fase de crucero de la aeronave. La trayectoria de la aeronave obtenida se envía al Sistema de Gestión de Vuelo (FMS) de la aeronave que adapta las velocidades y la trayectoria.

En una operación de crucero-descenso, la trayectoria de la aeronave se define por la velocidad de crucero y la velocidad de descenso. Para altitudes de crucero típicas por encima de los 30000 pies, lo cual es el caso de una gran mayoría de vuelos comerciales, la velocidad de crucero se expresa como un número Mach. La mayor parte del descenso en general se realiza a Velocidad del Aire Calibrada (CAS) constante.

De manera ventajosa, la etapa b) puede comprender determinar cada conjunto de pares de velocidad de crucero y velocidad de descenso obteniendo la velocidad de descenso que satisfaga el tiempo de llegada requerido correspondiente para una velocidad de crucero determinada u obteniendo la velocidad de crucero que satisfaga el tiempo requerido correspondiente de llegada para una velocidad de descenso dada.

De manera ventajosa, la etapa c) puede comprender ejecutar un algoritmo de búsqueda de raíces para seleccionar el par único de velocidad de crucero y velocidad de descenso. Más específicamente, la etapa c) puede ejecutar el método de Broyden. Se pueden usar otros algoritmos para obtener la raíz (la única solución) de las funciones que definen los conjuntos de pares Mach/CAS.

De manera ventajosa, la etapa b) puede comprender establecer mapas de contorno en donde cada isocontorno del mapa de contorno representa un subconjunto de pares de velocidad de crucero y velocidad de descenso que satisfacen un único tiempo de llegada requerido en un punto de ruta objetivo correspondiente. Para esta realización particular en la cual se utilizan los mapas de contorno, la etapa d) puede comprender seleccionar el par de velocidad de crucero y velocidad de descenso correspondiente a la intersección de todos los isocontornos del mapa de contorno.

De manera ventajosa, el método comprende además recibir un conjunto de condiciones de vuelo predefinidas o medidas para delimitar los límites de velocidad de la aeronave. Este conjunto de condiciones de vuelo puede comprender al menos uno de un peso de la aeronave, una altitud de crucero, la velocidad de una aeronave y el viento y la temperatura medidos. De manera más ventajosa, el conjunto de condiciones de vuelo puede comprender además un plan de vuelo y las condiciones meteorológicas pronosticadas.

De manera ventajosa, el método puede comprender calcular una trayectoria de vuelo predicha de la aeronave con base en el conjunto recibido de condiciones de vuelo y los conjuntos de pares de velocidad de crucero y velocidad de descenso obtenidos en la etapa b). La trayectoria de vuelo prevista comprenderá al menos uno de una trayectoria lateral prevista, tiempos de llegada estimados en los puntos de ruta intermedios y altitudes estimadas alcanzadas en dichos puntos de ruta intermedios.

De manera ventajosa, el método se ejecuta de forma dinámica y continua durante el vuelo para modificar la trayectoria de la aeronave individual cambiando la velocidad de crucero y la velocidad de descenso de la aeronave. Por lo tanto, el método modifica dinámicamente las velocidades de la aeronave (y, por lo tanto, la trayectoria) para asegurar que la aeronave esté en los puntos de ruta en los tiempos de llegada requeridos correspondientes.

Un segundo objeto de la presente invención es un sistema para controlar el vuelo de una aeronave sometida a al menos dos limitaciones de tiempo de llegada requeridas. El sistema comprende un sistema de gestión de vuelo (FMS) en comunicación con un generador de trayectoria y un generador de perfil de velocidad. Dicho FMC está configurado para ejecutar el método previamente divulgado. El generador de perfil de velocidad está configurado para recibir un

- 5 solo par de velocidad de crucero y velocidad de descenso y generar una señal de perfil de velocidad en respuesta a dicho par de velocidad de crucero y velocidad de descenso único. El generador de trayectoria está configurado para recibir la señal del perfil de velocidad y generar la trayectoria de la aeronave individual en respuesta a la señal del perfil de velocidad, de modo que la trayectoria de la aeronave cumpla con cada tiempo de llegada requerido a los puntos de ruta correspondientes.
- De manera ventajosa, el FMS está configurado para recibir un peso de la aeronave y una altitud de crucero y determinar los límites de velocidad de la aeronave.
- 10 De manera ventajosa, el FMS está configurado para recibir un plan de vuelo, condiciones climáticas, condiciones iniciales de la aeronave y una altitud de crucero y para determinar los conjuntos de pares de velocidad de crucero y velocidad de descenso correspondientes a cada uno de los tiempos de llegada requeridos.
- Un tercer objeto de la presente invención es un programa informático que comprende un código de programa que, cuando se ejecuta, lleva a cabo el método descrito anteriormente.
- 15 Por lo tanto, la presente invención determina una trayectoria global única que satisfará múltiples RTAs. Esta trayectoria única se definirá mediante un solo Mach de crucero y un CAS de descenso que pueden modificarse independientemente entre sí, lo que cumplirá múltiples RTAs sin tener que romper la trayectoria de referencia en una pluralidad de segmentos de trayectoria con diferentes velocidades de crucero y descenso.
- El nuevo grado de libertad que se proporciona por la presente invención permite cumplir con los tiempos de llegada adicionales requeridos a diferentes puntos de ruta, al variar Mach y CAS de forma independiente, proporciona una solución al problema de múltiples RTA.
- 20 Breve descripción de las Figuras.
- La Figura 1 muestra una primera parte del Procedimiento de Llegada Estándar DIRTY (STAR) de un vuelo que llega al Aeropuerto Internacional de Atlanta.
- La Figura 2 muestra una segunda parte de DIRTY STAR de un vuelo que llega al Aeropuerto Internacional de Atlanta, como se muestra en la Figura 1.
- 25 La Figura 3 muestra la trayectoria lateral del ejemplo de vuelo que se muestra en las Figuras 1 y 2.
- La Figura 4 muestra la altitud de presión (gráfica superior) y la velocidad calibrada del aire (gráfica inferior) de una trayectoria típica de descenso continuo de un vuelo comercial convencional, en función de la distancia de vuelo.
- La Figura 5 muestra la gráfica de altitud de presión en función de la distancia de vuelo del ejemplo de vuelo de las Figuras 1 a 3.
- 30 La Figura 6 muestra una gráfica de isocontornos de dos tiempos de llegada estimados para dos RTA diferentes en dos puntos de ruta diferentes para el ejemplo de vuelo de las Figuras 1 a 3 y 5, como una función del CAS de descenso y del Mach de crucero y el Mach de descenso. También muestra la dependencia convencional de Mach de crucero y CAS de descenso como una función del índice de coste.
- 35 La Figura 7 muestra una gráfica de isocontornos en donde se realiza una comparación de las velocidades calculadas para cumplir con las restricciones de tiempo respectivas en los dos puntos de ruta cuando se activan las funciones y se corrigen las velocidades en un momento posterior.
- Figura 8 muestra un diagrama de flujo en donde se describe una realización particular del método de la invención.
- Descripción detallada de la invención
- 40 A continuación, se realiza una descripción de diversos ejemplos de realizaciones particulares de la presente invención, con carácter ilustrativo y sin limitación, haciendo referencia a la numeración utilizada en las figuras.
- En un ejemplo particular del método propuesto en la presente divulgación se proporciona un vuelo con las siguientes condiciones:
- Aeronave: Boeing 737-800
 - Condiciones iniciales: crucero a una altitud de 35000 pies, con el peso máximo de aterrizaje (MLW = 144,000 libras).
 - 45 - La trayectoria lateral del vuelo es una llegada estándar al Aeropuerto Internacional de Atlanta (véase Figuras 1, 2 y 3).
 - Condiciones climatológicas: sin vientos, y atmósfera estándar.

Para altitudes de crucero típicas por encima de 30000 pies, lo cual es el caso de una gran mayoría de vuelos comerciales y para este ejemplo particular, la velocidad de crucero se expresa como un número Mach. La mayor parte del descenso se realiza en general a velocidad de aire calibrada (CAS) constante.

5 El punto inicial de la aeronave para este ejemplo particular es "Montebello (MOL)". A unos pocos kilómetros de la llegada, cuando la distancia a lo largo de la ruta hasta el punto de ruta "DIRTY" es de 200 NM, el piloto define un RTA en el punto de ruta "DIRTY". Además, el piloto también define un RTA diferente en el punto de ruta "Foothills (ODF)", el cual está 50 NM antes de llegar al punto de ruta "DIRTY". Para este ejemplo en particular, solo se han definido dos RTAs en dos puntos de ruta, aunque también se pueden definir más RTAs en diferentes puntos de ruta.

10 Las Figuras 1 y 2 muestran los detalles de vuelo de un procedimiento de llegada seleccionado de una aeronave. Este procedimiento de llegada es parte de un vuelo que termina en la pista "08L" del Aeropuerto Internacional de Atlanta (KATL). Los detalles de la operación de aproximación de la aeronave al aeropuerto no se muestran, ya que no afectan el problema de RTA descrito aquí. Más específicamente, la Figura 1 muestra una primera parte de la ruta de transición "DIRTY" para llegar al Aeropuerto Internacional de Atlanta y la Figura 2 muestra la segunda parte de dicha ruta de transición "DIRTY". "DIRTY" es una solución de medición importante porque está a unas pocas millas antes de que la aeronave se dirija hacia la aproximación de la pista en particular (véase los puntos "Haary" y "Doods" en la Figura 2), y una correcta separación entre las aeronaves es crucial allí para asegurar una separación correcta en las pistas. En "ODF" convergen tres transiciones diferentes a la llegada, específicamente, una primera transición a partir de "Montebello (MOL)", una segunda transición a partir de "Snowbird (SOT)" y una tercera transición a partir de "Spartanburg (SPA)". Luego, al menos tres aeronaves podrían fusionarse en el punto de ruta "ODF" al mismo tiempo con los conflictos correspondientes y los riesgos de seguridad subsiguientes que podría causar. Por lo tanto, el momento en que las aeronaves llegan a este punto de ruta es crucial para fusionar el flujo de tráfico al tiempo que garantiza las separaciones mínimas entre las aeronaves y, por lo tanto, impide conflictos. Por lo tanto, la necesidad de definir un primer RTA en "ODF" y un segundo RTA en "DIRTY" se puede derivar para reducir conflictos y riesgos.

25 La Figura 3 muestra la trayectoria lateral del ejemplo de vuelo de las Figuras 1 y 2 a partir del instante en el cual el piloto activa la función de RTA en "Montebello MOL" hasta que la aeronave aterriza en la pista correspondiente del Aeropuerto de Atlanta ("KATL08L"). Más específicamente, muestra la posición del punto de ruta "ODF" (RTA WPT₁ en adelante) y el punto de ruta "DIRTY" (RTA WPT₂ en adelante) con respecto a la trayectoria lateral del ejemplo de vuelo. RTA WPT₁ se encuentra poco después del comienzo del descenso (Inicio del Descenso "TOD") y la ubicación de transición inicial Mach a CAS (MCT). RTA WPT₂ tiene una restricción de altitud de 14000 pies y más de 2/3 en el descenso. Se muestran otros puntos de ruta intermedios como BEBAD, FLCON y HAARY para definir claramente la trayectoria lateral de la aeronave. En este ejemplo particular, ambos puntos de ruta se han definido durante la fase de descenso del vuelo.

35 La Figura 4 muestra un ejemplo típico de altitud de presión y de velocidad del aire calibrada (CAS) como una función de la distancia a lo largo de la trayectoria para un procedimiento de llegada de un vuelo comercial (no de este ejemplo particular). Específicamente, la gráfica superior muestra el perfil de altitud de un vuelo comercial en función de la distancia a lo largo de la trayectoria, donde la gráfica muestra la distancia en la cual el piloto enciende la función RTA hasta que la aeronave aterriza, lo cual toma aproximadamente 205 NM. Esta gráfica superior muestra el punto superior de descenso (TOD) y el punto de transición Mach a CAS (MCT) en el cual la aeronave cambia de la fase de crucero a la fase de descenso. La altitud de crucero de la aeronave es de alrededor de 35000 pies. El único punto de ruta definido para este ejemplo en particular se encuentra a 162 NM a partir de la posición en la cual el piloto enciende la función RTA. La gráfica inferior muestra los perfiles de velocidad de la aeronave durante la operación de crucero/descenso. Específicamente, durante la fase de crucero y el inicio de la fase de descenso (hasta que la aeronave llega al punto MCT), la aeronave vuela con un número Mach constante de 0.73 y durante la fase de descenso la aeronave vuela a una velocidad CAS constante de 260KT. Antes de llegar al aeropuerto de destino, la aeronave reduce su velocidad (esto no se muestra en la figura).

50 La Figura 5 muestra el perfil de altitud de presión como una función de la distancia a lo largo de la ruta para el ejemplo particular de las Figuras 1, 2 y 3. Para este ejemplo particular, la función RTA se activa en "MOL" (no se muestra) durante la fase de crucero y 255NM antes de llegar al aeropuerto de destino "KATL08L". El RTA WPT₂ se define en "DIRTY" que se encuentra en la fase de descenso de la aeronave. La distancia a lo largo de la pista a partir de "MOL" hasta el punto de ruta "DIRTY" es de 200 NM. El RTA WPT₁ se define en "ODF", que se encuentra a 50 NM antes de "DIRTY" y a 105 NM antes de "KATL08L". "ODF" también se define en la fase de descenso de la aeronave.

55 La Figura 6 muestra los tiempos de llegada predichos para RTA WPT₁ y RTA WPT₂ en función del Mach de crucero y el CAS de descenso para el ejemplo de vuelo de las Figuras 1, 2, 3 y 5. Los límites de este diagrama son los límites Mach y CAS. Para este ejemplo particular, la función RTA nunca programará velocidades CAS por debajo de 240 KT o por encima de 330 KT, y nunca programará velocidades Mach por debajo de 0.72 o por encima de 0.82. Estos límites de velocidad corresponden al caso de una aeronave que vuela a una altura de 35000 pies y con un peso de 144,000 libras. En general, los límites de velocidad dependen del peso y la altitud. La gráfica representa dos mapas de contorno superpuestos en función del Mach de crucero y el CAS de descenso: los isocontornos discontinuos representan los tiempos de llegada estimados en el RTA WPT₁, y los isocontornos sólidos delgados representan los tiempos de llegada estimados en el RTA WPT₂. Los tiempos se muestran en segundos, y la referencia t=0 representa el momento cuando

el piloto activa la función RTA. Existe una pluralidad de combinaciones de velocidades Mach/descenso CAS que cumplen con el RTA seleccionado en cada uno de los puntos de ruta seleccionados.

Cada isocontorno representa una pluralidad de combinaciones de Mach/CAS que cumplen con el tiempo de llegada requerido. Por lo tanto, para una realización particular en donde el tiempo de llegada requerido sería 2200 segundos (36 minutos y 40 segundos) en el punto de ruta "ODF", el isocontorno discontinuo marcado con "2200" en la Figura 6 representaría todas las posibles combinaciones Mach/CAS que podría cumplir con dicho RTA en dicho punto de ruta (dentro de los límites de velocidad de la aeronave correspondientes).

En la inspección de la Figura 6, el tiempo de llegada más temprano que se puede alcanzar para RTA WPT₁ (en el punto de ruta "ODF") en este caso particular (considerando los límites de velocidad de la aeronave) es de 2130 segundos aproximadamente (35 minutos y 30 segundos pasado del tiempo inicial) volando a M=0.82 y CAS=330 nudos. El último tiempo de llegada que se puede lograr es de 2445 segundos (40:45 pasada la hora inicial), volando a M=0.72 y CAS=240 KT (no se muestra la línea). Para RTA WPT₂ (en el punto de ruta "DIRTY") el tiempo mínimo es de aproximadamente 2500 segundos (41:40 pasada la hora inicial) volando a M=0.82 y CAS=330 KT, y el máximo tiempo alcanzable es de 2920 segundos (48:40 pasada la hora inicial) volando a M=0.72 y CAS=240 KT (línea no mostrada).

La Figura 6 también muestra las posibles combinaciones de Mach de crucero y CAS de descenso como una función del índice de coste (vea la línea negra punteada superpuesta al diagrama). Los ordenadores de gestión de vuelo actuales (FMC) iteran sobre CI para encontrar la combinación de Mach/CAS que satisfaga un RTA dado. Para este ejemplo en particular, el piloto ingresa para RTA WPT₂ (punto de ruta "DIRTY") un solo RTA = tiempo inicial + 45 minutos, de acuerdo con lo solicitado por la Gestión de Llegadas. Luego, el ordenador encontrará la trayectoria correspondiente a la intersección de RTA=2700 segundos (isocontorno sólido etiquetado con 2700) y la línea del índice de coste. El CI resultante es cercano a 30 aproximadamente, y las velocidades correspondientes son M=0.782 CAS=268 KT. Esta solución está marcada como "Solución A" en la Figura 6 y las velocidades citadas son la única combinación que cumple con el RTA único en el punto de ruta "DIRTY" como una función del CI. Un índice de coste dado implica un equilibrio entre el combustible y los costes operativos. Si la aerolínea impondría un CI específico cercano a cero (correspondiente a la trayectoria de consumo mínimo de combustible), no se podría cumplir el RTA anterior. Además, si se selecciona la combinación Mach/CAS citada (M=0.782 CAS=268 KT), el único tiempo de llegada requerido a un segundo punto de ruta por delante se limitaría a las velocidades de esta aeronave.

En el caso en el cual, para impedir conflictos con otras aeronaves que convergen en "ODF" (RTA WPT₁), la Gestión de Llegadas determina que la aeronave debe pasar el punto de ruta intermedio "ODF" en un momento requerido de llegada RTA₁ = 2300 segundos (tiempo inicial más 38:20), la solución provista por la combinación Mach/CAS acoplada a CI convencional ("Solución A") no sería válida para cumplir con la restricción de tiempo en RTA WPT₁, ya que la "Solución A" conduce a un tiempo de llegada igual al tiempo inicial más 2225 segundos (37:05), lo que es más de un minuto antes. Una función RTA convencional no puede encontrar una trayectoria única que satisfaga dos restricciones de tiempo (con algunas excepciones altamente improbables).

Queda claro de la Figura 6 que diversos pares de Mach/CAS diferentes conducen a una trayectoria que satisface el RTA₂ = 2700 segundos en el punto de ruta "DIRTY" que no sea el par acoplado al CI. Estas combinaciones se representan por el isocontorno sólido delgado RTA₂ = 2700 segundos. Por lo tanto, es posible buscar la intersección de este isocontorno con el isocontorno discontinuo RTA₁ = 2300 segundos, que representa el tiempo de llegada requerido al punto de ruta "ODF". Por lo tanto, para cumplir con ambas restricciones, la aeronave simplemente tiene que seleccionar las velocidades Mach=0.76 y CAS=302 KT, algo que no es posible si la aeronave usa soluciones del CI. Esto se representa en la Figura 6 como "Solución B". Si se agregaran más RTA en diferentes puntos de ruta, la solución sería la intersección de todos los isocontornos correspondientes a cada uno de los RTA en sus puntos de ruta correspondientes.

Durante la operación, las incertidumbres, como los errores de pronóstico del viento, pueden obligar a la función de RTA a recalcular la trayectoria y corregir las velocidades de vuelo para cumplir con el RTA. Esta situación se muestra en la Figura 7. En este ejemplo en particular y como se explica en el párrafo anterior, la aeronave primero selecciona las velocidades Mach=0.76 y CAS=302 KT para cumplir con RTA WPT₁ y RTA WPT₂ cuando está a 200 NM del punto de ruta "DIRTY". Después de 100 NM, la aeronave, la cual monitoriza de forma continua y dinámica las distancias, velocidades y el tiempo estimado de llegada, descubre errores de tiempo significativos en ambos puntos de ruta si la aeronave sigue la trayectoria dada por las velocidades de crucero y descenso originales. Luego, la aeronave vuelve a calcular los nuevos isocontornos de los tiempos de llegada estimados. En este punto, la aeronave está a unos 50 NM del punto de ruta "ODF" y a 100 NM de "DIRTY". El método busca la nueva intersección de RTA₁ = 2300 segundos y RTA₂ = 2700 segundos. Para estas condiciones y para cumplir con ambas restricciones, la aeronave debe corregir su trayectoria de referencia seleccionando velocidades Mach=0.78 y CAS=302 KT. Esto se representa en la Figura 7 como "Solución C".

La Figura 8 muestra un diagrama de flujo de una realización particular del método de la presente invención en donde solo se proporcionan dos RTAs. El diagrama de flujo comprende las siguientes etapas:

- recibir (1) un conjunto de condiciones dadas, dichas condiciones dadas comprenden al menos el peso de la aeronave, la altitud de crucero, el plan de vuelo, las condiciones meteorológicas y las condiciones iniciales, en el momento en que se activa la función de RTA;
 - 5 - recibir (2) un primer tiempo de llegada requerido (RTA_1) un primer punto de ruta (WPT_1) por delante y un segundo tiempo de llegada requerido (RTA_2) en un segundo punto de ruta por delante (WPT_2);
 - calcular (3) un primer mapa del tiempo estimado de llegadas (ETA_1) en el primer punto de ruta "WPT1" dentro de los límites de velocidad y en las condiciones dadas. Dicho primer mapa es función del Mach de crucero y del CAS de descenso de la aeronave. Esto se representa mediante el conjunto de isocontornos discontinuos de la Figura 6. Dependiendo de las capacidades de la CPU, este mapa se puede calcular con más o menos precisión, pero en principio es simplemente una cuestión de cálculo de tiempos de llegada para una cuadrícula 2D de valores de Mach de crucero y CAS de descenso. En la Figura 6, se utilizaron un total de 121 condiciones (11 Mach de crucero x 11 CAS de descenso). Luego, seleccionar (5) los únicos isocontornos (isocontorno₁) correspondientes al primer tiempo de llegada requerido (RTA_1) a "WPT1" encontrando el CAS de descenso que hace $ETA_1=RTA_1$ para un Mach de crucero determinado o encontrando el Mach de crucero que hace $ETA_1=RTA_1$ para un CAS de descenso dado;
 - 10
 - 15 - calcular (4) un segundo mapa del tiempo estimado de llegadas (ETA_2) en el segundo punto de ruta "WPT2" dentro de los límites de velocidad y bajo las condiciones dadas. Dicho segundo mapa es función del Mach de crucero y del CAS de decenete de la aeronave. Esto se representa por los isocontornos sólidos delgados de la Figura 6. Luego, seleccionar (6) el único isocontorno (isocontorno₂) correspondiente al segundo tiempo de llegada requerido (RTA_2) a "WPT2" encontrando el CAS de descenso que hace que $ETA_2=RTA_2$ para un Mach de crucero determinado o encontrando el Mach de crucero que hace $ETA_2=RTA_2$ para un CAS de descenso determinado;
 - 20
 - encontrar (7) la intersección del "isocontorno₁" y el "isocontorno₂" seleccionados. Esta intersección define la solución y la combinación requerida de Mach de crucero y CAS de descenso; y,
 - seleccionar (9) el Mach de crucero y el CAS de descenso, y así definir la nueva trayectoria de referencia.
 - 25 Dado que el uso de mapas e isocontornos es una realización particular del método descrito en la presente aplicación, en una solución más general, el método calcula un primer conjunto de combinaciones Mach/CAS que cumplen con un ETA_1 en el WPT_1 y selecciona un primer subconjunto de combinaciones Mach/CAS, del primer conjunto de combinaciones Mach/CAS, para las cuales $ETA_1=RTA_1$. Luego, el método calcula un segundo conjunto de combinaciones de Mach/CAS que cumplen con un ETA_2 en el WTA_2 y selecciona un segundo subconjunto de combinaciones de Mach/CAS, del segundo conjunto de combinaciones de Mach/CAS, para el cual $ETA_2=RTA_2$.
 - 30 Después de eso, el método compara las combinaciones Mach/CAS del primer subconjunto con las combinaciones Mach/CAS del segundo subconjunto, seleccionando la única combinación Mach/CAS existente en ambos subconjuntos. Esta selección se puede hacer usando un algoritmo de búsqueda de raíces bidimensional convencional como el método de Broyden. Se pueden usar otros métodos para encontrar la raíz de las funciones que definen los conjuntos de combinaciones Mach/CAS. Finalmente, el método define una nueva trayectoria de referencia con base
 - 35 en la combinación de velocidades de Mach de crucero y CAS de descenso seleccionadas.
- El método descrito aquí permite seleccionar una trayectoria que cumple al menos dos restricciones de tiempo en diferentes puntos de ruta.

REIVINDICACIONES

1. Un método para controlar el vuelo de una aeronave sometida a dos restricciones de tiempo de llegada requeridas, que comprende la etapa de:
 - 5 a) recibir dos tiempos de llegada (RTA1, RTA2) requeridos, cada tiempo de llegada (RTA1, RTA2) requerido en un punto de ruta (WPT1, WPT2) objetivo correspondiente, cada punto de ruta (WPT1, WPT2) objetivo es diferente entre sí y ambos puntos de ruta (WPT1, WPT2) objetivo se encuentran en una fase de descenso del vuelo; caracterizado porque comprende además las etapas de
 - 10 b) determinar un conjunto de pares de velocidad de crucero y velocidad de descenso para cada uno de los tiempos de llegada (RTA1, RTA2) requeridos en donde cada par satisface el tiempo de llegada (RTA1, RTA2) requerido correspondiente en el punto de ruta (WPT1, WPT2) objetivo correspondiente;
 - c) seleccionar un único par de velocidad de crucero y velocidad de descenso existente en cada uno de los conjuntos de pares de velocidad de crucero y velocidad de descenso; y,
 - d) determinar una trayectoria de aeronave única que satisfaga el par de velocidad de crucero y velocidad de descenso seleccionados.
- 15 2. El método para controlar el vuelo de una aeronave, de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la etapa b) comprende determinar cada conjunto de pares de velocidad de crucero y velocidad de descenso al obtener la velocidad de descenso que satisface el tiempo de llegada (RTA1, RTA2) requerido correspondiente para una velocidad de crucero determinada u obteniendo la velocidad de crucero que satisfaga el tiempo de llegada (RTA1, RTA2) requerido correspondiente para una velocidad de descenso determinada.
- 20 3. El método para controlar el vuelo de una aeronave, de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en donde la etapa c) comprende ejecutar un algoritmo de búsqueda de raíces para seleccionar el par único de velocidad de crucero y velocidad de descenso.
- 25 4. El método para controlar el vuelo de una aeronave, de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la etapa b) comprende establecer (5, 6) mapas de contorno en donde cada isocontorno del mapa de contorno representa un subconjunto de pares de velocidad de crucero y velocidad de descenso que satisfacen un tiempo de llegada (RTA1, RTA2) único requerido a un punto de ruta (WPT1, WPT2) objetivo correspondiente.
5. El método para controlar el vuelo de una aeronave, de acuerdo con la reivindicación 4, en donde la etapa d) comprende seleccionar (7) el único par de velocidad de crucero y velocidad de descenso correspondiente a la intersección de todos los isocontornos del mapa de contorno.
- 30 6. El método para controlar el vuelo de una aeronave, de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en donde el método comprende además recibir (1) un conjunto de condiciones de vuelo para delimitar los límites de velocidad de la aeronave que comprenden al menos uno de un peso de la aeronave, una altitud de crucero, la velocidad de una aeronave y el viento y temperatura medidos.
- 35 7. El método para controlar el vuelo de una aeronave, de acuerdo con la reivindicación 6, en donde el conjunto recibido de condiciones de vuelo comprende además un plan de vuelo y condiciones meteorológicas pronosticadas.
- 40 8. El método para controlar el vuelo de una aeronave, de acuerdo con la reivindicación 7, en donde el método comprende además calcular una trayectoria de vuelo prevista de la aeronave con base en el conjunto recibido de condiciones de vuelo y los conjuntos de pares de velocidad de crucero y velocidad de descenso obtenidos en la etapa b), la trayectoria de vuelo predicha que comprende al menos uno de una trayectoria lateral predicha, tiempos estimados de llegada a los puntos de ruta intermedios y altitudes estimadas alcanzadas en los puntos de ruta intermedios.
9. El método para controlar el vuelo de una aeronave, de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en donde el método se ejecuta de forma dinámica y continua durante el vuelo para modificar la trayectoria de la aeronave individual cambiando la velocidad de crucero y la velocidad de descenso de la aeronave.
- 45 10. Un sistema para controlar el vuelo de una aeronave sometida a al menos dos restricciones de tiempo de llegada requeridas, el sistema comprende un ordenador de Gestión de Vuelo en comunicación con un generador de trayectoria y un generador de perfil de velocidad, dicho Sistema de Gestión de Vuelo está configurado para ejecutar el método divulgado en cualquiera de las reivindicaciones anteriores 1 a 9.
- 50 11. Un sistema para controlar el vuelo de una aeronave de la reivindicación 10, en donde el generador de perfil de velocidad está configurado para recibir un único par de velocidad de crucero y velocidad de descenso y generar una señal de perfil de velocidad en respuesta a dicho par de velocidad de crucero y velocidad de descenso único, y el generador de trayectoria está configurado para recibir la señal del perfil de velocidad y generar la trayectoria de la aeronave individual en respuesta a la señal del perfil de velocidad, de modo que la trayectoria de la aeronave cumpla con cada tiempo de llegada (RTA1, RTA2) requerido en los puntos de ruta (WPT1, WPT2) objetivo correspondientes.

12. El sistema para controlar el vuelo de una aeronave de cualquiera de las reivindicaciones 10 u 11, en donde el sistema de Gestión de Vuelo está configurado para recibir un peso de la aeronave y una altitud de crucero y determinar los límites de velocidad de la aeronave.
- 5 13. El sistema para controlar el vuelo de una aeronave, de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12, en donde el sistema de Gestión de Vuelo está configurado para recibir un plan de vuelo, condiciones meteorológicas, condiciones iniciales de la aeronave y una altitud de crucero y determinar los conjuntos de pares de velocidad de crucero y velocidad de descenso correspondientes a cada uno de los tiempos de llegada (RTA1, RTA2) requeridos.
14. Un programa informático que comprende un código de programa que, cuando se ejecuta, lleva a cabo el método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9.

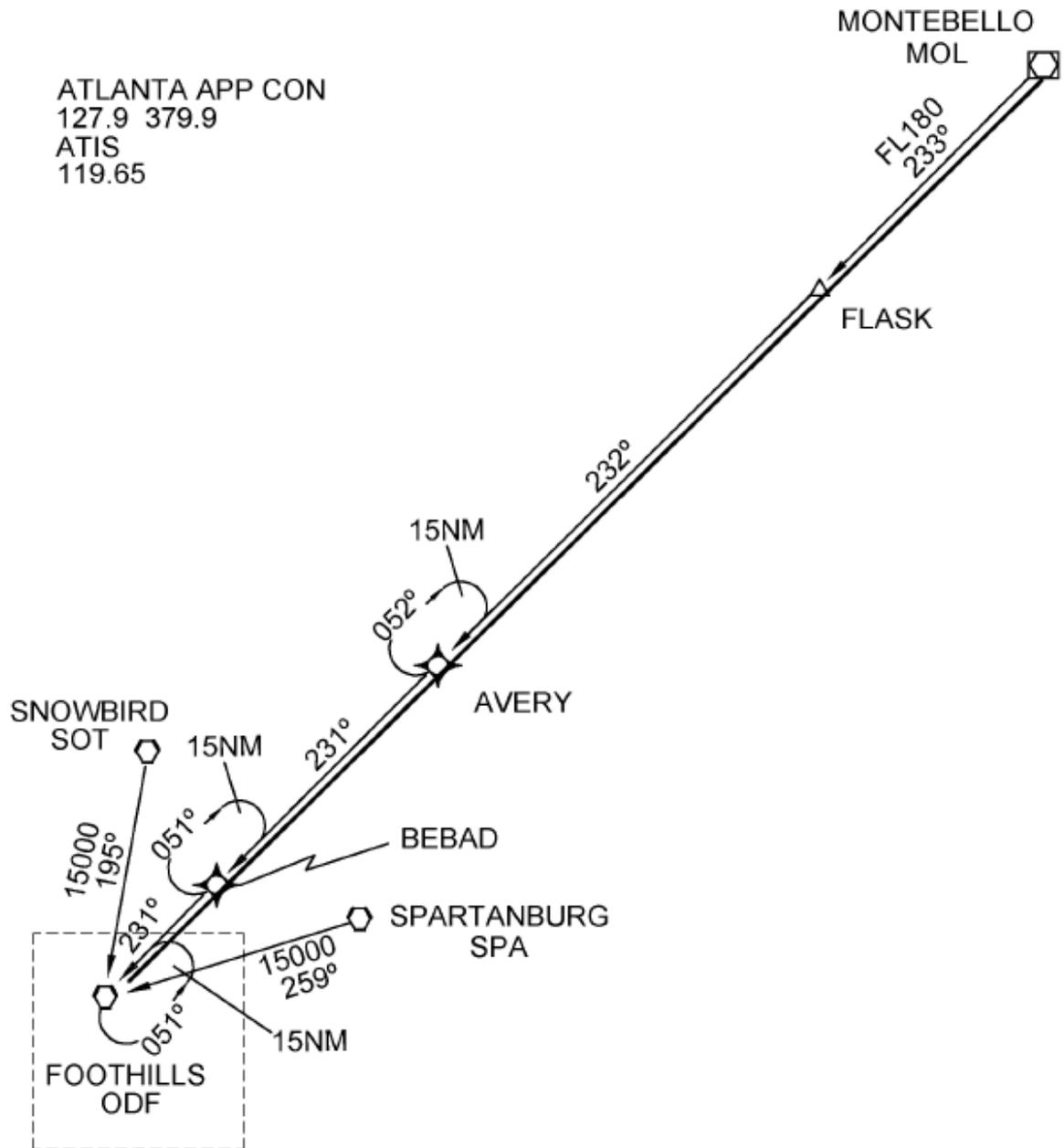


FIG. 1

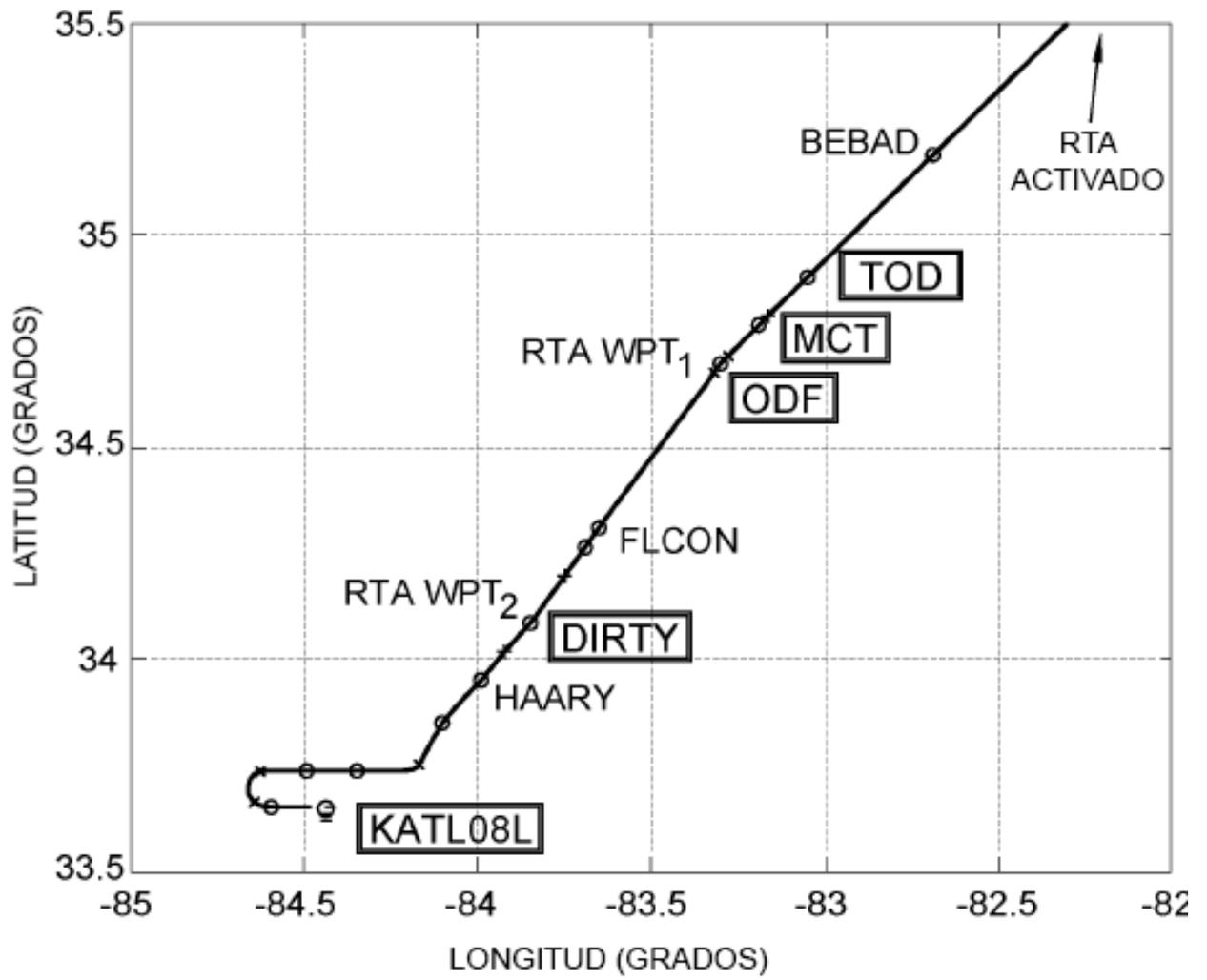


FIG. 3

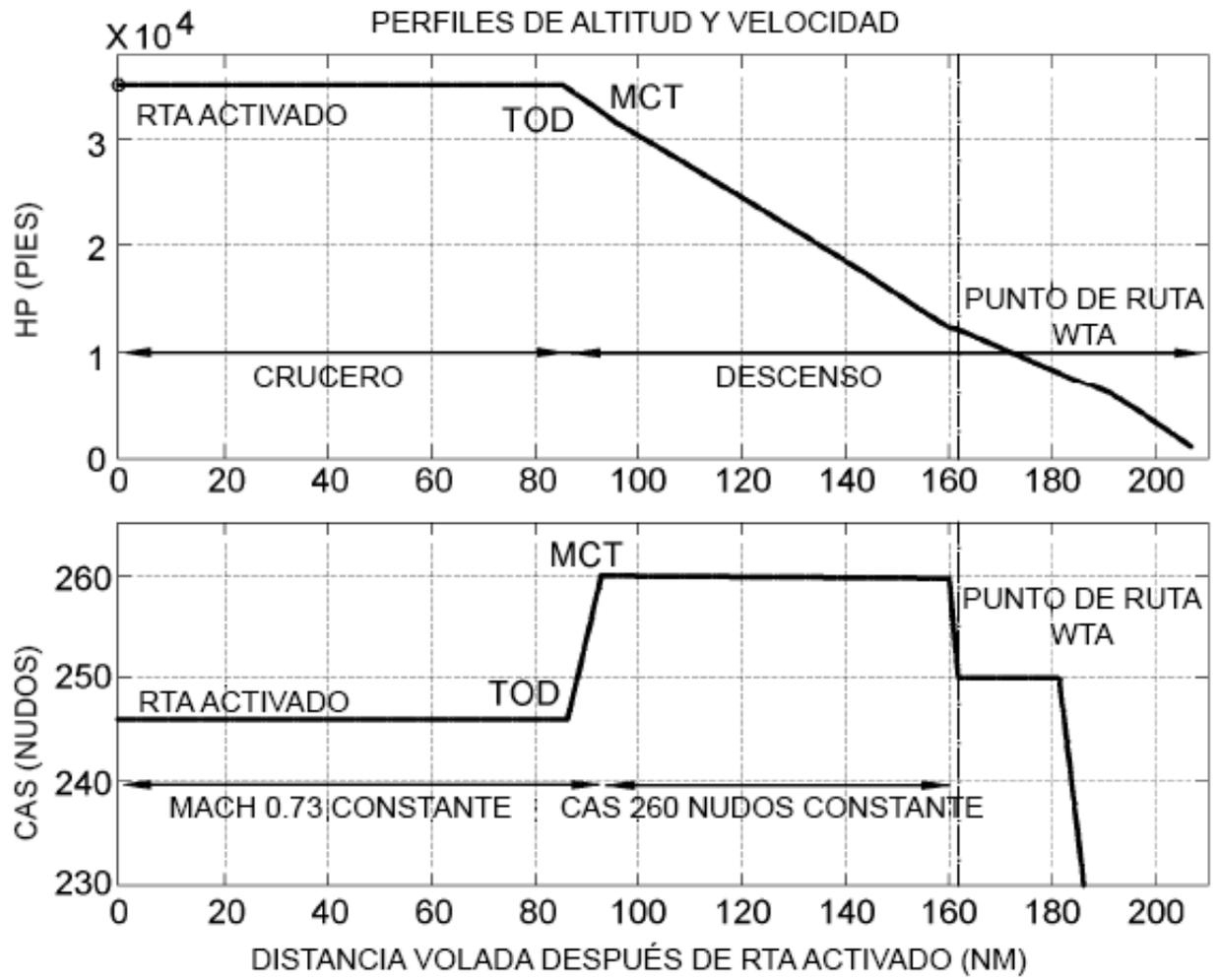


FIG. 4

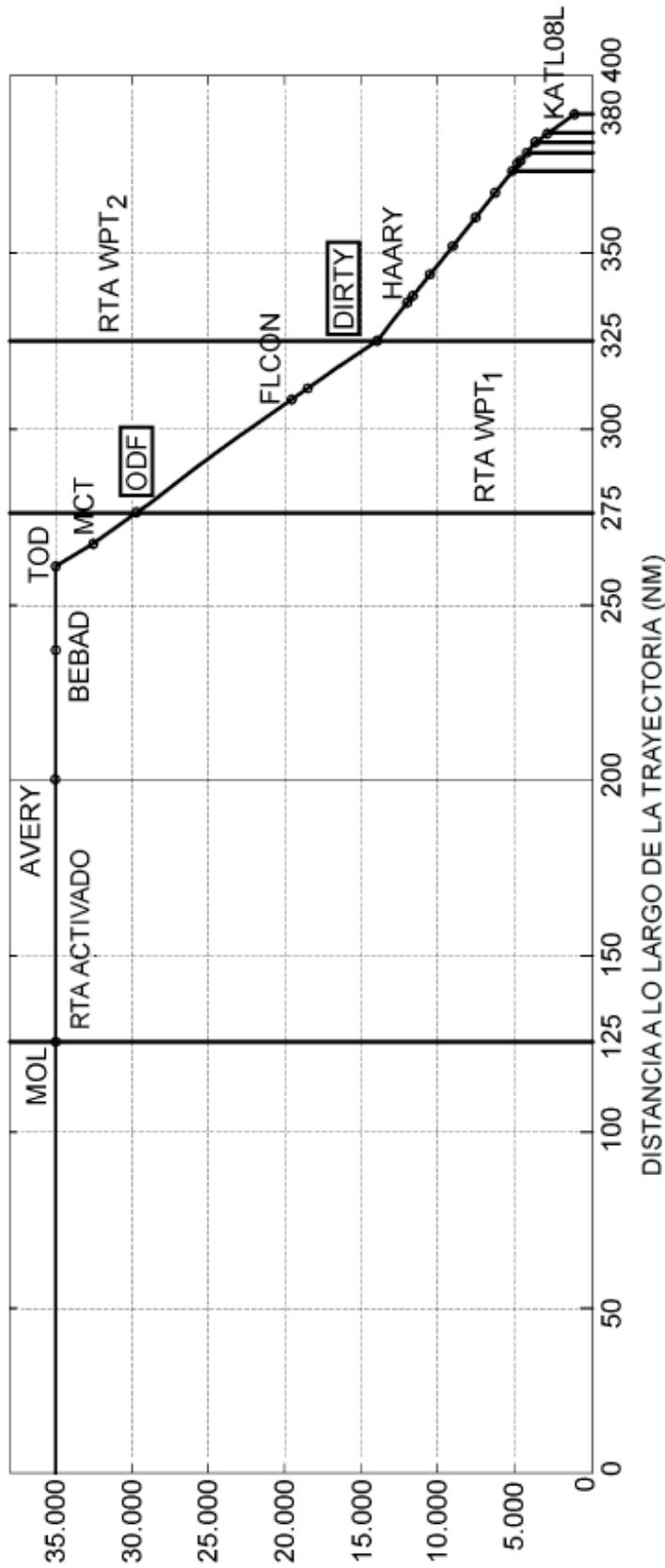


FIG. 5

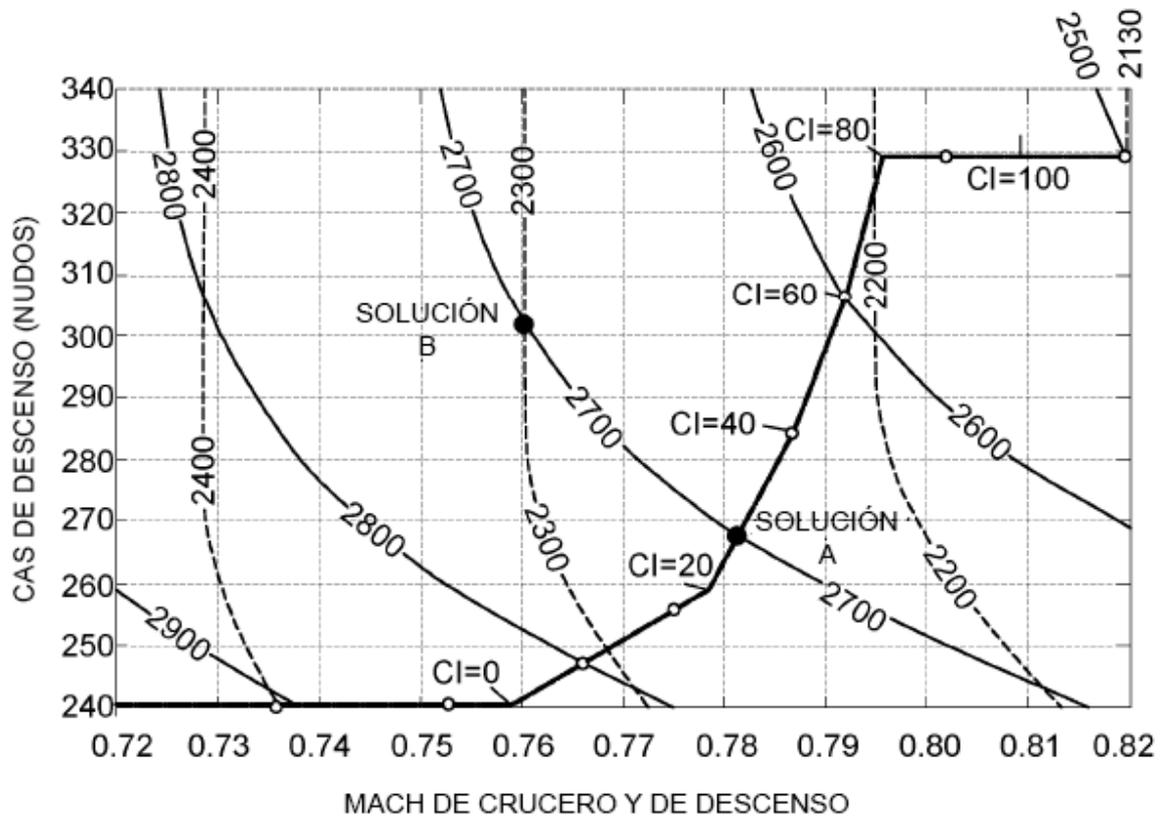


FIG. 6

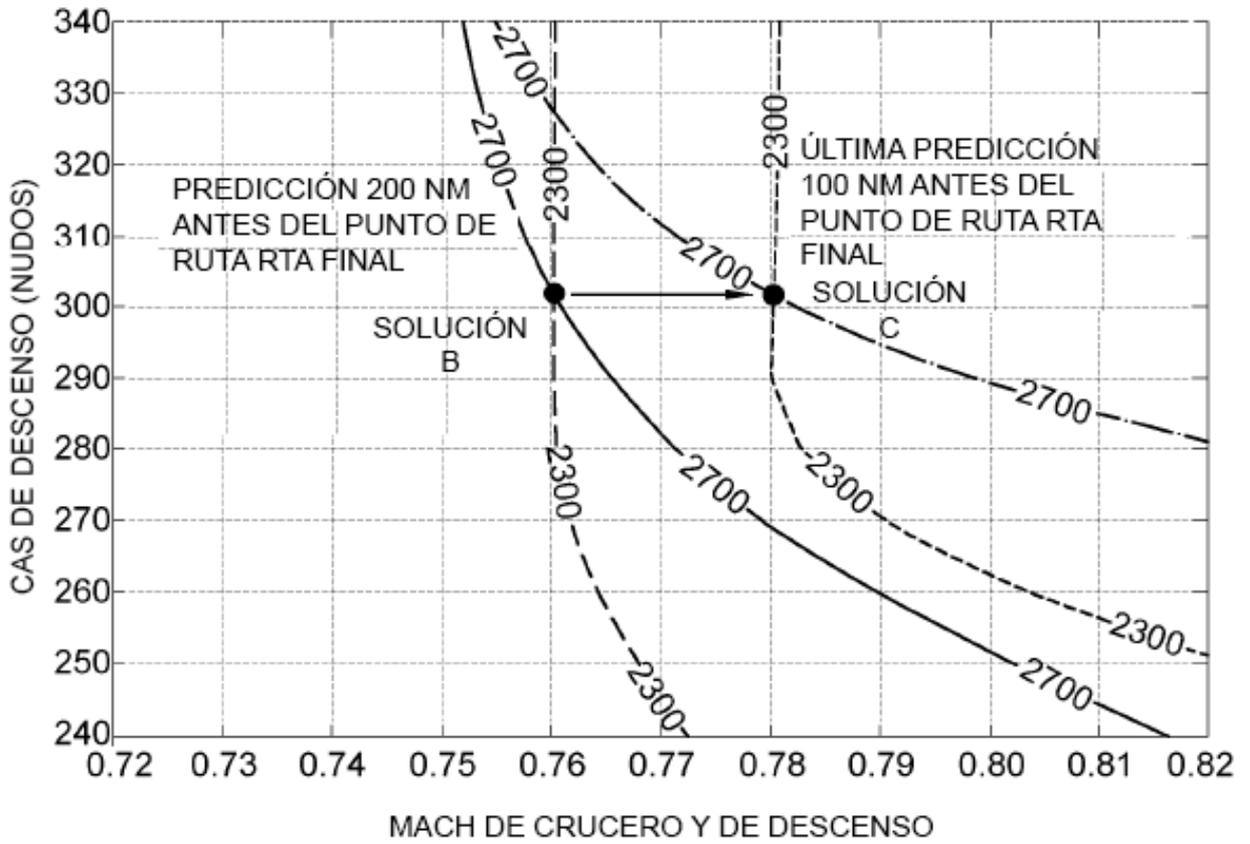


FIG. 7

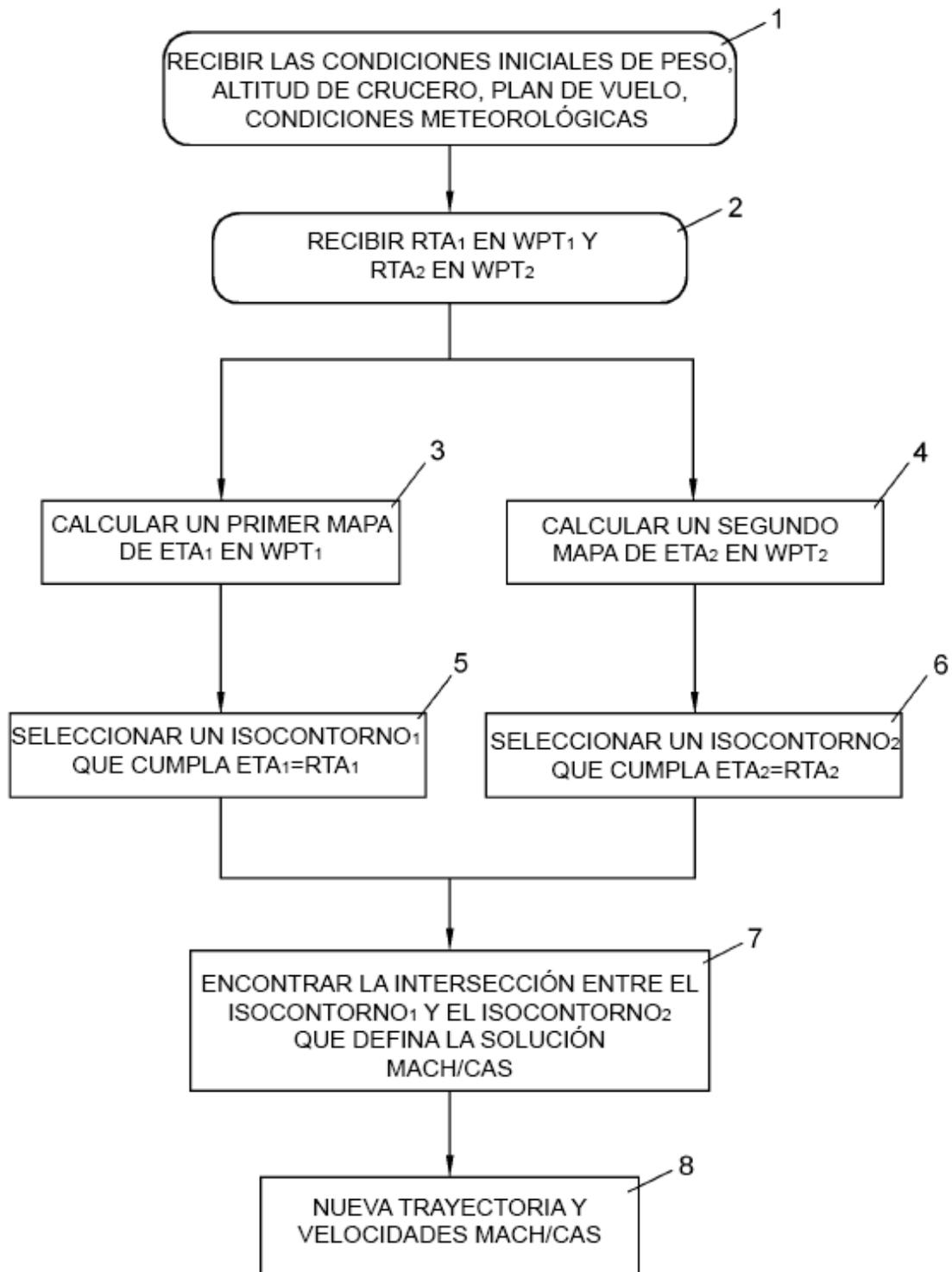


FIG. 8