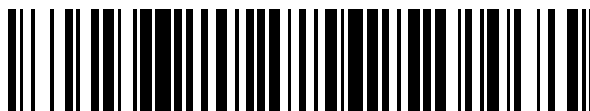


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 621 204**

51 Int. Cl.:

G01S 5/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.12.2003 PCT/FR2003/050176**

87 Fecha y número de publicación internacional: **08.07.2004 WO04057364**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.12.2003 E 03809988 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.02.2017 EP 1576387**

54 Título: **Procedimiento y sistema de navegación en tiempo real con la ayuda de señales radioeléctricas de tres portadoras emitidas por satélites y de correcciones ionosféricas**

30 Prioridad:
19.12.2002 FR 0216227

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
03.07.2017

73 Titular/es:
**ORGANISATION INTERGOUVERNEMENTALE
DITE AGENCE SPATIALE EUROPEENNE (100.0%)
8-10 RUE MARIO-NIKIS
75738 PARIS CEDEX 15, FR**

72 Inventor/es:
**HERNANDEZ-PAJARES, MANUEL;
JUAN-ZORNOZA, JOSÉ MIGUEL;
SANZ-SUBIRANA, JAUME y
GARCIA-RODRIGUEZ, ALBERTO**

74 Agente/Representante:
SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 621 204 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 y sistema de navegación en tiempo real con la ayuda de señales radioeléctricas de tres portadoras emitidas por satélites y de correcciones ionosféricas

5

La invención se refiere a un procedimiento y a un sistema de navegación en tiempo real con la ayuda de señales radioeléctricas de tres portadoras emitidas por satélites y de correcciones ionosféricas, más precisamente de correcciones obtenidas con la ayuda de un modelo ionosférico en tiempo real, actualizado continuamente, el modelo se basa en los datos de un sistema de navegación por satélite, implementado por ejemplo como un modelo de vóxeles de tres dimensiones.

10

Esta encuentra una aplicación particular, aunque no exhaustiva, en el campo de la navegación instantánea muy precisa, típicamente con una precisión inferior al decímetro como se mostrará a continuación, esto a distancias en el orden de las centenas de kilómetros o más.

15

Para fijar las ideas, se considerará lo siguiente en ese caso de la aplicación preferida de la invención, sin limitar su alcance.

20

Una de las técnicas actualmente usadas con frecuencia para obtener un posicionamiento preciso de un "objeto", fijo o móvil, y, en el último caso, de los datos relativos a su posición, su desplazamiento, la dirección de su desplazamiento, y/o su velocidad, es usar las señales radioeléctricas emitidas por los satélites artificiales que giran alrededor de la tierra. El término "objeto" debe comprenderse en su sentido más general, principalmente un vehículo terrestre, marítimo o aéreo. Para simplificar, se denominará "nómada" a dicho "objeto" más adelante.

25

Se conocen diversas técnicas para obtener el posicionamiento citado anteriormente. Estas se basan principalmente en el conocimiento de la posición instantánea de varios satélites en el espacio (o constelación de satélites, estos satélites pueden estar geoestacionarios o no) y en la velocidad de propagación de las ondas radioeléctricas. Los relojes muy precisos se cargan a bordo de los satélites y las señales emitidas comprenden las informaciones fechadas, lo que permite conocer igualmente de manera precisa el instante de emisión y de recepción. De este modo es posible determinar la distancia teórica que separa un satélite de un nómada en un instante dado del mismo, conociendo la velocidad de propagación de las ondas y el tiempo establecido para alcanzar el nómada. Si pueden observarse los satélites en un número suficiente, puede determinarse de este modo las coordenadas del nómada con respecto a un sistema de referencia, en dos dimensiones (longitud y latitud sobre el globo terrestre), ver en tres dimensiones (longitud, latitud y altura: vertical).

35

Sin embargo, como se mostrará, debido a la acumulación de errores en las mediciones por diversas causas, las distancias calculadas son solamente aproximadas y la determinación de la posición del nómada sufre una imprecisión más o menos importante, de acuerdo con las tecnologías implementadas.

40

Uno de los sistemas de navegación por satélite más conocido es el sistema denominado "GPS" de "Global Positioning System" o "Sistema de Posicionamiento Global".

45

Normalmente, los satélites "GPS" (o de un tipo similar) emiten en dos bandas de frecuencias, designadas generalmente L_1 (frecuencia de la portadora igual a 1,575 GHz) y L_2 (frecuencia de la portadora igual a 1,227 GHz), de donde se le aplica la calificación de "doble frecuencia" o "frecuencia dual".

45

El uso de estas dos frecuencias, de conformidad con ciertos procedimientos bien conocidos por el experto en la técnica, permiten mejorar la precisión de la determinación de la posición de un nómada con respecto a un sistema de referencia, pero necesita receptores "GPS" más complejos y más costosos.

50

Una determinación de la posición puede llevarse a cabo, de acuerdo con dos métodos principales: en tiempo real o en tiempo diferido, realizando lo que se denomina un "tratamiento posterior". En el primer caso, se habla igualmente de resolución de "tiempo de análisis único" de acuerdo con la terminología anglosajona usada más comúnmente (término que se usará a continuación) o de resolución instantánea, los cálculos se efectúan en una única "época" de observación. El segundo método ("tratamiento posterior") permite mejorar la precisión. Sin embargo, si para los nómadas que se desplazan lentamente (un buque por ejemplo), este último método no presenta inconvenientes principales, el mismo no es apropiado para los nómadas que se desplazan muy rápidamente (aeronaves por ejemplo).

55

Puede entonces mejorarse la precisión, mediante la combinación de las señales emitidas por los satélites con las señales que provienen de estaciones terrestres fijas de referencia, cuyas posiciones se conocen perfectamente. Sin embargo, es necesario, si el nómada recorre grandes distancias, que la red de tales estaciones sea relativamente densa, siempre en el caso donde es conveniente una gran precisión en la determinación de la posición del nómada, lo que aumenta correlativamente el costo del sistema global.

60

Además, entre las causas importantes de errores, la refracción diferencial ionosférica, si se consideran las distancias iguales de decenas de kilómetros o más, es uno de los problemas principales que afectan las capacidades de resolución instantánea de la ambigüedad de fase de la portadora, y en consecuencia la posibilidad de suministrar una navegación

65

cuya precisión está en el orden de los centímetros con los sistemas satélites de navegación mundial de doble frecuencia tales como el sistema "GPS" mencionado anteriormente. Esta característica permanecerá verdadera en lo que se refiere a los sistemas futuros que implementan tres frecuencias, como el sistema "GALILEO" y el sistema "GPS" modernizado.

5 En efecto, los sistemas de navegación por satélites de tres portadoras en curso de planificación ofrecen las ventajas potenciales de una tasa elevada de éxito de la resolución instantánea de la ambigüedad y de integridad en la misma, con una cantidad de cálculos geodésicos mínimos. Esto se debe principalmente al hecho de que se dispone simultáneamente de un número más importante de datos distintos (es decir asociados a las tres frecuencias mencionadas anteriormente), lo que mejora correlativamente las oportunidades de obtener una resolución de la ambigüedad instantánea ("tiempo de análisis único").

10 Pero, nuevamente, esta resolución puede afectarse seriamente por la refracción ionosférica, como se detalla a continuación.

15 Para lograr las precisiones elevadas en la determinación instantánea de la posición de un nómada, principalmente de un nómada que se desplaza por grandes distancias, se nota por tanto el deseo continuo de implementar las técnicas que permiten, principalmente, reducir la influencia nefasta de la refracción ionosférica.

20 En el estado de la técnica, se proponen los procedimientos que aspiran a responder a este deseo.

Puede citarse principalmente el procedimiento, denominado "TCAR", de "resolución de la ambigüedad de tres portadoras". Este procedimiento se describe en el artículo titulado: "ANALYSIS OF THREE-CARRIER AMBIGUITY RESOLUTION (TCAR) TECHNIQUE FOR PRECISE RELATIVE POSITIONNING IN GNSS-2", de U. VOLLATH y otros, publicado en "Proceedings of the ION-GPS", 1998, IX-O-13, páginas 1-6.

25 Puede igualmente citarse el procedimiento, denominado "CIR", de "resolución de números enteros en cascada". Este procedimiento se describe en el artículo de Jaewo JUNG y otros, titulado "Optimization of Cascade Integer Resolution with three Civil GPS Frequencies", publicado en "Proceedings of the ION-GPS" 2000.

30 Estas dos técnicas comparten una aproximación de base similar: las ambigüedades de doble diferencia de números enteros se resuelven sucesivamente mediante el cálculo de batidos de las frecuencias de ondas. Este cálculo se efectúa partiendo del batido de la longitud de onda más elevada a la más corta, que incluye las combinaciones de fases de portadora de caminos "extralargo" y "largo" (con las longitudes de onda de 7,480 m y de 0,862 m, respectivamente), y una primera portadora a la "frecuencia L_1 " (con una longitud de onda de 0,190 m).

35 En particular, el procedimiento "TCAR" constituye una aproximación simple que intenta resolver instantáneamente ("tiempo de análisis único") el conjunto completo de ambigüedades. Pero los rendimientos de "TCAR" se afectan fuertemente por la decorrelación ionosférica de refracción que se produce con la distancia. En efecto, como se detalla a continuación, el retardo de la ionósfera es un problema cuando (como además en el caso de los sistemas de dos frecuencias) el valor de su doble diferencial es superior a 0,26 TECU (lo que corresponde a 4 cm de retardo para L_1).

40 "TECU" es una unidad usada para describir ciertas características eléctricas de la ionosfera. En efecto, la ionosfera puede describirse con la ayuda de un mapa que representa una cuenta del número total de electrones, o "TEC" (para un "Contenido Total de Electrones"). El mapa representa la integración del número de electrones que siguen una dirección vertical como una función de la latitud y de la longitud. La unidad de "TEC" se denomina "TECU" (para "Unidades TEC"), con 1 TECU = 10^{16} electrones contenidos en un cilindro alineado sobre la línea de observación de un satélite observado, cuya sección es de 1 m². Las partículas cargadas de la ionosfera se generan por el sol, cuya intensidad de los rayos varía naturalmente en función de la hora considerada. Dado que la tierra gira alrededor de su eje, bajo la capa ionosférica, el mapa "TEC" se considera habitualmente como representando una referencia fija con respecto al sol, pero que cambia en función de la hora.

45 El umbral mencionado a continuación puede superarse fácilmente como es posible notarlo al consultar los mapas ionosféricos ("TEC") de retardos verticales calculados a partir de los datos "GPS". Tales mapas se editan, a modo de ejemplo por el "Jet Propulsion Laboratory", la universidad de Berna, etc., y se publican en Internet por la "University Corporation for Atmospheric Research" y otros organismos similares.

50 En consecuencia, con vistas a mejorar incluso el procedimiento "TCAR", se ha desarrollado una aproximación integrada denominada "ITCAR" (para "TCAR Integrado"). Esta técnica se describe, por ejemplo, en el artículo de VOLLAT y otros mencionados previamente.

60 Esta técnica recurre a los algoritmos de búsqueda y a un filtro de navegación en los cuales las ambigüedades forman parte de las señales de salida y los errores residuales ionosféricos se estiman completamente. Para una descripción más detallada de las técnicas implementadas, se consultará beneficiosamente este artículo.

65 Sin embargo, aunque aporte una mejora significativa, la técnica "ITCAR" permanece no obstante afectada por la falta de conocimiento de la doble diferencia de la refracción ionosférica, limitando de este modo la tasa de éxito de la resolución

de ambigüedad para las distancias superiores a algunas decenas de kilómetros, como se describe en el artículo de VOLLATH y otros, titulado: "Ambiguity Resolution using Three Carriers - Performance Analysing using "Real" Data", publicado en "GNSS Symposium", Sevilla, mayo de 2001.

5 Se ha propuesto igualmente, siempre con el fin de mejorar la precisión de la determinación de la posición de un nómada con respecto a un sistema de referencia, combinar un modelo ionosférico en tiempo real de la ionosfera, obtenido a partir de los datos de dos frecuencias ("frecuencia dual") generados por una red de estaciones fijas, con los datos de un programa geodésico, y usar tales datos para realizar las correcciones ionosféricas. Este procedimiento se ha usado con un cierto éxito para solucionar las ambigüedades en tiempo real en los sistemas de dos frecuencias del tipo "GPS".

10 Un procedimiento de este tipo, denominado "WARTK" (por "Wide Area Real-Time Kinematics" o cinemática en tiempo real sobre grandes extensiones), se describe por ejemplo en el artículo Hernández-Pajares y otros, titulado "Tomographic modeling of GNSS ionospheric corrections: Assesment and real-time applications", publicado en "ION GPS", 19-22 de septiembre de 2000, páginas 616-625. Este procedimiento permite, efectivamente, atenuar los efectos nefastos de las perturbaciones experimentadas por las ondas radioeléctricas que se propagan en la ionosfera y, en consecuencia, mejorar de manera bastante significativa la tasa de éxito de la resolución de la ambigüedad de fase y la precisión de la determinación de la posición de un nómada con respecto a un sistema de referencia, pero este necesita una cantidad de cálculos importante para establecer el modelo mencionado anteriormente en tiempo real y determinar, igualmente en tiempo real, las correcciones ionosféricas que se aportan en las mediciones de distancias.

20 La invención apunta a solucionar los inconvenientes de los procedimientos y sistemas de la técnica conocidos, algunos de los cuales se han mencionado.

25 La invención se propone como objetivo un procedimiento de navegación en tiempo real, muy preciso (determinación de la posición de un nómada típicamente mejor que el decímetro) con la ayuda de señales radioeléctricas de tres portadoras emitidas por los satélites y de correcciones ionosféricas obtenidas a partir de los datos de un modelo de descripción ionosférica de una región atravesada por el rayo radioeléctrico, combinado con los datos geodésicos.

30 Para ello, de acuerdo con una primera característica importante de la invención, se usa un procedimiento simple de resolución instantánea ("tiempo de análisis único") de ambigüedades de fases de tres portadoras emitidas por los satélites, del tipo "TCAR" mencionado anteriormente. Se generan las correcciones ionosféricas precisas en tiempo real, basadas en un modelo de descripción ionosférico, por las estaciones fijas de referencia. Estas correcciones ionosféricas se transmiten a los usuarios que las incorporan a "TCAR".

35 La invención presenta ventajas importantes.

Las disposiciones, propias de la invención, permiten obtener mejores rendimientos que el procedimiento "ITCAR" en grandes distancias, a una posición muy alejada de la estación de referencia más próxima. El procedimiento de acuerdo con la invención permite típicamente la resolución instantánea de más de 90 % de las ambigüedades a más de 100 kilómetros de esta estación y prácticamente de 100 % para un alejamiento de 60 km, esto en un escenario de funcionamiento poco favorable: valores ionosféricos bajos y condiciones de insolación máxima. Los procedimientos de la técnica conocida que implementan tres frecuencias permiten solamente, en las condiciones comparables, una tasa de éxito típicamente en el orden de 60 %.

45 Se concibe fácilmente que esta última característica es muy interesante, ya que esta no necesita la colocación de una red de estaciones terrestres fijas de referencia muy densa (estaciones alejadas unas con respecto a las otras en el orden de la centena de kilómetros). En consecuencia se obtiene una ganancia global importante: en el caso de Europa, por ejemplo, para cubrir este continente, es posible economizar 99 % de las estaciones de referencia con respecto a una red cuyas estaciones de referencia se alejan solamente una distancia en el orden de una decena de kilómetros unas con respecto a las otras, conservando una misma precisión en la determinación de la posición de un nómada que la obtenida por los procedimientos de la técnica conocidos. Es en efecto esta densidad de implementación la que se necesitará para obtener una precisión de navegación mejor que el decímetro, prevista por el procedimiento de la invención, en su aplicación preferida. Finalmente, la red de estaciones terrestres fijas de referencia necesaria para el procedimiento de la invención es bastante similar a la red implementada por el sistema europeo de navegación por satélites conocido por la abreviación "EGNOS GNSS" (para "European Geostationary Navigation Overlay System - Global Navigation Satellite Systems"). Este sistema se basa en una constelación de satélites "IMMERSAT III", lo que permite pensar que existe una compatibilidad importante con las instalaciones ya existentes o en trámites de implementación.

60 Además, el procedimiento de acuerdo con la invención permanece completamente simple, como el procedimiento "TCAR". En particular, este exige solamente una pequeña cantidad de cálculos para el usuario (receptor del nómada), en comparación con "ITCAR" e igualmente con "WARTK", con los procedimientos desarrollados para los sistemas de posicionamiento de dos frecuencias, como se menciona a continuación.

65 Por otra parte, el modelo de descripción ionosférica en tiempo real de la región atravesada por el rayo radioeléctrico emitido por los satélites observados usa solamente los datos de fase de la portadora, estos datos se combinan con las

estimaciones geodésicas calculadas en un centro único, lo que puede ser una de las estaciones, denominada "principal", de la red de estaciones de referencia.

La invención tiene por lo tanto como objetivo principal un procedimiento de navegación en tiempo real con la ayuda de señales radioeléctricas de tres portadoras de primera, segunda y tercera frecuencias distintas, de valores crecientes que van de dicha primera a dicha tercera frecuencia, para determinar la posición de un usuario, dicho nómada, dichas señales radioeléctricas emitidas por un número determinado de emisores en los satélites que giran alrededor del globo terrestre y hacia dicho nómada, dichas señales se reciben por un receptor asociado a dicho nómada y un receptor asociado al menos a una estación terrestre entre una pluralidad de estaciones terrestres fijas, denominadas de referencia, dichas señales radioeléctricas atraviesan una capa de la atmósfera denominada ionosférica que rodea dicho globo terrestre y soportan las perturbaciones que experimentan las ambigüedades de fases de dichas portadoras, caracterizado porque comprende al menos las etapas siguientes:

- una primera etapa que consiste en la determinación, en dicho nómada, de la ambigüedad de diferencia de fases entre dichas tercera y segunda portadoras, denominadas de "camino extralargo", a partir de una combinación de pseudodistancias que usan un valor de código único;
- una segunda etapa que consiste en la estimación, en dicho nómada, de la ambigüedad de diferencia de fases entre dichas primera y segunda portadoras, denominada de "camino largo", a partir de dicha ambigüedad de "camino extralargo" determinada durante dicha primera etapa;
- una tercera etapa que consiste, en dicho nómada, en la resolución de la ambigüedad de una de dichas frecuencias, a partir de dicha ambigüedad de "camino largo" estimada durante dicha segunda etapa; y una etapa adicional de aplicación de correcciones ionosféricas en tiempo real durante dicha tercera etapa, dichas correcciones ionosféricas se basan en un modelo ionosférico en tiempo real de dicha capa continuamente actualizado.

La invención tiene incluso como objetivo un sistema de navegación por satélite que implementa tal procedimiento.

La invención se describirá ahora de manera más detallada al referirse a los dibujos anexos, entre los cuales:

- la Figura 1A ilustra esquemáticamente un corte parcial del globo terrestre, de la capa ionosférica que lo rodea, recortada en vóxeles, así como haces radioeléctricos generados por los emisores "GPS" de tres satélites de comunicación y tres estaciones terrestres que reciben tales señales;
- la Figura 1B ilustra, de manera esquemática, la arquitectura de un sistema de navegación completo, para implementar el procedimiento de la invención, visto del lado de un receptor "GPS" de un nómada;
- la Figura 2 representa esquemáticamente la línea base y las posiciones de una estación terrestre de referencia y de un nómada, con respecto a los ejes de coordenadas;
- la Figura 3 es una ampliación (zoom) de la Figura 2 que muestra la trayectoria del nómada, con respecto a los mismos ejes de coordenadas;
- la Figura 4 es un gráfico que ilustra los ejemplos de retardos estimados de un modelo ionosférico en tiempo real de acuerdo con la invención comparados con los retardos ionosféricos reales;
- la Figura 5 es un gráfico que ilustra los ejemplos de doble diferencia del "Contenido Total de Electrones Oblicuos" ("STEC"), estimados en tiempo real con un modelo de descripción de la ionosfera, comparado con los valores verdaderos;
- la Figura 6 es un gráfico que ilustra los ejemplos de errores en la determinación del modelo ionosférico en tiempo real de la doble diferencia de "STEC" comparado con dos umbrales ionosféricos
- las Figuras 7A a 7D son gráficos que ilustran los ejemplos de errores (en metros) estimados en diferentes componentes de navegación;
- las Figuras 8A a 8D son gráficos que ilustran los ejemplos de errores (en metros) reales en los mismos componentes de navegación;
- la Figura 9 es un gráfico que ilustra un ejemplo del porcentaje de éxito sobre la determinación instantánea de una doble diferencia ionosférica suficiente para resolver todas las ambigüedades (con un "TECU" mejor que 0,26) para las correcciones de tiempo de latencia en una gama de 1 a 30 segundos; y
- la Figura 10 es un gráfico que ilustra un ejemplo del porcentaje de éxito sobre la determinación instantánea de una doble diferencia ionosférica para las correcciones del tiempo de latencia que va hasta 900 segundos.

A continuación, sin limitar lo que se considera el alcance, nos situaremos en el marco de la aplicación preferida de la invención, a menos que se indique lo contrario, es decir en el caso de un procedimiento de navegación por satélite muy preciso, de ondas radioeléctricas de tres portadoras de frecuencias distintas emitidas por tales satélites y las correcciones en tiempo real obtenidas de un modelo en tiempo real de descripción ionosférica de una región explorada por el rayo de radiofrecuencia de los satélites.

Se detallarán ahora las principales etapas del procedimiento de acuerdo con la invención, al hacer referencia a los mismos para ilustrarlos con los valores numéricos típicos. Este comprende tres etapas bases, que se asemejan a las del procedimiento "TCAR" mencionado anteriormente y se detallarán a continuación:

Etapa 1:

Para resolver la ambigüedad de "camino" denominado "extralargo" (o "extraancho", de acuerdo con la terminología anglosajona: típicamente con una longitud de onda de 7,5 metros sobre un conjunto de datos de un ejemplo de una experiencia dada), se añade una combinación de códigos denominados de "pseudolongitudes".

Entre las causas de errores, se puede citar el fenómeno conocido como "trayectos múltiples". Aunque los trayectos múltiples de pseudolongitudes puedan disminuir la tasa de éxito, este error es en general de pequeña amplitud en comparación con la longitud de onda grande del "camino extralargo", y es habitualmente posible superar este problema.

En efecto, la primera etapa típica de la aproximación "TCAR" (ver por ejemplo el artículo mencionado anteriormente de VOLLATH y otros, de 1998) es estimar la doble diferencia de ambigüedad (entre los pares de receptores y de satélites), que se denominarán a continuación $\nabla\Delta N_{ew}$, de la doble diferencia de fases de la portadora de camino "extralargo", que se denominará a continuación $\nabla\Delta L_{ew}$ (L_{ew} siendo la longitud de onda de la portadora de camino "extralargo") mediante el uso de una combinación de "pseudodistancias" (o códigos) P_{ew} que comparten el mismo valor y signo de la dependencia ionosférica que las combinaciones de fase. Esto es posible teniendo en cuenta la longitud de onda grande resultante de la combinación de "camino extralargo". Los valores de L_{ew} y P_{ew} pueden determinarse por las relaciones siguientes:

$$L_{ew} = \lambda_{ew} (\phi_3 - \phi_1) = \frac{f_3 L_3 - f_1 L_1}{f_3 - f_1} = \rho^* + \lambda_{ew} b_{ew} + \alpha_{ew} I + m_{ew} + \varepsilon_{ew} + \dots \quad (1)$$

$$P_{ew} = \frac{f_3 P_3 + f_1 P_1}{f_3 + f_1} = \rho^* + \alpha_{ew} I + M_{ew} + E_{ew} + \dots \quad (2);$$

relaciones en las cuales L_x es la observación de fase de portadora (en unidades de longitud) a la frecuencia f_x y a la longitud de onda λ_x . Los valores de X se muestran en la TABLA I anexada al final de la presente descripción, donde se entiende que las cifras 1 a 3 se asocian a las tres frecuencias del ejemplo descrito. En la TABLA I se agrupa un cierto número de datos asociados: frecuencias, longitudes de onda, errores de dependencia ionosférica, trayectos múltiples máximos, y observaciones diversas, útiles para una buena comprensión del procedimiento de acuerdo con la invención. Tales datos se asocian a las tres bandas de frecuencia, L_1 a L_3 , respectivamente, y a las fases de portadoras de caminos "extralargo" y largo" (L_{ew} y L_w), respectivamente. P_x es la observación correspondiente de "pseudodistancia". Los errores de trayectos múltiples y de observación para las fases de portadoras y de "pseudodistancias" se denominan m_x , M_x , ε_x , E_x , respectivamente (los valores máximos de los trayectos múltiples y los errores de medición típicos se muestran igualmente en la tabla I). La ambigüedad de fase de portadora no diferenciada $\lambda_x b_x$, que contiene los retardos instrumentales y, después de una doble diferenciación, se convierte en un valor entero de multiplicación de la longitud de onda, $\lambda_x \nabla\Delta N_x$. El retardo ionosférico $\alpha_x I$ es proporcional al "Contenido Total de Electrones Oblicuos" o "STEC", la integración de la densidad de electrones libres a lo largo del haz emitido por un satélite medido habitualmente en unidades TECU, como se ha mencionado. En las relaciones (1) y (2), ρ^* representa un término que no depende de la frecuencia (distancia, errores de reloj, refracción troposférica, etc.).

A partir de la relación (2), en la cual no se representan explícitamente los términos adicionales menores, tales como el arrollamiento de fase de portadora, es posible estimar la doble diferencia de la ambigüedad de camino "extralargo", que se denominará a continuación $\nabla\Delta N_{ew}$, sobre una sola "época" de observación, sustrayendo el código correspondiente, como se describe en la relación a continuación:

$$\nabla\Delta \hat{N}_{ew} = \frac{1}{\lambda_{ew}} \nabla\Delta (L_{ew} - P_{ew}) = \nabla\Delta N_{ew} - \frac{1}{\lambda_{ew}} (\nabla\Delta M_{ew} + \nabla\Delta E_{ew}) + \dots \quad (3) ;$$

Cuando no existen trayectos múltiples importantes que afectan los receptores (usualmente inferiores a 3,7 metros), el límite de error de una evaluación tal es inferior a 0,5 ciclos (como lo muestran los valores proporcionados en la TABLA I), lo que permite fijar instantáneamente la ambigüedad de un valor de número entero exacto.

Etapa 2:

La ambigüedad de combinación de "camino largo" se estima a partir de la fase de portadora no ambigua de "camino extralargo", obtenida durante la primera etapa. La diferencia entre estas está constituida la mayor parte del tiempo por la ambigüedad de "camino extralargo", y la refracción ionosférica diferencial (alrededor de 0,06 ciclos/TECU con las frecuencias de trabajo del presente ejemplo). Los términos no dispersivos se suprimen. Los problemas principales son en este caso el error de medición y los trayectos múltiples de las señales de fase de portadora. Aunque los valores típicos de la refracción ionosférica diferencial en las latitudes medias y de las líneas de base por debajo de 100 kilómetros, que sean sólo de algunos TECU, el uso de la corrección ionosférica puede aumentar de manera significativa el porcentaje de éxito sobre las distancias más importantes, y en los escenarios ionosféricos más difíciles.

Los detalles principales de esta etapa se explicarán a continuación.

Una vez que las primeras ambigüedades de "longitud de onda grande" $\nabla\Delta N_{ew}$ se resuelven mediante el uso de las "pseudodistancias" correspondientes, una segunda ambigüedad tal como la combinación de "camino largo" L_w expresada mediante la relación siguiente:

$$L_w = \lambda_w(\phi_1 - \phi_2) = \frac{f_1 L_1 - f_2 L_2}{f_1 - f_2} = \rho^* + \lambda_w b_w + \alpha_w I + m_w + \varepsilon_w + \dots \quad (4);$$

(relación en la cual ϕ_1 y ϕ_2 son las fases de frecuencias L_1 y L_2 .) puede estimarse a partir de $\nabla\Delta N_{ew}$ y de la diferencia correspondiente de las fases de portadora (ver los valores constantes correspondientes en la TABLA I), de conformidad con la relación:

$$\nabla\Delta\hat{N}_w = \frac{\nabla\Delta L_w - \nabla\Delta L_{ew} + \lambda_{ew} \nabla\Delta N_{ew}}{\lambda_w} = \nabla\Delta N_w - \frac{1}{\lambda_w} \nabla\Delta(\varepsilon_{ew} + m_{ew} - m_w) + \frac{1}{\lambda_w} (\alpha_w - \alpha_{ew}) \nabla\Delta I \quad (5);$$

En efecto, en la presencia de los trayectos múltiples moderados, la expresión del error correspondiente de la relación (5), que incluye igualmente el error de observación, es habitualmente inferior a 0,3 metros, es decir inferior a 0,4 ciclos. La expresión del error subsistente de la resolución de ambigüedad corresponde a la refracción ionosférica a un valor de 0,0580 ciclos/TECU para las frecuencias del ejemplo (ver TABLA I). Este término puede degradar la tasa de éxito, pero no es un término crítico para las latitudes medias y para las distancias inferiores a algunas centenas de kilómetros, para las cuales la doble diferencia de valores de "STEC", que se denominará a continuación, $\nabla\Delta I$, son en general inferiores a 10 TECU. Un ejemplo se detallará a continuación como referencia al diagrama de la Figura 5.

Es en un contexto tal que el uso de un modelo ionosférico en tiempo real aumenta las condiciones de éxito de la resolución de ambigüedad de "camino extralargo", en las latitudes bajas y para los escenarios de líneas más largas.

Etapa 3:

La ambigüedad de fase de L_1 se deriva de la diferencia entre L_1 y el "camino largo" no ambiguo obtenido anteriormente. Durante esta etapa, el problema principal es la refracción diferencial ionosférica correspondiente (alrededor de 1,9 ciclos/TECU), que puede producir errores de varios ciclos en las latitudes medias.

Durante la tercera etapa, se implementa una aproximación semejante a la segunda etapa, pero mediante el uso de las diferencias de fase de portadora entre las longitudes de onda corta y media, en lugar de las longitudes de onda media y larga, como resulta de la relación siguiente (6):

$$\nabla\Delta\hat{N}_1 = \frac{1}{\lambda_1} \nabla\Delta(L_1 - L_w + \lambda_w N_w) = \nabla\Delta N_1 - \frac{1}{\lambda_1} \nabla\Delta(\varepsilon_w + m_w - m_1) + \frac{1}{\lambda_1} (\alpha_1 - \alpha_w) \nabla\Delta I + \dots;$$

relación en la cual α_1 y α_w (de manera general α_x) son coeficientes ionosféricos definidos en la TABLA I, en el ejemplo descrito.

Durante la tercera etapa, la combinación del error de medición de fase de portadora y de un trayecto múltiple moderado introduce incluso un error típico inferior a 0,2 ciclos (ver la TABLA I). Sin embargo, el problema crítico en este caso es la refracción ionosférica que puede introducir los errores superiores a 0,5 ciclos (-1,9475 ciclos/TECU) igualmente para las líneas de base cortas.

Esta limitación fundamental puede superarse mediante el cálculo de las correcciones ionosféricas en tiempo real mayores que 0,26 TECU (es decir (0,5 ciclos \times 1 TECU) / 1,9475) para asegurar una evaluación correcta de la ambigüedad de número entero. Estas correcciones se introducen durante la etapa 4, que se describirá a continuación.

Etapa 4:

Para resolver el problema que aparece en la tercera etapa (es decir para determinar las ambigüedades de longitud de onda más cortas), se determina un modelo en tiempo real para estimar la refracción diferencial ionosférica. Este modelo se calcula a partir de los datos de las portadoras, de doble frecuencia, a lugares fijos de una red, de estaciones de referencia. Se asume que así, se realiza una descripción de la región ionosférica atravesada por el rayo de ondas

radioeléctricas emitido por los satélites. Los datos de este modelo se combinan de manera conocida con los datos resultantes de un cálculo geodésico simultáneo, este último puede efectuarse ventajosamente por una de las estaciones terrestres fijas de la red, denominada principal. La ventaja principal de esta técnica es que esta permite estimar la refracción diferencial con un error típicamente inferior a 0,25 TECU, a las distancias de centenas de kilómetros del sitio de referencia más próximo y en las condiciones ionosféricas variadas. Esta precisión implica errores típicos por debajo de 0,5 ciclos en la fijación instantánea de la ambigüedad L_1 para las distancias medias y grandes.

La distribución ionosférica de electrones libres puede determinarse de manera aproximada por una matriz de unidades de resolución de volúmenes, o "vóxeles", en la cual se asume que la densidad de los electrones es constante en un instante dado en un sistema "Inercial Centrado Terrestre" ("Earth Centred Inertial" o "ECI" de acuerdo con la abreviación anglosajona usada a menudo).

Una disposición típica de este tipo se describe en la Figura 1A. Esta Figura 1A ilustra esquemáticamente una franja meridiana de vóxeles Vox_{ijk} (i, j, k que son los índices de coordenadas, para la longitud, la latitud y la altura solar, respectivamente), en los cuales la distribución ionosférica de la densidad de electrones se descompone de acuerdo con la relación (7), de manera que se determinan los datos de un modelo ionosférico en tiempo real.

En esta Figura 1A, se representa el globo terrestre, GT , en un corte parcial, rodeado por la capa ionosférica C_{ION} , capa que se ha subdividido arbitrariamente en dos capas intermedias, C_{i1} y C_{i2} , respectivamente. La altura base de la capa C_{i1} es 60 Km, en el ejemplo descrito, y su altura elevada es 740 Km. La altura base de la capa C_{i2} es 740 Km y su altura elevada es 1420 km. Las superficies angulares de los vóxeles Vox_{ijk} son de 5×2 grados cada una.

Para fijar las ideas, se han representado los satélites, SAT_1 a SAT_n (se han representado tres en las Figuras) en los cuales se cargan los emisores "GPS", GPS_{E1} a GPS_{En} , respectivamente. Estos satélites, SAT_1 a SAT_n , son para todas o parte de las estaciones terrestres, por ejemplo las tres estaciones terrestres fijas de referencia, ST_1 a ST_M , representadas en la Figura 1A, que comprenden los receptores "GPS", GPS_{R1} a GPS_{Rn} y los medios de cálculos integrados (no se representan).

En la Figura 1B, se ha representado, de manera esquemática, la arquitectura de un sistema de navegación completo, de conformidad con la invención, visto del lado del nómada SUR.

Este sistema necesita un equipamiento, interfaces y recursos físicos, similares a los de ciertos sistemas desarrollados actualmente, tales como EGNOS" o WAS".

El sistema para implementar el procedimiento de acuerdo con la última invención comprende un receptor "GPS", SUR_{GPS} , que recibe las señales emitidas por los satélites, por ejemplo los satélites, SAT_1 a SAT_n , de la Figura 1A. A partir de estas señales sobre tres bandas de frecuencias, se efectúan las tres etapas del procedimiento "TCAR", como se indicó anteriormente, con la ayuda de medios de cálculos integrados (no se representan).

Este recibe igualmente las señales de datos del modelo ionosférico en tiempo real determinado por la estación de referencia REF (la estación más cercana entre las estaciones de la red de estaciones terrestres fijas de referencia, ST_1 a ST_M , de la Figura 1A) a partir de las señales recibidas de los satélites, SAT_1 - GPS_{E1} a SAT_n - GPS_{En} , con la ayuda de un receptor "GPS", REF_{GPS} . La estación REF emite los datos del modelo hacia el nómada SUR mediante un emisor REF_E .

Los datos de configuración geodésica, que pueden determinarse en una única estación, denominado principal, REF_M , se emiten por su emisor REF_{ME} y se distribuyen al nómada SUR , para combinarse con los datos del modelo ionosférico. Esta estación comprende a priori igualmente un receptor "GPS", $REF_{M_{GPS}}$, como las otras estaciones terrestres fijas de referencia. Los datos de configuración geodésica se calcula simultáneamente con los datos del modelo geodésico.

De manera bien conocida, la determinación ionosférica puede obtenerse resolviendo en tiempo real, con la ayuda de un filtro de Kalman, la densidad media de electrones N_e de cada célula iluminada i, j, k , (siendo i, j y k los índices de coordenadas en tres dimensiones, como se definió anteriormente) tratado como un proceso de propagación aleatoria, y con un ruido del proceso típico de 10^9 a 10^{10} electrones/m³ $\sqrt{\text{hora}}$. A modo de ejemplo no limitativo, se describe un tratamiento con la ayuda de un filtro de Kalman en el libro de G.J. BIERMAN, titulado:"Factorization Methods for Discrete Sequential Estimation", publicado en "Mathematics in Science and Engineering", vol 128, "Academic Press", NEW YORK, 1977.

De acuerdo con una característica importante del procedimiento de la invención, solamente se usan los datos de fase de la portadora. De este modo, se evitan el ruido del código de "pseudodistancia" y los trayectos múltiples. Las polarizaciones de fase de portadora B_i (constantes en cada arco continuo de datos de fase de la portadora para cada par satélite-receptor) se estiman simultáneamente, como variables aleatorias (que se convierten en procesos aleatorios de ruido blanco cuando se produce un desplazamiento del ciclo). En el filtro, las polarizaciones se desvinculan en tiempo real de los valores de densidad de los electrones, en la medida en que cambia la geometría del satélite y las variaciones de los dos tipos de incógnitas se hacen más pequeñas, como lo muestra la relación (7) a continuación que representa el modelo para las informaciones ionosféricas dadas, entre un par satélite ["GNSS" - receptor], siendo L_1 y L_2 fases de

portadora expresadas en unidades de longitud, $L_1 = L_1 - L_2$ y N_e la densidad de electrones). L_1 se obtiene mediante la relación siguiente:

$$L_1 = STEC + B_I = \int_{REC}^{SAT} N_e dl + B_I = \sum_i \sum_j \sum_k (N_e)_{i,j,k} \Delta s_{i,j,k} + B_I \quad (7);$$

relación en la cual los valores "REC" y "SAT" se relacionan con un receptor GPS y un satélite, respectivamente, de un par "receptor-satélite", dl una distancia elemental sobre la línea de visualización que une este par y $\Delta s_{i,j,k}$ una superficie elemental del "STEC" de coordenada i, j y k son los índices de coordenadas en tres dimensiones, como se definió anteriormente.

Esta aproximación conviene, en particular, para detectar las características locales de la distribución de la densidad de electrones, y el uso de dos capas con los datos en tierra de un sistema de navegación mundial por satélite ("GNSS" de acuerdo con la abreviación anglosajona) en lugar de una única capa, de acuerdo con los procedimientos habituales, reduce de manera significativa el riesgo de un mal modelado del contenido de electrones.

En el caso de las redes "WADGNSS" (para "Wide Area Differential GNSS" o "GNSS" diferenciales en una amplia zona), a partir del contenido de tales correcciones en tiempo real del contenido total de electrones oblicuos, o "STEC", obtenidos por la relación (7), es posible:

- primeramente, formar la doble diferencia estación-satélite, $\nabla \Delta STEC$, con un error inferior de 1 TECU y obtener una segunda ambigüedad (el "camino largo") en las estaciones de referencia; y
- en segundo lugar, interpolar, en el receptor del nómada, el valor L_1 no ambiguo, es decir un valor muy preciso de $\nabla \Delta STEC$ a un nivel de algunas céntimas de TECU, valor obtenido después de la resolución de las ambigüedades.

Si el valor intercalado es mejor que 0,26 TECU, entonces el receptor del nómada puede resolver las dos ambigüedades en tiempo real.

Este procedimiento, en sí, se asemeja al procedimiento denominado "WARTK" publicado en el artículo de Hernández-Pajares y otros, (2000) mencionado anteriormente. Los resultados obtenidos hasta el momento con la técnica "WARTK", en diferentes experiencias, se recapitulan en un artículo igualmente de Hernández-Pajares y otros, titulado: "Tomographic modeling of GNSS ionospheric corrections: Assessment and real-time applications", publicado en "ION GPS'2001", septiembre de 2001. Se tomará como referencia satisfactoriamente estos dos artículos para una descripción más detallada de este procedimiento.

Para el uso cinemático de este procedimiento, uno de los límites más importantes es la existencia de irregularidades ionosféricas locales, tales como las perturbaciones ionosféricas de propagación o "TID" (abreviación anglosajona de "Traveling Ionospheric Disturbances"), que pueden producir resultados incorrectos mediante el uso de una interpolación lineal de las correcciones ionosféricas entre las estaciones de referencia de la red. Las demostraciones pueden mejorarse mediante la incorporación de los datos duales de frecuencia del nómada.

Por otra parte, en el caso del cálculo en la estación de referencia, las largas distancias y los gradientes importantes del contenido de electrones pueden también limitar las demostraciones de la técnica. Por esta razón, de acuerdo con una característica del procedimiento de la invención se ha desarrollado un procedimiento adicional para incluir el caso de las estaciones permanentes y/o de referencia separadas por millares de kilómetros, mediante el uso de un código denominado de "camino largo" plano, con el fin de mejorar el modelo ionosférico y en consecuencia constituir una ayuda para la determinación en tiempo real de la ambigüedad. Tal procedimiento se describe, por ejemplo, en el artículo de Hernández-Pajares y otros, titulado: "Improving the real-time ionospheric determination from GPS sites at Very Long Distances over the Equator", publicado en "Journal of Geophysical Research", 2002.

Sin embargo los métodos implementados en la técnica conocidos para resolver, en tiempo real, la ambigüedad en el receptor de un nómada, haciendo referencia a un sistema de frecuencias duales del "GPS" exigen una gran cantidad de cálculos geodésicos, con el fin de garantizar la determinación de la posición relativamente correcta, al nivel de la veintena de centímetros, para resolver las combinaciones de las polarizaciones flotantes libres ionosféricas, y de este modo poder (implementando el procedimiento "WARTK" mencionado anteriormente) resolver las ambigüedades en tiempo real, después de un tiempo de convergencia en el orden de algunos minutos.

La invención permite solucionar las deficiencias de dicha técnica conocida, presentada principalmente por el procedimiento "WARTK". Esta permite mejorar los métodos instantáneos de resolución de las ambigüedades de fase de tres portadoras a las distancias medias y largas entre las estaciones de referencia (que va de decenas a centenas de kilómetros), y con un mínimo de cálculos geodésicos. La mejora principal reside en la tercera etapa del procedimiento "TCAR" mencionado anteriormente, mediante el uso de las correcciones ionosféricas en tiempo real proporcionadas por un modelo ionosférico calculado sin interrupción en las estaciones de referencia.

Una mejora adicional de la primera etapa mencionada anteriormente se implementa igualmente en el procedimiento de la invención. Esta mejora consiste en el uso de tres códigos de pseudodistancias distintas, denominadas a continuación P_1 , P_2 , P_3 , en lugar de un elemento de código único, lo que permite disminuir el efecto de los trayectos múltiples en la resolución de la ambigüedad de "camino extralargo"

5

Además, en un modo de realización preferido, se realiza una prueba de integridad mediante el uso de los códigos de pseudodistancias de "camino largo" y de banda de frecuencia L_1 , para detectar los saltos en la evaluación de la ambigüedad asociada a un error en la resolución de la ambigüedad de la longitud de onda más larga. En efecto, durante la segunda y la tercera etapa mencionadas anteriormente, a partir de las relaciones (5) y (6), se conoce perfectamente que un ciclo en el error de ambigüedad de "camino extralargo" produce aproximadamente ocho ciclos de errores de "camino largo", y un ciclo de "camino largo" se traduce mediante aproximadamente cuatro ciclos de error L_1 , L_1 es la portadora de una longitud de onda menor en el ejemplo descrito. A menudo, estos saltos de evaluación de la ambigüedad son suficientemente importantes para detectarse y filtrarse mediante el uso de los códigos correspondientes.

10

15

Esta aproximación, de acuerdo con la invención, permite poner fin directamente a las limitaciones principales que hacen imposible una navegación con un error típicamente inferior de algunos centímetros sobre largas distancias (más de 100 kilómetros).

20

La TABLA II dispuesta al final de la presente descripción resume las características comparadas de los procedimientos de resolución de la ambigüedad en tiempo real principales de la técnica conocida ("TCAR", "ITCAR", "WARTK") y de conformidad con la invención.

25

Para ilustrar mejor las características principales del procedimiento de acuerdo con la invención, se describirá ahora un ejemplo de experimentación realizado sobre la base de diversos juegos de datos suministrados por los generadores de señales modificados en los satélites de un sistema existente del tipo "GNSS" mencionado anteriormente, con una simulación de aeronaves, de usuarios nómadas de "superficie" (vehículos terrestres por ejemplo) o de sitios fijos. Se han considerado las condiciones dinámicas e ionosféricas variadas.

30

Para fijar las ideas, a modo de ejemplo significativo, se ha estudiado en detalle la resolución de la ambigüedad en tiempo real del receptor de un vehículo de superficie, denominado a continuación nómada *SUR*, con respecto a una estación fija de referencia, denominada a continuación *REF*, alejada aproximadamente 129 km del nómada *SUR*, en diferentes escenarios. En el ejemplo descrito, dos portadoras de "GPS" (1575,42 y 1227,60 MHz respectivamente), y la portadora del canal 24 del sistema "GLONASS", de frecuencia 1615,50 MHz, que constituye las tres frecuencias adoptadas por un simulador del sistema "GNSS", para cuatro satélites durante 20 minutos a 1 Hz, mediante el uso de doce canales disponibles de un receptor de validación de tipo conocido por la referencia "AGGA" (para "Advanced GPS/GLONASS ASIC"). "AGGA" es un circuito integrado numérico que permite un tratamiento de la señal numérica de alta velocidad para las aplicaciones espaciales, tales como las ocultaciones de radiotransmisiones de las señales de sistemas "DNSS" y la determinación de órbitas terrestres bases. Tal circuito se fabrica a base de un "ASIC" estándar (o "circuito integrado para aplicaciones específicas", en el ejemplo descrito, un componente T7905E de la sociedad ATMEL). "GLONASS" ("Global Orbiting Navigation Satellite System") es un sistema de navegación ruso por satélite comparable al sistema "GPS".

35

40

Dos conjuntos de datos de base se han considerado en el ejemplo descrito, denominados a continuación "P5-M0", el conjunto asociado a una potencia máxima de la señal y no a los trayectos múltiples, lo que constituye un caso ideal, y "P3-M1", el conjunto asociado a una potencia media y a los trayectos múltiples.

45

Además los receptores de las estaciones de referencia, simulados en los conjuntos de datos, tres estaciones adicionales, que existen en la red "IGS" (para "International GPS Service" o "Servicio Internacional GPS"), se han añadido a las distancias superiores de 200 km, únicamente para el cálculo ionosférico, lo que permite emular una situación más realista que comprende una red de sitios fijos más importantes.

50

Se mostrarán ahora los resultados de un estudio detallado para el caso más difícil, es decir la línea de base del par "nómada *SUR* - estación *REF*" más larga, de aproximadamente 129 km. La estación de referencia *REF* es una de las estaciones ST_1 a ST_M de la Figura 1A.

55

La Figura 2 ilustra este ejemplo y representa la línea de base a las posiciones de la estación *REF* y del nómada *SUR*, con respecto a los ejes de coordenadas, latitud elipsoidal y longitud, graduados en grados.

60

La Figura 3 es una ampliación (zoom) de la Figura 2 que muestra la trayectoria del nómada *SUR*, siempre con respecto a los ejes de coordenadas, latitud elipsoidal y longitud, graduados en grados.

El primer aspecto de los resultados se conoce como rendimiento del filtro ionosférico en tiempo real. Los ejemplos de los retardos estimados del modelo ionosférico en tiempo real, denominados Tm en el gráfico, comparados con los retardos ionosféricos reales, denominados Vv , se representan en la Figura 4. Estos valores corresponden a las

65

mediciones de una experimentación efectuada para mostrar las posibilidades del procedimiento de acuerdo con la invención.

5 Los parámetros más importantes para una navegación precisa, los valores y las diferencias (es decir los errores) entre las dobles diferencias de "STEC" estimadas, $\nabla\Delta I$, para el nómada *SUR*, y sus valores reales, $\nabla\Delta I$, se representan en las Figuras 5 y 6 (en ordenadas, expresadas en TECU; la abscisa representa los retardos en segundos).

10 De manera más precisa, la Figura 5 ilustra la doble diferencia de "STEC", denominada "*ddSTEC*", estimada en tiempo real con un modelo ionosférico, de conformidad con uno de los aspectos importantes de la invención, comparado con los valores verdaderos para el receptor nómada *SUR*, este se entrega al receptor más alejado, ya sea *REF* (alejamiento de aproximadamente 129 km).

15 La Figura 6 ilustra el error en la determinación del modelo ionosférico en tiempo real de la doble diferencia de "STEC", denominado igualmente "*ddSTEC*". Los valores reales del modelo ionosférico se comparan con dos umbrales ionosféricos, "*Umbral₁*" (+ 0,26 TECU) y "*Umbral₂*" (- 0,26 TECU), que permiten determinar la tercera ambigüedad $\nabla\Delta N_1$. Más de 92 % de las determinaciones ionosféricas presentan los errores por debajo del límite del umbral de $\pm 0,26$ TECU. Estas son por tanto bastante precisas para poder resolver las tres ambigüedades en la ausencia de trayectos múltiples y para no tener en cuenta el error de medición. La parte principal del 8 % de las evaluaciones restantes presenta errores superiores a 0,26TECU que provienen de un satélite que se observa en base altura y en la dirección sur, dirección para la cual los gradientes ionosféricos son los más elevados. Estos resultados han podido incluso mejorarse ligeramente al adicionar a las cuatro estaciones de referencia una quinta que efectúa los cálculos ionosféricos de correcciones para la dirección sur.

25 Una vez que las correcciones ionosféricas en tiempo real se han calculado y transmitido a partir de la red de referencia, las etapas del procedimiento de acuerdo con la invención pueden efectuarse en el nómada *SUR*, de la manera descrita anteriormente para estimar y resolver instantáneamente ("tiempo de análisis único") las tres ambigüedades por haz.

30 Un resumen de los principales resultados de la resolución de la ambigüedad, para los conjuntos de datos mencionados anteriormente "P5-M0" y "P3-M1" respectivamente, se presenta en la forma de dos TABLAS, III y IV, dispuestas al final de la presente descripción. Las tasas de éxito de las tres etapas del procedimiento "TCAR", se indican en los tres casos siguientes:

- 35
- (a) sin correcciones ionosféricas;
 - (b) con las correcciones ionosféricas correspondientes de un modelo de correcciones ionosféricas de Klobuchar, emitidas por el sistema "GPS " actual; y
 - (c) con las correcciones de modelo ionosférico en tiempo real, de conformidad con el procedimiento de la invención.

40 De manera más precisa, en el ejemplo descrito con relación a la TABLA III, la tasa de éxito (en %) se relaciona con un número de 3834 pruebas de resolución al momento para las ambigüedades de "camino extralargo", de "camino largo" y de frecuencia de la banda L_1 (respectivamente $\nabla\Delta N_{ew}$, $\nabla\Delta N_w$ y $\nabla\Delta N_1$) para el receptor nómada *SUR*, suministrado al sitio fijo más alejado *REF* (alargamiento de aproximadamente 129 kilómetros), y con el conjunto de datos ideales P5-M0 mencionado anteriormente (potencia máxima de recepción y ningún trayecto múltiple).

45 La TABLA IV es similar a la TABLA III, pero para el conjunto de datos P3-M1 mencionado anteriormente (nivel de potencia de recepción media y trayectos múltiples). Las cifras entre paréntesis indican la tasa de éxito aportada al número total de observaciones.

50 Se conoce con certeza, en el examen de las TABLAS III y IV, que el procedimiento de la invención que combina las tres etapas del procedimiento "TCAR" con una etapa de aplicación de un modelo ionosférico preciso en tiempo real, permite aumentar considerablemente la tasa de éxito de la determinación de la ambigüedad instantánea ("tiempo de análisis único"), no solamente en un escenario ideal (conjunto de datos P5-M0: de 0 a 92 %) sino igualmente en un escenario más difícil (conjunto de datos "P3-M1") con los trayectos múltiples (35 % incluso mediante el uso de una corrección del tipo "modelo de Klobuchar", mientras que la tasa de éxito alcanza un 92 % para $\nabla\Delta N_1$, con las correcciones del modelo ionosférico realizadas de acuerdo con el procedimiento de la invención).

55 El examen de la TABLA IV muestra que uno de los problemas importantes con los conjuntos de datos "P3-M1", afectados por los trayectos múltiples, es la falta de integridad en las evaluaciones de las ambigüedades de acuerdo con el procedimiento "TCAR", $\nabla\Delta N_{ew}$ y $\nabla\Delta N_w$, con alrededor de 10 % y 4 % de las determinaciones instantáneas incorrectas, respectivamente.

60 Para aumentar la integridad, es decir para disminuir la posibilidad de tomar en consideración las ambigüedades incorrectas, en ese caso en presencia de la fase de portadora y para codificar por trayectos múltiples, es posible usar los códigos correspondientes de pseudodistancias de "camino largo" y L_1 , para intentar detectar los errores potenciales de determinación de la ambigüedad de longitud de onda anterior más larga en la aproximación "TCAR" (las ambigüedades de "camino extralargo" y de "camino largo", respectivamente), errores que se amplifican mediante un

factor de 9 y 4 longitudes de onda en el "camino extralargo" y el "camino largo", respectivamente, como lo muestra las relaciones (5) y (6).

5 Un resumen de los resultados correspondientes se presenta en la forma de dos TABLAS, V y VI, dispuestas al final de la presente descripción, mediante el uso respectivamente de las pseudodistancias y las pseudodistancias planas para filtrar tales errores importantes.

10 La TABLA V es similar a la TABLA II, pero la tasa de éxito de resolución de la ambigüedad se calcula después de someterse a una prueba de integridad, es decir una comparación de la ambigüedad derivada de la pseudodistancia para filtrar los saltos grandes en la ambigüedad de "camino largo" y de L_1 , tales saltos se deben a los errores anteriores de ambigüedad de la longitud de onda más importante. La última columna indica la disponibilidad, es decir el porcentaje de las 3834 observaciones que pasan la prueba de integridad anterior con las pseudodistancias. El signo entre paréntesis "*" indica los porcentajes de las ambigüedades calculadas después de pasar la prueba de integridad. Como anteriormente, las cifras entre paréntesis indican la tasa de éxito simplificada del número total de observaciones.

15 La TABLA VI es similar a la TABLA III, pero se usan las pseudodistancias planas en lugar de las pseudodistancias "puras" para realizar la prueba de integridad.

20 Se constata fácilmente que el procedimiento de la invención permite una mejora significativa de aproximadamente 20 % de la integridad (de 79 % : TABLA IV a 91 % : TABLA VI), con una disminución relativamente pequeña (16 %) de la disponibilidad (esta pasa de 100 % a 84 %) mediante el uso de una prueba de integridad de código plano. Si en cambio se usan los códigos instantáneos ("tiempo de análisis único"), la integridad mejora igualmente (84 %) y, esto, con una disponibilidad más elevada (90 %). Mediante el uso de un modelo conocido de emisión "GPS" de tipo Klobuchar, en lugar de las correcciones del modelo ionosférico en tiempo real de acuerdo con el procedimiento de la invención, se aprecia un deterioro neto de los resultados, acompañado de una falta de disponibilidad casi completa.

30 Los conjuntos de datos disponibles para el experimento que acaba de detallarse, a pesar del hecho de que son apropiados para establecer una resolución instantánea de ambigüedad, son sin embargo bastante limitados para determinar una posición de manera instantánea ("tiempo de análisis único"). En efecto, para el experimento, solamente cuatro satélites están disponibles durante 20 minutos de datos, de tal manera que la solución de navegación instantánea para el nómada *SUR* debe calcularse mediante el uso del conjunto de datos "P5-M0" sin trayectos múltiples, y con un suministro de señal sobre ruido disponible muy elevado, con el fin de disponer de un número mínimo de cuatro satélites para la navegación. Además, se ha omitido el retardo troposférico, para cuya evaluación sería necesario al menos un quinto satélite. Finalmente, el primer intervalo, entre 7200 a 7500 segundos aproximadamente, se ha evitado en la determinación del posicionamiento I con relación a ciertas configuraciones de recorte de fase de la portadora, debido potencialmente a los problemas de medición en el receptor durante este período. Por otra parte, y desde el punto de vista de las correcciones ionosféricas y de la tasa de éxito correspondiente de la resolución de ambigüedad, los resultados son prácticamente los mismos que los obtenidos para el conjunto de datos "P3-M0" (ver la TABLA III).

40 Estas limitaciones se deben al uso de los conjuntos de datos suministrados por los sistemas existentes, que hayan experimentado solamente un mínimo de adaptaciones. Con un conjunto de datos más realistas, suministrado por ejemplo por seis satélites o más, estas limitaciones importantes que se refieren a la determinación de posicionamiento desaparecerán. Será en efecto posible obtener una mejor geometría (un factor de geometría "DOP", o factor de "Desaparición de la precisión" de geometría, más bajo) y la posibilidad de detectar y de filtrar los satélites (típicamente ninguno, o en ocasiones solamente uno) que presentan los errores de ambigüedad. Esto podrá realizarse mediante el uso de un filtro de navegación o de los algoritmos de vigilancia autónomos del receptor).

50 Los resultados correspondientes para los cuatro satélites contenidos en el conjunto de datos P5-M0 se indican en las Figuras 7A a 7D, que muestran los residuales del ajuste previo (Figura 7A), los compuestos de Este (Figura 7B), de Norte (7C) y de la vertical (7D) del error de posicionamiento instantáneo después de la implementación del procedimiento de acuerdo con la invención, para un nómada *SUR* alejado 129 km aproximadamente de una estación de referencia *REF*. Las coordenadas de los gráficos se gradúan en metros y las abscisas (retardos) en segundos.

55 A modo de comparación, las Figuras, 8A a 8D, representan los datos correspondientes pero para las ambigüedades reales.

60 La característica principal de los residuales del ajuste previo $\nabla\Delta L_c$ (Figura 7A) son errores de aproximadamente 10 cm asociados a un error de un ciclo en L_1 (aproximadamente 8 %: ver la TABLA III), que producen los errores de navegación ("tiempo de análisis único") similares a los saltos. Estas se representan igualmente en las Figuras 7B a 7D. Estas se amplifican por la desaparición correspondiente del factor geométrico de precisión ("DOP"). Estas evaluaciones de la ambigüedad incorrectas L_1 afectan típicamente una doble diferencia sobre cada una de tres que se disponen por época (el número mínimo para determinar un posicionamiento), de tal manera que este error afecta tres veces el posicionamiento (aproximadamente 24 % de las épocas, con 76 % de los errores en tres dimensiones por debajo de 5 cm y 100 % por debajo de 21 centímetros). Aunque la distribución de los errores no son gaussianos, los valores eficientes ("RMS") resultantes en tres dimensiones son de 7, 3,5 y 2 centímetros, para los componentes del Este, de Norte y de la vertical, respectivamente.

5 Para resumir estos resultados, los errores de 1, 1 y 2 cm "RMS" se obtienen para los componentes de Este, de Norte y de la vertical, respectivamente, cuando la ambigüedad se resuelve correctamente (aproximadamente de 92 % de las pruebas y 77 % de las épocas) y de 3, 5 y 2 cm "RMS" para los componentes de este, de Norte y de la vertical, respectivamente, al incluir las épocas con una resolución de ambigüedad incorrecta.

10 Además, las observaciones reducidas de los cálculos de residuales, antes del ajuste, de la doble diferencia de fase de la portadora y los errores de navegación instantánea ("tiempo de análisis único") se representan en las Figuras 8A a 8D. Se afirma que la amplificación del ruido de fase de la portadora es neto, en particular en la componente vertical, alcanzando aproximadamente 5 cm de error. Esta trayectoria (con un valor "RMS" en tres dimensiones de 3 cm, 1,1 cm y 2 cm para los componentes de Norte, de Este y de la vertical, y los niveles de 95 % a aproximadamente 2, 2 y 4 cm, respectivamente) representa claramente bien la solución que pudiera obtenerse con un filtro en tiempo real, en lugar de la solución en modo instantáneo ("tiempo de análisis único"), después de la resolución correcta de las ambigüedades durante las primeras épocas.

15 Con el objetivo de caracterizar el impacto de los tiempos de latencia en la corrección ionosférica (debido por ejemplo a los problemas potenciales en las comunicaciones), los retardos de 1 a 30 segundos (30 épocas) se han considerado para los cálculos ionosféricos de corrección en la red de estaciones fijas. Para cada uno de estos retardos, se ha calculado el porcentaje de éxito para una "ddSTEC" (en TECU) para obtener una precisión absoluta de 0,26 TECU, para un nómada alejado 129 km. Este porcentaje se ha representado en la Figura 9 en función del tiempo de latencia (en segundos). Se afirma con certeza que el efecto de los tiempos de latencia es insignificante hasta 30s, con una tasa de éxito obtenida, para todos los tiempos de latencia, superior a 90 %.

20 En la Figura 10, se han considerado tiempos de latencia mayores, pero esto a la vez para las correcciones de red de referencia y de nómada, de tal manera que los puntos de entrada ionosféricos permanezcan estrechos. Se afirma que después de 5 minutos, la tasa de éxito disminuye de 90 % a 85 %. Después de 10 minutos, la tasa de éxito disminuye aún para obtener 75 %. Estos valores pueden degradarse con mayor intensidad en los escenarios que presentan una variación del retardo ionosférico diferencial aún más elevada.

25 Se afirma entonces, que a una latitud media, los tiempos de latencia no representan un problema importante para el procedimiento de acuerdo con la invención que puede soportar los tiempos de latencia típicamente hasta 5 minutos aproximadamente.

30 Después de leer lo anterior, se aprecia fácilmente que la invención logra bastante bien los objetivos propuestos.

35 El procedimiento de acuerdo con la invención permite, mediante la aplicación de las correcciones ionosféricas en tiempo real, con la ayuda de un modelo de la tomografía de la ionosfera, acompañados de cálculos geodésicos mínimos, una resolución instantánea de ambigüedad completa. Esta permite una navegación con una precisión en el orden de los centímetros, a distancias de más de 100 kilómetros de las estaciones de referencia.

40 La invención encontrará una aplicación preferida en los próximos sistemas de navegación por satélite, tal como "GALLILEO" o el "GPS" modernizado, implementando la emisión de portadoras de tres bandas de frecuencias distintas.

45 De acuerdo con una característica principal del procedimiento de acuerdo con la invención, esta posibilidad de navegación instantánea, tiene una precisión mejor que el decímetro, se debe al hecho de que se combina un procedimiento de resolución de ambigüedad de fase de tres portadoras, del tipo "TCAR", poco complejo, con una determinación de un modelo ionosférico en tiempo real con vistas a poder aplicar correcciones ionosféricas.

50 Los ejemplos de experimentación mencionados en la presente descripción, muestran una mejora notable de los resultados obtenidos por los procedimientos de la técnica conocidos, en las condiciones equivalentes:

- 55 – La tasa de éxito instantánea ("tiempo de análisis único") de aproximadamente 60 % o menos se mejora y pasa aproximadamente a 90 %, a estas distancias de más de 100 km de la estación terrestre fija de referencia más próxima, y en las condiciones difíciles para realizar un modelo ionosférico (a mediodía en el punto máximo de sol);
- Este rendimiento elevado se mantiene con tiempos de latencia de aproximadamente 5 minutos en las correcciones ionosféricas;
- 60 – La navegación correspondiente, a pesar del número limitado de cuatro satélites disponibles, para las condiciones de experimentación retenidas a modo de ejemplo, en los conjuntos de datos, puede realizarse instantáneamente, en modo "tiempo de análisis único", y permite valores "RMS" en tres dimensiones, de 3, 5 y 2 centímetros para los componentes de Este, de Norte y de la vertical, respectivamente;
- En un modo de realización preferido, una prueba en tiempo real de integridad de la ambigüedad, en la medida en que se incorpora una aproximación de la reducción simple de trayectos de múltiples pseudodistancias en el procedimiento ha permitido mejorar los rendimientos; y
- 65 – Estos buenos rendimientos se han probado igualmente en los escenarios difíciles:

ES 2 621 204 T3

- Una latitud pequeña (35 grados en lugar de 48 grados), con valores ionosféricos más elevados.
- Las condiciones extremas se refieren al trópico, debajo de "la Anomalía Ecuatorial Nórdica" de la ionosfera, donde se producen típicamente los gradientes más elevados. En este último caso, es necesario que el usuario produzca su propia alimentación de filtro ionosférico y la combine con las correcciones de la red de referencia y sus propias observaciones ionosféricas.
- La dinámica elevada, hace posible que se proporcionen correcciones ionosféricas precisas que pueden usarse por una aeronave que vuela a aproximadamente 140 km de la estación de referencia más próxima.

5

10 Debe aclararse sin embargo que la invención no se limita a los únicos ejemplos de realización descritos explícitamente, principalmente con relación a las Figuras 1 a 8.

15 Finalmente, los ejemplos numéricos se han suministrado únicamente para fijar mejor las ideas y no podrían constituir una limitación cualquiera del alcance de la invención. Estos proceden de una elección tecnológica simple al alcance del experto en la técnica.

15

Tabla I

20

	X=1	X=2	X=3	X=ew	X=w
Frecuencia (f_x , MHz)	1575,42	1227,6	1615,5	40,08	347,82
Longitud de onda (λ_x , m)	0,1903	0,2442	0,1856	7,4799	0,8619
Error de medición de fase (ϵ_x , m)	$\approx 0,002$	$\approx 0,002$	$\approx 0,002$	$\approx 0,1$	$\approx 0,01$

25

Error de medición de código (E_x , m)	≈ 3	≈ 3	≈ 3	$\approx 2,1$	$\approx 2,1$
Fase de trayectos múltiples máximos (m_x , m)	0,05 ($\leq 0,01$)	$\ll 0,06$ ($\leq 0,01$)	$\ll 0,05$ ($\leq 0,01$)	$\ll 2$ ($\leq 0,5$)	$\ll 0,2$ ($\leq 0,05$)
Código de trayectos múltiples máximos (M_x , m)	$\ll 450$ (≤ 10)	$\ll 450$ (≤ 10)	$\ll 450$ (≤ 10)	$\ll 450$ (≤ 10)	$\ll 450$ (≤ 10)
Coefficiente ionosférico (α_x , m/TECU)	-0,1623	-0,2673	-0,1543	0,2083	0,2031

35

Tabla II

40

	Ventajas	Inconvenientes
"TCAR"	Poca carga de cálculos	Error ionosférico que limita seriamente la resolución de tercera ambigüedad
"ITCAR"	Resultados mejorados al integrar TCAR en un filtro de navegación	El retardo ionosférica continúa limitando la resolución de tercera ambigüedad
"WARTK"	Un modelado en tiempo real preciso permite una navegación precisa con una centena de kilómetros de la estación de referencia más próxima	Carga elevada de cálculos: son necesarios una necesidad de calcular una primera solución independiente de la ionosfera para el nómada y un tiempo de convergencia significativo
Procedimiento conforme a la invención	Poca carga de cálculos y modelado preciso en tiempo real de la ionosfera, que permite una navegación precisa del tipo "tiempo de análisis único" con alejamientos de más de 100 Km de una estación de referencia.	

55

60

65

5 Tabla III

P5-M0 / SUR2-REF5 ($\approx 129\text{km}$)	Tasa de éxito $\nabla\Delta N_{ew}$	Tasa de éxito $\nabla\Delta N_w$	Tasa de éxito $\nabla\Delta N_1$
Sin correcciones ionosféricas	100 %	100 %	0 %
Correcciones de Klobuchar	100 %	100 %	33 %
Correcciones <u>ionosféricas</u> en tiempo real	100 %	100 %	92 %

20 Tabla IV

P5-M0 / SUR2-REF5 ($\approx 129\text{km}$)	Tasa de éxito $\nabla\Delta N_{ew}$	Tasa de éxito $\nabla\Delta N_w$	Tasa de éxito $\nabla\Delta N_1$
Sin correcciones ionosféricas	90 %	95 % (86) %	3 % (2)
Correcciones de Klobuchar	90 %	95 % (87) %	35 % (31)
Correcciones <u>ionosféricas</u> en tiempo real	90 %	95 % (86) %	92 % (79)

30 Tabla V

P3-M1 SUR2-REF5 ($\approx 129\text{km}$)	Tasa de éxito $\nabla\Delta N_{ew}^*$	Tasa de éxito $\nabla\Delta N_w^*$	Tasa de éxito $\nabla\Delta N_1^*$	Disponibilidad
Sin correcciones ionosféricas	99 %	95 % (94)	0(2) %	38 %
Correcciones de Klobuchar	99 %	97 % (96)	33 % (32)	38 %
Correcciones <u>ionosféricas</u> en tiempo real	96 %	96 % (92)	91 % (84)	90 %

40 Tabla VI

P3-M1 / SUR2-REF5 ($\approx 129\text{km}$)	Tasa de éxito $\nabla\Delta N_{ew}^*$	Tasa de éxito $\nabla\Delta N_w^*$	Tasa de éxito $\nabla\Delta N_1$	Disponibilidad
Sin correcciones ionosféricas	100 %	100 % (100)	0 % (0)	0,002 %
Correcciones de Klobuchar	100 %	100 % (100)	37 % (37)	0,002 %
Correcciones <u>ionosféricas</u> en tiempo real	100 %	100 % (100)	91 % (91)	84 %

55

Reivindicaciones

1. Procedimiento de navegación en tiempo real con la ayuda de señales radioeléctricas de tres portadoras de primera, segunda y tercera frecuencias distintas, de valores crecientes que van de dicha primera a dicha tercera frecuencia, para determinar la posición de un usuario, denominado *nómada* (*SUR*), dichas señales radioeléctricas se emiten por un número determinado de emisores en los satélites (*SAT*) que giran alrededor del globo terrestre y hacia dicho *nómada*, dichas señales se reciben por un receptor asociado a dicho *nómada* y un receptor asociado a al menos una estación terrestre entre una pluralidad de estaciones terrestres fijas, denominadas de referencia (*REF*), dichas señales radioeléctricas atraviesan una capa de la atmósfera denominada ionosférica (C_{ION}) que rodea dicho globo terrestre y que aumenta las perturbaciones que engendran las ambigüedades de fases de dichas portadoras, este procedimiento comprende al menos las etapas siguientes:
 - una primera etapa que consiste en la determinación, en dicho *nómada* (*SUR*), de la ambigüedad de diferencia de fases entre dichas tercera y segunda portadoras, denominada de "camino extralargo", a partir de una combinación de pseudodistancias que usan un valor de código único;
 - una segunda etapa que consiste en la estimación, en dicho *nómada* (*SUR*), de la ambigüedad de diferencia de fases entre dichas primera y segunda portadoras, denominadas de "camino largo", a partir de dicha ambigüedad de "camino extralargo" determinada durante dicha primera etapa;
 - una tercera etapa que consiste, en dicho *nómada* (*SUR*), en la resolución de la ambigüedad de una de dichas frecuencias, a partir de dicha ambigüedad de "camino largo" estimada durante dicha segunda etapa;

el procedimiento se caracteriza porque comprende:

 - una etapa adicional que consiste en la aplicación de correcciones ionosféricas en tiempo real durante dicha tercera etapa, dichas correcciones ionosféricas se basan en un modelo ionosférico en tiempo real de dicha capa ionosférica (C_{ION}) continuamente actualizada.
2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque durante dicha tercera etapa, dicha resolución de ambigüedad se efectúa sobre dicha segunda frecuencia portadora.
3. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, caracterizado porque dicho modelo es un modelo ionosférico de descripción de dicha capa ionosférica, determinado por al menos una de dichas estaciones terrestres de referencia (*REF*) que reciben las señales emitidas por un número predeterminado de dichos satélites (SAT_1-GPS_{E1} a SAT_n-GPS_{En}) que giran alrededor del globo terrestre (*GT*) y con vistas a esto, dichas señales comprenden al menos dos portadoras de frecuencias distintas, en donde dicho modelo se determina a partir de datos de fases de dichas señales emitidas, en donde este comprende una etapa de transmisión de datos correspondiente a dicho modelo ionosférico.
4. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 3, caracterizado porque dicha determinación de modelo ionosférico se obtiene a partir del estimado de la distribución de electrones libres en dicha capa ionosférica (C_{ION}), en donde dicho estimado se realiza de manera aproximada al descomponer la capa ionosférica (C_{ION}) en una matriz de unidades de resolución de volúmenes (Vox_{ijk}), denominadas "vóxeles", iluminadas por los rayos radioeléctricos de dichas señales que se propagan en dicha capa ionosférica (C_{ION}), en las cuales se asume que la distribución ionosférica de la densidad de electrones es constante en un momento dado, y en donde dicha determinación se obtiene por resolución en tiempo real de la densidad media de electrones en cada una de dichas unidades de volumen (Vox_{ijk}) iluminadas por dicho rayo radioeléctrico al hacer uso de un filtro denominado de Kalman.
5. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 4, caracterizado porque este comprende una etapa adicional que consiste en combinar los datos asociados a dicho modelo ionosférico con los datos geodésicos calculados simultáneamente, y en donde dichos datos geodésicos se calculan mediante una de dichas estaciones terrestres fijas de referencia (REF_M-REF_{ME}), denominada estación principal, y distribuidas a dicha pluralidad de estaciones terrestres fijas de referencia (*REF*).
6. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque comprende una etapa adicional que consiste en usar tres códigos de pseudodistancias, asociados a dichas tres portadoras, durante dicha primera etapa de determinación de la ambigüedad de diferencia de fases entre dichas tercera y segunda portadoras, denominada de "camino extralargo".
7. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, caracterizado porque comprende una etapa adicional que consiste en efectuar una prueba de integridad mediante el uso de códigos de pseudodistancias de "camino largo" y de dicha segunda frecuencia para detectar los saltos asociados a un error en dicha resolución de ambigüedad de dicha primera frecuencia.
8. Sistema de navegación por satélite para implementar el procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque comprende una pluralidad de satélites (SAT_1-GPS_{E1} a SAT_n-GPS_{En}) que giran alrededor del globo terrestre (*GT*), cada uno de los satélites emiten dichas señales de tres

- 5 portadoras de frecuencias distintas, al menos un nómada (*SUR*) que comprende un receptor (*SUR_{GPS}*) de dichas
 señales y medios de cálculos integrados que efectúan dichas primera a tercera etapas e integran dichas
 correcciones ionosféricas emitidas por un modelo ionosférico de descripción de una región de la ionosfera
 10 atravesada por el rayo radioeléctrico de dichas señales emitidas por dicha pluralidad de satélites (*SAT_{1-GPSE1}* a
SAT_{n-GPSEn}), una pluralidad de estaciones terrestres fijas denominadas de referencia (*REF*) que comprenden
 cada una un receptor (*REF_{GPS}*) que recibe dichas señales emitidas por dichos satélites, los medios de cálculos
 integrados para la determinación de dicho modelo ionosférico de descripción de la capa ionosférica (*C_{ION}*), y un
 emisor (*REF_E*) para transmitir los datos correspondientes a dicho modelo ionosférico de dicho receptor (*SUR_{GPS}*)
 de nómada (*SUR*) y en el que al menos una de dichas estaciones terrestres fijas de referencia (*REF_M*),
 15 denominada principal, comprende un receptor (*REF_{MGPS}*) de dichas señales emitidas por dicha pluralidad de
 satélites (*SAT_{1-GPSE1}* a *SAT_{n-GPSEn}*), de medios de cálculos de datos geodésicos y un emisor (*REF_{ME}*) para
 distribuirlos a dicha pluralidad de estaciones terrestres fijas de referencia (*REF*).
9. Sistema de acuerdo con la reivindicación 8, caracterizado porque dicho nómada (*SUR*) se sitúa a una distancia
 15 de más de 100 Km de la estación terrestre fija de referencia más próxima (*REF*).

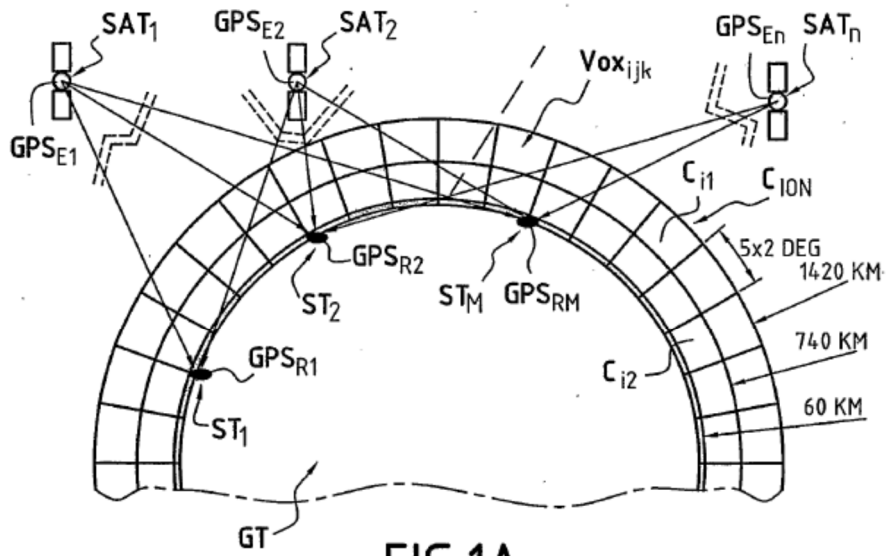


FIG.1A

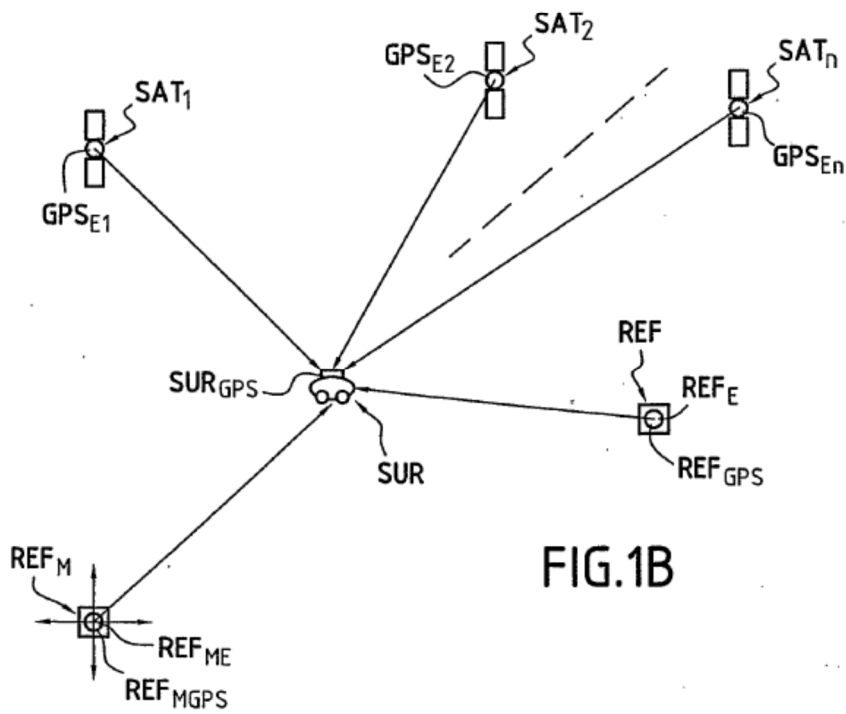


FIG.1B

FIG.2

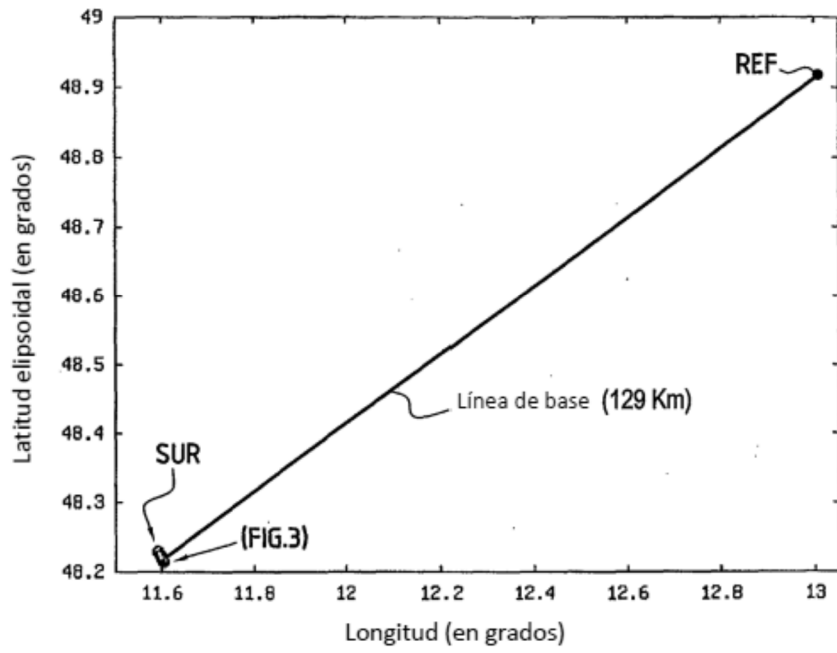


FIG.3

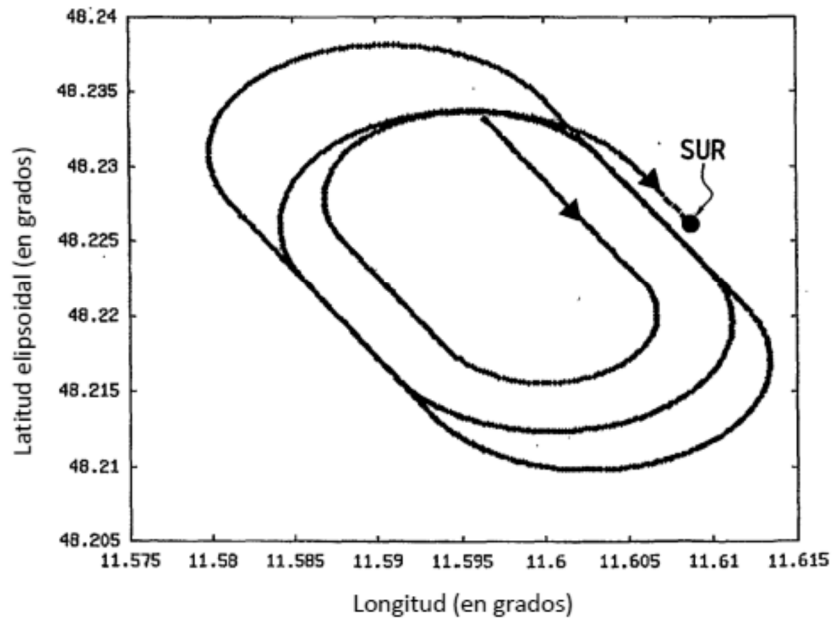


FIG.4

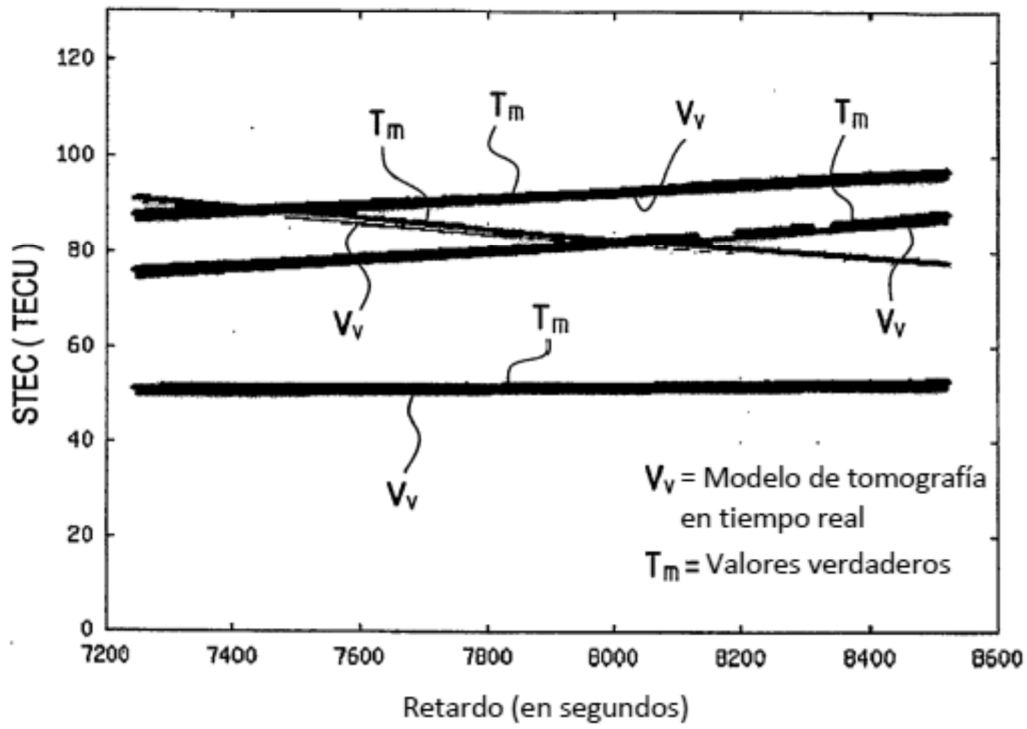


FIG.5

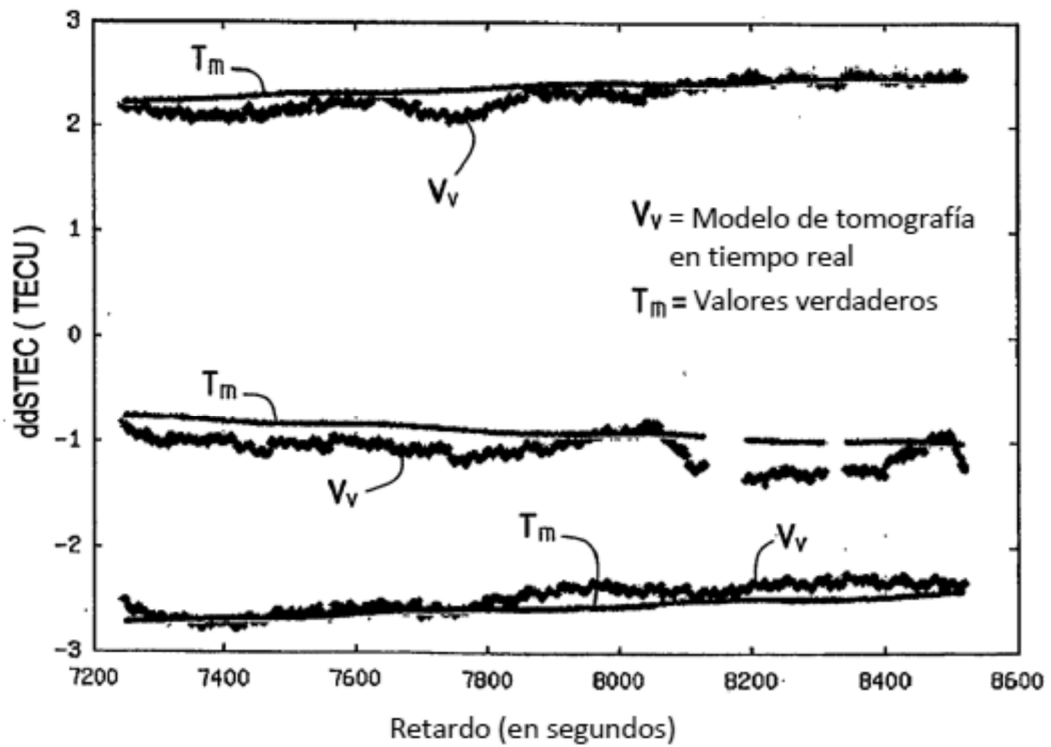
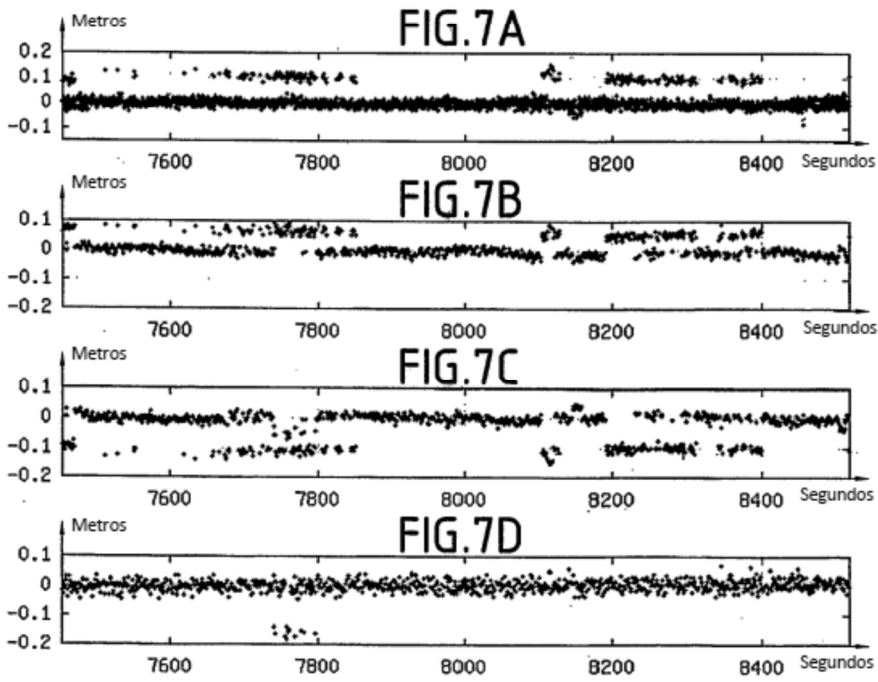
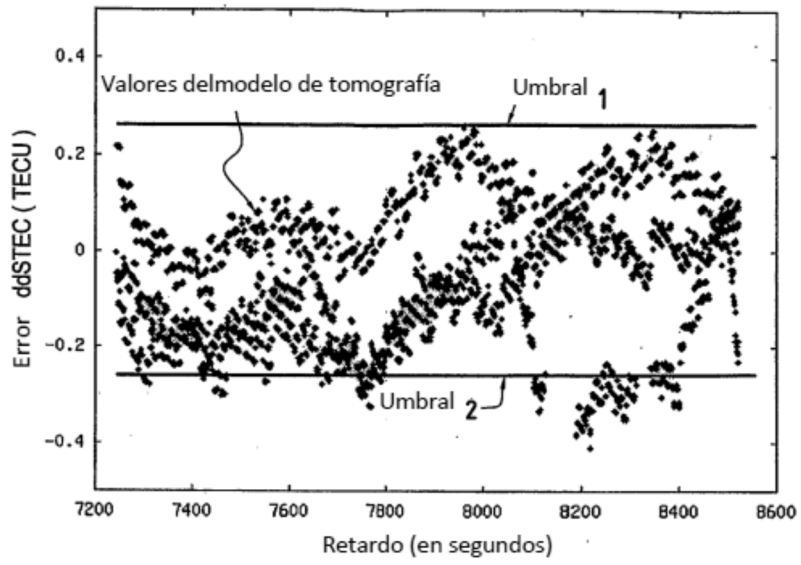
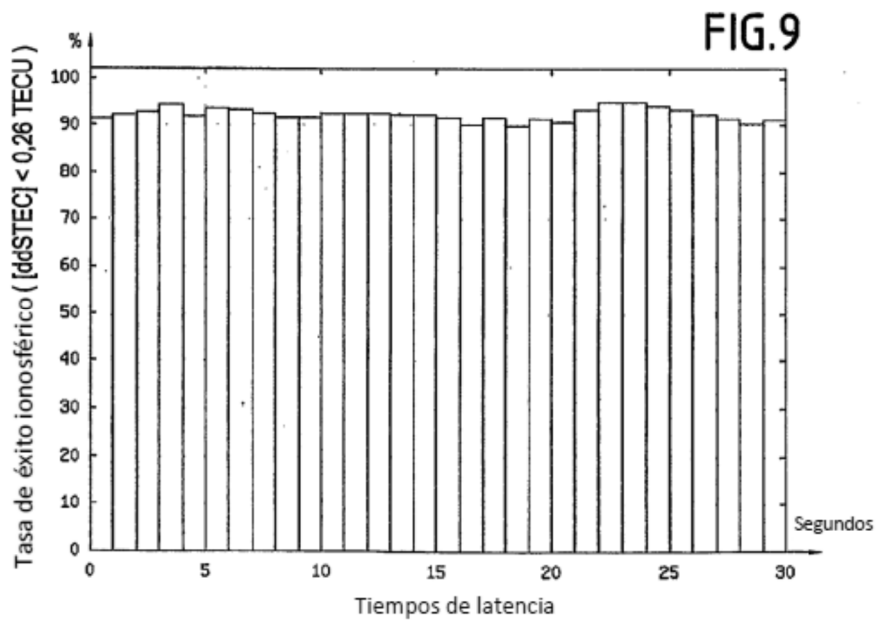
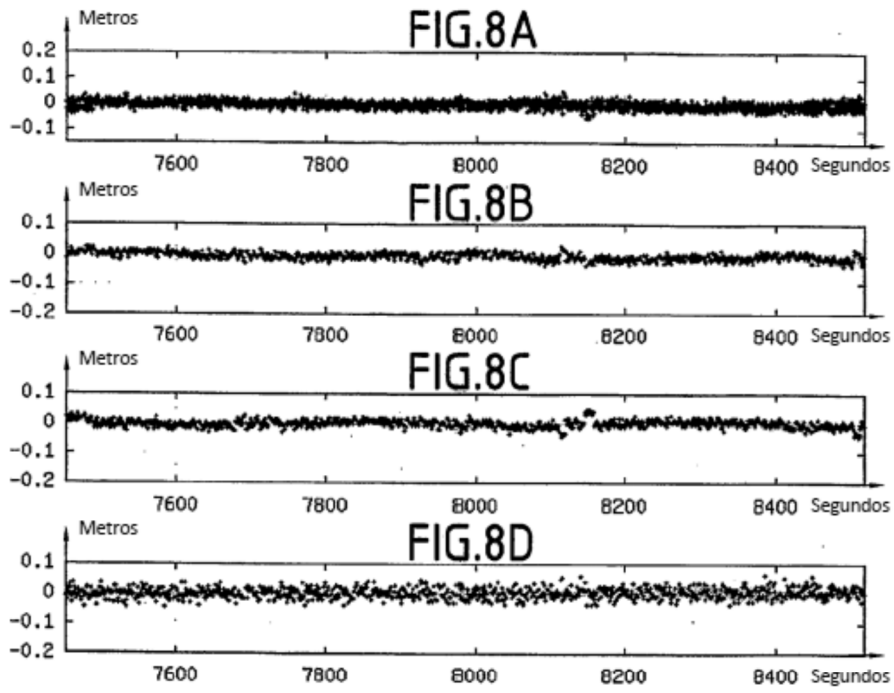


FIG.6





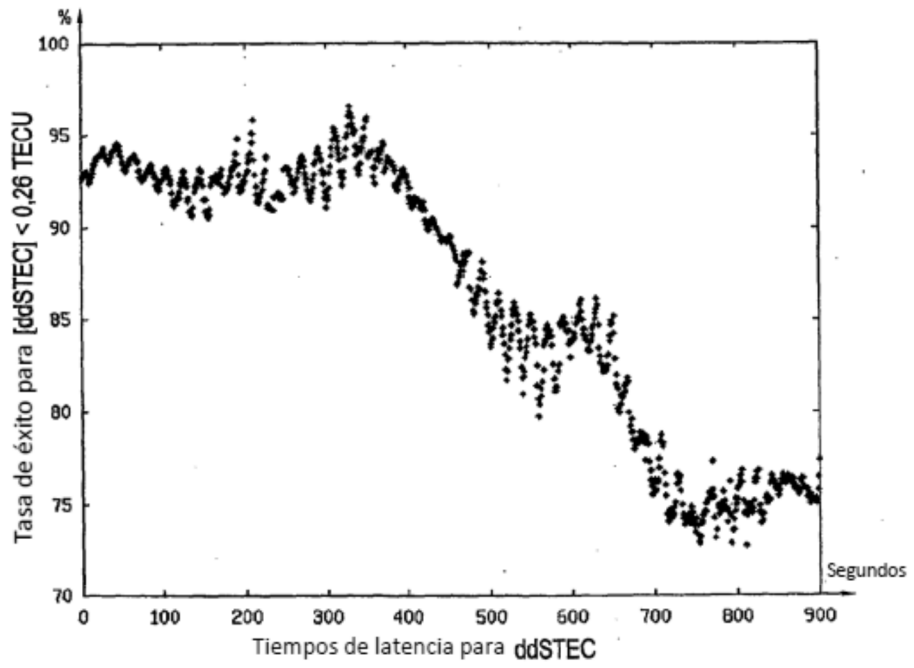


FIG.10