

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 377 662**

51 Int. Cl.:  
**G08G 5/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **07002513 .5**
- 96 Fecha de presentación: **06.02.2007**
- 97 Número de publicación de la solicitud: **1818891**
- 97 Fecha de publicación de la solicitud: **15.08.2007**

54 Título: **Equipo de guía y procedimiento para conducir el vuelo de aproximación de aeronaves**

30 Prioridad:  
**14.02.2006 DE 102006006972**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**29.03.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**29.03.2012**

73 Titular/es:  
**Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.  
Linder Höhe  
51147 Köln, DE**

72 Inventor/es:  
**Temme, Marco-Michael y  
Helmke, Hartmut**

74 Agente/Representante:  
**Zuazo Araluze, Alexander**

ES 2 377 662 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**

Equipo de guía y procedimiento para conducir el vuelo de aproximación de aeronaves

5 La invención se refiere a un procedimiento para conducir el vuelo de aproximación de aeronaves, para conducir un conjunto de aeronaves, una tras otra, al aterrizaje en un aeropuerto, mediante la fijación de una frecuencia de vuelos de aproximación optimizada para reducir el impacto nocivo sobre el entorno.

10 La invención se refiere además a un equipo de guía para el control del vuelo de aproximación de aeronaves, para conducir un conjunto de aeronaves mediante un tal procedimiento, una tras otra, a al menos un punto de ruta de destino de un aeropuerto.

15 Debido al creciente tráfico aéreo, es cada vez más importante poner a disposición en los aeropuertos suficiente capacidad de despegue y aterrizaje para aeronaves. Pero esto da lugar por otro lado a problemas crecientes relativos al medio ambiente y a la protección frente al ruido. Debido al creciente tráfico aéreo, está sometido el entorno a un creciente impacto nocivo sobre el medio ambiente y a un mayor ruido de los vuelos. Esto afecta sobre todo a los residentes en el entorno inmediato de grandes aeropuertos internacionales y de corredores de aproximación muy frecuentados.

20 Existen esfuerzos para reducir el ruido de los vuelos optimizando los pasillos de aproximación y de despegue y mediante procedimientos de aterrizaje optimizados. Desde luego, incluso con modernas instalaciones de procesamiento de datos y utilizando los más modernos algoritmos de optimización no ha sido posible hasta ahora calcular en tiempo real las rutas de aproximación y despegue tal que se mantenga tan reducido como sea posible el impacto nocivo sobre el medio ambiente y el ruido de los vuelos en el entorno, en particular para los residentes.

25 Para reducir el impacto nocivo por el ruido de los vuelos durante el vuelo de aproximación, se conocen procedimientos de vuelo con ruido reducido, con los que se limita activamente el ruido del vuelo durante la fase de vuelo de aproximación.

30 Un procedimiento para vuelos de aproximación reconocido internacionalmente, por ejemplo descrito en DFS, Manual de vuelo de Alemania – Aeronautical Information Publication (AIP) Germany, manual de vuelo ampliado mensualmente, 2005, DFS Deutsche Flugsicherung GmbH (Control del tráfico aéreo alemán, S.L.), Langen, Alemania, es el llamado “Procedimiento de Frankfurt”, también denominado Low-Drag-Low-Power-Approach (aproximación de baja resistencia/baja potencia). El ruido del flujo del aire y el empuje del mecanismo propulsor se reducen a un mínimo, desplegando durante el vuelo de aproximación los alerones de aterrizaje y el tren de aterrizaje lo más tarde posible. En esta configuración aerodinámica puede reducirse el ruido del vuelo frente al de un vuelo estándar.

35 Además se conoce un procedimiento que se denomina procedimiento de vuelo descendente continuo (Continuous-Descent-Approach). En él se renuncia en el último segmento del vuelo de aproximación a la parte horizontal del vuelo de aproximación, con lo que el aeroplano se encuentra hasta el punto de toma de tierra en un continuo vuelo descendente o de planeo. La potencia del mecanismo propulsor se ajusta entonces a marcha en vacío o casi a marcha en vacío. Con ello puede reducirse considerablemente el ruido del mecanismo propulsor que aparece en un vuelo de aproximación. Desde luego, para el procedimiento de vuelo descendente continuo es necesaria una superficie libre de vuelo suficientemente grande, ya que cada aeroplano tiene un comportamiento de vuelo descendente diferente, que depende del peso y de las características aerodinámicas. Para asegurar un vuelo descendente continuo en una secuencia de aeronaves que toman tierra uno tras otro a distancias relativamente cortas, es considerable el coste de la coordinación. El procedimiento de vuelo descendente continuo sólo puede utilizarse por lo general en momentos de poco tráfico.

40 Por el documento WO 02/095712 A2 se conoce un procedimiento para la gestión en el tiempo del vuelo de un conjunto de aeronaves enfrentado a un recurso especificado del sistema mediante un sistema aeronáutico. Para ello se recogen y memorizan datos y objetivos operativos especificados, cuyo valor es una medida de en qué medida los citados recursos del sistema y el conjunto de aeronaves alcanzan su destino operativo cuando los citados aeronaves cumplen con las marcas de tiempo prescritas en el vuelo de aproximación. Se calculan las trayectorias iniciales tan pronto como un aeroplano está en el aire. A continuación se determina la exactitud de la trayectoria y se realiza una optimización de la trayectoria individual del vuelo de aproximación en cuanto a la función-objetivo.

45 Por el documento WO 02/099769 se conoce un sistema de gestión del tráfico aéreo que realiza planes de flujo y de vuelo basados en la trayectoria. Los distintos sistemas de control, navegación y rescate se conectan entre sí con ayuda de una comunicación basada en satélite, para realizar así una planificación de la trayectoria más segura y eficiente.

50 En el documento Weitz, L.A. y colab.: “An Analysis of Merging and spacing operations with continuous descent approaches” (Un análisis de las operaciones de intercalación y espaciado con aproximaciones de descenso continuo”, Digital Avionics System Conference (Conferencia sobre sistemas de aviónica digital) 2005 se describe el procedimiento de vuelo descendente continuo (continuous descent approach) y se muestra cómo con ayuda de este

65

procedimiento puede reducirse el impacto nocivo del ruido en el entorno de un aeropuerto. Así resulta por ejemplo la observación de que los vuelos de aproximación 2º-CDA (Continuous Descent Approach) no son tan óptimos como los vuelos de aproximación 3º- CDA. No obstante, al respecto es un inconveniente en particular que el procedimiento de vuelo descendente continuo sólo pueda aplicarse fuera de las horas de punta, ya que para el éxito del mismo ya no es posible una intervención durante el procedimiento de descenso continuo en la trayectoria.

Para la planificación de los despegues optimizada en cuanto a ruido se conocen los trabajos offline de los sistemas de optimización con los que las trayectorias de despegue de las aeronaves se configuran tal que en cuanto a un criterio relativo al ruido, aseguran un impacto nocivo mínimo sobre la población. No obstante, esto es posible sólo porque las rutas de despegue poseen una dispersión menor que las rutas de aproximación. Las rutas de despegue pueden precisamente conducirse siempre sobre trayectorias previamente fijadas con puntos de ruta y recorridos definidos.

Un tal control del despegue se describe en "Limitar el ruido de los vuelos – un objetivo empresarial de la DFS", HRSG: DFS Deutsche Flugsicherung GmbH (Control del tráfico aéreo alemán S.L.), Offenbach, noviembre 2000 ([www.dfs.de](http://www.dfs.de)).

En el documento U. Isermann, O. Boguhn, C. Henkel, T. Kowalski, R. Schmid: "Procedimiento de simulación para pronosticar el ruido de los vuelos", DLR, Köln-Porz, 16 marzo 2004 se describe un procedimiento apoyado informáticamente para calcular la emisión de ruido de los vuelos en el suelo, que tiene en cuenta los efectos físicos importantes en la propagación de las emisiones de sonidos de los aeroplanos que despegan y aterrizan. El procedimiento de pronosticar el ruido de los vuelos puede utilizarse para optimizar procedimientos de vuelo de bajo ruido. El impacto nocivo del ruido de los vuelos a nivel del suelo se calcula mediante modelos de origen y modelos de propagación del sonido. Para ello se realiza la correlación entre sí de datos de base acústicos específicos de tipos de aeroplanos, como espectro y característica direccional, así como datos de la potencia de vuelo, datos topográficos y meteorológicos, así como datos de la trayectoria de vuelo.

Una optimización en tiempo real de trayectorias de vuelos de aproximación no es posible desde luego con los procedimientos conocidos, ya que las trayectorias del vuelo de aproximación tienen una dispersión bastante más elevada que las trayectorias de los vuelos de despegue y el propio esfuerzo de cálculo necesario no pueden dominarse con los ordenadores de alta potencia actuales.

Bajo trayectorias en el sentido de la invención se entiende al respecto una trayectoria de vuelo tridimensional, caracterizada por una determinada cantidad de puntos de ruta a atravesar en vuelo durante un determinado tiempo. Una trayectoria de vuelo de aproximación se denomina por ello también ruta tetradimensional, que una aeronave realiza desde su posición actual, teniendo en cuenta las condiciones marginales predeterminadas, como por ejemplo tiempos y alturas de sobrevuelo en determinados puntos de la ruta y la predicción del viento en ese momento, hasta el umbral de la pista. A partir de tales trayectorias pueden entonces derivarse instrucciones directas de conducción para los controladores y órdenes de control para las aeronaves. Las instrucciones de conducción pueden entonces transmitirse directamente mediante transmisión de datos al ordenador de a bordo de la aeronave, para conducir las mismas al umbral de la pista.

Los sistemas tradicionales de apoyo a los controladores para el vuelo de aproximación (Arrival Manager) apoyan hoy día a los controladores del vuelo de aproximación en muchos grandes aeropuertos de tráfico en la conducción del tráfico de llegada. Además de una secuencia sin problemas, son entonces de importancia primordial la seguridad, la puntualidad, el aprovechamiento de las capacidades de la infraestructura y la evitación de bucles de espera. Los controladores controlan el tráfico mediante instrucciones de radiotelefonía o transmisión de datos por radio prescribiendo la dirección del vuelo, la velocidad y altura del vuelo (el llamado Radar-Vectoring o guía vectorial asistida por radar). Entonces apenas es posible elegir selectivamente para las aeronaves recorridos dentro de una estructura dada del espacio aéreo tal que mantengan reducido el impacto nocivo sobre el medio ambiente y el debido al ruido de los vuelos para los residentes del entorno del aeropuerto.

Es tarea de la presente invención por lo tanto lograr un procedimiento mejorado para la conducción de vuelos de aproximación de aeroplanos con el que se calculen en tiempo real instrucciones de control para conducir con un impacto nocivo reducido sobre el entorno un conjunto de aeronaves mediante fijación de una secuencia de aproximación uno tras otro hasta el aterrizaje en un aeropuerto.

La tarea se resuelve según la invención con el procedimiento del tipo citado al principio mediante las etapas:

- a) la asignación de una posible trayectoria para el vuelo de aproximación a partir del conjunto de trayectorias de vuelo de aproximación predeterminadas, calculadas previamente en cuanto al impacto nocivo sobre el entorno, se realiza preferiblemente formando una posible secuencia de vuelos de aproximación con posibles rutas de vuelo de aproximación bidimensionales para cada aeroplano y la deducción de los tiempos de llegada previstos y de los tiempos de ello resultantes para el vuelo restante desde un punto de ruta de partida hasta un punto de ruta de destino para cada aeronave de la secuencia. Con ello se evalúan primeramente las condiciones marginales para a continuación poder asignar las posibles trayectorias de vuelo de aproximación a las distintas aeronaves de entre el conjunto de trayectorias de vuelo de aproximación predeterminadas.

- 5 b) determinación del impacto nocivo sobre el entorno debido a la secuencia de vuelos de aproximación de aeronaves utilizando la correspondiente trayectoria de vuelo de aproximación asignada en función de coeficientes de impacto nocivo sobre el entorno predeterminados para las trayectorias de vuelo de aproximación como coeficientes del impacto nocivo sobre el entorno debido al vuelo de aproximación sobre la correspondiente ruta de vuelo de aproximación.
- 10 c) adaptación de la secuencia de vuelos de aproximación y repetición de las etapas a) y b) para averiguar una secuencia de vuelos de aproximación óptima con reducido impacto nocivo sobre el entorno y
- 10 d) conducción de las aeronaves en función de la secuencia de vuelos de aproximación resultante optimizada en cuanto al impacto nocivo.

15 En el procedimiento se calcula estimativamente el impacto nocivo por ruido a esperar en base a los tiempos de vuelo restante predeterminados de una secuencia de vuelos de aproximación a comprobar, realizándose la aproximación de la evaluación del ruido de una trayectoria de vuelo de aproximación a partir de registros en un banco de datos sobre el tiempo de vuelo restante planificado. El banco de datos puede entonces mantenerse tan compacto que el ruido de los vuelos durante la conducción del tráfico aéreo de llegada, en particular para aviones y helicópteros, pueda tenerse en cuenta, planificarse y reducirse en función de la situación del tráfico en ese momento. El procedimiento aprovecha la posibilidad de que a partir del tiempo de vuelo restante predeterminado para una aeronave pueda deducirse la longitud de la trayectoria a recorrer en vuelo y con ello también la propia trayectoria del vuelo de aproximación. De esta manera puede reducirse considerablemente la cantidad de datos necesaria para una estimación del ruido que cubra todas las trayectorias.

25 Ya durante la planificación de secuencias de vuelos de aproximación puede determinarse los tiempos de vuelo restante o bien tiempos de llegada previstos planificados en el umbral de la pista como posible punto de ruta de destino con tal precisión que de ello resulta forzosamente una trayectoria de vuelo de aproximación de un tipo de avión. Se ha comprobado que el impacto nocivo real sobre el entorno cuando llega una aeronave que ha de tomar tierra en un determinado momento de llegada a destino al umbral de la pista de un aeropuerto, es tal que el impacto nocivo sobre el entorno es comparable con el coeficiente de impacto nocivo sobre el entorno memorizado en un banco de datos para trayectorias de vuelo de aproximación predeterminadas. Así puede predecirse (estimarse) el impacto nocivo sobre el entorno de forma relativamente precisa. El procedimiento se diferencia del control de vuelos de aproximación tradicional, que prevé las siguientes etapas:

- 35 1) determinación de una secuencia de vuelos de aproximación fijando una secuencia en la que deben aterrizar las aeronaves en un aeropuerto;
- 2) determinación de un tiempo de llegada previsto (tiempo de aterrizaje) para cada aeronave a partir de la secuencia de vuelos de aproximación previamente determinada;
- 40 3) determinación de una trayectoria de vuelos de aproximación en 4D, que conduce a un avión desde su posición actual en el tiempo de llegada previsto predeterminado hasta el umbral de la pista, confeccionándose una lista de puntos de ruta a sobrevolar sucesivamente e indicándose para cada punto de ruta la altura, la velocidad y el tiempo en el que pasa la aeronave por el punto de ruta.
- 4) Determinación de instrucciones de control para la aeronave en base a la trayectoria del vuelo de aproximación previamente determinada.

45 Para determinar la secuencia de vuelos de aproximación en la etapa 1) se prueba usualmente con diversas secuencias de las aeronaves, se evalúan según distintos criterios y se elige entonces la secuencia mejor valorada.

50 En el presente procedimiento se mantienen las etapas 1) a 4), realizándose la aproximación para fijar las secuencias de vuelos de aproximación optimizadas en cuanto a impacto nocivo solamente a partir del conocimiento del tiempo de llegada previsto de la etapa 2) o bien del tiempo de vuelo restante relacionado con el mismo y de la evaluación de los coeficientes de impacto nocivo sobre el entorno predeterminados de la trayectoria de vuelo de aproximación asociada inequívocamente al tiempo de vuelo restante.

55 Antes de la etapa a) se realiza preferiblemente la formación de una posible secuencia de vuelos de aproximación con rutas de aproximación bidimensionales posibles (sin tener en cuenta las alturas de vuelo, es decir, en una proyección en planta sobre la zona de llegada de vuelos del aeropuerto) para cada aeronave. Entonces se deducen para cada aeronave de la secuencia de vuelos de aproximación formada y a investigar los tiempos de llegada previstos y los tiempos de vuelo restante desde un punto de ruta de partida, por ejemplo un "Metering Fix" (fix de entrada) hasta un punto de ruta de destino, por ejemplo el "umbral de la pista", por ejemplo a partir de la posición planificada o actual de la aeronave, la velocidad de vuelo, el tipo de avión, etc.

60 Tras la fijación optimizada en cuanto al impacto nocivo sobre el entorno de la secuencia de llegadas planificada, se realiza preferiblemente la determinación de trayectorias de vuelos de aproximación a utilizar de manera efectiva por las aeronaves en función de los tiempos de llegada a destino de la secuencia de llegadas optimizada en cuanto al impacto nocivo sobre el entorno. Las trayectorias de vuelos de aproximación a utilizar de manera efectiva pueden desviarse de

5 las trayectorias predeterminadas para los vuelos de aproximación para la secuencia de vuelos de aproximación  
 10 resultante optimizada en cuanto al impacto nocivo. Las aeronaves se conducen entonces en la secuencia de vuelos de  
 aproximación sobre las trayectorias de llegada determinadas tal que las mismas tomen tierra en el umbral de la pista en  
 los tiempos de llegada previstos combinados con la secuencia de vuelos de aproximación. Con ello puede conducirse el  
 tráfico aéreo efectivo a lo largo de un número ilimitado de trayectorias de vuelos de aproximación, independientemente  
 del limitado número de trayectorias de vuelos de aproximación predeterminadas y aprovecharse óptimamente el espacio  
 aéreo. Incluso cuando se produzcan desviaciones pequeñas entre el coeficiente real y el estimado de impacto nocivo  
 sobre el entorno, las secuencias encontradas son en promedio mejor evaluadas en cuanto al criterio del ruido que  
 cuando no se tiene en cuenta el criterio del ruido. Esto último sería indispensable si no se utiliza el procedimiento antes  
 descrito para la estimación del ruido en tiempo real.

15 Los coeficientes de impacto nocivo sobre el entorno de las trayectorias de vuelos de aproximación predeterminadas se  
 determinan preferiblemente en función de la densidad de población y/o de la topografía del terreno en relación con las  
 trayectorias de vuelos de aproximación. Los coeficientes de impacto nocivo sobre el entorno pueden también  
 20 determinarse en función de los tipos de aeronave y/o parámetros meteorológicos. Así puede disponerse para cada  
 trayectoria de vuelos de aproximación un conjunto de coeficientes de impacto nocivo sobre el entorno como función del  
 tipo de aeronave y/o de las condiciones atmosféricas, etc.

25 Para posibilitar una asignación inequívoca de un tiempo de vuelo restante a una trayectoria de vuelo de aproximación  
 predeterminada, es ventajoso que las trayectorias de vuelos de aproximación predeterminadas presenten una respecto  
 a otra distinta longitud de ruta entre el punto de ruta y el umbral de la pista. Es decir, que las trayectorias de los vuelos  
 de aproximación se diferencien forzosamente en cuanto a su longitud y no se tome ninguna trayectoria de vuelo de  
 aproximación con la misma longitud en el banco de datos. La asignación inequívoca de un tiempo de vuelo restante a  
 una trayectoria de vuelo de aproximación se realiza entonces mediante las longitudes de ruta conocidas de la trayectoria  
 de vuelo de aproximación y el tramo de ruta que necesita una aeronave para una velocidad que es función del tipo de  
 aeronave y predeterminada por un procedimiento para vuelos de aproximación para el vuelo de aproximación entre el  
 punto de ruta de partida común y el punto de ruta de destino en el tiempo de vuelo restante. El tiempo de vuelo restante  
 o bien el tramo de ruta necesario se determinan así preferiblemente en función del tipo de aeronave.

30 Los coeficientes de impacto nocivo sobre el entorno describen preferiblemente el impacto nocivo por el ruido sobre el  
 entorno cuando se realiza el vuelo de aproximación sobre una trayectoria de llegada asignada. Este impacto nocivo por  
 ruido puede dado el caso depender del tipo de aeroplano. Pero también puede pensarse en que el coeficiente de  
 impacto nocivo sobre el entorno describa adicional o alternativamente a ello otras influencias del medio ambiente, como  
 por ejemplo el impacto nocivo sobre el entorno por sustancias contaminantes.

35 Un grupo de trayectorias de vuelos de aproximación predeterminadas se basa en un punto de ruta de partida común.  
 Pero evidentemente puede realizarse el procedimiento también para aeropuertos con dos o más puntos de ruta de  
 partida fijados conjuntamente. Entonces se predetermina por cada punto de ruta de partida común en cada caso un  
 grupo de trayectorias de vuelos de aproximación predefinidas.

40 Es además tarea de la presente invención lograr un equipo de guía para la conducción de vuelos de aproximación de  
 aeronaves optimizada en cuanto a impacto nocivo, para conducir un conjunto de aeronaves mediante el procedimiento  
 antes descrito una tras otra hasta al menos un punto de ruta de destino de un aeropuerto.

45 La tarea se resuelve con el equipo de guía del tipo citado al principio mediante

- 50 - Una memoria de datos para memorizar un conjunto de trayectorias de vuelo de aproximación predefinidas, que  
 describen en cada caso una vía de vuelo de aproximación desde un punto de ruta de partida común hasta un punto  
 de ruta de destino del aeropuerto y coeficientes de impacto nocivo sobre el entorno asociados a las trayectorias de  
 vuelos de aproximación como parámetros del impacto nocivo sobre el entorno debido al vuelo de aproximación  
 sobre la correspondiente ruta de vuelo de aproximación,
- 55 - una unidad de cálculo para asignar una posible trayectoria de vuelo de aproximación dentro del conjunto de  
 trayectorias de vuelo de aproximación predeterminada para cada aeronave en función del tiempo de vuelo restante  
 que necesita la aeronave para el recorrido entre el punto de ruta de partida y el punto de ruta de destino, la  
 determinación del impacto nocivo sobre el entorno debido a la secuencia de vuelos de aproximación de aeronaves  
 utilizando las correspondientes trayectorias de vuelo de aproximación asignadas en función de los coeficientes de  
 impacto nocivo sobre el entorno de las trayectorias de vuelos de aproximación, y adaptación de la secuencia de  
 vuelos de aproximación y repetición de los pasos correspondientes a la asignación de trayectorias de vuelo de  
 aproximación posibles y determinación del impacto nocivo sobre el entorno, para determinar una secuencia de  
 60 vuelos de aproximación optimizada con un reducido impacto nocivo sobre el entorno, y
- una unidad de guía para conducir las aeronaves en función de la secuencia de vuelos de aproximación resultante  
 optimizada en cuanto a impacto nocivo.

65 La cantidad de datos necesaria para todas las trayectorias de vuelos de aproximación para estimar el impacto nocivo  
 sobre el entorno puede reducirse deduciendo a partir del tiempo de vuelo restante predeterminado para una aeronave la

longitud de la trayectoria de vuelo de aproximación a sobrevolar y con ello la propia trayectoria de vuelo de aproximación. Entonces deben evaluarse adicionalmente los coeficientes de impacto nocivo sobre el entorno previamente determinados para encontrar una secuencia de vuelos de aproximación optimizada en cuanto al impacto nocivo.

5

La unidad de guía tiene preferiblemente un módulo de transmisión de datos por radio para transmitir los datos que describen una trayectoria de vuelo de aproximación de aeronaves para la conducción de las mismas.

10

La invención se describirá a continuación más en detalle en base a un ejemplo de ejecución con los dibujos adjuntos. Se muestra en:

figura 1 diagrama de flujo del procedimiento para guiar el vuelo de aproximación de aeronaves;

figura 2 diagrama de bloques de un equipo de conducción para guiar vuelos de aproximación de aeronaves;

15

figura 3 esquema de trayectorias de vuelos de aproximación de puntos de ruta sobre umbrales de pista de carga de un aeropuerto en vista en planta,

figura 4 diagrama de distintas trayectorias de vuelos de aproximación con tiempo de vuelo restante creciente.

20

La figura 1 muestra un diagrama de bloques del procedimiento para la conducción de vuelos de aproximación de aeronaves, con el que se conduce un conjunto de aeronaves, mediante la fijación de una secuencia de vuelos de aproximación con tiempos de llegada a destino para el conjunto de aeronaves en tiempos de llegada a destino predeterminados, una tras otra a su aterrizaje en un aeropuerto.

25

Los tiempos de llegada previstos se predeterminan para las aeronaves como señal de control. Partiendo de un punto de ruta de partida definido que alcanza la aeronave en un instante determinado, y dado el caso de un procedimiento de aterrizaje predeterminado, se conduce la aeronave a lo largo de una trayectoria de vuelo de aproximación adecuada hasta un punto de ruta de destino, por ejemplo el umbral de la pista, tal que aterriza en un tiempo de llegada previsto predeterminado en el umbral de la pista.

30

El procedimiento utiliza un banco de datos DB en el que está memorizado un conjunto de trayectorias de vuelos de aproximación predefinidas en relación con coeficientes de impacto nocivo sobre el entorno asociados a las respectivas trayectorias de vuelos de aproximación. Para cada trayectoria de vuelo de aproximación puede estar memorizado un conjunto de coeficientes de impacto nocivo sobre el entorno, por ejemplo en función del tipo de aeroplano. Los coeficientes de impacto nocivo sobre el entorno pueden además determinarse también en función de la topografía del terreno, de la densidad de la población, de parámetros meteorológicos, etc.

35

Para crear el banco de datos se prescribe un conjunto de trayectorias de vuelos de aproximación predefinidas, que describen respectivas rutas de vuelos de aproximación desde un punto de ruta común hasta el umbral de la pista del aeropuerto. Para cada trayectoria de vuelo de aproximación se determina en cada caso al menos un coeficiente de impacto nocivo sobre el entorno como parámetro de impacto nocivo sobre el entorno debido al vuelo de aproximación sobre la correspondiente ruta de vuelo de aproximación y se memorizan en el banco de datos.

40

Como coeficientes de impacto nocivo sobre el entorno pueden utilizarse por ejemplo coeficientes de impacto nocivo sobre rutas de vuelo FRBK, conocidas, normalizadas y que dependen de la población, que permiten un dictamen sobre el impacto nocivo del ruido sobre el entorno. Por ejemplo puede variar el coeficiente de impacto nocivo sobre la ruta de vuelo FRBK especial entre los valores 0 y 1, representando el "1" en cuanto al impacto del ruido del vuelo la mejor evaluación y el "0" la peor evaluación.

45

Una secuencia de vuelos de aproximación para un conjunto de aeronaves, que está optimizada en cuanto a impacto nocivo reducido sobre el entorno, puede determinarse como sigue.

50

En una etapa a) se asigna, partiendo de una secuencia de vuelos de aproximación de la que se parte para cada tiempo de llegada previsto de una aeronave, una posible trayectoria de vuelo de aproximación entre el conjunto de trayectorias de vuelos de aproximación predeterminadas y memorizadas en el banco de datos DB, a cada aeronave en función del tiempo de llegada previsto y del instante predeterminado en el que la correspondiente aeronave alcanza el punto de ruta de partida común. Es decir, que a partir del instante conocido de llegada a un punto de ruta de partida común y del tiempo de llegada previsto predeterminado mediante la frecuencia de llegada de vuelos tomada como base y correspondiente a la toma de tierra en el umbral de la pista, resulta un tiempo de vuelo restante  $t_R$ , que juntamente con una velocidad de vuelo de aproximación conocida, específica del tipo de aeroplano y que apenas varía, define también una longitud de ruta de vuelo de aproximación necesaria. A partir de esta longitud de ruta puede entonces deducirse inmediatamente una de las trayectorias de vuelo de aproximación predeterminadas, cuya longitud coincide con la longitud de la ruta del vuelo de aproximación. Para obtener una asignación inequívoca de trayectorias de vuelo de aproximación, no se registran en el banco de datos en ningún caso preferiblemente dos trayectorias de vuelo de aproximación que presenten el mismo tiempo de vuelo rasante.

55

60

En una etapa b) se determina entonces el impacto nocivo sobre el entorno que resulta debido a la utilización de las trayectorias de vuelo de aproximación respectivamente asignadas en la etapa a), cuando las aeronaves son conducidas

65

5 en la secuencia de aterrizaje prevista hasta el umbral de la pista. El impacto nocivo sobre el entorno se determina entonces en función de los coeficientes de impacto nocivo sobre el entorno previamente determinados de las correspondientes trayectorias de vuelos de aproximación. Los coeficientes de impacto nocivo sobre el entorno son al respecto parámetros de impacto nocivo sobre el entorno debidos al vuelo de aproximación sobre la correspondiente ruta de aterrizaje.

10 Así puede determinarse mediante una evaluación simple de los coeficientes de impacto nocivo sobre el entorno registrados en el banco de datos para las trayectorias de vuelos de aproximación predeterminados, un valor total del impacto nocivo sobre el entorno.

15 En una etapa c) se adapta entonces la secuencia de aterrizajes aleatoria o iterativamente y se repiten las etapas a) y b) para cada secuencia de vuelos de aproximación prevista, para determinar una secuencia de vuelos de aproximación óptima con impacto nocivo sobre el entorno reducido. La optimización puede interrumpirse al encontrarse un mínimo local cuando el impacto nocivo sobre el entorno de la secuencia de vuelos de aproximación queda por debajo de un valor de umbral predeterminado. No obstante, puede también realizarse una búsqueda iterativa del mínimo absoluto.

20 Tras encontrar el óptimo absoluto o relativo de la reducción del impacto nocivo sobre el entorno mediante el grupo de secuencias de vuelos de aproximación investigadas, se realiza en la etapa d) a continuación la conducción de las aeronaves con la secuencia de vuelos de aproximación optimizada en cuanto a impacto nocivo resultante y con los correspondientes tiempos de llegada previstos.

25 En la figura 2 puede observarse un equipo de guía 1 adecuado al respecto para guiar el aterrizaje de un conjunto de aeronaves 2a, 2b que se comunican con un módulo de transmisión de datos por radio 3 del equipo de guía y que son controladas al menos mediante la transmisión de los tiempos de llegada a destino  $t_{z1}$ ,  $t_{z2}$  a las aeronaves 2a, 2b desde el equipo de guía 1.

30 El equipo de guía 1 tiene una unidad de cálculo 4, para asignar una posible trayectoria de vuelo de aproximación de entre el conjunto de trayectorias de vuelo de aproximación predeterminadas para cada aeronave en función del tiempo de llegada previsto  $t_z$  y del instante predeterminado en el que la aeronave alcanza el punto de ruta de partida común. Para ello está memorizado el banco de datos DB en una memoria de datos 5, en la que está memorizado el conjunto de trayectorias de vuelos de aproximación predefinidas junto con los coeficientes de impacto nocivo sobre el entorno como parámetros del impacto nocivo sobre el entorno debido al vuelo de aproximación sobre la correspondiente trayectoria de vuelo de aproximación.

35 La unidad de cálculo 4 está equipada además para determinar el impacto nocivo sobre el entorno con ayuda de las trayectorias de vuelos de aproximación predeterminadas memorizadas en el banco de datos y los correspondientes coeficientes de impacto nocivo sobre el medio ambiente. Un coeficiente de impacto nocivo sobre el entorno es aquí un parámetro relativo al impacto nocivo sobre el entorno que resulta de la utilización de las correspondientes trayectorias de vuelos de aproximación asignadas por parte de las aeronaves, por ejemplo el ruido, cuando las mismas son conducidas en la secuencia de vuelos de aproximación prevista hasta el umbral de la pista del aeropuerto.

40 La unidad de cálculo 4 realiza entonces, para optimizar la secuencia de aterrizajes en cuanto a un impacto nocivo reducido, una adaptación de la frecuencia de aterrizajes prevista y determina el correspondiente impacto nocivo sobre el entorno de la frecuencia de aterrizajes mediante la correspondiente asignación de las posibles trayectorias de vuelos de aproximación de entre el conjunto de trayectorias de vuelos de aproximación previstas.

45 Una vez que se ha encontrado la frecuencia de aterrizajes óptima en cuanto al impacto nocivo, se realiza con una unidad de control 6, por ejemplo junto con el módulo de transmisión de datos por radio 3, el control de los aeroplanos 2, para conducir los mismos, en la secuencia resultante de aterrizajes optimizada en cuanto al impacto nocivo y en los tiempos de vuelo hasta destino  $t_z$  predeterminados, hasta el umbral de la pista.

50 En la figura 3 puede observarse una vista en planta sobre un aeropuerto F a modo de ejemplo, con una pista de aterrizaje 7 y un umbral de la pista de aterrizaje 8. Además están fijados para el aeropuerto F dos puntos de ruta 9a, 9b comunes, que al realizar el vuelo de aproximación una aeronave 2 tienen que ser atravesados en cualquier caso. Partiendo de estos puntos de ruta 9a, 9b comunes, se han fijado en cada caso grupos de trayectorias de vuelo 10a, 10b, 10c, 10d, 10e y 10f. Evidentemente puede prescribirse cualquier cantidad de trayectorias de vuelos de aproximación. No obstante, para reducir el volumen de cálculo a fin de determinar una secuencia óptima de vuelos de aproximación, debería ser el número razonablemente reducido.

55 Cada trayectoria de vuelo de aproximación 10 tiene una longitud de ruta diferente específica del tipo de vuelo. Al respecto puede pensarse en que dos trayectorias de vuelo de aproximación ciertamente tengan la misma longitud de ruta, pero que en cuanto a un tipo de aeroplano y teniendo en cuenta las velocidades predeterminadas por el procedimiento de aterrizaje y por el tipo de aeroplano, no estén predefinidas en ningún caso dos trayectorias de vuelo de aproximación con la misma duración del tiempo de vuelo de aproximación efectiva para un tipo de aeroplano entre el punto de ruta 9 y el umbral de la pista 8.

La figura 4 muestra un diagrama de 195 trayectorias de vuelo de aproximación distintas marcadas sobre las abscisas (eje x) con tiempos de vuelo restante crecientes, para las que están registrados sobre las ordenadas (eje y) respectivos coeficientes de impacto nocivo de las rutas de vuelo dependientes de la población FRBK de una forma normalizada.

Las trayectorias de vuelo de aproximación están referidas entonces a un punto de ruta común (Metering Fix) de un aeropuerto, por ejemplo el Metering Fix Gedern en el Nordeste del Area de Maniobras del Terminal (TMA) del Aeropuerto de Frankfurt. La secuencia de trayectorias de vuelo de aproximación representada tiene diferencias en el tiempo entre sí, es decir, la duración necesaria para el vuelo de aproximación sobre las distintas trayectorias de vuelo de aproximación es distinta y se representa marcada a una distancia en el tiempo de dos segundos para el tiempo de llegada a destino planificado.

Los coeficientes de impacto nocivo de las rutas de vuelo FRBK están así archivados junto con el tipo de aeroplano y el tiempo de llegada previsto en un banco de datos referido a la correspondiente trayectoria de vuelo de aproximación (línea discontinua en el diagrama).

Para evaluar una secuencia de vuelo de aproximación, se toma ahora del banco de datos DB para cada aeronave 2 en base al correspondiente tiempo de llegada previsto  $t_z$  la valoración del ruido. En base al tiempo de llegada previsto  $t_z$ , del tipo de aeronave y de la ruta aún a sobrevolar hasta el punto de ruta de partida 9 en el banco de datos DB, al que se refieren las trayectorias 10 en el banco de datos DB, se eligen las correspondientes trayectorias 10. Si se encuentra el tiempo de llegada a destino planificado  $t_z$  para una aeronave entre dos tiempos de aterrizaje memorizados en el banco de datos DB, entonces se realiza la aproximación a la correspondiente evaluación del ruido del vuelo. La línea discontinua en el diagrama muestra sólo las evaluaciones del ruido procedentes del banco de datos DB, mientras que los registros en línea continua muestran el resultado de un cálculo más costoso, en el que primeramente se calcula una trayectoria de vuelo de aproximación 10 y con la misma se ha realizado a continuación una evaluación del ruido de los vuelos.

Se observa que los coeficientes de impacto nocivo sobre el entorno previamente calculados y memorizados en el banco de datos DB para la distintas trayectorias de vuelo de aproximación 10 se asignan con ayuda del tiempo de llegada previsto  $t_z$  al umbral de la pista y con ello ya tempranamente pueden tenerse en cuenta en la planificación de una secuencia de vuelo de aproximación optimada. Con ello es posible tener en cuenta el impacto nocivo que es de esperar sobre el entorno, en particular el impacto nocivo debido al ruido de los vuelos, correspondiente a vuelos de aproximación ya en la planificación de la secuencia y con ello elegir selectivamente tramos de vuelos de aproximación que reduzcan el ruido de los vuelos y utilizarlos para guiar las aeronaves 2.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento para conducir el vuelo de aproximación de aeronaves (2), para conducir un conjunto de aeronaves (2), una tras otra, al aterrizaje en un aeropuerto (F), mediante la fijación de una secuencia de vuelos de aproximación optimizada para reducir el impacto nocivo sobre el entorno, con tiempos de llegada previstos ( $t_z$ ) para el conjunto de aeronaves (2) en tiempos de llegada previstos ( $t_z$ ) predeterminados,  
**caracterizado por** las etapas:
- 10 a) asignación de una posible trayectoria para el vuelo de aproximación (10) a partir del conjunto de trayectorias de vuelo de aproximación (10) predeterminadas, calculadas previamente en cuanto al impacto nocivo sobre el entorno, y que describen respectivas vías de vuelos de aproximación desde un punto de ruta de partida (9) hasta un punto de ruta de destino (8), para cada aeronave (2) en función del tiempo de vuelo restante ( $t_R$ ) que necesita la aeronave (2) para el tramo entre el punto de ruta de partida (9) y el punto de ruta de destino (8),
- 15 b) determinación del impacto nocivo sobre el entorno debido a la secuencia de vuelos de aproximación de aeronaves (2) utilizando la correspondiente trayectoria de vuelo de aproximación (19) asignada en función de coeficientes de impacto nocivo sobre el entorno (FRBK) predeterminados para las trayectorias de vuelo de aproximación (10) como parámetros de impacto nocivo sobre el entorno debido al vuelo de aproximación sobre la correspondiente ruta de vuelo de aproximación.
- 20 c) adaptación de la secuencia de vuelos de aproximación y repetición de las etapas a) y b) para averiguar una secuencia de vuelos de aproximación óptima con reducido impacto nocivo sobre el entorno, y
- d) conducción de las aeronaves (2) en función de la secuencia de vuelos de aproximación resultante optimizada en cuanto al impacto nocivo.
- 25 2. Procedimiento según la reivindicación 1,  
**caracterizado por** la formación de una posible secuencia de vuelos de aproximación con posibles vías de vuelo de aproximación bidimensionales para cada aeronave (2) y deducción de los tiempos de llegada previstos ( $t_z$ ) y de los tiempos de vuelo restante ( $t_R$ ) que de los mismos resultan desde un punto de ruta de partida (9) hasta un punto de ruta de destino (8) para cada aeronave (2) de la secuencia de vuelos de aproximación.
- 30 3. Procedimiento según la reivindicación 1 ó 2,  
**caracterizado por** la determinación de trayectorias de vuelos de aproximación a utilizar de manera efectiva por las aeronaves (2) en función de los tiempos de vuelo restante ( $t_R$ ) independientemente de la cantidad de trayectorias de vuelos de aproximación (10) predeterminadas para la secuencia de vuelos de aproximación resultante optimizada en cuanto a impacto nocivo y conducción de las aeronaves (2) en la secuencia de aterrizaje a través de las trayectorias de vuelo de aproximación determinadas, tal que los mismos tomen tierra en el umbral de la pista con los tiempos de llegada previstos ( $t_z$ ) combinados con la secuencia de aterrizaje.
- 35 4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3,  
**caracterizado porque** los coeficientes de impacto nocivo sobre el entorno (FRBK) de las trayectorias de vuelos de aproximación (10) predeterminadas se determinan en función de la topografía del terreno y/o de la densidad de población referidos a las trayectorias de vuelo de aproximación (10).
- 40 5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4,  
**caracterizado porque** los coeficientes de impacto nocivo sobre el entorno de las trayectorias de vuelo de aproximación (10), así como el impacto nocivo sobre el entorno, se determinan en función de los tipos de aeronave y/o parámetros meteorológicos.
- 45 6. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes,  
**caracterizado porque** las trayectorias de vuelo de aproximación (10) predeterminadas presentan longitudes de trayectoria distintas entre el punto de ruta de partida (9) y el punto de ruta de destino (8) y pueden asociarse inequívocamente a los tiempos de vuelo restante ( $t_R$ ).
- 50 7. Procedimiento según la reivindicación 6,  
**caracterizado por** la determinación del tiempo de vuelo restante ( $t_R$ ) en función del tipo de aeronave.
- 55 8. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes,  
**caracterizado porque** para dos o más puntos de ruta de partida (9a, 9b) del aeropuerto (F) fijados conjuntamente, se predetermina en cada caso un grupo de trayectorias de vuelo de aproximación (10) predefinidas por cada punto de ruta de partida (9) y punto de ruta de destino (8) comunes.
- 60 9. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes,  
**caracterizado porque** los coeficientes de impacto nocivo sobre el entorno (FRBK) describen el impacto nocivo del ruido sobre el entorno cuando se realiza un vuelo de aproximación sobre una de las trayectorias de vuelo de aproximación (10) asignada.
- 65

10. Equipo de guía (1) para conducir vuelos de aproximación de aeronaves (2), para conducir un conjunto de aeronaves una tras otra (2) mediante el procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes a al menos un punto de ruta de destino (8) de un aeropuerto (F),

**caracterizado por**

- 5 - Una memoria de datos para memorizar un conjunto de trayectorias de vuelo de aproximación predefinidas, que describen en cada caso una vía de vuelo de aproximación desde un punto de ruta de partida común hasta un punto de ruta de destino del aeropuerto y coeficientes de impacto nocivo sobre el entorno asociados a las trayectorias de vuelos de aproximación como parámetros del impacto nocivo sobre el entorno debido al vuelo de aproximación sobre la correspondiente ruta de vuelo de aproximación,
- 10 - una unidad de cálculo para asignar una posible trayectoria de vuelo de aproximación dentro del conjunto de trayectorias de vuelo de aproximación predeterminada para cada aeronave en función del tiempo de vuelo restante que necesita la aeronave para el recorrido entre el punto de ruta de partida y el punto de ruta de destino, la determinación del impacto nocivo sobre el entorno debido a la secuencia de vuelos de aproximación de aeronaves utilizando las correspondientes trayectorias de vuelo de aproximación asignadas en función de los coeficientes de impacto nocivo sobre el entorno de las trayectorias de vuelos de aproximación, y adaptación de la secuencia de vuelos de aproximación y repetición de los pasos correspondientes a la asignación de trayectorias de vuelo de aproximación posibles y determinación del impacto nocivo sobre el entorno, para determinar una secuencia de vuelos de aproximación optimizada con un reducido impacto nocivo sobre el entorno, y
- 15 - una unidad de guía para conducir las aeronaves en función de la secuencia de vuelos de aproximación resultante optimizada en cuanto a impacto nocivo.
- 20

11. Equipo de guía (1) según la reivindicación 10,

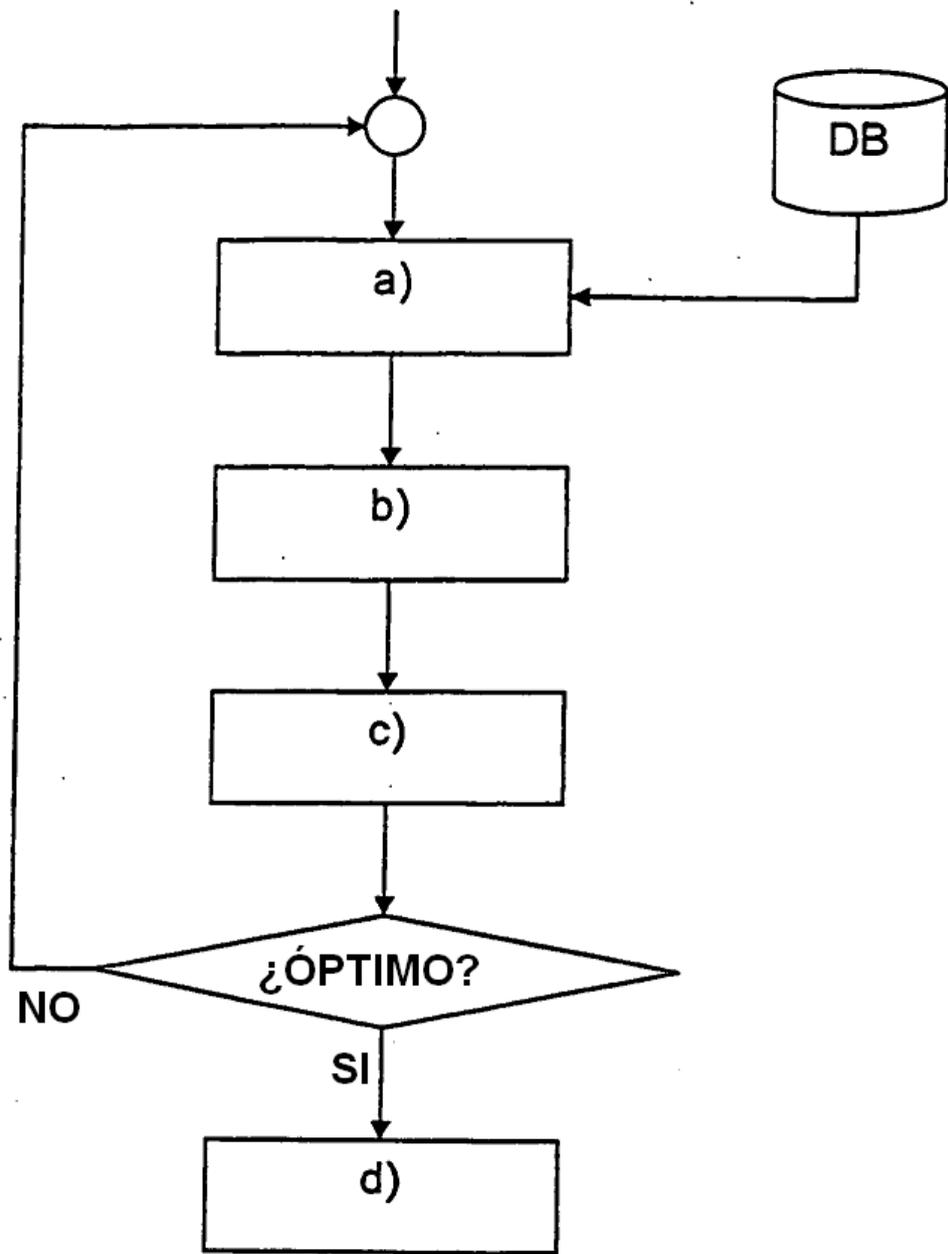
**caracterizado porque la** unidad de guía (6) tiene un módulo para la transmisión de datos por radio (3) para transmitir al menos señales de control que describen una trayectoria de vuelo de aproximación (10) a las aeronaves (2).

25

12. Equipo de control (1) según la reivindicación 10 u 11,

**caracterizado porque** los coeficientes de impacto nocivo sobre el entorno (FRBK) describen el impacto nocivo del vuelo sobre el entorno en vuelos de aproximación sobre una trayectoria de vuelo de aproximación (10) asignada.

30



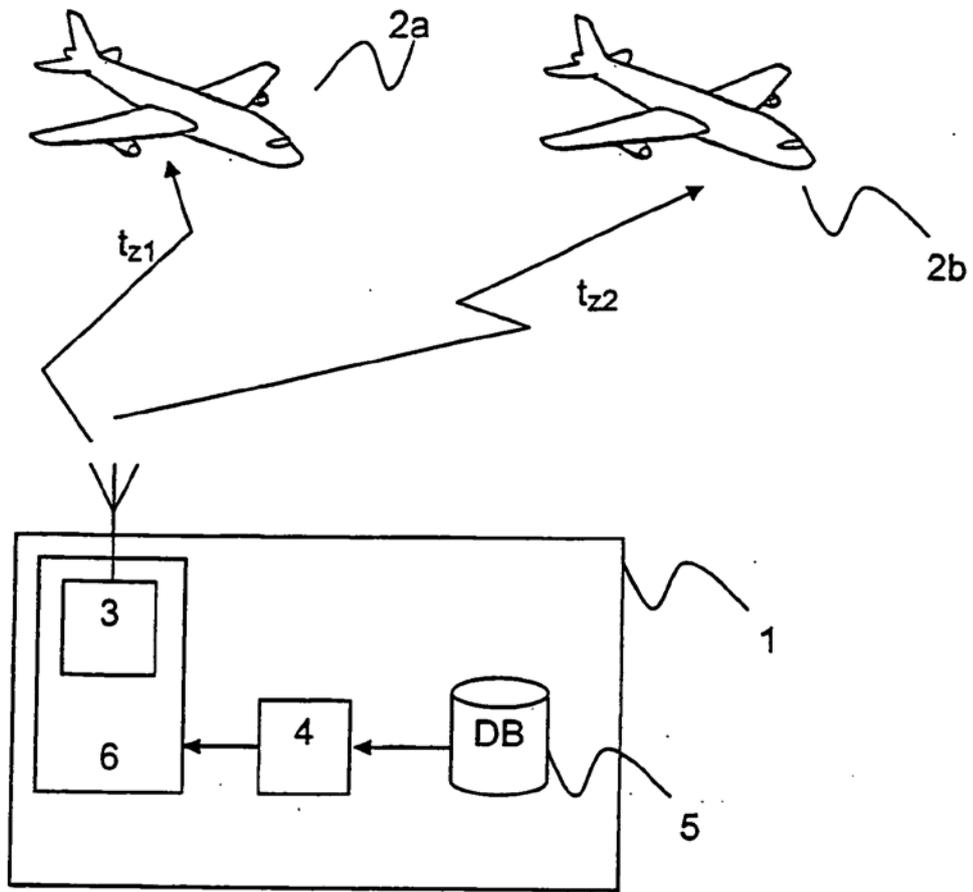


Fig. 2

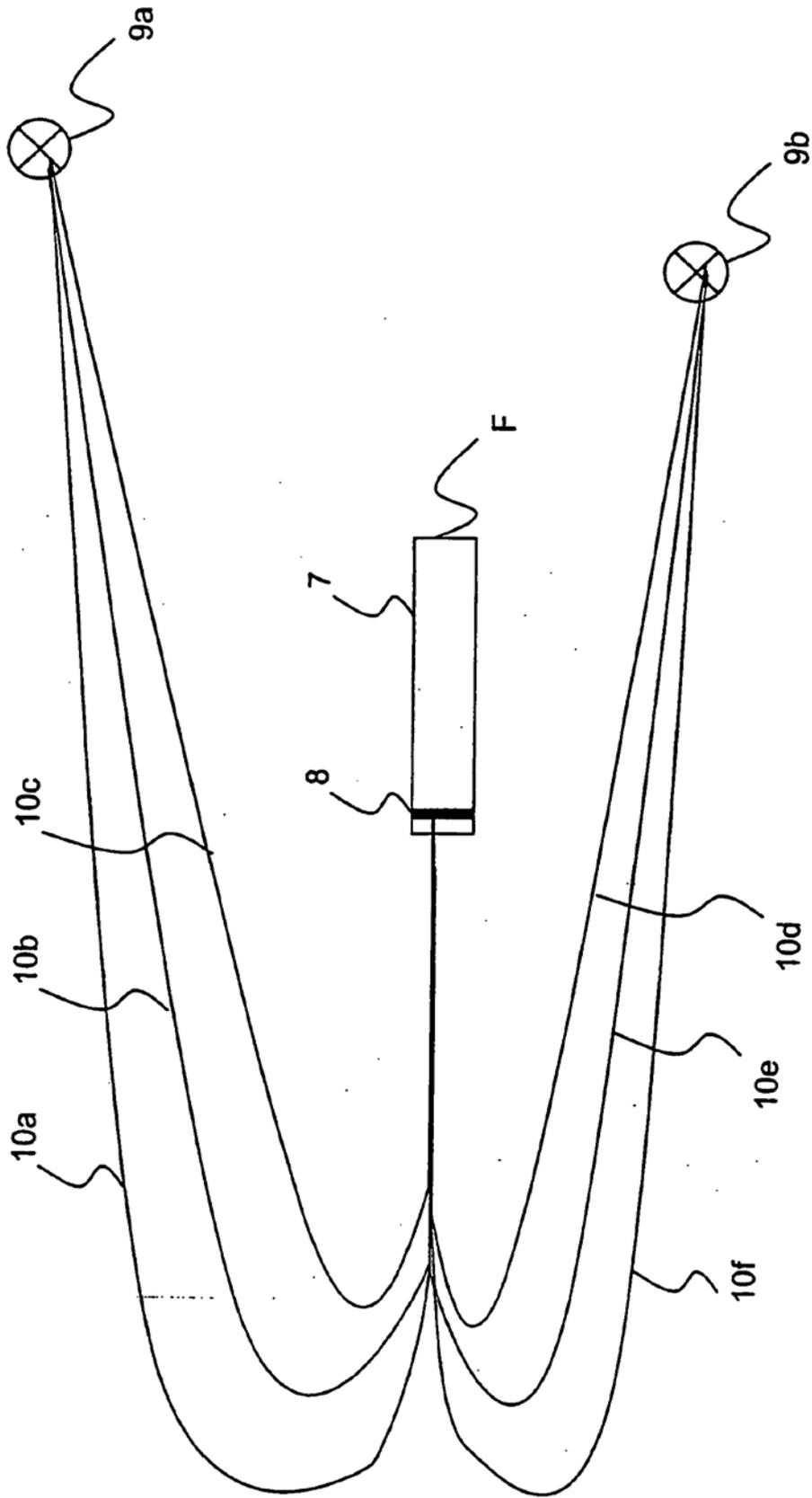


Fig. 3

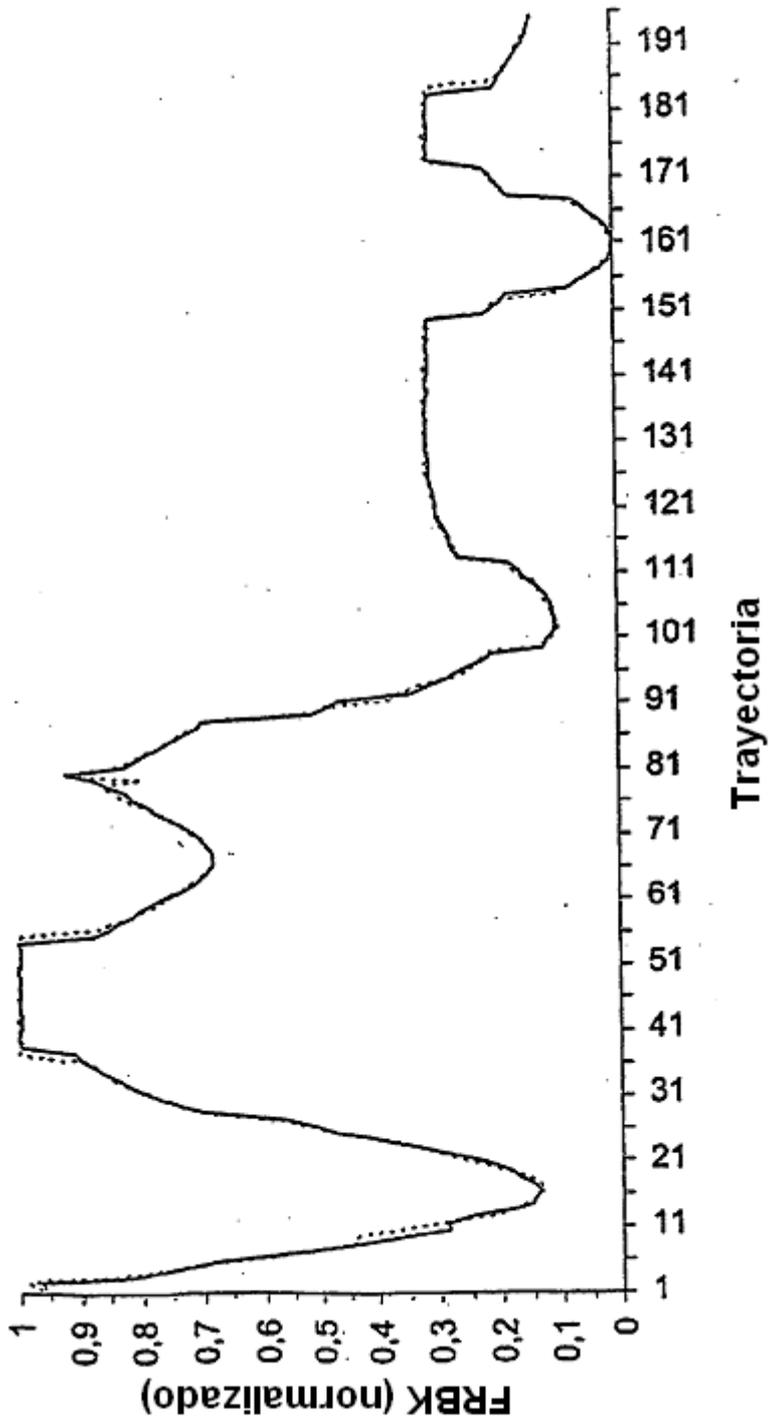


Fig. 4