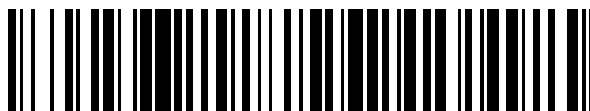


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 404 163**

51 Int. Cl.:

G01P 5/00 (2006.01)

G01P 21/02 (2006.01)

B64C 23/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.07.2010 E 10741909 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.02.2013 EP 2340438**

54 Título: **Procedimiento para determinar un flujo**

30 Prioridad:

28.08.2009 DE 102009039016

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

24.05.2013

73 Titular/es:

**DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT- UND
RAUMFAHRT E.V. (100.0%)**

**Linder Höhe
51147 Köln, DE**

72 Inventor/es:

FISCHENBERG, DIETRICH

74 Agente/Representante:

ZUAZO ARALUZE, Alexander

ES 2 404 163 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

Procedimiento para determinar un flujo.

La invención se refiere a un procedimiento para determinar un flujo, en el que se determinan velocidades del flujo en la dirección de medida mediante sensores en al menos una posición de medida. La invención se refiere igualmente a un programa de ordenador con medios de código de programa y a un equipo para ello.

Un flujo es un movimiento de partículas más o menos orientado. En un flujo intencionado se aprovecha al respecto esta característica para, con ayuda de este movimiento orientado de las partículas, poder transportar las mismas a lo largo de un trayecto. No obstante, un flujo puede ser también un efecto secundario indeseado, que por ejemplo resulta de que unos objetos se muevan respecto a un medio.

Así se conoce por ejemplo ya desde hace mucho tiempo por la navegación aérea que los aviones, tan pronto como su rueda de proa se levanta de la tierra, generan en el extremo de las puntas de sus alas turbulencias de aire, que en general se conocen también como estela de turbulencia. Una estela de turbulencia es un flujo de aire a modo de turbulencia detrás de aviones en vuelo, compuesta por dos torbellinos de aire a modo de trenza y que giran en sentidos opuestos. Entre estos dos núcleos de torbellinos, que por lo general tienen una distancia de las tres cuartas partes de la envergadura de las alas del correspondiente avión, existen la mayoría de las veces flujos de aire con una fuerte caída vertical, mientras que fuera de los núcleos del torbellino existen fuertes vientos ascensionales, que pueden ser muy peligrosos para los aviones que van a continuación. Un avión que por ejemplo con una mitad de ala sustentadora se encuentra en viento descendente entre los núcleos de torbellinos y con la otra mitad de ala sustentadora se encuentra en la zona de viento ascensional, entra en posiciones de balanceo fuertes y peligrosas. Así se consideró que la causa de algunos accidentes aéreos era que un siguiente avión había entrado en la estela de turbulencia de un avión precedente y debido a los fuertes movimientos de aire verticales, cayó finalmente, lo cual en la práctica es la causa más frecuente de incidentes poco antes del aterrizaje.

Este fenómeno de la estela de turbulencia se presenta precisamente en aterrizajes de grandes aviones, por lo que por razones técnicas de seguridad debe esperarse tras el aterrizaje de un avión un tiempo hasta que sobre la misma pista de despegue y aterrizaje pueda permitirse de nuevo tráfico aéreo. Esta medida de seguridad sirve para que los aviones no entren y caigan durante el despegue o el aterrizaje en la estela de turbulencia de un avión que haya aterrizado antes y con ello caiga en definitiva. La consistencia de una tal estela de turbulencia depende entonces de las condiciones atmosféricas exteriores, como temperatura, presión del aire y dirección del viento, así como velocidad del viento. Puesto que hasta ahora no pudo determinarse de manera fiable la existencia de una tal estela de turbulencia, se espera en los aeropuertos por razones de seguridad un tiempo suficientemente grande (de hasta cinco minutos) tras el aterrizaje de un avión hasta que se permite de nuevo tráfico aéreo sobre esta pista de aterrizaje, independientemente de si la estela de turbulencia existe realmente aún o no. Esto repercute en definitiva de forma negativa sobre el grado de ocupación del aeropuerto.

Además de en la fase de aterrizaje, son un problema las estelas de turbulencia también a la altura de crucero. Debido al denso escalonamiento en el espacio aéreo, ocurre cada vez con más frecuencia que un avión entra en la estela de turbulencia de otro avión que vuela delante o vuela por encima (las estelas de turbulencia descienden por lo general). La consecuencia son entonces fuertes aceleraciones a bordo, lo cual puede causar heridas a las personas a bordo que no llevan puesto el cinturón de seguridad.

Por el estado de la técnica se conocen al respecto una serie de medidas para evitar tales estelas de turbulencia. Así se utilizan por ejemplo las llamadas winglets (pequeñas aletas), destinadas a reducir las turbulencias del flujo de aire en el extremo de las superficies sustentadoras. Las winglets son entonces prolongaciones colocadas en el extremo de las superficies sustentadoras de los aviones, que la mayoría de las veces están dispuestas esencialmente en vertical respecto a la superficie sustentadora. Así se conoce por ejemplo por el documento DE 10 2007 059 455 A1 una prolongación de la punta de las alas para amortiguar la aparición de una tal estela de turbulencia de un avión.

Por el documento EP 1 837 661 A1 se conoce un procedimiento de medida de dinámica de fluidos para medir un campo de flujo bidimensional o tridimensional. Al respecto se realizan mediciones de las velocidades de flujo locales en varios lugares y en varios instantes, para obtener valores de medida definidos temporal y localmente, interpolándose a continuación los valores de medida a zonas locales en las que no se realiza ninguna medición, para obtener así un campo de flujo completo.

Por el documento DE 10 39 109 A1 se conocen un procedimiento y un equipo para determinar el influjo perturbador de una estela de turbulencia. Entonces se miden datos atmosféricos de aviones con una frecuencia tal que de ello puede deducirse una imagen de las condiciones atmosféricas en el espacio aéreo. Estos datos atmosféricos tomados de los aviones se transmiten entonces a una estación de tierra, para precisar así un modelo de estelas de turbulencia calculado a partir de los datos de vuelo.

Por el documento DE 43 20 295 A1 se conoce un procedimiento para medir el caudal en tuberías parcialmente llenas o totalmente llenas y canales abiertos, midiéndose dentro de las secciones del flujo de salida con ayuda de

sensores velocidades de flujo locales, a partir de las cuales puede determinarse entonces un perfil de flujo simulado en el caudal.

5 Por el documento DE 10 2007 051 318 A1 se conoce además un procedimiento para fabricar un sensor de radar. Entonces se llenan las cavidades contenidas en una estructura de soporte de cerámica con una matriz y a continuación se coloca sobre la matriz una configuración de antena planar.

Es tarea de la presente invención por lo tanto poder identificar flujos de manera segura y fiable.

La tarea se resuelve según la invención mediante el procedimiento del tipo indicado al principio por medio de las etapas:

- a) inicialización de parámetros de un modelo de flujo que reproduce un flujo,
- 10 b) cálculo de velocidades del flujo simuladas en la dirección de medida en la posición de medida, de las que al menos hay una, en función del modelo de flujo que reproduce el flujo,
- c) comparación de las velocidades de flujo medidas con las velocidades del flujo simuladas y adaptación de los parámetros del modelo del flujo que influye sobre el flujo minimizando una función de calidad que depende del resultado de la comparación, y
- 15 d) repetición de las etapas b) y c) y determinación del flujo en función del modelo aproximado de flujo.

Así es posible determinar con elevada exactitud flujos como por ejemplo flujos de aire de una estela de turbulencia, lo que aumenta sustancialmente por ejemplo el confort y la seguridad al utilizar el tráfico aéreo.

20 Los sensores que miden las velocidades de flujo que se miden en la dirección de medida, son por ejemplo sensores lidar (radar de infrarrojos de láser), que pueden determinar la velocidad de un flujo exclusivamente en la dirección de medida. Pudieron medirse por ejemplo con tales sensores lidar velocidades de flujo correspondientes a flujos de aire, emitiendo un rayo láser en la dirección de medida, el cual es reflejado por las correspondientes partículas en suspensión. En base al tiempo de recorrido puede entonces averiguarse la velocidad. Desde luego pueden determinarse así sólo velocidades de flujo en la dirección de medida, con lo que un tal sensor por lo general no puede medir con estos sistemas velocidades de flujo ortogonalmente respecto a la dirección de medida.

25 Los flujos como por ejemplo flujos de aire pueden reproducirse por lo general mediante los llamados modelos de flujo, para poder describir así el comportamiento de un flujo. Al respecto se caracterizan los flujos descritos mediante el modelo de flujo en base a los parámetros del modelo de flujo que sirve de base. En el marco de la invención se inicializan ahora en la etapa a) los correspondientes parámetros del modelo de flujo.

30 En la siguiente etapa (etapa b)) se calculan, a partir del modelo de flujo inicializado en la etapa a) en los puntos de medida en los que se midieron velocidades de flujo, velocidades de flujo simuladas, transmitiendo los puntos de medida reales al modelo de flujo y calculando en estos puntos de medida las velocidades del flujo tal como las describe el modelo.

35 En la etapa c) se comparan a continuación entre sí las velocidades de flujo medidas, tal como se midieron, con las velocidades de flujo simuladas, tal como se calcularon a partir del modelo de flujo, con lo que por ejemplo se muestra al formar la diferencia con qué exactitud reproduce el modelo de flujo inicializado con los parámetros el flujo realmente existente.

40 Ello es así debido al hecho de que los sensores pueden detectar la velocidad del flujo real exclusivamente en la dirección de medida y no puede deducirse con estos sensores la dirección real y la velocidad del flujo, ya que faltan informaciones relativas a la dirección del flujo y a la velocidad del flujo en las otras dos dimensiones. Por esta razón se calcula en las velocidades de flujo simuladas también solamente la velocidad del flujo tal como podría medirse en la dirección de medida cuando el modelo del flujo reprodujese al 100 % el correspondiente flujo. Así pueden compararse entre sí las velocidades de flujo simuladas, calculadas a partir del modelo de flujo, y las velocidades de flujo reales, calculadas a partir de los sensores.

45 Con ayuda de una función de calidad que toma como base el resultado de la medida, se adaptan ahora correspondientemente los parámetros del modelo de flujo, minimizándose la función de calidad. La función de calidad es un procedimiento estadístico con cuya ayuda, adaptado al presente procedimiento, pueden optimizarse los parámetros del modelo de flujo, para así minimizar la diferencia entre las velocidades de flujo reales y las velocidades de flujo calculadas.

50 Para mejorar paso a paso el resultado, propone la presente invención repetir las etapas b) y c), para así seguir aproximando los parámetros del modelo de flujo al flujo exacto y a continuación averiguar el flujo real a partir del modelo de flujo aproximado. Así, en el presente procedimiento iterativo se adaptan los parámetros del modelo de flujo paso a paso, hasta que el modelo de flujo reproduce con elevada exactitud el flujo existente.

5 Así puede ser el flujo a calcular por ejemplo un flujo de estela de turbulencia generado por un objeto volante, tal como se ha descrito ya al principio. Un tal flujo de estela de turbulencia tiene entonces la propiedad característica de que ambos torbellinos presentan velocidades de flujo horizontales y verticales muy fuertes, mientras que no obstante la velocidad del flujo ortogonalmente al plano del torbellino es casi nula, con lo que con ayuda de los sensores apenas puede medirse una velocidad del flujo cuando uno se encuentra directamente detrás (es decir en el escape) de una tal estela de turbulencia.

10 Un tal flujo de estela de turbulencia puede reproducirse por lo general mediante un modelo de turbulencia analítico, como por ejemplo un modelo de turbulencia analítico según Burnham-Hallock. Este modelo presenta como parámetros la posición de la estela de turbulencia y la intensidad del torbellino. Adicionalmente se necesita la orientación de la estela de turbulencia respecto a las posiciones de un objeto que detecta la estela de turbulencia, para transformar las posiciones medidas reales al modelo de estela de turbulencia.

15 Al respecto es especialmente ventajoso que las velocidades de flujo se averigüen o calculen a lo largo del tiempo, y precisamente tal que dentro de un determinado periodo de tiempo se determinen en instantes discretos las velocidades de flujo mediante los sensores y se calculen las velocidades de flujo simuladas en estos instantes. De esta manera resulta en la correspondiente posición de medida la respectiva evolución de la velocidad a lo largo del tiempo, que debe aproximarse con ayuda del presente procedimiento basándose en el modelo de flujo. Así puede explorarse por ejemplo la posición de medida con una frecuencia de 10 Hz, con lo que por cada segundo se realizan 10 mediciones en la posición de medida. De ello resultan entonces por segundo en cada caso diez mediciones del flujo.

20 Al respecto es también muy especialmente ventajoso que se exploren varias posiciones de medida, en particular cuatro posiciones de medida, precisamente en los cuatro vértices exteriores del plano de medida (con lo que se logra un ángulo de medición oblicuo lo más grande posible) con ayuda de los sensores y se determinen así en estas posiciones de medida las velocidades de flujo reales. Así resulta un conjunto de posiciones de medida en cuyos lugares pueden calcularse entonces las velocidades de flujo modeladas en base al modelo de flujo y compararse con las velocidades de flujo medidas.

30 Además es muy especialmente ventajoso que se midan las velocidades de flujo reales de manera continua y con ello se adapte continuamente la base de la comparación a la posición actual. Entonces se realiza el procedimiento según las etapas a) a d) sólo cuando las velocidades de flujo medidas en las posiciones de medida presentan una desviación significativa respecto a las velocidades de flujo normales, que por lo general están sometidas a ruidos de medida. Sólo cuando se observa que se presenta una desviación significativa respecto a las velocidades de flujo normales, se realiza el procedimiento según las etapas a) a d).

35 Además es también muy especialmente ventajoso que se repita el procedimiento iterativo hasta que la diferencia entre las velocidades del flujo real y modelado quede por debajo de un correspondiente valor de umbral de aproximación. Puesto que en cada etapa de iteración se adaptan los parámetros del modelo de flujo según la función de calidad, se aproxima cada vez más el modelo de flujo al flujo real en cada pasada. Así se detectó por ejemplo que en general no son necesarias más de diez etapas de iteración para poder aproximarse con elevada exactitud al correspondiente flujo de estela de turbulencia.

40 Además es muy especialmente ventajoso que los parámetros del modelo de flujo se inicialicen en la etapa a) en base a un objeto que genera el flujo. Así puede pensarse por ejemplo en el flujo de estelas de turbulencia que un avión que desea averiguar un flujo de estela de turbulencia reciba previamente datos de vuelo de un avión que se encuentra en las proximidades, para poder estimar así aproximadamente dónde podría encontrarse un flujo de estela de turbulencia. No obstante, puesto que un tal flujo de estela de turbulencia, debido a las influencias atmosféricas, varía relativamente mucho poco después de aparecer, tanto en cuanto a posición como en cuanto a intensidad, no sería suficiente por lo general esta información para poder detectar con elevada precisión el flujo de estela de turbulencia. No obstante, para inicializar los parámetros del presente procedimiento esto es suficiente, ya que debido a la repetición de las presentes etapas del procedimiento puede realizarse entonces una aproximación con elevada exactitud al flujo de estela de turbulencia.

El procedimiento se describirá más en detalle a modo de ejemplo en base a los dibujos adjuntos. Se muestra en:

- figura 1a, 1b representación esquemática del plano de medida;
- 50 figura 2 diagrama secuencial del procedimiento
- figura 3 representación esquemática de una estela de turbulencia
- figura 4a, 4b representación esquemática de la medición de velocidad
- figura 5 representación a modo de ejemplo de una medición.

55 El presente procedimiento se describirá más en detalle en base a un ejemplo de ejecución que se refiere a la detección de una estela de turbulencia en aviones. No obstante, esto no ha de entenderse limitativamente. Más bien

puede utilizarse el procedimiento para cualquier otro flujo cuyas velocidades pueden detectarse mediante sensores, pudiendo reproducirse el flujo con ayuda de un modelo de flujo.

La figura 1a muestra la representación esquemática del principio de medida. Un avión 1 está dotado en la proa de sensores 2, que pueden detectar con ayuda de señales orientadas velocidades de flujo en la dirección de medida. Tales sensores 2 pueden ser por ejemplo sensores lidar, que emiten en la dirección de medida una señal que es devuelta a continuación por partículas reflectantes. A partir de ello pueden determinarse entonces la velocidad del flujo en la dirección de medida.

Tal como muestra la figura 1a, se extiende mediante la exploración por medio de los sensores 2 un plano de medida 3, que por ejemplo puede ser para la medición del campo próximo de 50 m a 200 m delante del avión 1 y/o para la medición del campo lejano de 1000 m hasta 10000 m delante del avión 1. La dirección de medida m es entonces la dirección en la que se envía la señal orientada del sensor 2 en la dirección del plano de medida 3. Pero las velocidades del flujo entonces captadas se refieren exclusivamente a velocidades en la profundidad del plano de medida 3, con lo que no puede detectar el sistema velocidades de flujo ortogonales a la dirección de medida m de la señal orientada.

La medición de campo próximo tiene especialmente sentido precisamente en el vuelo de aproximación, ya que de esta manera la estela de turbulencia puede detectarse con elevada precisión y controlarse con ayuda del control de vuelo, lo cual sólo es posible cuando la medición es muy precisa. La medición del campo lejano por el contrario es importante a elevadas velocidades, para poder evitar a tiempo la estela de turbulencia.

La figura 1b muestra de nuevo esquemáticamente el plano de medida 3, que presenta en total 15 posiciones de medida 4.1 a 4.15. En cada una de estas posiciones de medida 4.1 a 4.15 se mide entonces con ayuda de una señal orientada de los sensores 2. Los sensores 2 miden entonces en cada posición de medida 4.1 a 4.15 las velocidades de flujo en la dirección de la llamada línea de visión (Line-of-Sight, LoS), estando definida cada posición de medida 4.1 a 4.15 por la distancia, por el ángulo vertical y el horizontal. En el sistema de coordenadas LoS se determina así cada posición de medida 4.1 a 4.15 mediante la distancia entre los sensores 2 y el punto de medida, así como mediante los correspondientes ángulos en el plano horizontal y vertical.

Así tiene por ejemplo la posición de medida 4.5 en la figura 1b un ángulo vertical de 10° y un ángulo horizontal de 20° , así como en una medición de campo cercano una distancia de 150 m a los sensores 2.

Así en sistemas LIDAR actuales se encuentra la frecuencia total de impulsos perfectamente en 500 - 1000 Hz, lo cual corresponde, para una velocidad de actualización de todo el campo de medida de por ejemplo 10 Hz, a unas 50 - 100 posiciones de medida.

La figura 2 muestra esquemáticamente la secuencia del presente procedimiento. El procedimiento comienza con el nodo 21. En el punto 22 se inicializan primeramente los parámetros del modelo de flujo tomado como base. Esto puede suceder por ejemplo cuando otro avión que se encuentra en las proximidades del avión 1, cuya estela de turbulencia ha de detectarse, ha transmitido sus datos mediante el sistema ADS-B y con ello puede predecirse aproximadamente dónde se encuentra posiblemente una estela de turbulencia. En otras palabras, a partir del sistema de seguridad ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast, radiodifusión de vigilancia dependiente automática) se determinan aproximadamente los parámetros de una tal estela de turbulencia en base a los datos de vuelo del otro avión. No obstante, puesto que las estelas de turbulencia, debido a su inestabilidad, dependen muy fuertemente de influencias atmosféricas exteriores, como viento y presión del aire, varían las mismas muy fuertemente poco después de generarse, por lo que el sistema ADS-B básicamente no es adecuado para determinar una tal estela de turbulencia con elevada precisión a partir de los datos del avión correspondientes al avión que genera la turbulencia.

Una vez que los parámetros del modelo de flujo se han inicializado en la etapa 22, se necesitan para la siguiente etapa 23 las posiciones de medida dentro del modelo de flujo. Las posiciones de medida 4.1 a 4.15, tal como se han descrito en la figura 1b, son las posiciones sobre el plano de medida 3 que han sido escaneadas por la correspondiente señal orientada de un sensor. Esta medición de las velocidades de flujo en las posiciones de medida 4.1 a 4.15 se realiza en la etapa 30 en paralelo al procedimiento propiamente dicho. La posición de estos puntos de medida 4.1 a 4.15 se encuentra entonces en el llamado sistema LoS, es decir, su posición viene determinada por la distancia de medida así como por el ángulo horizontal y vertical.

En una etapa siguiente se transforman estas coordenadas de las posiciones de medida 4.1 a 4.15 a un sistema de coordenadas geodésico, siendo el origen de este sistema de coordenadas los sensores 2 en el avión 1. La transformación se realiza entonces en base a las siguientes ecuaciones de ángulo:

$$x_{Sensor,geo} = x_{mess} \cos \psi_{Sensor} \cos \phi_{Sensor}$$

$$y_{Sensor,geo} = x_{mess} \sin \psi_{Sensor} \cos \phi_{Sensor}$$

$$Z_{Sensor,geo} = X_{MESS} \sin \psi_{Sensor}$$

siendo $X_{Sensor,geo}$, $Y_{Sensor,geo}$ y $Z_{Sensor,geo}$ las coordenadas de la correspondiente posición de medida en el sistema de coordenadas geodésico con el origen en los sensores 2, X_{mess} la distancia de medida (por ejemplo 150 m) y ψ_{Sensor} (Psi) el ángulo horizontal y ϕ_{Sensor} (Phi) el ángulo de medida vertical. Esta transformación se realiza en la etapa 31.

- 5 El modelo de flujo tomado como base en este ejemplo de ejecución es un modelo de flujo según Burnham-Hallock, que presenta entre otros como parámetro la orientación de la estela de turbulencia. Esta orientación está definida entonces como ángulo respecto al avión que detecta la estela de turbulencia. Para poder averiguar ahora en las posiciones de medida 4.1 a 4.15 las velocidades de flujo a partir del modelo de flujo, deben transformarse las coordenadas de las posiciones de medida que han sido convertidas a un sistema de coordenadas geodésico con origen en los sensores 2, en el sistema de coordenadas de la estela de turbulencia. Esto se realiza igualmente con las correspondientes ecuaciones de ángulo como sigue:

$$x_{ws} = x_{Sensor,geo} \cos \psi_{wake} + y_{Sensor,geo} \sin \psi_{wake}$$

$$y_{ws} = -x_{Sensor,geo} \sin \psi_{wake} + y_{Sensor,geo} \cos \psi_{wake}$$

$$z_{ws} = z_{Sensor,geo}$$

- 15 siendo x_{ws} , y_{ws} , y z_{ws} las coordenadas de la posición de medida en el sistema de ejes de turbulencia (ws) y ψ_{wake} el ángulo horizontal entre la estela de turbulencia y el avión. Opcionalmente pueden ampliarse estas fórmulas también correspondientemente al ángulo vertical de giro ψ_{wake} . Esta transformación de las posiciones de medida del sistema de coordenadas geodésico al sistema de ejes de turbulencia geodésico se realiza en la etapa 32.

- 20 En la etapa 23 se averiguan ahora en las posiciones de medida determinadas en la etapa 32 en el sistema de ejes de turbulencia las velocidades del flujo en esas posiciones a partir del modelo de flujo. Para ello tiene la etapa 23 como entrada tanto las posiciones de medida transformadas en el sistema de ejes de turbulencia de la etapa 32 como los parámetros del modelo de flujo que se han inicializado en la etapa 22. En todos los puntos de medida se averigua ahora la correspondiente velocidad del flujo.

Si se averiguaron estas velocidades de flujo en los puntos de medida, entonces pueden servir estas velocidades de flujo como entrada para el control del avión, para controlar por ejemplo de la forma correspondiente la estela de turbulencia y aumentar así la seguridad y el confort al volar con una tal estela de turbulencia.

- 25 En el plano del sistema de turbulencia y, z, tal como se muestra por ejemplo en la figura 3, se calcula la distancia r de un punto respecto al núcleo del torbellino derecho (y_{ri} , z_{ri}) y/o del izquierdo (y_{le} , z_{le}) en cada posición de medida como sigue:

$$r_{ri} = \sqrt{(y_{ws} - y_{ri})^2 + (z_{ws} - z_{ri})^2}$$

$$r_{le} = \sqrt{(y_{ws} - y_{le})^2 + (z_{ws} - z_{le})^2}$$

- 30 siendo y_{ws} y z_{ws} la posición horizontal y vertical de las posiciones de medida, con lo que resulta para r_{ri} así como r_{le} por cada posición de medida la distancia respecto a los correspondientes núcleos de torbellino.

Para calcular ahora las velocidades en estas posiciones, se introducen estas distancias en el modelo de flujo de Burnham-Hallock, calculándose las velocidades como sigue:

$$V_i(r_{ri}) = \frac{\Gamma}{2\pi} \frac{r_{ri}}{r_c^2 + r_{ri}^2}$$

$$V_i(r_{le}) = \frac{\Gamma}{2\pi} \frac{r_{le}}{r_c^2 + r_{le}^2}$$

siendo r_c el radio del núcleo que está fijamente predeterminado con 4% de la envergadura de las alas y siendo r la energía del torbellino. Con la fórmula

$$V_y = V_i(r_{ri}) \left(\frac{z - z_{ri}}{r_{ri}} \right) - V_i(r_{le}) \left(\frac{z - z_{le}}{r_{le}} \right)$$

$$V_z = V_i(r_{ri}) \left(\frac{y - y_{ri}}{r_{ri}} \right) - V_i(r_{le}) \left(\frac{y - y_{le}}{r_{le}} \right)$$

5 se descomponen ahora las velocidades en este punto en su componente horizontal (V_y) y su componente vertical (V_z) en el sistema de ejes de turbulencia, colocándose el componente x del torbellino en el sistema de ejes de turbulencia en 0 ($V_x = 0$).

Así resulta en cada posición de medida que ha sido identificada ahora en el sistema de ejes de turbulencia la correspondiente velocidad a partir del modelo de flujo de la estela de turbulencia.

10 Para poder comparar de alguna forma las velocidades de flujo calculadas con las velocidades de flujo medidas, deben transformarse las velocidades de flujo calculadas, que existen ahora en sus componentes horizontal y vertical, de nuevo al sistema LoS de los sensores. Esto debe realizarse porque los sensores 2 averiguan las velocidades de flujo solamente en la dirección de medida y con ello exclusivamente pueden calcular una diferencia de velocidades de flujo (ΔV - LoS), ya que las distintas componentes de velocidad no pueden descomponerse. Por
15 ello se transforman a la inversa las velocidades de flujo calculadas, que existen aún en los correspondientes componentes horizontal y vertical, de retorno al sistema LoS, lo cual tiene lugar en la etapa 24. Esto se realiza con las siguientes fórmulas:

$$V_{x,geo} = V_x \cos \psi_{wake} - V_y \sin \psi_{wake}$$

$$V_{y,geo} = V_x \sin \psi_{wake} - V_y \cos \psi_{wake}$$

$$V_{z,geo} = V_z$$

20 existiendo ahora las velocidades en el sistema de coordenadas geodésico y transformándose al sistema LoS con la fórmula (sólo el componente x):

$$V_{x,LOS} = V_{x,geo} \cos \psi_{LIDAR} \cos \Theta_{LIDAR} + V_{y,geo} \cos \psi_{LIDAR} \sin \Theta_{LIDAR} - V_{z,geo} \sin \Theta_{LIDAR}$$

Esto se realiza en la etapa 25.

25 Una vez que se han convertido de nuevo las velocidades de flujo calculadas al sistema LoS de los sensores resultando con ello una ΔV -LoS calculada o simulada a partir del modelo de flujo, pueden compararse entre sí las velocidades de flujo medidas en la dirección de medida y las velocidades de flujo calculadas en la dirección de medida y averiguarse mediante ello por ejemplo diferencias. Esto se realiza en la etapa 26. Cuanto mayor es entonces la diferencia que se presenta, tanto con más inexactitud reproducen los parámetros del modelo de flujo el flujo o estela de turbulencia real. Por ello deben adaptarse los parámetros del modelo de flujo ahora en

función de esta comparación, lo cual puede realizarse por ejemplo con ayuda de la correspondiente función de optimización. Tales funciones de optimización son conocidas suficientemente por el estado de la técnica, por ejemplo minimizando la correspondiente función de calidad, que contiene como parámetro de entrada el resultado de la comparación de la etapa 26.

5 En dependencia de esta función de calidad, que se ha minimizado en la etapa 27, se adaptan ahora los parámetros del modelo de flujo y se repite el procedimiento en la etapa 22. La repetición del procedimiento puede realizarse entonces hasta que la diferencia que se determina en la etapa 26 no sobrepasa un valor de umbral de aproximación correspondiente, con lo que los parámetros del modelo de flujo se aproximan suficientemente al flujo real.

10 Al respecto se ha comprobado que por lo general no son necesarias más de diez etapas de aproximación para aproximarse suficientemente a una estela de turbulencia e identificarla con una gran precisión tal que estos datos pueden introducirse en el sistema de control de vuelo del avión.

15 La figura 3 muestra de nuevo a modo de ejemplo una tal estela de turbulencia en el sistema de ejes de turbulencia. En el plano de turbulencia y, z giran ambos núcleos de torbellino 41 y 42 en sentido contrario. Las velocidades que aquí se presentan están contenidas por lo general exclusivamente en este plano de turbulencias y, z. Las velocidades en profundidad, es decir, en la dirección x, son prácticamente inexistentes.

Cada uno de los núcleos de torbellino 41, 42 posee un punto central del torbellino 41a, 42a, alrededor del que giran ambos torbellinos. La distancia b_0 entre estos dos núcleos de torbellino 41a, 42a se supone que es de 3/4 de la envergadura de las alas del avión 43 que genera las turbulencias.

20 Las figuras 4a y 4b muestran de nuevo esquemáticamente el problema en la llamada medición LoS con ayuda de sensores Lidar, que emiten señales dirigidas para captar la velocidad. En la figura 4a se encuentra la estela de turbulencia 51 en ángulo recto respecto a la dirección de medida m_r . La velocidad V puede calcularse aquí exclusivamente en la dirección y mediante el sensor Lidar. Por el contrario, la componente z de la velocidad, así como la componente x, no pueden medirse.

25 La figura 4b muestra la misma estela de turbulencia 51, pero con la diferencia de que la dirección de medida m_r incide con un ángulo α sobre el flujo de la estela de turbulencia 51. La velocidad auténtica V y en la dirección y no puede medirse en este caso, sino solamente la llamada ΔV . Por la relación angular

$$V_y = \frac{\Delta V}{\sin \alpha}$$

puede no obstante deducirse la verdadera velocidad en la dirección y.

30 No obstante, para ello es importante que se conozca el ángulo α . Si sólo se conoce aproximadamente el ángulo α , entonces resultan velocidades de flujo diferentes que ya no son correctas en un 100 %.

35 La figura 5 muestra el resultado de una medición LoS, tal como se muestra en la zona izquierda, en la que en tres filas se han medido cinco posiciones de medida por cada fila. El diagrama derecho muestra en cada caso para cada fila en cada una de las cinco posiciones de medida en las que se realiza la medición el resultado de la medición de la velocidad del flujo a lo largo del tiempo. Al respecto se parte de un ángulo horizontal de entrada en pista de 20° y se supone una velocidad de 10 Hz. En 20 segundos resultan así 200 mediciones para cada punto de medida, que se representan en el gráfico. Se observa que para cada punto de medida resultan diferentes velocidades del flujo, pudiendo determinarse estas velocidades del flujo exclusivamente en la dirección de medida (ΔV -LoS).

40

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para determinar un flujo (51) en el que se miden velocidades de flujo (ΔV -LoS) en la dirección de medida (mr) mediante sensores (2) en al menos una posición de medida (4.1 a 4.15), con las etapas:
 - 5 a) inicialización de parámetros (22, 22a, 22b, 22c) de un modelo de flujo que reproduce el flujo (51),
 - b) cálculo de velocidades de flujo simuladas (23 a 25) en la dirección de medida (mr) en la posición de medida (4.1 a 4.15), de las que al menos hay una, en función del modelo de flujo que reproduce el flujo,
 - 10 c) comparación de las velocidades de flujo medidas (ΔV -LoS) con las velocidades de flujo simuladas (25) y adaptación de los parámetros (22, 22a, 22b, 22c) del modelo de flujo que reproduce el flujo minimizando una función de calidad (27) que depende del resultado de la comparación, y
 - d) repetición de las etapas b) y c) y determinación del flujo (51) en función del modelo aproximado de flujo.
2. Procedimiento según la reivindicación 1,

caracterizado por la medición de la velocidad del flujo (ΔV -LoS) dentro de un periodo de tiempo en instantes discretos y cálculo de las velocidades de flujo (25) simuladas en estos instantes.
- 15 3. Procedimiento según la reivindicación 1 ó 2,

caracterizado por la medición de las velocidades del flujo (ΔV -LoS) en varias posiciones de medida (4.1 a 4.15) y cálculo de las velocidades de flujo simuladas en cada una de las posiciones de medida (4.1 a 4.15).
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes,

caracterizado por una medición continua de las velocidades del flujo (ΔV -LoS) y realización de las etapas a) a d) en función de las velocidades del flujo (ΔV -LoS) medidas.
- 20 5. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes,

caracterizado por la repetición de las etapas b) y c) en la etapa d) hasta que la diferencia entre las velocidades del flujo medidas y simuladas queda por debajo de un valor de umbral de aproximación.
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes,

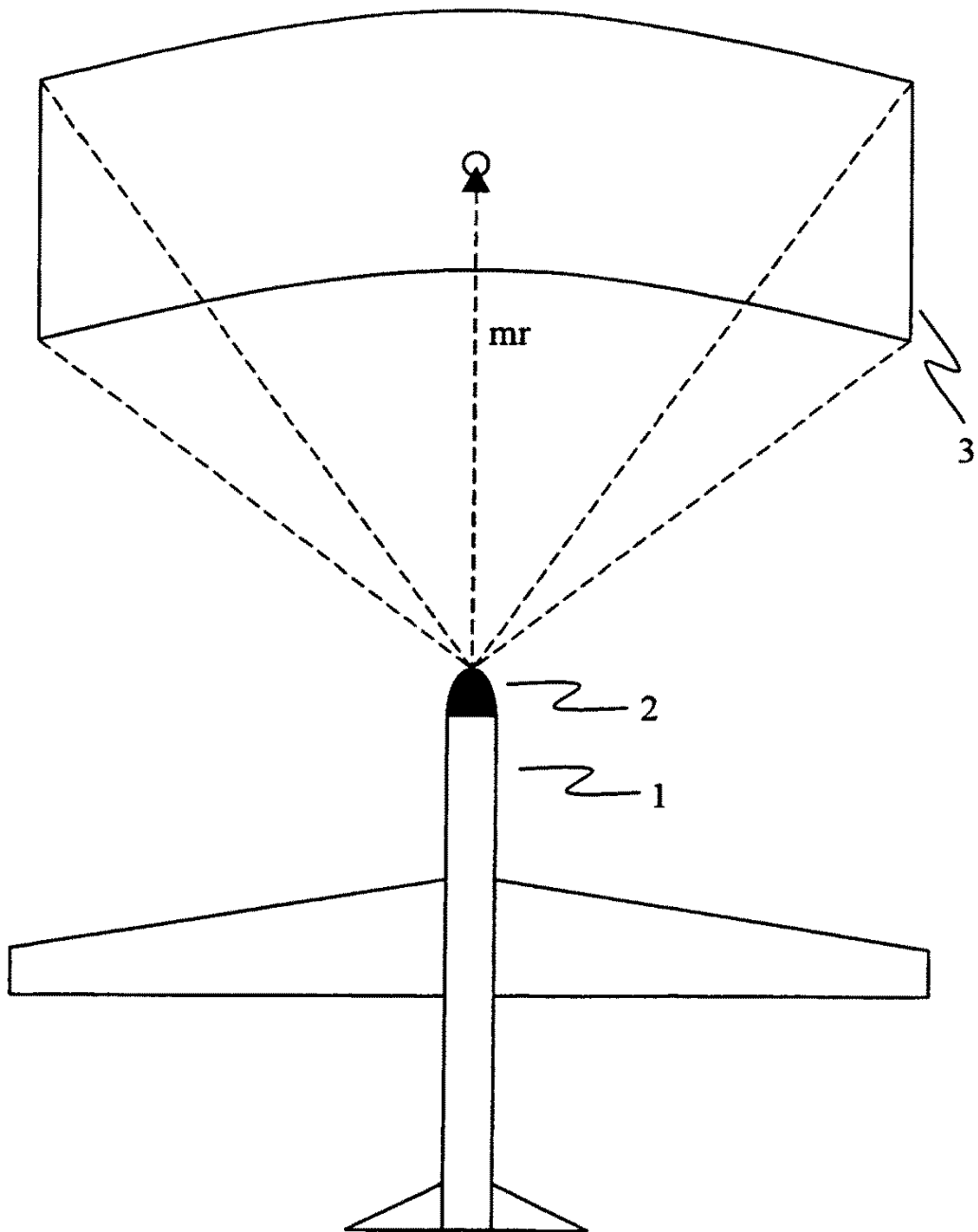
caracterizado por la inicialización de los parámetros (22a, 22b, 22c) del modelo de flujo en la etapa a) en función de un objeto (43) que genera el flujo.
- 25 7. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes,

caracterizado porque el flujo (51) es un flujo de estela de turbulencia generado por un objeto volante (43).
8. Procedimiento según la reivindicación 7,

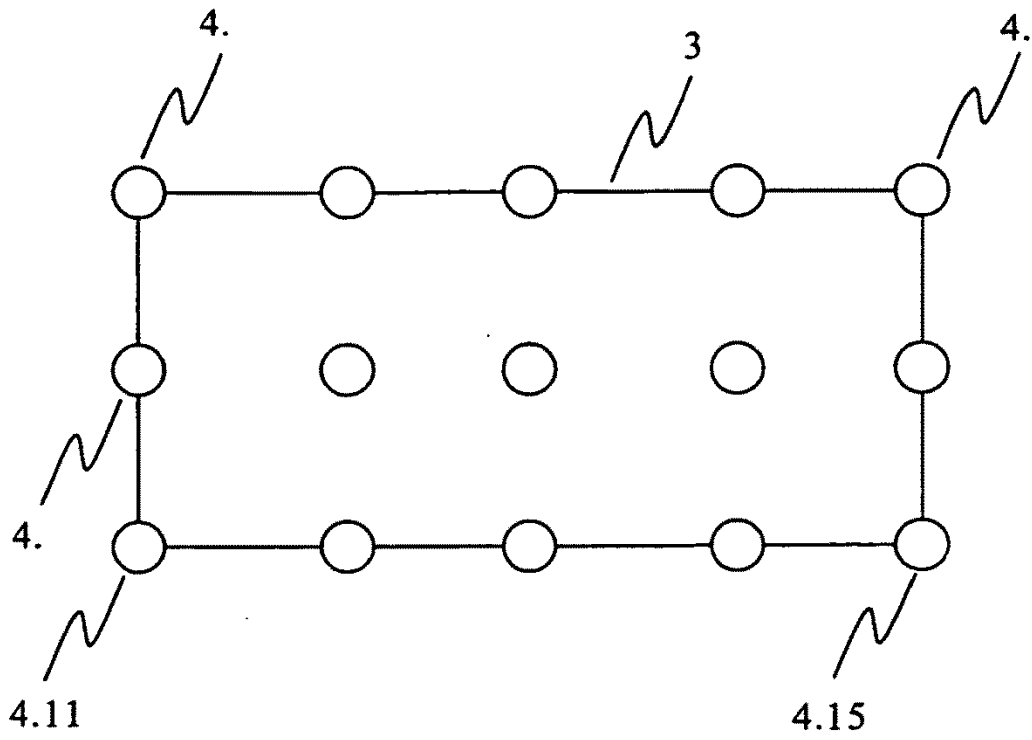
caracterizado porque el modelo de flujo es un modelo de turbulencia analítico, en particular un modelo de turbulencia analítico según Burnham-Hallock.
- 30 9. Procedimiento según la reivindicación 8,

caracterizado porque los parámetros (22a, 22b, 22c) del modelo de turbulencia son la orientación (22c), la posición (22a) y la intensidad (22b) de la estela de turbulencia.
- 35 10. Procedimiento según una de las reivindicaciones 7 a 9,

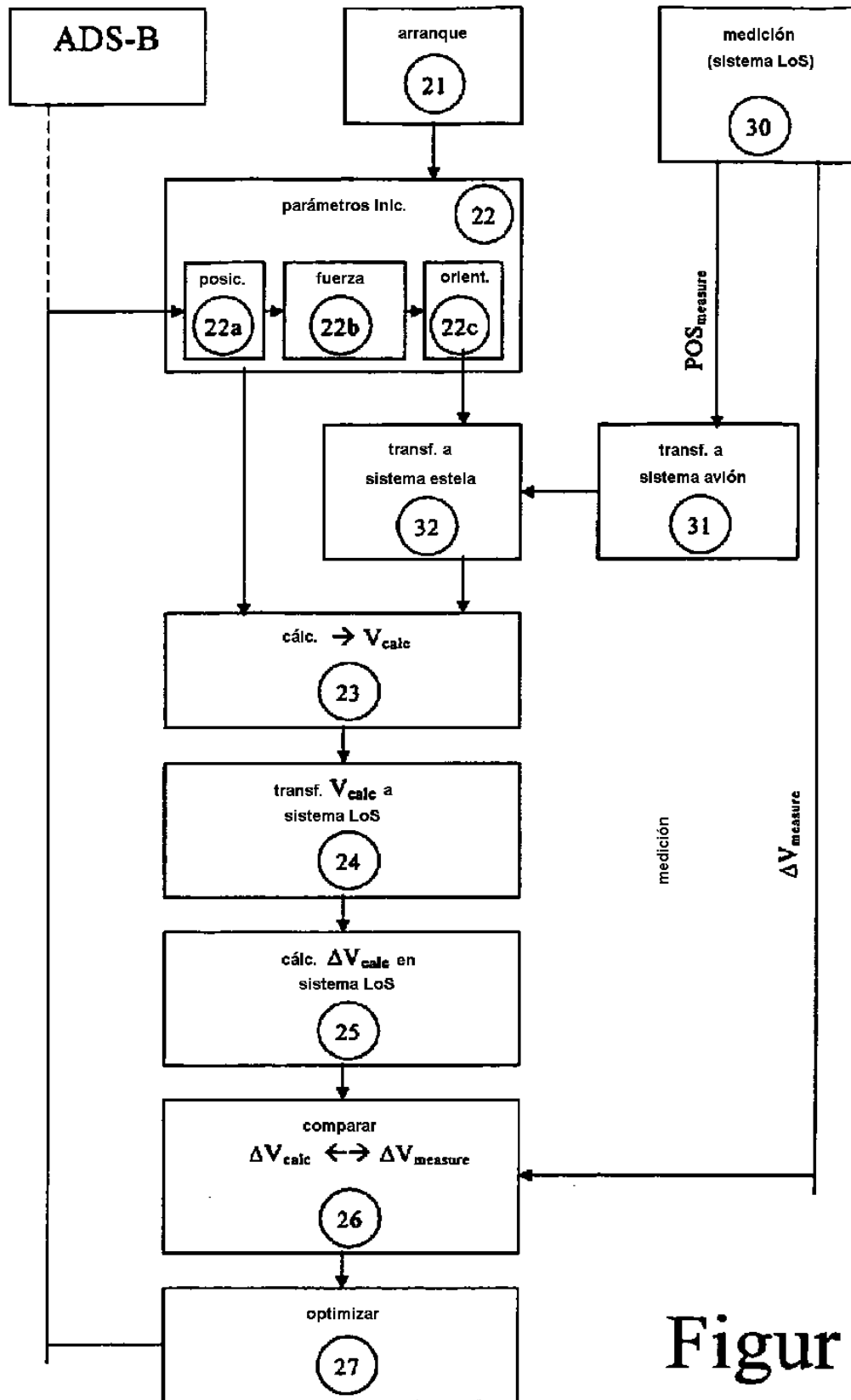
caracterizado por la inicialización (22) de los parámetros (22a, 22b, 22c) del modelo de turbulencia en la etapa a) en función de datos de vuelo transmitidos correspondientes al objeto volante (43) que genera la turbulencia.
11. Programa de ordenador con medios de código del programa, equipado para realizar el procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes cuando el programa de ordenador se ejecuta sobre una instalación de tratamiento de datos.
- 40 12. Equipo para determinar un flujo (51) con sensores (2) para medir velocidades de flujo (ΔV -LoS) en la dirección de medida (mr) y con una unidad de cálculo unida con los sensores (2), que está equipada para realizar el procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 10.



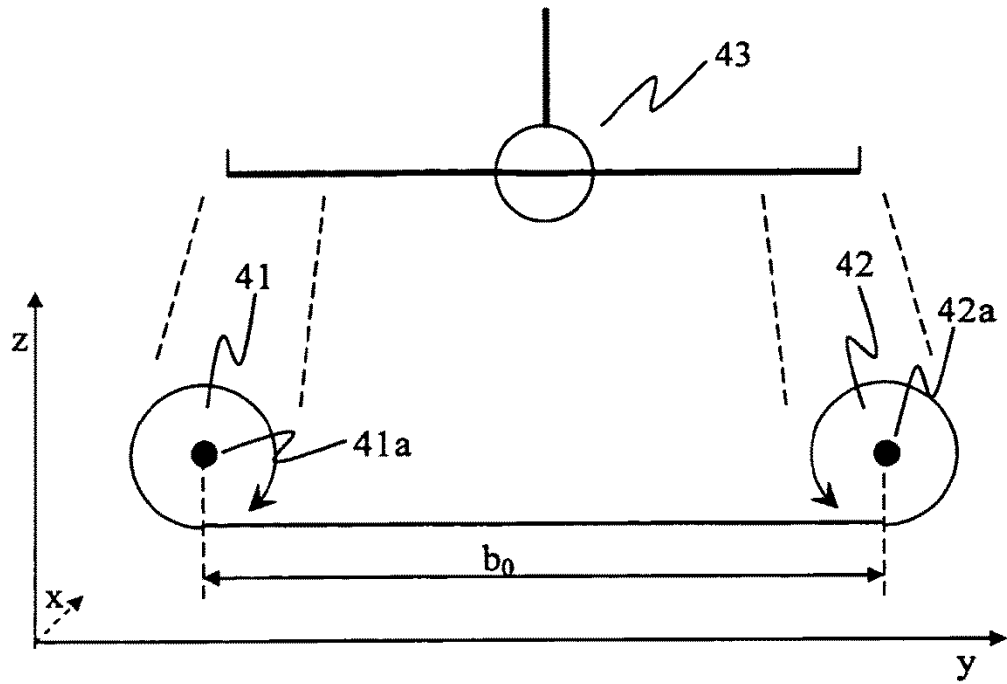
Figur 1a



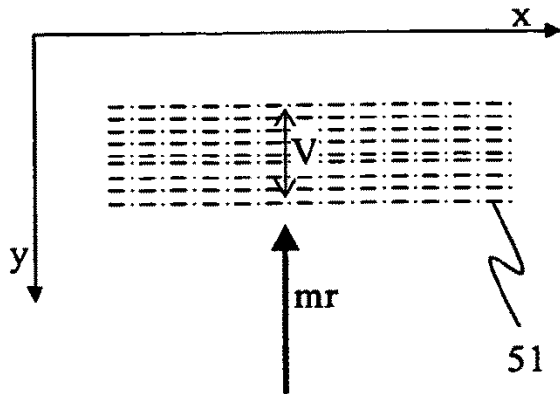
Figur 1b



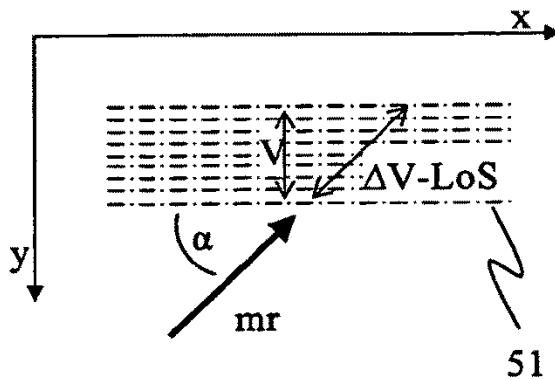
Figur 2



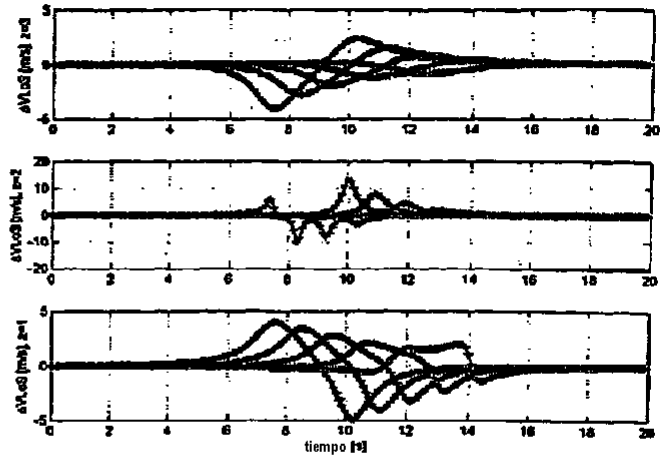
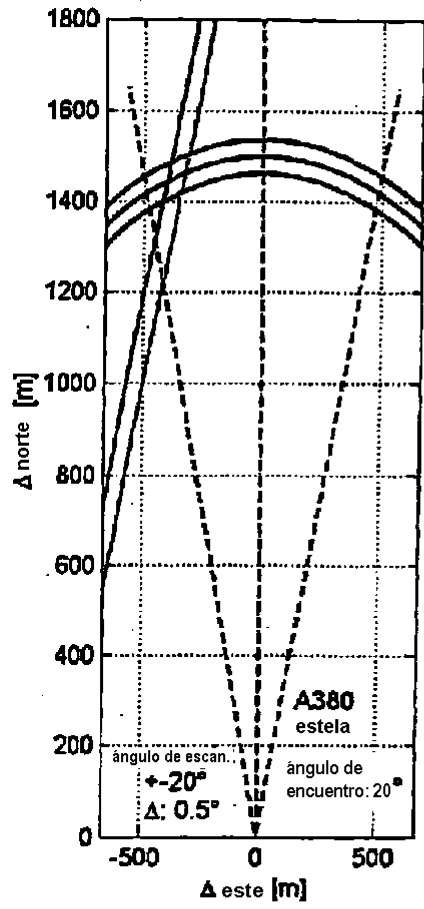
Figur 3



Figur 4a



Figur 4b



Figur 5