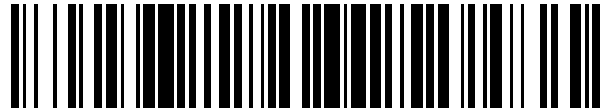


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 742 894**

51 Int. Cl.:

G01C 15/06

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.12.2015 PCT/EP2015/081433**

87 Fecha y número de publicación internacional: **06.07.2017 WO17114577**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.12.2015 E 15823178 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.05.2019 EP 3397923**

54 Título: **Vara de prospección mejorada**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
17.02.2020

73 Titular/es:

**FUNDACIÓ CENTRE TECNOLÒGIC DE
TELECOMUNICACIONS DE CATALUNYA (CTTC)
(100.0%)**

**Av. Carl Friedrich Gauss, 7
08860 Castelldefels (Barcelona), ES**

72 Inventor/es:

**PARÉS CALAF, M. EULÀLIA;
CALERO SCANLAN, DAVID y
FERNÁNDEZ MURCIA, ENRIC**

74 Agente/Representante:

MOHAMMADIAN SANTANDER, Dario

ES 2 742 894 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

Vara de prospección mejorada

5

CAMPO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere generalmente al campo de las varas de prospección topográfica y, en particular, a un procedimiento y dispositivo para la determinación mejorada de posición mediante una vara de prospección, en particular, una vara de prospección más robusta y de usabilidad extendida.

10

ANTECEDENTES

Las varas de prospección son instrumentos topográficos utilizados para medir distintos parámetros geográficos, como las posiciones de un punto sobre la tierra, distancias, así como ángulos. Entre las aplicaciones típicas se encuentran los mercados de prospección de posición, edificios, construcción de caminos y la cartografía. Recientemente, se han reemplazado las varas de prospección clásicas basadas en espejos usadas en proyectos de prospección topográfica en entornos externos por varas basadas en GNSS que dependen de la ayuda del sistema global de navegación basado en satélites GNSS, como el Trimble R8. La **FIG. 1** muestra una vara 100 basada en GNSS que comprende una barra 110 con un extremo inferior 120 para posicionar sobre un punto 140 sobre la tierra que necesita localizarse. El extremo superior 130 comprende un dispositivo GNSS para determinar las coordenadas geográficas del punto 150 de referencia de la antena GNSS. Cuando la vara se encuentra completamente vertical, la diferencia en las coordenadas entre el punto 140 de tierra y el punto 150 GNSS es equivalente a la altura 160 de la vara (aproximadamente la longitud de la barra). Las varas basadas en GNSS son más fáciles de operar ya que no necesitan equipos externos para llevar a cabo mediciones adicionales ya que toda la electrónica GNSS se encuentra dentro del dispositivo GNSS. También proveen una computación de posición rápida y por tanto una prospección topográfica más rápida que los sistemas tradicionales basados en espejos. Las publicaciones US-A-2009/0024325, EP-A-2722647, y US-B-5929807 divulgan tres tales ejemplos de varas de prospección basadas en GNSS.

15

La base teórica subyacente a la vara de prospección es en primer lugar la computación de la posición 150 de la antena GNSS mediante un receptor geodésico GNSS y luego proyectar el punto a la tierra teniendo en cuenta la diferencia en altura 160. La operación se lleva a cabo por un usuario que manipula la vara de prospección, colocando el extremo inferior 120 sobre el punto 140 deseado del suelo para obtener sus coordenadas de posición 3D. La desventaja principal es que la vara tiene que estar completamente vertical, por tanto, siendo necesario el nivelar la vara usando un nivelador. Esto requiere más manipulación, toma más tiempo, y puede resultar en errores.

20

Desafortunadamente, aunque se consiga una verticalidad excelente, hay situaciones que no permiten colocar la vara en la posición vertical requerida, y por lo tanto, no es posible usar dichas varas. Se pueden dar tales situaciones debido a los obstáculos, como, por ejemplo, dentro o alrededor de edificios, entradas de túneles, o árboles. La **FIG. 2** muestra tales situaciones, en el que un árbol 220 o edificio 230 obstruye (representado por la cruz) la línea de visión directa entre el dispositivo GNSS y el sistema 210 de satélites.

25

Existen soluciones de varas de prospección que intentan solucionar este problema permitiendo que la vara se incline para determinar las coordenadas del punto de tierra tanto en el modo vertical como oblicuo. La capacidad de inclinar la vara tiene la ventaja de medir los puntos de otra forma inaccesibles, como en condiciones meteorológicas que no permiten una visibilidad completa del cielo, como zonas obstruidas por árboles, dentro de edificios, u otros objetos obstáculo. También, inclinando la vara, es posible obtener una línea de visión directa a más satélites que de otro modo, permitiendo por lo tanto una determinación de la posición del punto de tierra más precisa.

30

En cambio, para llevar a cabo la proyección del punto de tierra adecuadamente, se debe determinar el grado de inclinación, u orientación, de la vara inclinada para poder determinar la diferencia vertical real entre los extremos superior e inferior de la vara. Por lo tanto, es necesario incluir sensores hardware adicionales para medir esta orientación de vara y compensar la diferencia de altura vertical debido a la inclinación de la vara.

35

La **FIG. 3** muestra los tres ángulos de rotación que definen el grado de inclinación, u orientación, de la vara de prospección. El primer ángulo θ , el rumbo o guiñada, es el ángulo que define la rotación sobre el eje-z vertical 310. Cuando la vara apunta al norte, el rumbo es cero, en cambio mediante la rotación de la vara en el sentido del reloj, o contrarreloj, se genera un rumbo. El segundo ángulo α , la inclinación, es el ángulo que define la rotación sobre el eje-y horizontal 320. Cuando la vara está completamente vertical, la inclinación es cero, en cambio moviendo la vara hacia delante o atrás, se genera una inclinación. El tercer ángulo β , la barrena, es el ángulo que define la rotación sobre el eje-x horizontal 330. Cuando la vara está completamente vertical, la barrena es cero, en cambio moviendo la vara hacia la derecha o izquierda, se genera una barrena.

40

Soluciones actuales de varas de prospección GNSS de inclinación estiman la orientación de la vara usando magnetómetros e inclinómetros, como el Trimble R10, necesarios para llevar a cabo el posicionamiento GNSS a un

45

ángulo. La **FIG. 4** muestra la vara 400 de prospección comprendiendo componentes adicionales de magnetómetro e inclinómetro dentro del dispositivo 410 GNSS. Usando el magnetómetro, es posible obtener la orientación de la vara en relación al norte magnético, es decir, el rumbo. Con el uso de dos inclinómetros ortogonales es posible determinar los dos ángulos de orientación restantes (inclinación y barrena) de la vara en relación al eje vertical respecto a la tierra. Por lo tanto, esta solución permite operar en modo ladeado ya que se obtienen los tres ángulos usando un magnetómetro y un inclinómetro.

En cambio, tales soluciones sufren de restricciones críticas dadas principalmente por la interferencia causada a raíz de los campos magnéticos medioambientales. Los campos electromagnéticos más fuertes existentes en tales escenarios se generan a partir de la inducción electromagnética, como los existentes cerca de los raíles de ferrocarril, centrales de generación eléctrica, o cerca de objetos metálicos, que son entornos típicos de construcción en los que se tienen que llevar a cabo las prospecciones topográficas. Los campos electromagnéticos de los alrededores afectan las mediciones de estas varas tradicionales que sienten el campo magnético de la Tierra y las mediciones se distorsionan por este campo de interferencia, resultando en errores en la determinación de la inclinación, así como prospecciones topográficas imprecisas.

Por lo tanto, existe la necesidad de solventar de forma efectiva estos problemas descritos.

RESUMEN DE LA INVENCION

Es por lo tanto un objeto de la invención proporcionar soluciones a los problemas mencionados. En particular, es un objeto de la invención proporcionar varas de posicionamiento, o prospección, basadas en GNSS que pueden usarse tanto en el modo vertical como en el inclinado u oblicuo, y que son altamente precisos y fiables, incluso ante la presencia de campos electromagnéticos, o bajo la influencia de campos fuertes magnéticos.

Esto se consigue mediante la provisión de una vara de posicionamiento que comprende un sensor de posicionamiento por satélite y un sensor inercial. Una fase de inicialización determina la posición del punto de tierra y el rumbo absoluto con respecto al Norte geográfico con alta precisión usando muestras de datos inerciales correspondiendo a al menos tres inclinaciones diferentes de la vara. Se usa este rumbo absoluto luego en una fase operacional permitiendo usar la vara para determinaciones nuevas de puntos de tierra u orientación, pero sin tener que llevar a cabo el proceso de inicialización cada vez.

Una vez en un entorno abierto, es decir, en un escenario "no magnetizado", la vara de posicionamiento mejorada es capaz de localizar los puntos de tierra con extremadamente gran precisión y al menos la misma exactitud que los sistemas topográficos existentes. En cambio, en espacios medio-ocuidos o espacios con campos electromagnéticos fuertes, en los que las varas basadas en GNSS clásicas no son capaces de operar, la vara mejorada permite llevar a cabo un posicionamiento rápido con un rendimiento topográficamente aceptable, pero sin el uso de sensores magnéticos. Por lo tanto, se proporciona una vara de prospección que es más robusta (ya que no se ve afectada por los campos magnéticos) y que tiene una usabilidad extendida (ya que puede medir donde otras varas no pueden, por ejemplo, en entornos con cero o poca visibilidad de línea de visión al satélite).

Es por lo tanto un objeto de la invención proporcionar una vara de posicionamiento mejorada para la determinación de posición.

Es otro objeto de la invención proporcionar un procedimiento para la determinación de posición mejorada por una vara de posicionamiento.

Es otro objeto de la invención proporcionar un procedimiento para convertir las varas topográficas convencionales a varas de posicionamiento mejoradas.

Es otro objeto de la invención proporcionar un programa de ordenador que comprende instrucciones, que una vez ejecutadas en un procesador, para llevar a cabo las etapas de un procedimiento para la determinación de la posición mejorada por una vara de posicionamiento.

Es otro objeto de la invención proporcionar un medio legible por ordenador que comprende instrucciones, que una vez ejecutadas en un procesador, para llevar a cabo las etapas de un procedimiento para la determinación de la posición mejorada por una vara de posicionamiento.

La invención proporciona procedimientos y dispositivos que implementan varios aspectos, realizaciones, y características de la invención, y se implementan mediante medios variados. Los medios variados pueden comprender, por ejemplo, hardware, software, firmware, o una combinación de los mismos, y se pueden implementar estas técnicas en cualquier una, o combinación de, los medios variados.

Para una implementación hardware, los medios variados pueden comprender unidades de procesamiento implementados en uno o más circuitos integrados de aplicación específica (ASICs), procesadores de señales digitales (DSPs), dispositivos de procesamiento de señales digitales (DSPDs), dispositivos de lógica programable

(PLDs), conjuntos de puertas programables in situ (FPGAs), procesadores, controladores, microcontroladores, microprocesadores, otras unidades electrónicas diseñadas para llevar a cabo funciones descritas, o una combinación de las mismas.

5 Para una implementación software, los medios variados pueden comprender módulos (por ejemplo, procesos, funciones, y demás) que llevan a cabo las funciones descritas. El código de software puede almacenarse en una unidad de memoria y ser ejecutadas por un procesador. La unidad de memoria puede implementarse dentro del procesador o externo al procesador.

10 Se describen varios aspectos, configuraciones, y realizaciones de la invención. En particular, la invención proporciona procedimientos, aparatos, sistemas, procesadores, código de programa, medios legibles por ordenador, y otros aparatos y elementos que implementan varios aspectos, configuraciones y características de la invención, tal como descrito en lo siguiente.

15 **FIGURAS**

Las características y ventajas de la presente invención se harán más aparentes a partir de la descripción detallada que sigue en conjunción con los dibujos, en los que caracteres de referencia iguales identifican elementos correspondientes en diferentes dibujos. Se pueden también referenciar a los elementos correspondientes mediante caracteres distintos.

20 La **FIG. 1** muestra una vara de prospección basada en GNSS convencional.

25 La **FIG. 2** muestra situaciones en los que las varas de prospección convencional pueden o no pueden operar.

La **FIG. 3** muestra los distintos ángulos que componen la orientación de una vara de prospección.

30 La **FIG. 4** muestra una vara de prospección que comprende magnetómetros e inclinómetros.

La **FIG. 5** muestra una vara de posicionamiento mejorada de acuerdo a la invención.

35 La **FIG. 6** muestra medios de determinación de posicionamiento de la vara de posicionamiento mejorada de acuerdo a la invención.

La **FIG. 7** muestra un procedimiento para la determinación de posición usando la vara de posicionamiento mejorada de acuerdo a la invención.

40 La **FIG. 8** muestra una vista superior del movimiento de la vara de posicionamiento en una fase de inicialización.

Las **FIGs. 9 a 13** muestran parte del proceso de inicialización usando cinco muestras.

Las **FIGs. 14 a 18** muestran las etapas de procedimiento para la determinación de posición.

45 La **FIG. 19** muestra las etapas involucradas en la determinación de la posición.

La **FIG. 20** muestra la inicialización de la vara usando tres muestras de orientación diferentes.

50 La **FIG. 21** muestra el proceso de determinar el rumbo absoluto usando el conjunto de datos de tres muestras de orientación.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

55 La **FIG. 5** muestra una vara 500 de posicionamiento mejorada de acuerdo a una realización de la invención. La vara comprende una barra 510 con un extremo 520 inferior para posicionar sobre un punto 140 sobre el suelo que tiene que localizarse. El extremo 530 superior comprende un dispositivo de posicionamiento para determinar los ángulos de orientación de la vara y las coordenadas geodésicas del punto 550 de referencia. Los inventores se aprovechan de la longitud 560 fija de la barra, el hecho de que el extremo 520 inferior se coloca sobre el mismo punto 140 de tierra durante todo el proceso, y considerando que se determinan las coordenadas del extremo 550 superior por posicionamiento por satélite y la orientación relativa de la vara por los sensores inerciales.

60 La vara comprende componentes hardware que operan de acuerdo a un algoritmo, o software, para llevar a cabo la determinación de posición mejorada. El proceso se lleva a cabo iterativamente por un filtro Kalman, que se inicializa con un conjunto de información inicial que se actualiza continuamente de forma periódica secuencialmente en el tiempo. A intervalos de tiempo periódicos, o cada vez que hay nuevos datos inerciales o de posicionamiento GNSS

por satélite disponibles, el filtro Kalman del dispositivo de posicionamiento recalcula los ángulos de orientación (a partir de las velocidades angulares) y posiciones (a partir de las aceleraciones lineales).

5 La **FIG. 6** muestra los medios 600 para la determinación de posición, o dispositivo de posicionamiento, comprendiendo medios 610, 620 de posicionamiento por satélite, medios 630 de sensor inercial, medios 640 de procesamiento, y medios 670 de almacenamiento. El resultado de la determinación de la posición se entrega a dispositivos 680 externos.

10 Los medios de posicionamiento por satélite comprenden una antena GNSS 610 conectada a un receptor GNSS 620 para la comunicación con uno o más satélites de acuerdo al protocolo GNSS y para la recepción de datos no procesados de posicionamiento de satélite. Los datos no procesados se usan para determinar las coordenadas GNSS del extremo superior mediante el procesamiento diferencial. Esto se puede conseguir ya sea mediante 1) un receptor GNSS que incluye capacidades de procesamiento diferencial, 2) aplicar correcciones cinéticas en tiempo real de un procesador RTK, o 3) aplicar dicho procesamiento diferencial fuera de línea, en una etapa posprocesamiento. Ambos están conectados por un cable de radio frecuencia RF (baja atenuación para señales inferiores a 2 GHz) y los medios de posicionamiento por satélite están conectados a los medios 640 de procesamiento por una comunicación serial digital (RS232 o similar). La determinación de las coordenadas geográficas por un receptor GNSS se encuentra fuera del ámbito de la invención, y la persona de oficio puede usar receptores GNSS fácilmente disponibles mientras proporcionen las coordenadas geodésicas del extremo superior.

20 Los medios 630 de sensor inercial, o sensor inercial, son una unidad de medición inercial IMU comprendiendo acelerómetros y sensores de velocidad angular, o giroscopios. Están conectados a los medios 640 de procesamiento mediante un interfaz de comunicación, como un interfaz serial-a-paralelo SPI (o canal de comunicación análoga, analógica o digital). La persona de oficio puede usar IMUs fácilmente disponibles mientras proporcionen los datos inerciales necesarios para luego determinar la orientación de la vara de posicionamiento.

30 Los medios 640 de procesamiento comprenden medios 650 de adquisición, o módulo de adquisición, y medios 660 de procesamiento de datos, o módulo de procesamiento de datos. Los medios de adquisición comprenden medios 652 de inicialización para la estimación inicial de la posición del punto de tierra y la orientación. El punto de tierra se determina en base a los datos inerciales mediante ecuaciones de mecanización. Los medios de procesamiento comprenden además medios 654 de temporización para etiquetar una marca de tiempo a los datos de posición, así como los datos inerciales. La salida de los medios de temporización se envía a los medios 656 de comunicación para entregar los datos a los medios 660 de procesamiento de datos mediante el interfaz de comunicación, como el protocolo TCP/IP, o similar. Se almacena una copia de los datos localmente en el almacenamiento de memoria 658 así como, opcionalmente, en medios de memoria 670, para el posprocesamiento externo. Unos medios 670 de memoria interna pueden estar permanentemente instalados, o acoplados de forma removible, a los medios 640 de procesamiento y pueden ser, por ejemplo, una tarjeta de disco inteligente SD.

40 Los medios 654 de temporización proporcionan el tiempo de referencia para el etiquetaje de tiempo de los datos crudos adquiridos. En cambio, este reloj de referencia es bastante inestable y por lo tanto necesita estabilizarse. Se lleva a cabo la corrección usando la señal de sincronización pulso-por-segundo PPS proporcionado por el receptor GNSS 620. El desvío en el reloj del procesador se compensa usando esta señal PPS en intervalos de un segundo para mantener una buena marca de tiempo de referencia, resultando en el etiquetaje de tiempo preciso.

45 Los medios 660 de procesamiento de datos son responsables de determinar la posición 140 del punto de tierra usando los datos determinados por los medios de adquisición como entrada al filtro Kalman. Esta computación de punto de tierra se lleva a cabo por los medios 662 de posicionamiento y, opcionalmente, transmitidos por los medios 664 de comunicación a cualquier dispositivo 680 externo, como el interfaz humano o pantalla, mediante el protocolo TCP/IP, o similar. Se almacena una copia de los puntos de tierra computados en el almacenamiento de memoria 666 así como, opcionalmente, en medios de memoria 670.

55 La posición de tierra se determina a partir de una estimación inicial de punto de tierra que es una posición de punto de tierra aproximada determinada a partir de las coordenadas del punto 550 de la antena 550 y el conocimiento de la longitud de la vara 510. La estimación de punto de tierra inicial se determina resolviendo el siguiente problema de mínimos cuadrados en el que las coordenadas del punto de antena y las coordenadas del punto de tierra están relacionadas por la longitud de la vara. La diferencia en distancia entre los dos puntos es siempre la longitud de la vara:

$$L = || X_i - X_g || \quad \text{[ecuación 1]}$$

60 donde L es la longitud 560 (conocida) de la vara, X_i son las coordenadas 550 (conocidas) geodésicas de la antena GNSS de el paso i y X_g son las coordenadas 140 (desconocidas) geodésicas del punto de tierra a determinar. Seguidamente, se determina de forma exacta el punto de tierra obteniendo al menos dos otras estimaciones de punto de tierra a dos orientaciones diferentes de la vara, o inclinaciones. Esto se hace ladeando la vara en diferentes direcciones y estimando el punto de tierra. El punto de tierra final está basado en el resultado de al menos tres

conjuntos de datos. Los al menos tres conjuntos de datos proporcionan información de ángulo de orientación del sensor inercial usado para determinar con certidumbre la posición del punto de tierra.

Un sensor inercial, o unidad de medición inercial IMU, es un dispositivo electrónico que mide y reporta fuerzas y velocidades angulares específicas ejercidas sobre un cuerpo, usando una combinación de tres acelerómetros y tres giroscopios. Un acelerómetro mide fuerzas de aceleración en base a la segunda ley de Newton "La aceleración de un cuerpo es paralelo y directamente proporcional a la fuerza neta F aplicada e inversamente proporcional a su masa m". Típicamente, las unidades de aceleración se expresan en metros por segundo por segundo (m/s^2). Un giroscopio mide los incrementos en rotación angular a partir de una orientación de referencia. Los giroscopios están basados en el efecto Coriolis, midiendo la fuerza (F_c) de desviación de objetos en movimiento mientras están rotando a través de un marco de referencia. Típicamente, las unidades de giroscopio se expresan en grados por segundo ($grad/seg$). Se colocan los acelerómetros y giroscopios de tal forma que sus ejes de medición son ortogonales entre sí, siendo tres ejes diferentes (x,y,z). El sensor inercial genera datos inerciales comprendiendo tres aceleraciones (una por cada eje) y tres giroscopios (uno por cada eje).

Se obtienen muestras de datos inerciales para al menos tres inclinaciones de la vara. Se pueden determinar los ángulos de inclinación y barrena de la vara de prospección a partir de los datos inerciales de cualquier una inclinación. El ángulo de inclinación se determina como el arco seno de la aceleración medida en el eje-x del marco-cuerpo dividido por la constante gravitacional de la Tierra. El ángulo de barrena se determina como el arco seno de la aceleración medida en el eje-y del marco-cuerpo dividido por la constante gravitacional de la Tierra. Las siguientes ecuaciones son ejemplos de estos cálculos:

$$\alpha = -\text{asin}(a_x/g) \quad \text{[ecuación 2]}$$

$$\beta = \text{asin}(a_y/g) \quad \text{[ecuación 3]}$$

donde α es el ángulo de inclinación, β es el ángulo de barrena, a_x es la aceleración mediana medida en el eje-x, a_y es la aceleración mediana medida en el eje-y, y g es la fuerza de la gravedad igual a 9.81 m/s^2 . Por lo tanto, los ángulos de orientación de inclinación y barrena se determinan en base a los datos de aceleración mediana del eje-x y el eje-y, respectivamente.

Para cada inclinación de la vara, emergen una pluralidad de candidatos a punto de tierra de la pluralidad de intersecciones posibles de la proyección 570 vertical con la proyección 580 horizontal del extremo superior de la vara:

$$\text{Proyección vertical} = \text{longitud de vara} * \cos(\beta) * \cos(\alpha) \quad \text{[ecuación 4]}$$

$$\text{Proyección horizontal} = \text{longitud de vara} * \sin(\beta) * \sin(\alpha) \quad \text{[ecuación 5]}$$

La proyección vertical es el resultado de multiplicar la altura 560 de la vara con el coseno del ángulo de barrena y el coseno del ángulo de inclinación. La proyección horizontal es el resultado de multiplicar la altura 560 de la vara con el seno del ángulo de barrena y el seno del ángulo de inclinación.

A partir de esta pluralidad de candidatos de punto de tierra correspondiendo a cada inclinación de la vara, la posición de punto de tierra final se corresponde al candidato que es común a, al menos tres, diferentes inclinaciones, u orientaciones, de la vara. En otras palabras, es el candidato que coincide en todas las inclinaciones de la vara. La FIG. 20 muestra la vara en tres inclinaciones, u orientaciones, diferentes (puntos GNSS 1 a 3). El punto para el cual el candidato de punto de tierra es el mismo para las tres inclinaciones es el punto de tierra final 140. En la representación de la FIG. 20, esto se corresponde con el punto de intersección de los tres círculos, cada círculo correspondiéndose con la pluralidad de candidatos posibles en cada orientación de la vara. Por consiguiente, se necesitan de un mínimo de tres candidatos de punto de tierra para poder determinar el valor de punto de tierra final con certidumbre.

Por consiguiente, se proporciona un dispositivo para la determinación de posición en una vara de prospección que funciona con exactitud incluso en entornos magnetizados ya que no hace uso de magnetómetros. En cambio, dado su diseño simple, es económico y necesita de mínimos recursos de procesamiento. Esta determinación usando el mínimo de tres puntos de muestreo es precisa y también simple y rápida.

En caso de desear determinar la posición de un segundo punto de tierra, o incluso adicional, normalmente sería necesario repetir la inicialización para los puntos de tierra nuevos, una vez por cada punto de tierra nuevo. En cambio, en otro aspecto de la invención, una vez que se mide un primer punto de tierra, es posible rastrear de forma interna la diferencia hasta un nuevo punto de tierra y consiguientemente determinar las coordenadas geográficas de los puntos de tierra nuevos sin llevar a cabo otra fase de inicialización. Esto se consigue mediante la determinación, en la fase de inicialización, también del rumbo absoluto de la vara con respecto al Norte geográfico. Por consiguiente, una vez en una nueva posición, se puede derivar el punto de tierra nuevo en base al anterior y la información nueva de rumbo. Aunque se puedan determinar los ángulos de inclinación y barrena directamente a partir de los datos inerciales, el rumbo absoluto no se puede determinar directamente, ya que solamente hay

información relativa disponible. Consiguientemente, en una etapa posterior, se determina el rumbo, o Norte absoluto, usando los datos de las al menos tres muestras además del punto de tierra determinado.

Por consiguiente, un algoritmo simple y cómodo para el usuario permite, en una primera fase de inicialización, que cualquier usuario especialista o no especialista inicialice el dispositivo cuando se encuentra en contacto de línea de visión con los satélites GNSS. En una fase operacional posterior, el usuario puede continuar usando la vara de prospección en entornos sin el contacto de línea de visión con los satélites, ya que el mecanismo interno de rastreo permite, en todo momento, computar los ángulos de inclinación, barrena y rumbo, así como las coordenadas geodésicas de la vara. Por consiguiente, se proporciona una vara de posicionamiento de uso cómodo que opera con exactitud de una forma simple, económica y eficiente en cuanto al uso de recursos incluso en escenarios con interferencias electromagnéticas y que no permiten el contacto directo con los satélites.

La FIG. 21 muestra el proceso de determinar el rumbo absoluto usando los conjuntos de datos de tres puntos de muestreo, u orientaciones. En este aspecto, el ángulo de rumbo absoluto θ , o el ángulo con respecto al Norte geográfico, se determina en función del ángulo de inclinación, de barrena, la proyección vertical, y la proyección horizontal determinada a partir de las al menos tres muestras de datos iniciales. El rumbo θ se determina proyectando cada punto GNSS al punto de tierra conocido en cada uno de los al menos tres ángulos de orientación usando una matriz de rotación (conteniendo los ángulos de rumbo, inclinación y barrena) y usando un vector de traslación (la distancia de la vara):

$$X_g = X_i + R_M(\theta, \alpha, \beta) \cdot T_v(0,0,L) \quad \text{[ecuación 6]}$$

donde L es la longitud 560 (conocida) de la vara, α es el ángulo (conocido) de inclinación, β es el ángulo (conocido) de barrena, θ es el ángulo (desconocido) de rumbo, X_i son las coordenadas 550 (conocidas) geodésicas de la antena GNSS del paso i, X_g son las coordenadas (conocidas) geodésicas del punto 140 de tierra a determinar, R_M es la matriz de rotación y T_v es el vector de traslación. Una vez que se determina el rumbo, las determinaciones posteriores de la posición no necesitan de las etapas de inicialización y se pueden llevar a cabo muy rápidamente.

En este punto, se ha completado el proceso de determinar la posición y la orientación por la vara de prospección ya que el dispositivo de posicionamiento proporciona, mediante pantalla o algún otro interfaz, las coordenadas del punto de tierra, así como la orientación de la vara, comprendiendo los ángulos de rumbo, inclinación, y barrena.

En otro aspecto de la invención, el proceso de determinación de la posición y la orientación se lleva a cabo en cambio usando más de tres candidatos. A medida que se toman en consideración más puntos de muestreo, se reduce la tolerancia de error en los candidatos de punto de tierra y las imprecisiones inherentes del sensor son filtradas. Por ejemplo, se ha descubierto que obteniendo los conjuntos de datos de cinco orientaciones diferentes proporciona la precisión requerida. En este aspecto óptimo, se obtiene una precisión más elevada a cambio de velocidad, a medida que hacen falta más mediciones. En el resto de la descripción, se proporcionan más detalles, pero usando la determinación de cinco muestras, a modo de ejemplo. La persona de oficio entenderá que se puede aplicar la misma descripción a cualquier número de muestras mientras sean conjuntos de datos obtenidos a partir de al menos tres orientaciones diferentes.

En otro aspecto, se ha observado que los sensores inerciales exhiben imprecisiones inherentes, que se propagan y resultan en errores adicionales en la determinación del ángulo. Los errores se pueden clasificar como errores sistemáticos como el sesgo (por ejemplo, debido a desalineaciones y efectos de temperatura) y errores no sistemáticos, como los debidos al ruido blanco medioambiental. Los medios de sensor inercial comprenden un mecanismo de compensación de error para corregir los errores sistemáticos, o sesgo. El sesgo de los medios de sensor inercial resulta en imprecisiones en la determinación del ángulo que resultan en candidatos de punto de tierra que son también imprecisos y sufren de desviaciones. Además, esto complica la determinación con exactitud del punto de tierra final que es el único candidato que debería ser el mismo en las al menos tres orientaciones diferentes, ya que ninguno de los candidatos coincide completamente. Por consiguiente, en un aspecto adicional de la invención, se calibran los medios de posicionamiento mediante la estimación del sesgo del sensor inercial, y restándolo iterativamente de las lecturas de datos inerciales, resultando en datos inerciales compensados. Los datos inerciales compensados, libres de errores sistemáticos inherentes, resultan en un grado elevado de precisión en la determinación de la posición y orientación del punto de tierra.

Seguidamente, se determinan los valores de sesgo del sensor inercial mediante la determinación de un vector de valores de sesgo del acelerómetro en función de la siguiente fórmula:

$$B_{\text{acel}}^b = a^b - R_M(\theta, \alpha, \beta) \cdot (0,0,g)^T \quad \text{[ecuación 7]}$$

donde B_{acel}^b es el vector (desconocido) representando el sesgo del acelerómetro en el marco-cuerpo. El vector a^b son los valores (conocidos) medios de las aceleraciones medidas del sensor de inercia (en una configuración Bfrd) en la primera etapa de calibración, R_M es la matriz (conocida) de rotación entre el marco de referencia local y el marco de referencia del cuerpo y g es la fuerza de la gravedad igual a 9.81m/s^2 . En esta expresión, los valores de sesgo del sensor acelerómetro se determinan, en una posición estática, en función de la fuerza única siendo medida, siendo la

fuerza de la gravedad. La fuerza se puede distribuir en los tres ejes, por lo tanto, se necesita de una matriz de rotación para transformar el marco de referencia local al marco de referencia del cuerpo.

Seguidamente, se determina el vector de valores de sesgo de giroscopio en función de la siguiente fórmula:

5

$$B_{\text{giro}}^b = w^b - R_e^b \cdot (0,0,w)^T \quad \text{[ecuación 8]}$$

10

donde B_{giro}^b es el vector (conocido) representando el sesgo de los giroscopios en el marco-cuerpo. El vector w^b son los valores (conocidos) medios de las velocidades angulares medidas por el sensor inercial (en una configuración Bfrd) en la primera etapa de calibración, R_e^b es la matriz de rotación (conocida) entre el marco de referencia Centrado en la Tierra Fijado en la Tierra, ECEF, y el marco de referencia del cuerpo y w es la rotación de la velocidad de la Tierra igual a 15°/h. Los valores de sesgo del sensor del giroscopio se determinan, en una posición estática, sabiendo que la rotación angular única medida es la rotación de la Tierra. La velocidad angular puede estar distribuida en los tres ejes, por lo tanto, se necesita de una matriz de rotación para transformar el marco de referencia Centrado en la Tierra Fijado en la Tierra, ECEF, al marco de referencia del cuerpo.

15

Una vez que se computan estos valores de sesgo, se restan de las lecturas de datos inerciales para compensar el error sistemático de sensor usando las fórmulas siguientes. Para el acelerómetro, el vector (desconocido) de aceleraciones corregidas (a_c^b) es la sustracción del vector (conocido) previamente calculado de los sesgos de acelerómetro (B_{acel}^b) del vector actual (conocido) de las aceleraciones medidas en el marco-cuerpo (a^b). Una fórmula de ejemplo es:

20

$$a_c^b = a^b - B_{\text{acel}}^b \quad \text{[ecuación 9]}$$

25

donde, a^b es el vector de aceleraciones medidas en el marco-cuerpo, B_{acel}^b es el vector de sesgos de acelerómetro, y a_c^b es el vector de las aceleraciones corregidas. Para los giroscopios, el vector (desconocido) de velocidades angulares corregidas (w_c^b) es la sustracción del vector (conocido) previamente calculado de los sesgos de velocidades angulares (B_{giro}^b) del vector actual (conocido) de las velocidades angulares medidas en el marco-cuerpo (w^b). Se muestra abajo un ejemplo de este cálculo:

30

$$w_c^b = w^b - B_{\text{giro}}^b \quad \text{[ecuación 10]}$$

donde w^b es el vector de velocidades angulares medidas en el marco-cuerpo, B_{giro}^b es el vector de sesgos de las velocidades angulares, y w_c^b es el vector de las velocidades angulares corregidas.

35

Por lo tanto, usando los datos inerciales corregidos para errores, se determinan los ángulos de posición y orientación α , β , θ de la vara con más precisión. En lo siguiente, la descripción comprende la corrección de error, no obstante, tal como mencionado, la determinación de la orientación y la posición de la vara puede también usarse sin el mecanismo de corrección de error descrito, en cambio no será tan preciso.

40

La **FIG. 7** muestra un procedimiento 700 para determinar los valores iniciales de las coordenadas de tierra comprendiendo el mecanismo de corrección de error. En una primera etapa de inicialización se determina 710 la inclinación, o las orientaciones tridimensionales de la vara. En una segunda etapa, se determinan 720 los valores de calibración del sensor inercial. En una tercera etapa, se determinan 730 las coordenadas de punto de tierra en base a los valores de inclinación y calibración determinados.

45

El algoritmo 710 de determinación de la inclinación comprende determinar los parámetros de orientación de la vara de posicionamiento 500, es decir, determinar el ángulo de rumbo θ , el ángulo de inclinación α y el ángulo de barrena β . La **FIG. 8** muestra el movimiento de la vara visualmente (desde la vista superior de la vara) en el aspecto que comprende cinco conjuntos de datos de muestreo, donde se determina una primera posición GNSS en una primera posición 810, seguidamente se determina una segunda posición GNSS en una segunda posición 820, seguidamente se determina una tercera posición GNSS en una tercera posición 830, seguidamente se determina una cuarta posición GNSS en una cuarta posición 840, y se determina una quinta posición GNSS en una quinta posición 850. Se le indica al usuario de cambiar de posiciones mediante un indicador, como un LED, vibrador, o en una pantalla GUI, que tiene un primer modo de procesamiento que indica que se está determinando la posición, y un segundo modo de cambio, que indica ladear la vara. El dispositivo de posicionamiento puede también comprender un botón para que el usuario indique cada vez que la vara se ha inclinado a una de las posiciones requeridas, y apunte al dispositivo de posicionamiento a empezar con la determinación de la posición. En vez de un pulsador, es también posible para el usuario proporcionar esta indicación mediante un interfaz de usuario, como un teclado, ratón, o GUI sobre una pantalla plana, o similar. En lo siguiente se describe cada etapa de la fase de inicialización. Las FIGs. 9 a 13 muestran el ladeo de la vara en cinco posiciones diferentes mientras que las FIGs. 14 a 18 muestran las etapas de procedimiento llevadas a cabo en cada una de las cinco posiciones, respectivamente. El proceso de inicialización debería llevarse a cabo en una situación de cielo despejado, con un contacto de línea de visión directa con los satélites GNSS.

60

65

La **FIG. 9** y **FIG. 14** muestran la vara en una primera posición, a medida que se determina la primera 1 posición GNSS de acuerdo a los parámetros de orientación $\alpha_1=0$ y $\beta_1=0$, es decir, completamente vertical. Una vez colocada en la primera posición 1410, el usuario presiona 1420 el botón y mantiene la posición durante un intervalo T1 de tiempo predeterminado, por ejemplo, de varios segundos. En caso de que el botón no se presione durante el tiempo predeterminado, el algoritmo aborta 1430 y espera a que se presione el botón. En caso positivo, se determinan 1440 los datos del punto 1 GNSS y los datos de sensor inercial. Una vez que vence el intervalo de tiempo, si los datos no han sido correctamente adquiridos, el LED parpadea 1460 en ROJO indicando al usuario de repetir esta etapa, tal y como representado por la flecha de retroalimentación. De otro modo, el LED parpadea 1450 en VERDE y procede 1 a esperar la presión del botón correspondiendo a la segunda posición.

La **FIG. 10** y **FIG. 15** muestran la vara en la segunda posición 820, a medida que se determina la segunda 2 posición GNSS de acuerdo a los parámetros de orientación α_2 y β_2 . Aquí, el usuario ladea la vara, en cualquier dirección entre 20 y 45 grados. Una vez colocada en la segunda posición, el usuario presiona 1520 el botón y mantiene la posición durante un intervalo de tiempo predeterminado. En caso de que el botón no se presione durante el tiempo predeterminado, el algoritmo aborta 1530 y espera a que se presione el botón. En caso positivo, se determinan los datos del punto 2 GNSS y los datos de sensor inercial. Una vez que vence el intervalo de tiempo, si los datos no han sido correctamente adquiridos, el LED parpadea 1560 en ROJO indicando al usuario de repetir esta etapa, tal y como representado por la flecha de retroalimentación. De otro modo, el LED parpadea 1550 en VERDE y procede 2 a esperar la presión del botón correspondiendo a la tercera posición. Como la vara de puede ladear en cualquier dirección, esto da al usuario flexibilidad en el uso de la vara para la determinación de la posición, considerando los obstáculos presentes en el escenario de medición particular.

La **FIG. 11** y **FIG. 16** muestran la vara en la tercera posición 830, a medida que se determina la tercera 3 posición GNSS de acuerdo a los parámetros de orientación α_3 y β_3 . Aquí, el usuario ladea la vara en dirección opuesta de la segunda posición, o entre 20 y 45 grados de la línea vertical en dirección opuesta. Una vez colocada en la tercera posición, el usuario presiona el botón y mantiene la posición durante un intervalo de tiempo predeterminado. En caso de que el botón no se presione durante el tiempo predeterminado, el algoritmo aborta 1630 y espera a que se presione el botón. En caso positivo, se determinan los datos del punto 3 GNSS y los datos de sensor inercial. Una vez que vence el intervalo de tiempo, si los datos no han sido correctamente adquiridos, el LED parpadea 1660 en ROJO indicando al usuario de repetir esta etapa, tal y como representado por la flecha de retroalimentación. De otro modo, el LED parpadea 1650 en VERDE y procede 3 a esperar la presión del botón correspondiendo a la cuarta posición.

La **FIG. 12** y **FIG. 17** muestran la vara en la cuarta posición 840, a medida que se determina la cuarta 4 posición GNSS de acuerdo a los parámetros de orientación α_4 y β_4 . Aquí, el usuario ladea la vara entre 20 y 45 grados en una dirección perpendicular al eje dibujado por la segunda y tercera posición de las etapas anteriores. Una vez colocada en la cuarta posición, el usuario presiona el botón y mantiene la posición durante un intervalo de tiempo predeterminado. En caso de que el botón no se presione durante el tiempo predeterminado, el algoritmo aborta 1730 y espera a que se presione el botón. En caso positivo, se determinan los datos del punto 4 GNSS y los datos de sensor inercial. Una vez que vence el intervalo de tiempo, si los datos no han sido correctamente adquiridos, el LED parpadea 1760 en ROJO indicando al usuario de repetir esta etapa, tal y como representado por la flecha de retroalimentación. De otro modo, el LED parpadea 1750 en VERDE y procede 4 a esperar la presión del botón correspondiendo a la quinta posición.

La **FIG. 13** y **FIG. 18** muestran la vara en la quinta posición 850, a medida que se determina la quinta 5 posición GNSS de acuerdo a los parámetros de orientación α_5 y β_5 . Aquí, el usuario ladea la vara en dirección opuesta a la de la cuarta posición, entre 20 y 45 grados de la línea vertical en dirección opuesta. Una vez colocada en la quinta posición, el usuario presiona el botón y mantiene la posición durante un intervalo de tiempo predeterminado. En caso de que el botón no se presione durante el tiempo predeterminado, el algoritmo aborta 1830 y espera a que se presione el botón. En caso positivo, se determinan los datos del punto 5 GNSS y los datos de sensor inercial. Una vez que vence el intervalo de tiempo, si los datos no han sido correctamente adquiridos, el LED parpadea 1860 en ROJO indicando al usuario de repetir esta etapa, tal y como representado por la flecha de retroalimentación. De otro modo, el LED parpadea 1850 en VERDE y procede 5 a llevar a cabo la determinación de posición del punto de tierra 140.

La **FIG. 19** muestra las etapas involucradas en la determinación de posición. En la etapa 1910 se determina una primera estimación de punto de tierra 140. Seguidamente, en la etapa 1920, se determinan los ángulos de orientación (rumbo, inclinación, barrena). Seguidamente, en la etapa 1930, se determina el sesgo en los medios de sensor inercial. En la etapa 1940, se actualiza la primera estimación de posición de punto de tierra tomando en cuenta el sesgo determinado resultando en una posición de punto de tierra 140 precisa. Esta posición se almacena tanto en el almacenamiento de memoria local como en el almacenamiento de memoria interno 670. También se hace disponible al dispositivo externo. Seguidamente, en la etapa 1950, se determina si el botón sigue presionado. En caso negativo, se actualiza 1940 de forma continua la posición del punto de tierra.

En cambio, en caso positivo, en la etapa 1960, se determina si el botón es presionado por un segundo intervalo de tiempo predeterminado T2 inferior a T1, indicando que se desea una nueva determinación de la posición de punto de

tierra. En caso positivo, en la etapa 1970, se lleva a cabo una nueva primera determinación de punto de tierra, como en la etapa 1910, en cambio ahora se actualiza 1940 inmediatamente esta estimación usando los ángulos de inclinación y valores de sesgo existentes. No hay necesidad de repetir la inicialización y los valores de error de sesgo ya que se asume que la vara se está usando para medir un punto de tierra distinto, pero bajo la influencia de interferencia electromagnética similar para el mismo escenario. El proceso acaba 1980 cuando no se presiona más el botón, indicando que no se desea continuar con determinaciones adicionales. En caso de que el botón se vuelva a presionar por una duración T1 predeterminada más larga, el dispositivo comienza un proceso nuevo de inicialización y estimación de sesgo ya que se asume que el escenario ha cambiado y que la vara se encuentra bajo la influencia de una interferencia electromagnética diferente.

En un aspecto, se pueden llevar a cabo todas las etapas del algoritmo de determinación de la posición en tiempo real. En otro aspecto, algunas de las etapas se pueden llevar a cabo en una fase posprocesamiento usando todos los datos almacenados en los varios medios de almacenamiento. También, alguna parte o todo el algoritmo de determinación de posición se puede llevar a cabo localmente en el dispositivo mismo, o también exportar los datos a cualquier dispositivo externo de computación para llevar a cabo las computaciones requeridas.

Por lo tanto los diferentes aspectos de la invención descritos permiten la determinación de la posición de forma rápida pero precisa para aplicaciones topológicas, que sea resiliente a campos magnéticos permitiendo el uso de la vara de posicionamiento en cualquier posición (no solamente en la horizontal) incrementando por ello el número de escenarios en el que se puede usar la herramienta, resultando en una vara de prospección más versátil sin embargo fiable (que se puede utilizar en entornos complicados, como raíles o centrales generadoras eléctricas). Además, una vez aplicada en combinación con ecuaciones de mecanización INS/GNSS clásicos, resulta un sistema de inicialización y calibración de sensor inercial globalmente más rápido, redundando en una herramienta más eficiente para la determinación de la posición.

Además, se entiende que las realizaciones y aspectos descritos se pueden implementar por medios variados en hardware, software, firmware, middleware, micro-código, o cualquier combinación de los mismos. Varios aspectos o características descritas pueden implementarse, por un lado, como un método o procedimiento o función, y por el otro lado, como un aparato, dispositivo, sistema, o programa de ordenador accesible por cualquier dispositivo legible por ordenador, portador o medio. Los procedimientos o algoritmos descritos pueden implementarse directamente en hardware, en un módulo software ejecutado por un procesador, o una combinación de las dos.

Los varios medios pueden comprender módulos de software residentes en memoria RAM, memoria flash, memoria ROM, memoria EPROM, memoria EEPROM, registros, disco duro, disco removible, un CD-ROM, o cualquier otro tipo de medio de almacenamiento conocido en la técnica.

Los varios medios pueden comprender bloques de lógica, módulos, y circuitos se pueden implementar o llevado a cabo por un procesador de propósito general, un procesador de señales digitales (DSP), un circuito integrado específico de aplicación (ASIC), un conjunto de puertas programable in situ (FPGA), u otros dispositivos de lógica programable, de puerta discreta o de lógica de transistor, componentes discretos de hardware, o cualquier combinación de los mismos diseñados para llevar a cabo las funciones descritas. Un procesador de propósito general puede ser un micro procesador, pero en la alternativa, el procesador puede ser un procesador convencional, controlador, microcontrolador, o máquina de estado.

Los varios medios pueden comprender medios legibles por ordenador incluyendo, pero no limitado a, dispositivos de almacenamiento magnético (por ejemplo, discos duros, discos floppy, tiras magnéticas, y demás), discos ópticos (por ejemplo, discos compactos CD o versátiles DVD, y demás), tarjetas inteligentes y unidades de almacenamiento flash temporales (por ejemplo, EPROM, lápiz tarjeta, unidad llave, y demás). Adicionalmente, la variedad de medios de almacenamiento descritos puede representar uno o más dispositivos y/o medios legibles por ordenador para almacenar información. El término medio legible por ordenador puede comprender, sin estar limitado a ello, una variedad de medios capaces de almacenar, guardar, o transportar instrucciones y/o datos. Adicionalmente, un producto de programa de ordenador puede comprender un medio legible por ordenador con una o más instrucciones o códigos operativos para hacer que un ordenador lleve a cabo las funciones descritas una vez ejecutadas en el ordenador.

Lo que se ha descrito comprende una o más realizaciones a modo de ejemplo. Por supuesto no es posible describir cada combinación, o permutación, concebible, de los componentes y/o metodologías con el propósito de describir las realizaciones mencionadas. En cambio, la persona de oficio se dará cuenta que muchas otras combinaciones y permutaciones de realizaciones varias son posibles dentro del concepto inventivo después de una lectura directa y objetiva de esta divulgación. Consecuentemente, la intención es acoger todas dichas alteraciones, modificaciones y variaciones que entran dentro del ámbito de las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Una vara de posicionamiento (500) para la determinación de la posición de un punto de tierra, que comprende una barra con un extremo inferior para colocar sobre el punto de tierra a determinar y medios de determinación de posición en su extremo superior, comprendiendo los medios (600) de determinación de posición:
- medios (610, 620) de posicionamiento por satélite para adquirir las coordenadas geodésicas de un punto de referencia del extremo superior a una cierta inclinación de la vara;
- 10 medios (630) de sensor inercial para adquirir los datos inerciales del punto de referencia del extremo superior correspondiendo a la inclinación de la vara; caracterizado por que los medios de determinación de posición comprenden
- medios (640) de procesamiento para determinar las coordenadas del punto de tierra como una función de la longitud de la barra, y las coordenadas geodésicas adquiridas y los datos inerciales correspondiendo a al menos tres inclinaciones de vara diferentes, donde los medios de procesamiento están adaptados para definir una pluralidad de candidatos de punto de tierra como la pluralidad de intersecciones posibles de la proyección vertical (570) con la proyección horizontal (580) del extremo superior de la vara correspondiendo a cada inclinación de la barra, y la posición final del punto de tierra se corresponde al candidato que es común a las al menos tres inclinaciones de vara diferentes.
- 20 2. La vara de la reivindicación 1, en el que los medios de determinación de posición comprenden adicionalmente medios de almacenamiento de memoria para almacenar todos los datos adquiridos y los resultados de las determinaciones.
- 25 3. La vara de la reivindicación 2, en el que los medios de posicionamiento por satélite comprenden una antena GNSS y un receptor GNSS, y en el que las coordenadas geodésicas del punto de tierra del extremo superior se corresponden a las de la antena GNSS.
- 30 4. La vara de la reivindicación 3, en el que los medios de procesamiento comprenden medios de adquisición para adquirir las coordenadas geodésicas de los medios de posicionamiento por satélite y para adquirir los datos inerciales de los medios de sensor inercial.
- 35 5. La vara de la reivindicación 4, en el que los medios de procesamiento comprenden medios de procesamiento de datos para determinar las coordenadas del punto de tierra utilizando los datos de los medios de adquisición, en el que la posición del punto de tierra se determina como una función del ángulo de inclinación y del ángulo de barrena de la vara.
- 40 6. La vara de la reivindicación 4, en el que los medios de procesamiento comprenden adicionalmente medios de etiquetaje de tiempo para marcar el tiempo a los datos de posición así como los datos inerciales, y comprenden adicionalmente medios de comunicación para entregar los datos adquiridos y/o los resultados de las determinaciones a un dispositivo externo, y comprendiendo adicionalmente medios indicadores para indicar cuando ladear la vara a una posición de inclinación nueva, y para indicar una vez que el punto de tierra se ha determinado.
- 45 7. Un procedimiento para la determinación de la posición de un punto de tierra por una vara de posicionamiento, comprendiendo la vara de posicionamiento una barra con un extremo inferior para colocar sobre el punto de tierra a determinar y medios (600) de determinación de posición en su extremo superior, comprendiendo el procedimiento una fase de inicialización que comprende:
- 50 adquirir, para al menos tres inclinaciones de vara diferentes, las coordenadas geodésicas y los datos inerciales de un punto de referencia del extremo superior; caracterizado por que la fase de inicialización comprende
- determinar las coordenadas del punto de tierra como una función de la longitud de la barra, y las coordenadas geodésicas adquiridas y los datos inerciales correspondiendo a al menos tres inclinaciones de vara diferentes, y definir una pluralidad de candidatos de punto de tierra como la pluralidad de intersecciones posibles de la proyección vertical (570) con la proyección horizontal (580)
- 55 del extremo superior de la vara correspondiendo a cada inclinación de la barra, y la posición final del punto de tierra se corresponde al candidato que es común a las al menos tres inclinaciones de vara diferentes.
- 60 8. El procedimiento de la reivindicación 7, en el que las al menos tres inclinaciones de barra diferentes comprenden ladear el extremo superior de la vara mientras se mantiene el extremo inferior fijo sobre el mismo punto de tierra, para tres, o al menos cuatro, o preferiblemente cinco, inclinaciones de barra diferentes, en el que para el caso de tres inclinaciones, el extremo superior en cada inclinación preferiblemente se corresponde a las esquinas de un triángulo equilátero, en el que para el caso de cuatro

inclinaciones, el extremo superior en cada inclinación preferiblemente se corresponde a las esquinas de un cuadrado, y en el que para el caso de cinco inclinaciones, el extremo superior en cada inclinación preferiblemente se corresponde a las esquinas de un cuadrado y su punto central.

- 5 **9.** El procedimiento de la reivindicación 8, comprendiendo determinar el ángulo de inclinación y el ángulo de barrena a partir de los datos inerciales correspondiendo a cada inclinación de la barra como una función de la aceleración mediana medida en el eje-x y el eje-y, respectivamente y en el que la posición del punto de tierra se determina también como una función de los ángulos de inclinación y barrena.
- 10 **10.** El procedimiento de la reivindicación 9, comprendiendo determinar el ángulo de rumbo absoluto de la vara en base al ángulo actual de inclinación, el ángulo actual de barrena y las coordenadas geodésicas de los puntos de tierra previos y actuales.
- 15 **11.** El procedimiento de la reivindicación 8, comprendiendo adicionalmente un mecanismo de corrección de errores que comprende estimar los valores de sesgo del sensor inercial y restarlos de los valores de datos inerciales adquiridos, en el que los valores de sesgo son los valores de sesgo de acelerómetro y los valores de sesgo de giroscopio.
- 20 **12.** El procedimiento de la reivindicación 9, comprendiendo adicionalmente una fase operacional posterior sin la adquisición de coordenadas geodésicas y datos inerciales, en el que la posición del punto de tierra se determina como una función de las coordenadas del punto de tierra previas, y rastrear las diferencias en los ángulos de inclinación, barrena y rumbo.
- 25 **13.** Un procedimiento para producir una vara de prospección mejorada a partir de una vara de prospección convencional, comprendiendo el procedimiento reemplazar todos los dispositivos electrónicos de la vara convencional con un único medio de determinación de posición como reivindicado en la reivindicación 1 colocado en el extremo superior de la vara.
- 30 **14.** Un programa de ordenador que comprende instrucciones, una vez ejecutadas en un procesador, para llevar a cabo las etapas de procedimiento de una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 13.
- 15.** Un medio legible por ordenador que comprende instrucciones, una vez ejecutadas en un procesador, para llevar a cabo las etapas de procedimiento de una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 13.

35

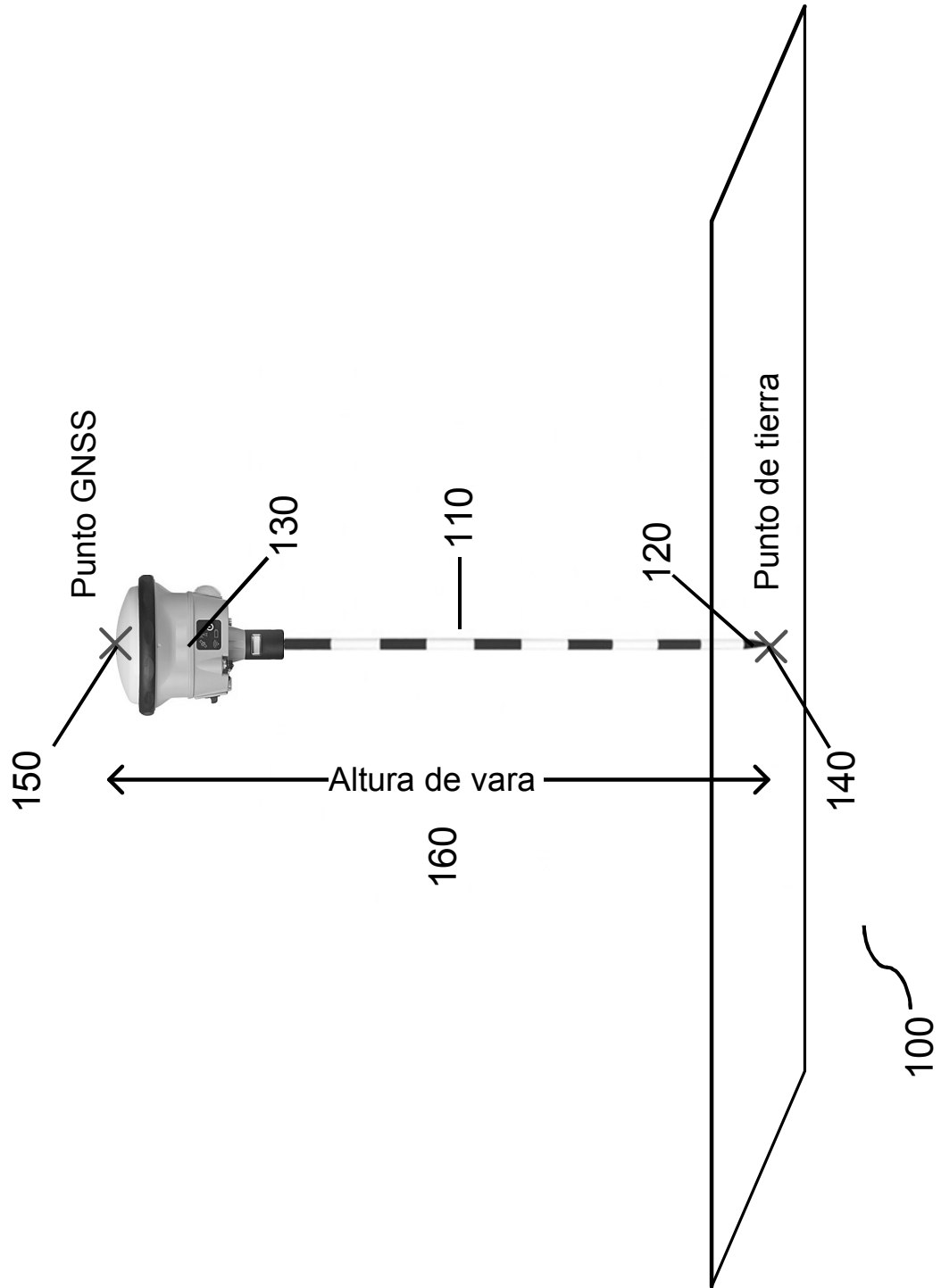


FIG. 1

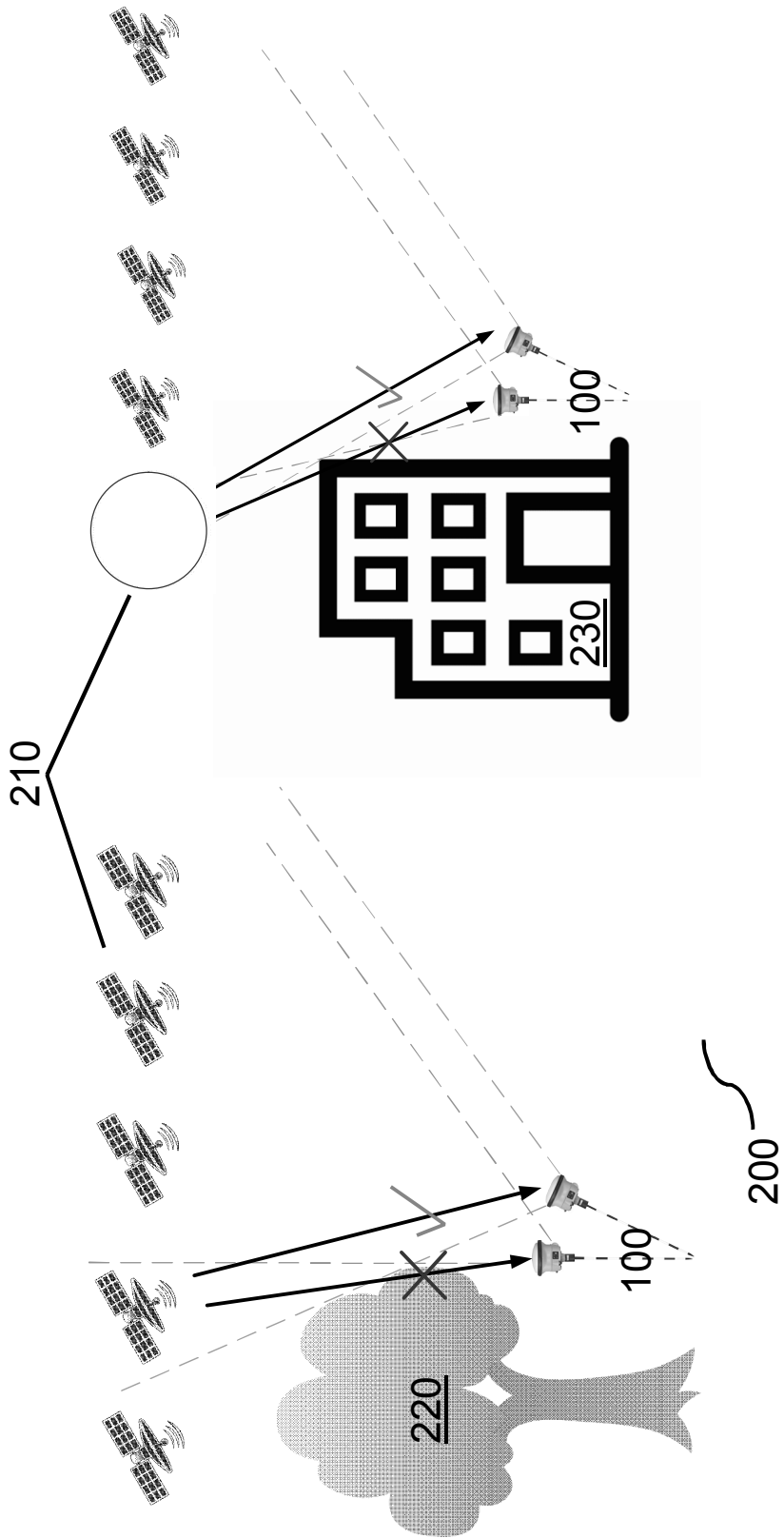


FIG. 2

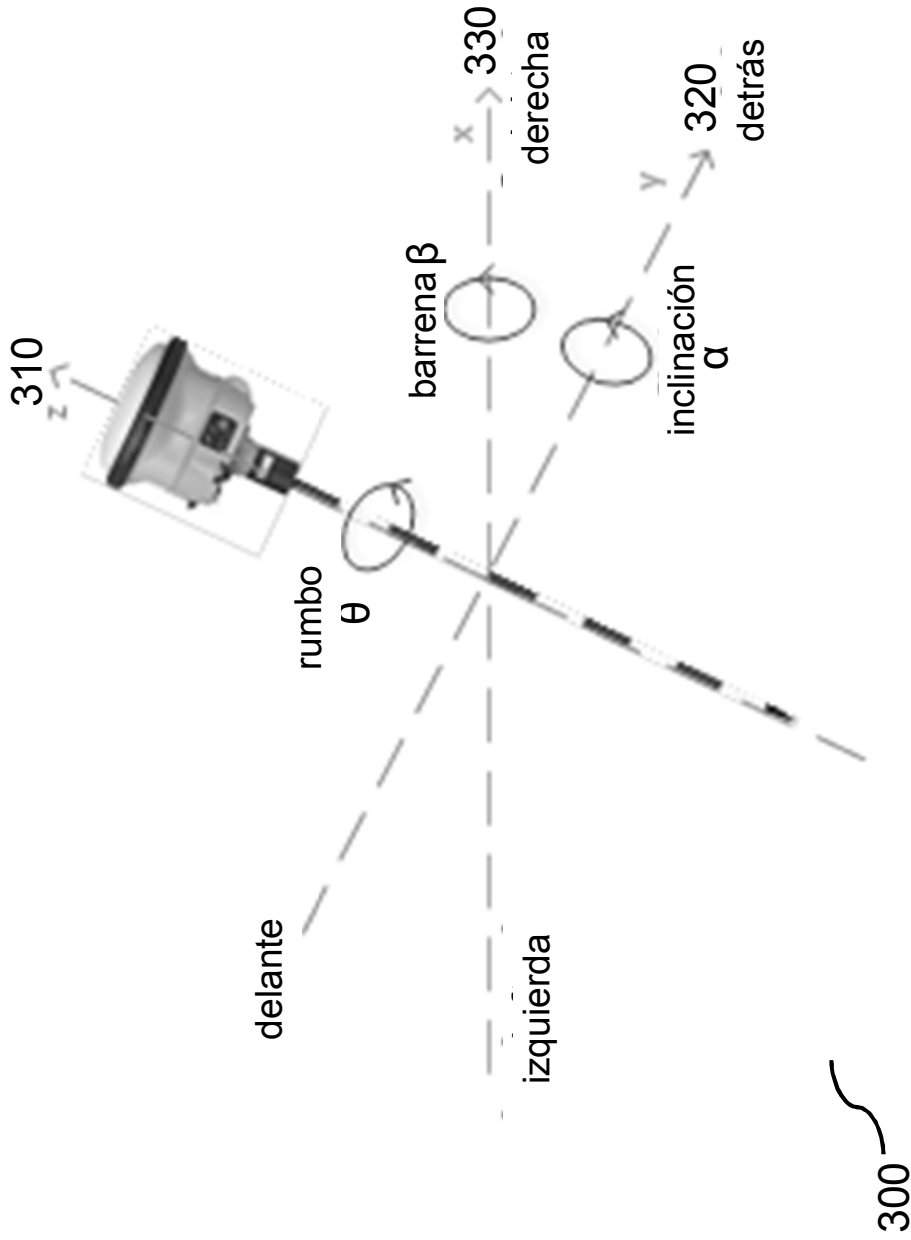


FIG. 3

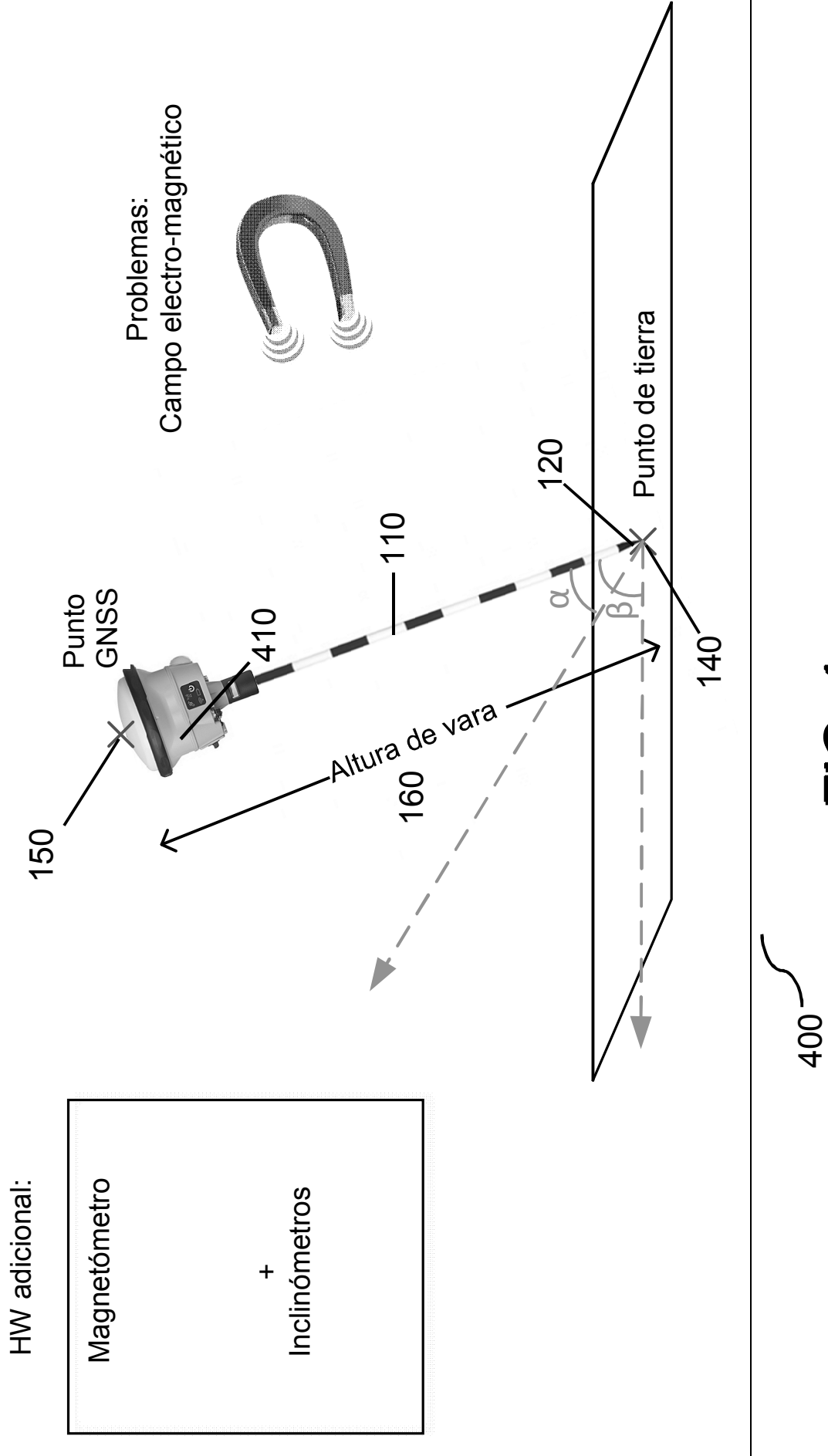


FIG. 4

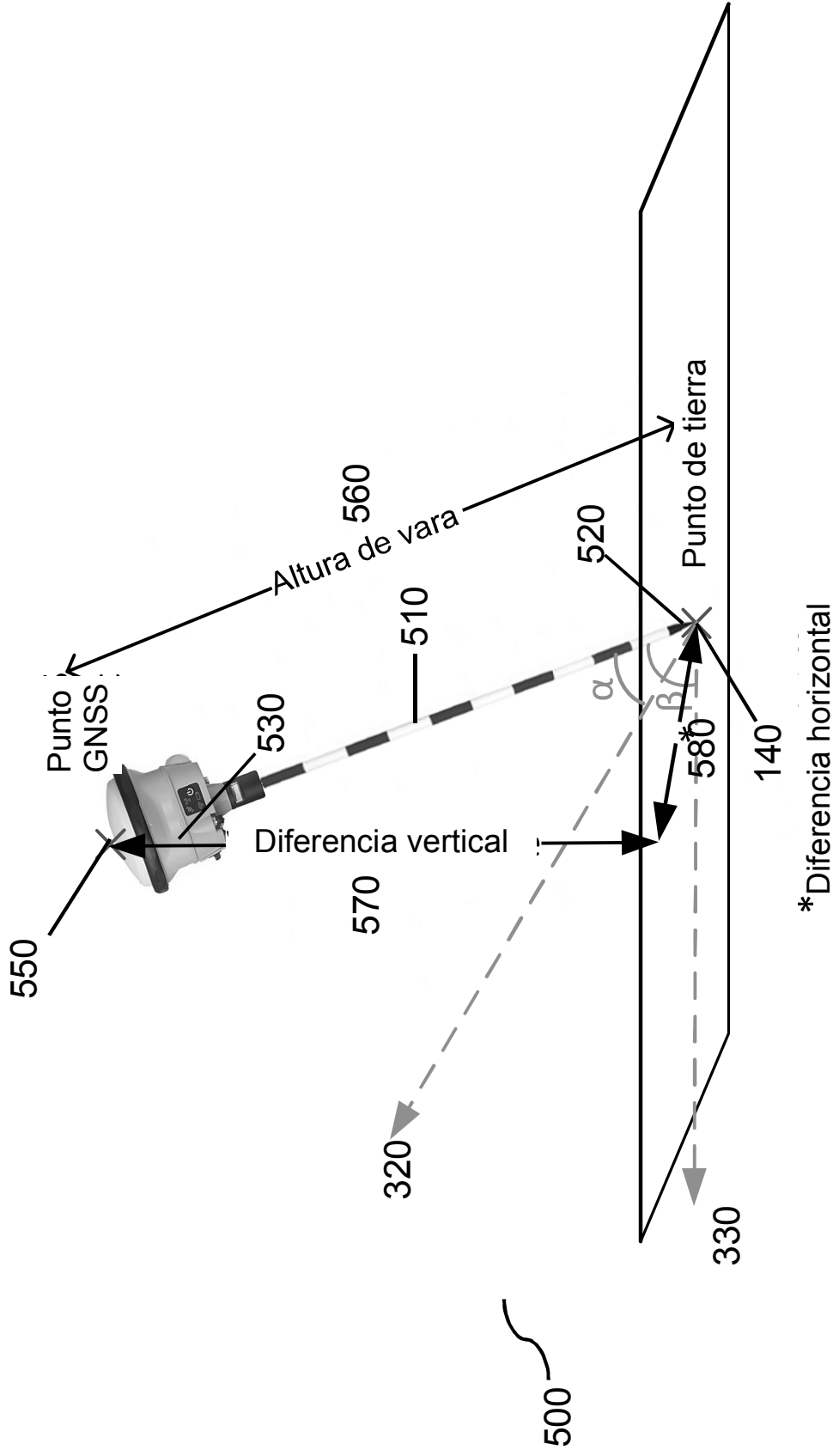


FIG. 5

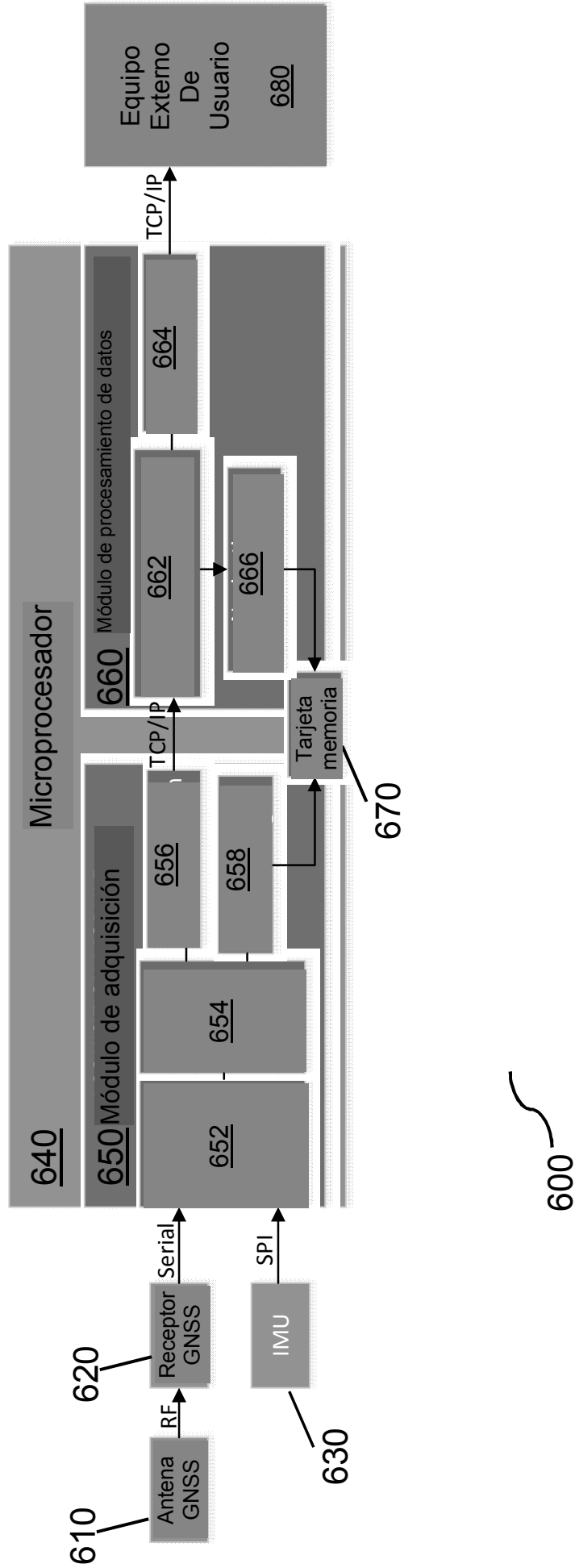


FIG. 6

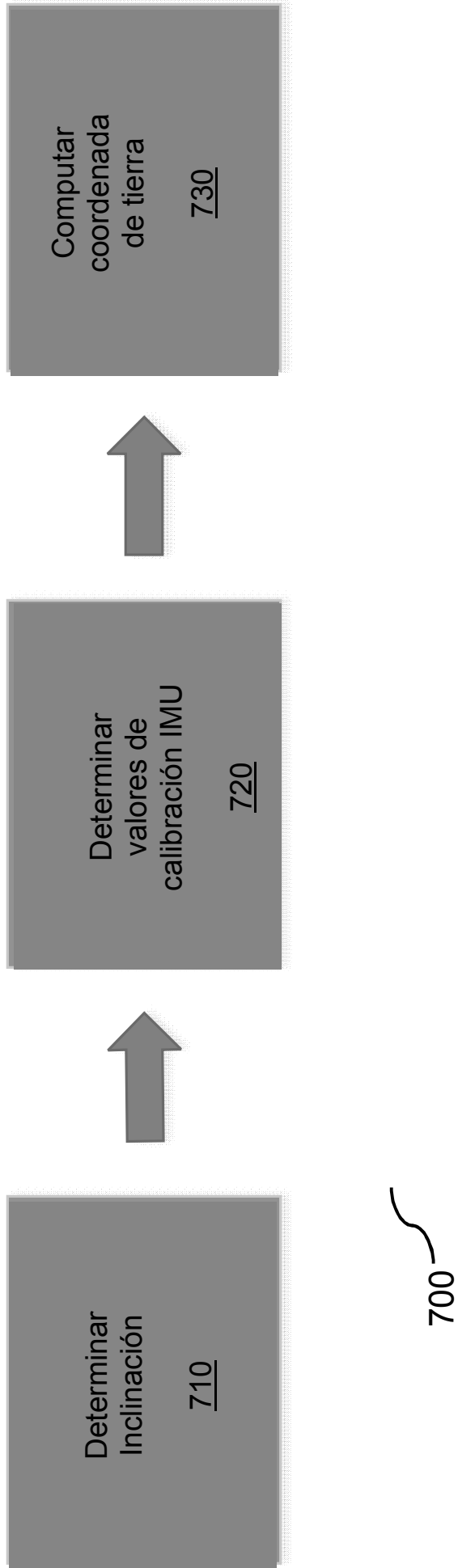


FIG. 7

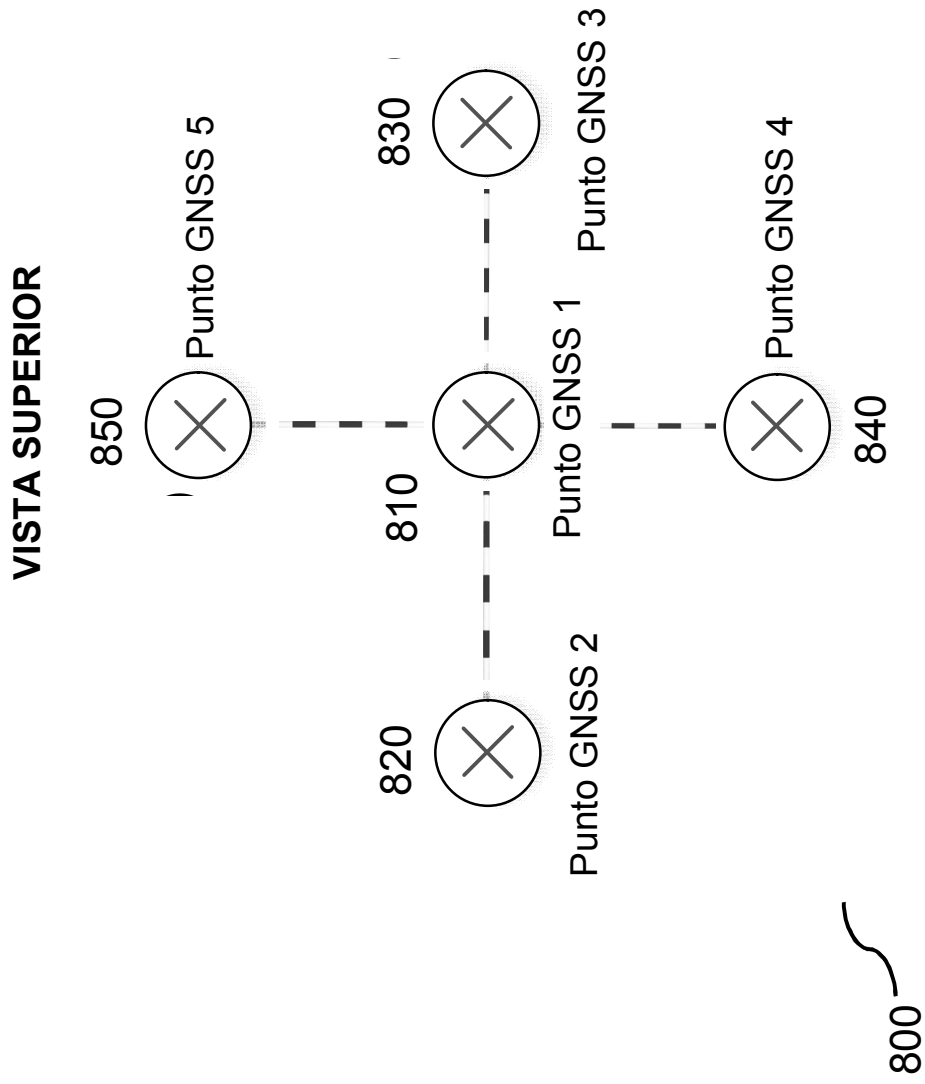


FIG. 8

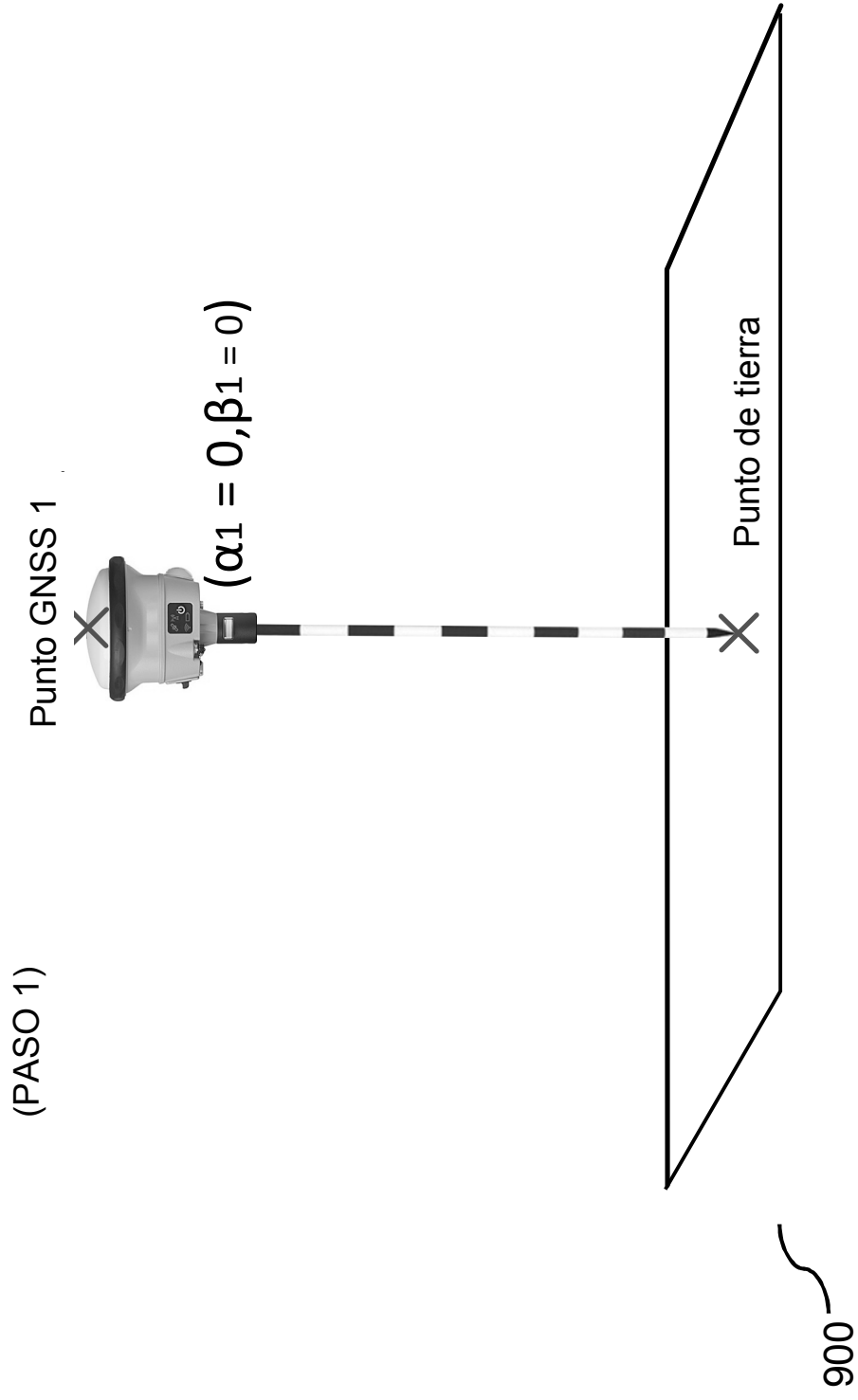


FIG. 9

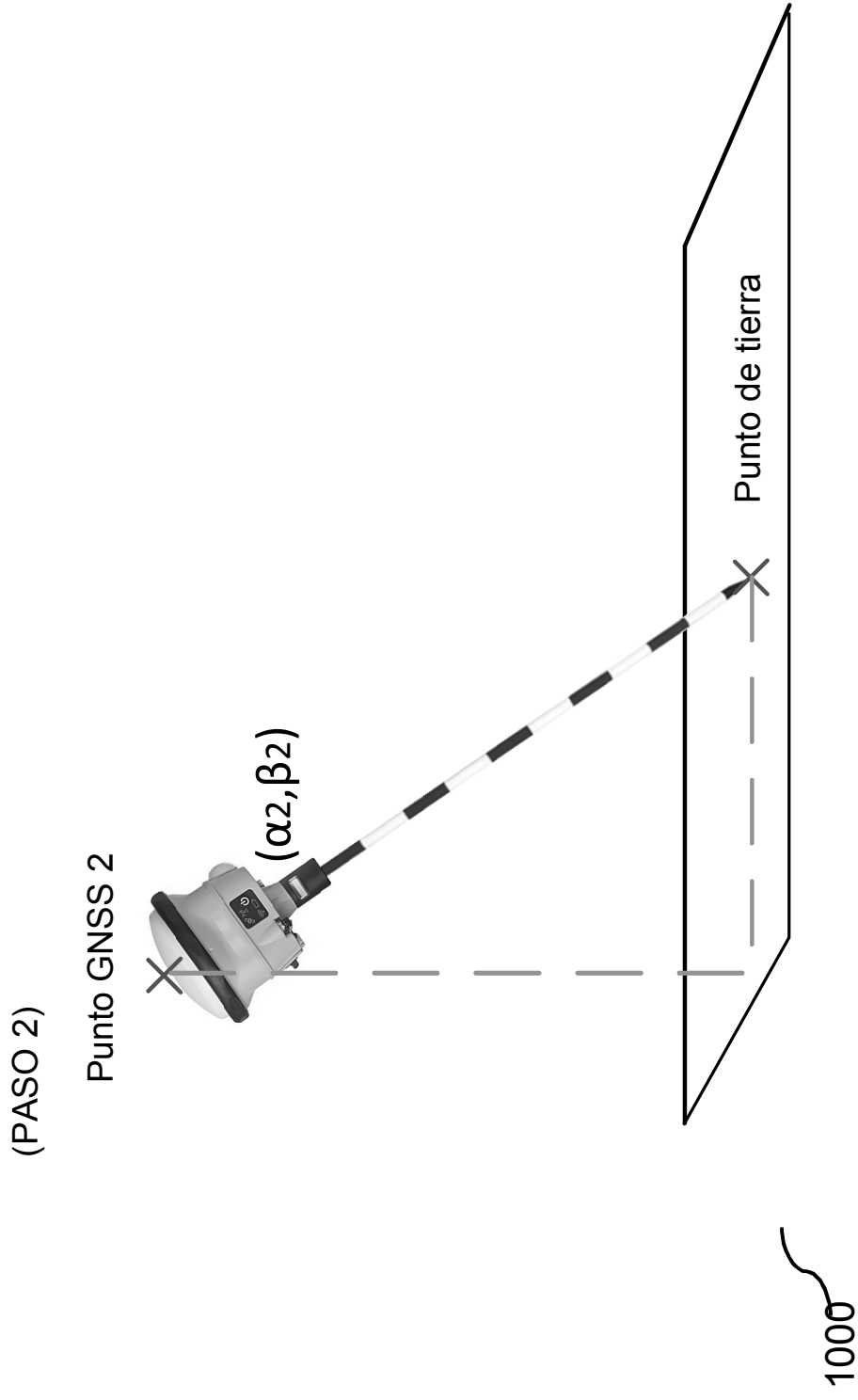


FIG. 10

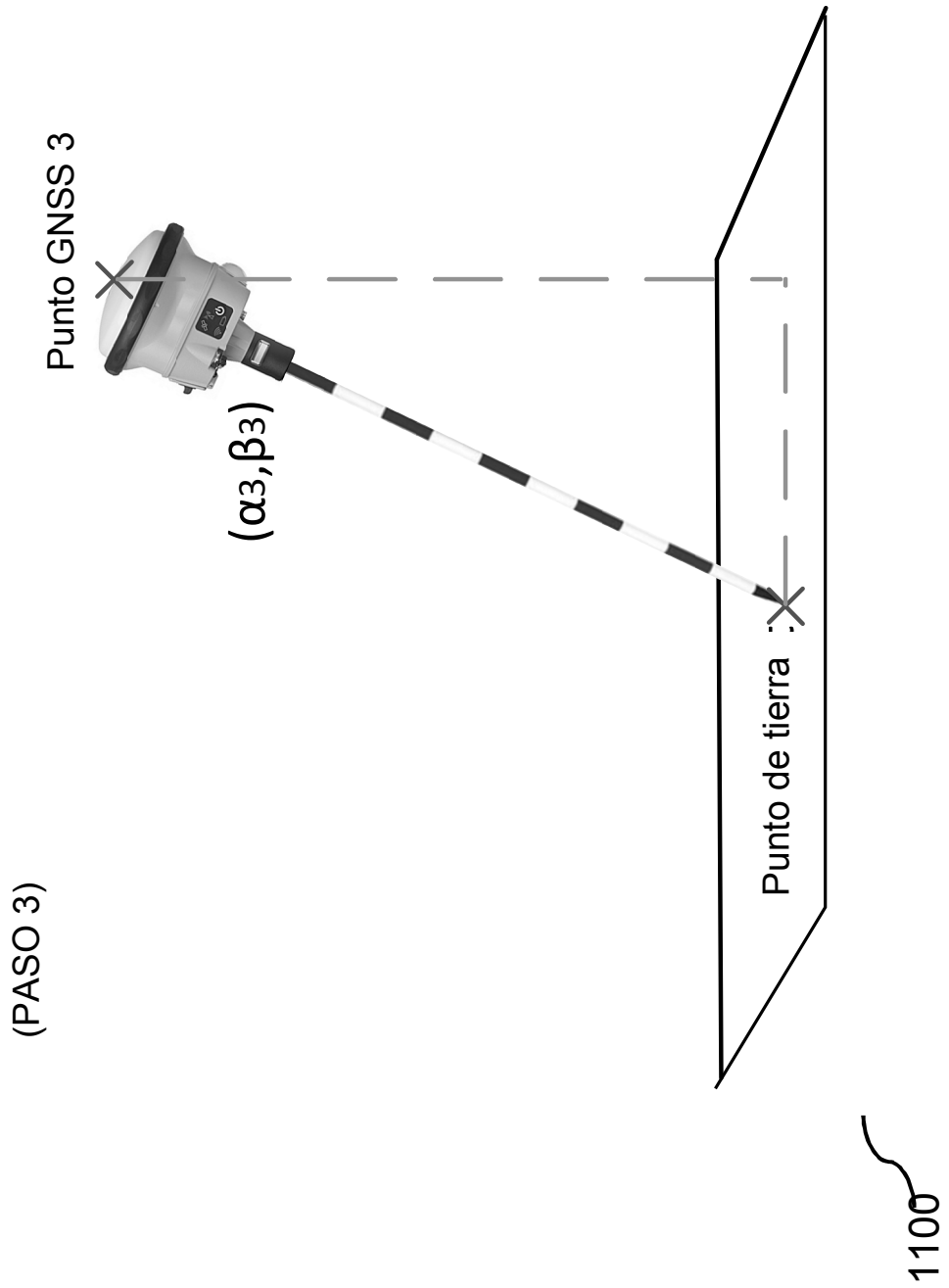


FIG. 11

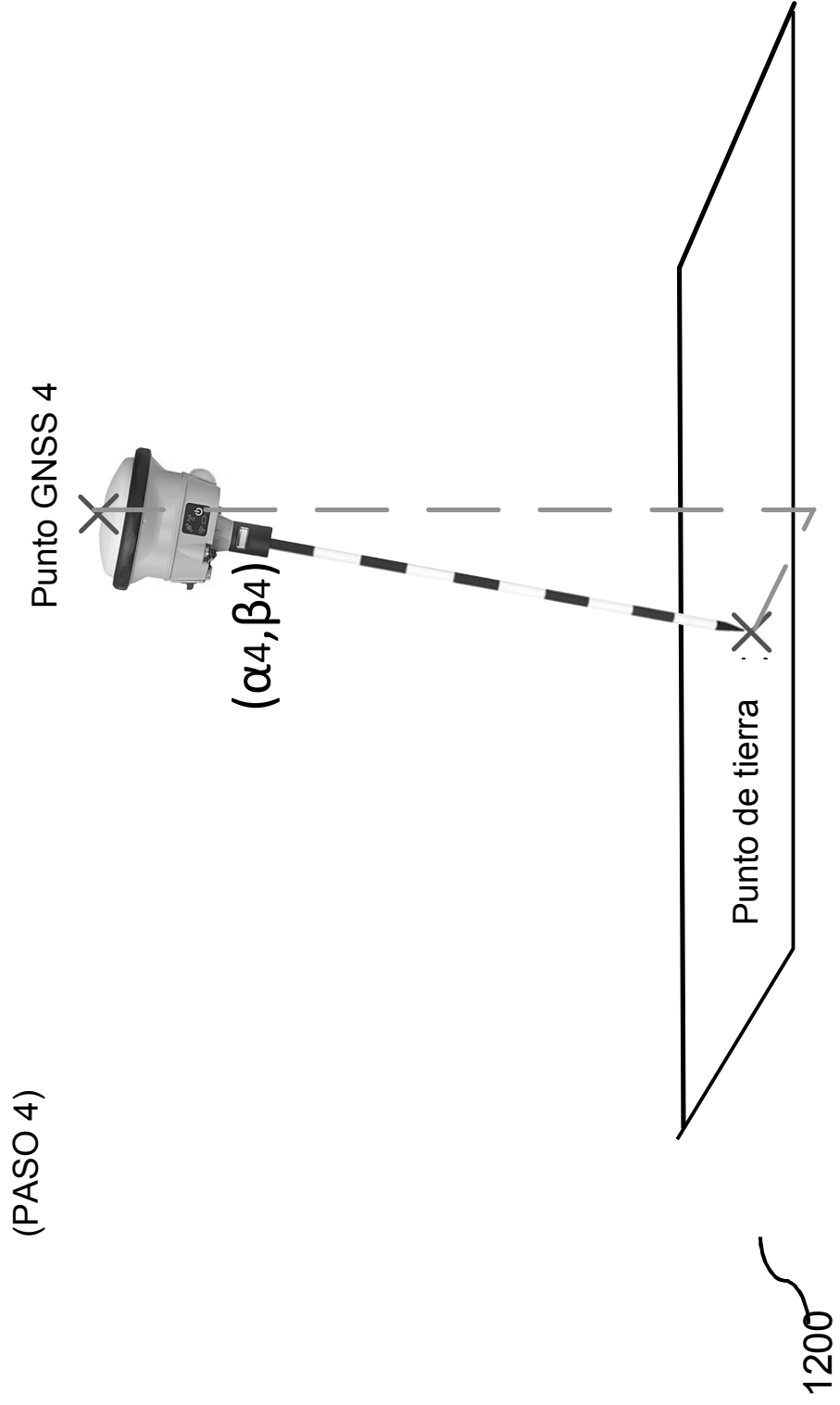


FIG. 12

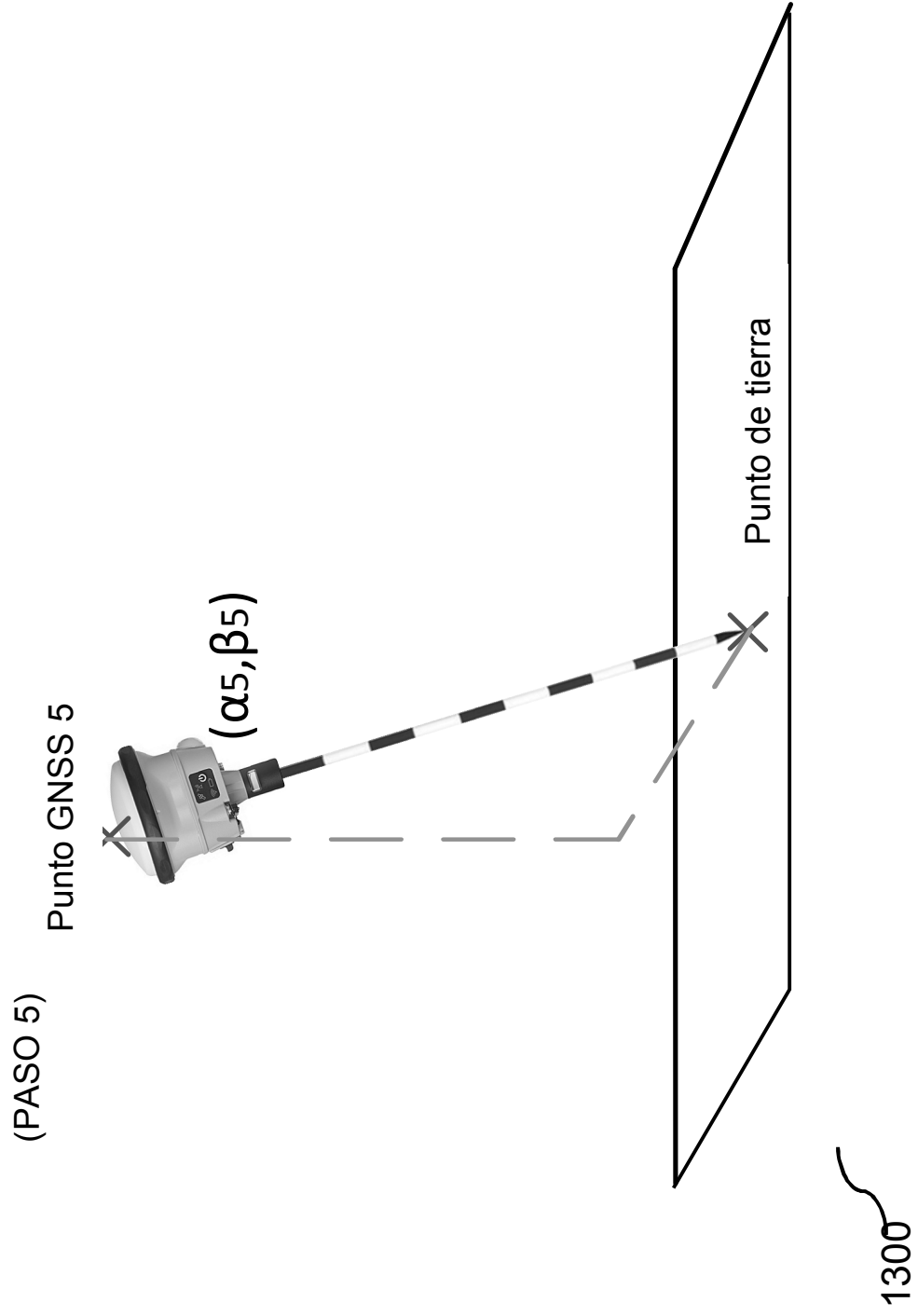


FIG. 13

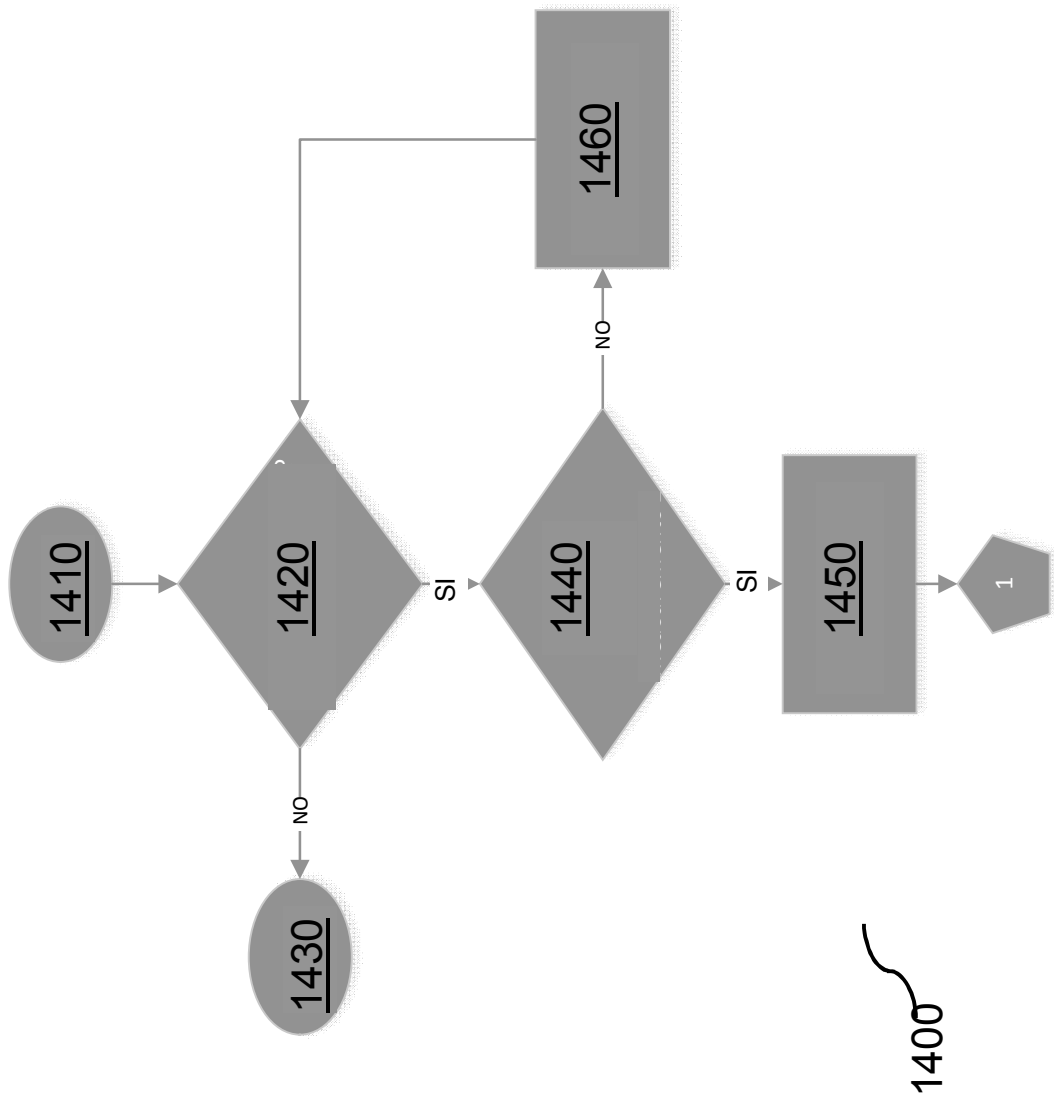


FIG. 14

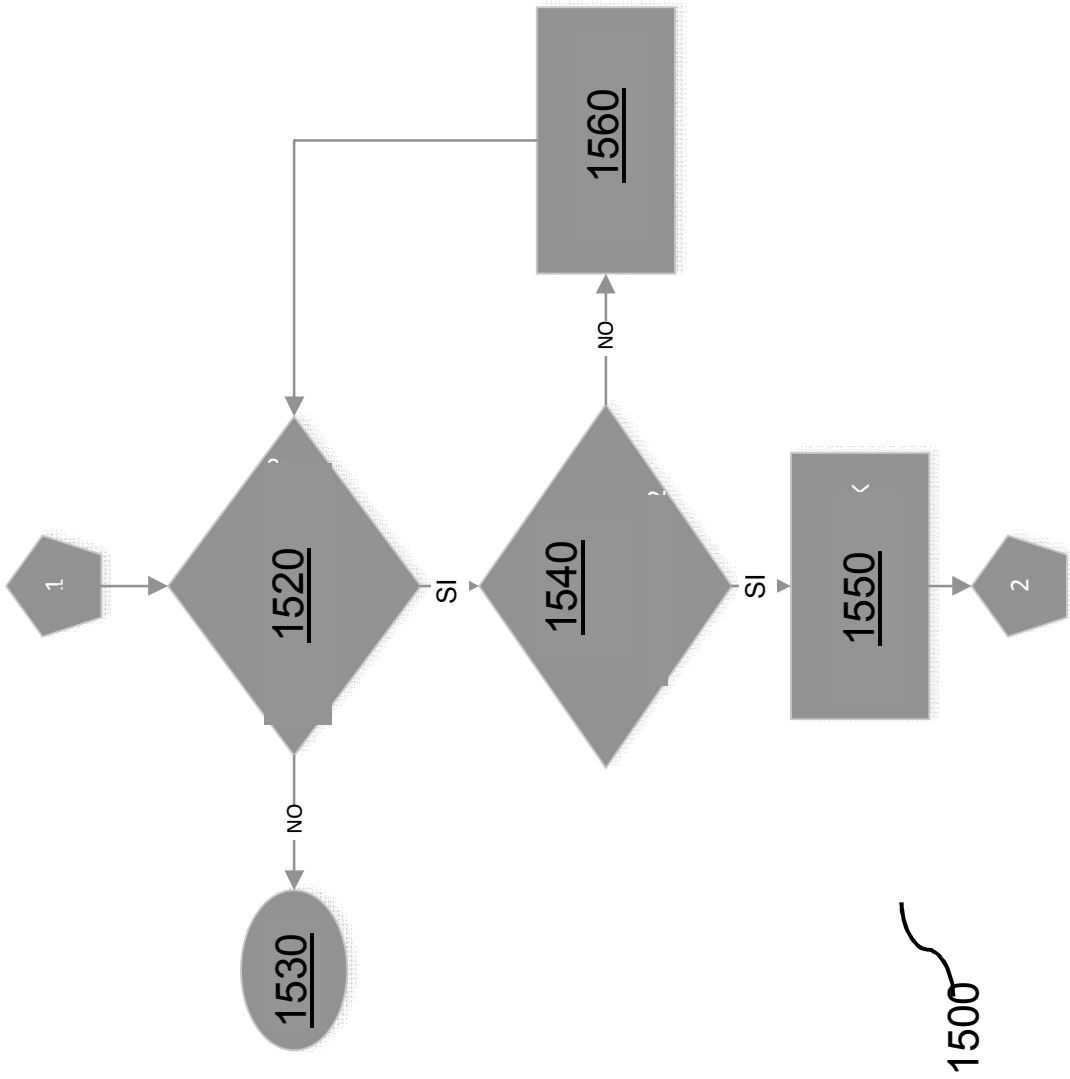


FIG. 15

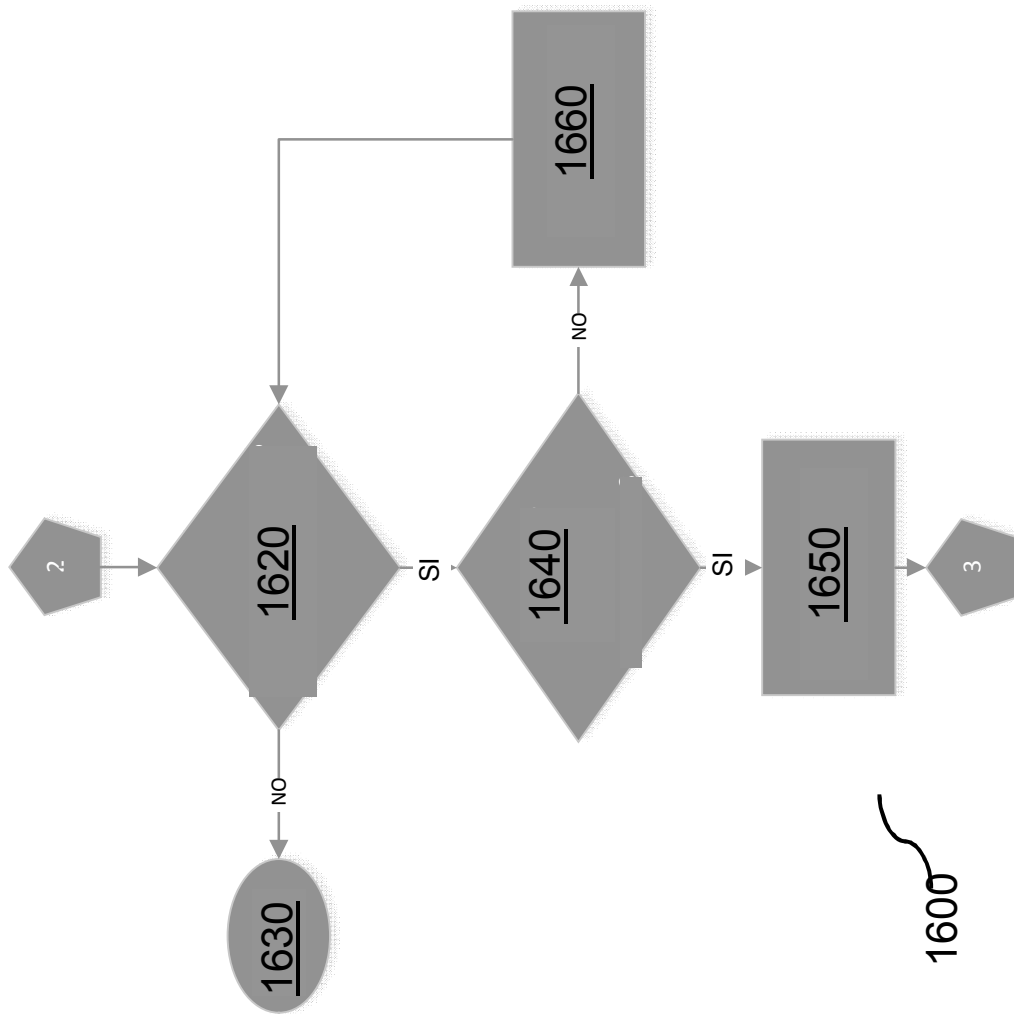


FIG. 16

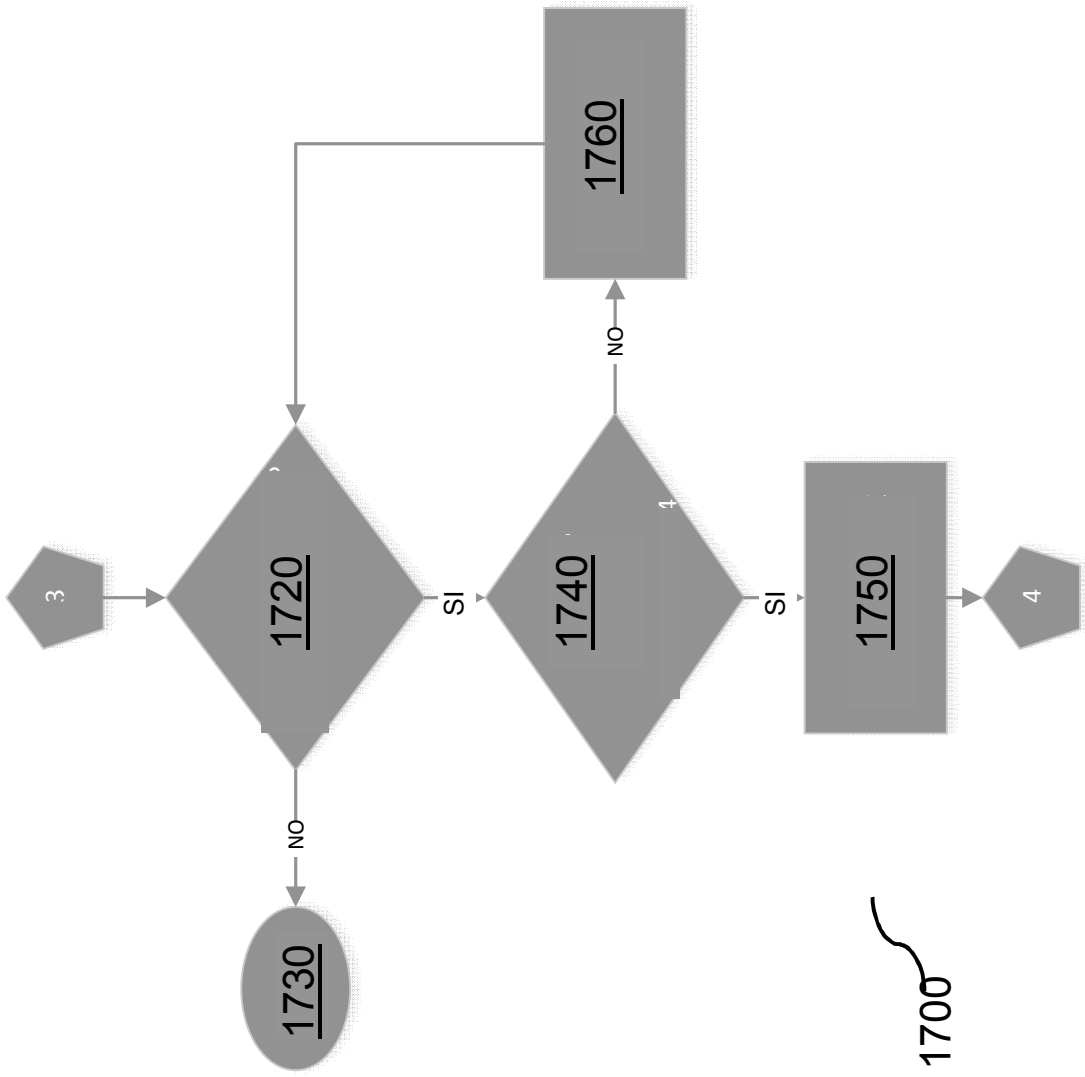


FIG. 17

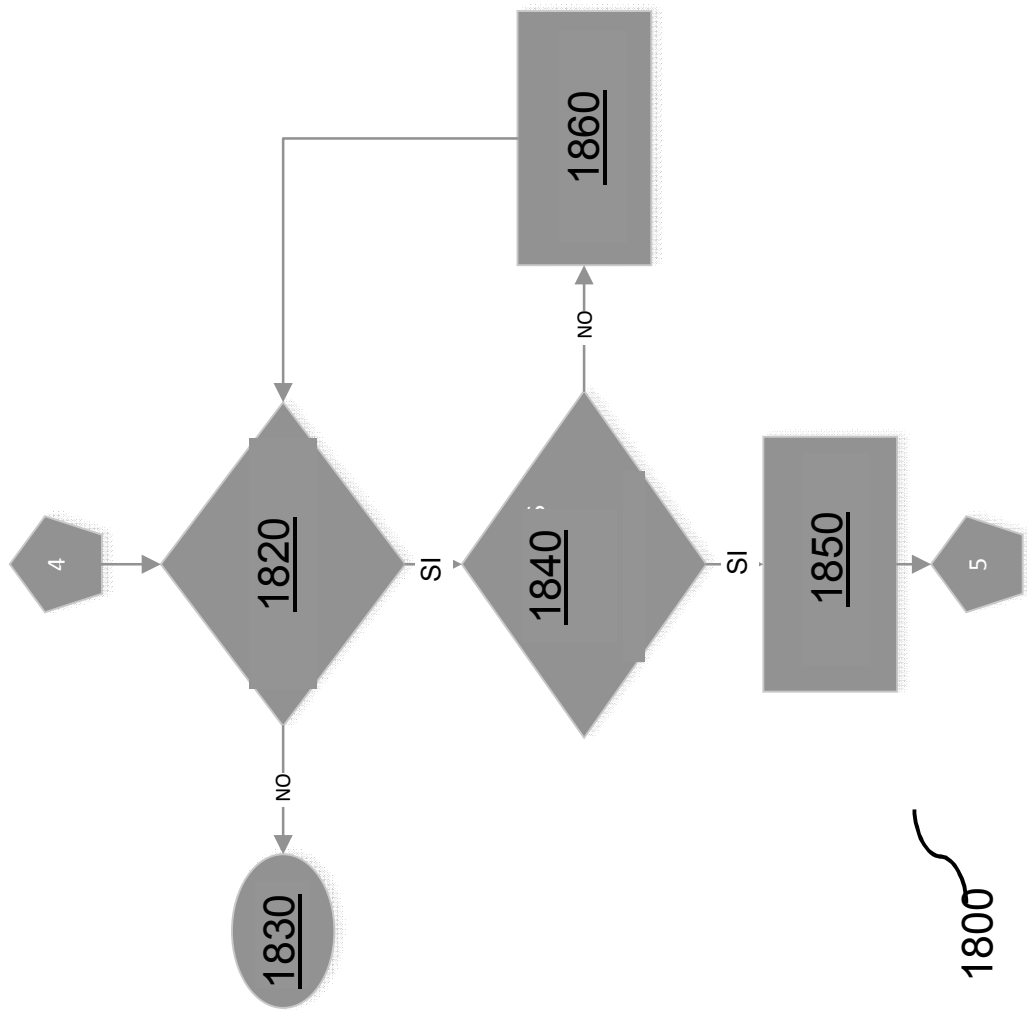


FIG. 18

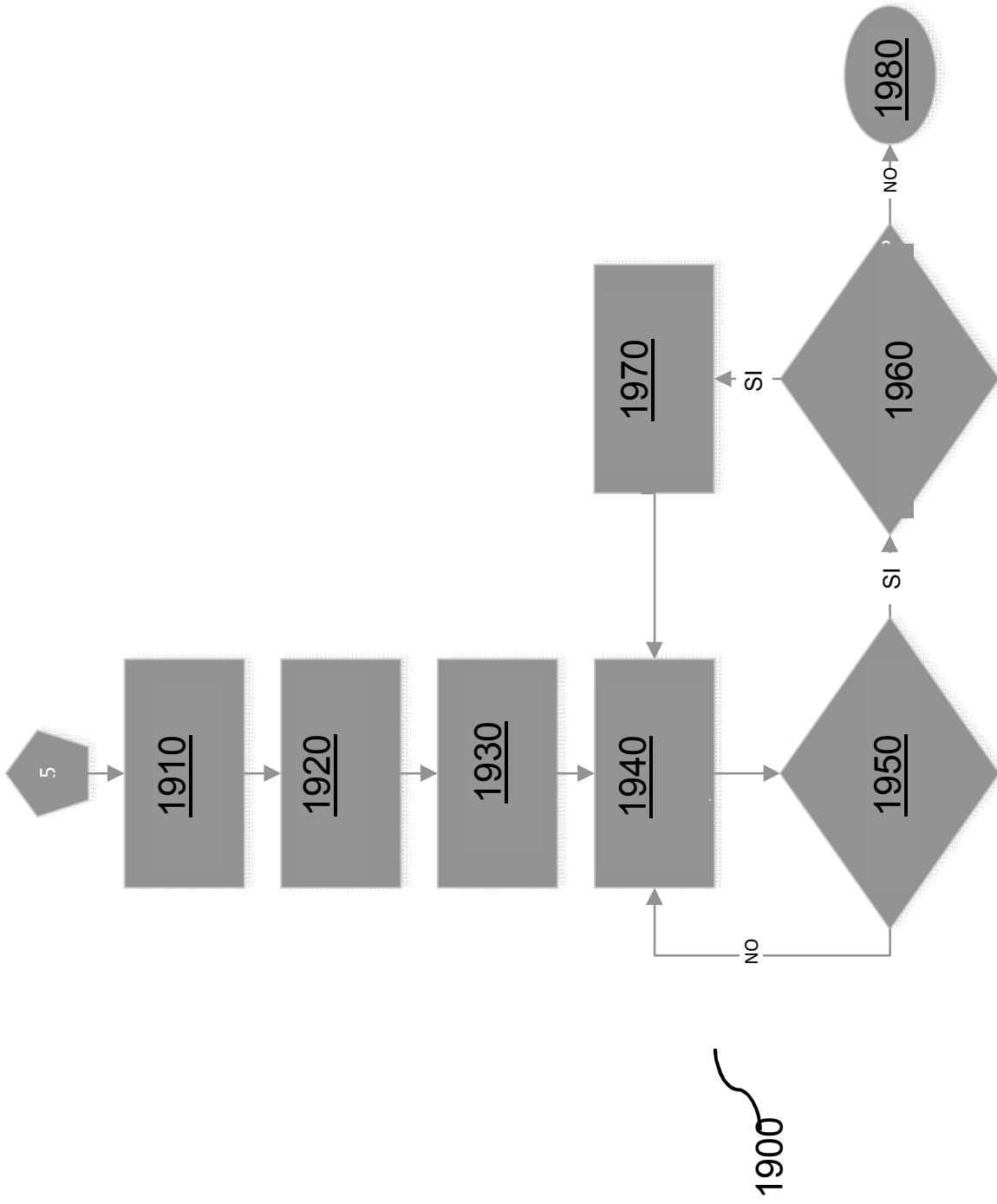


FIG. 19

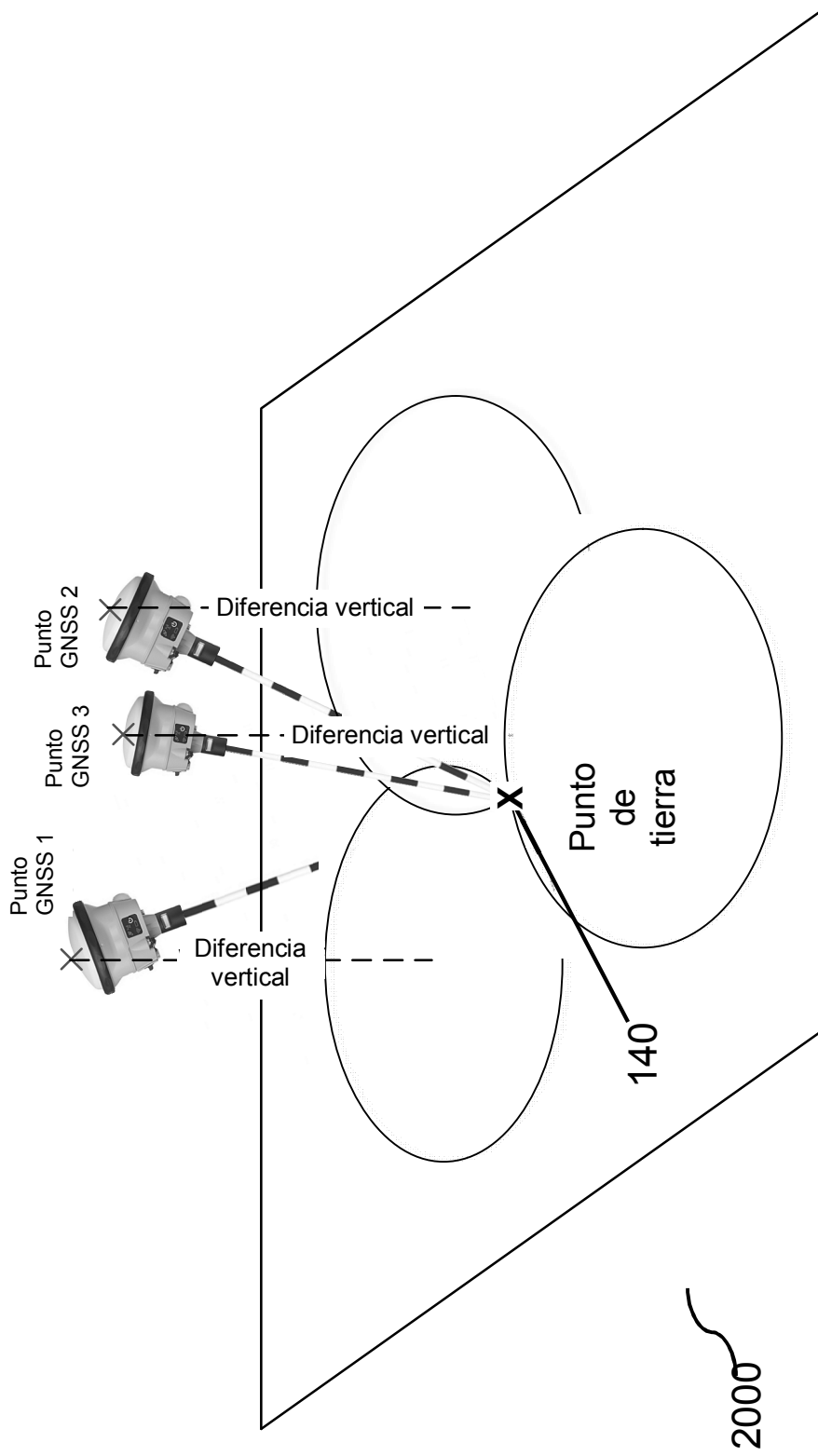


FIG. 20

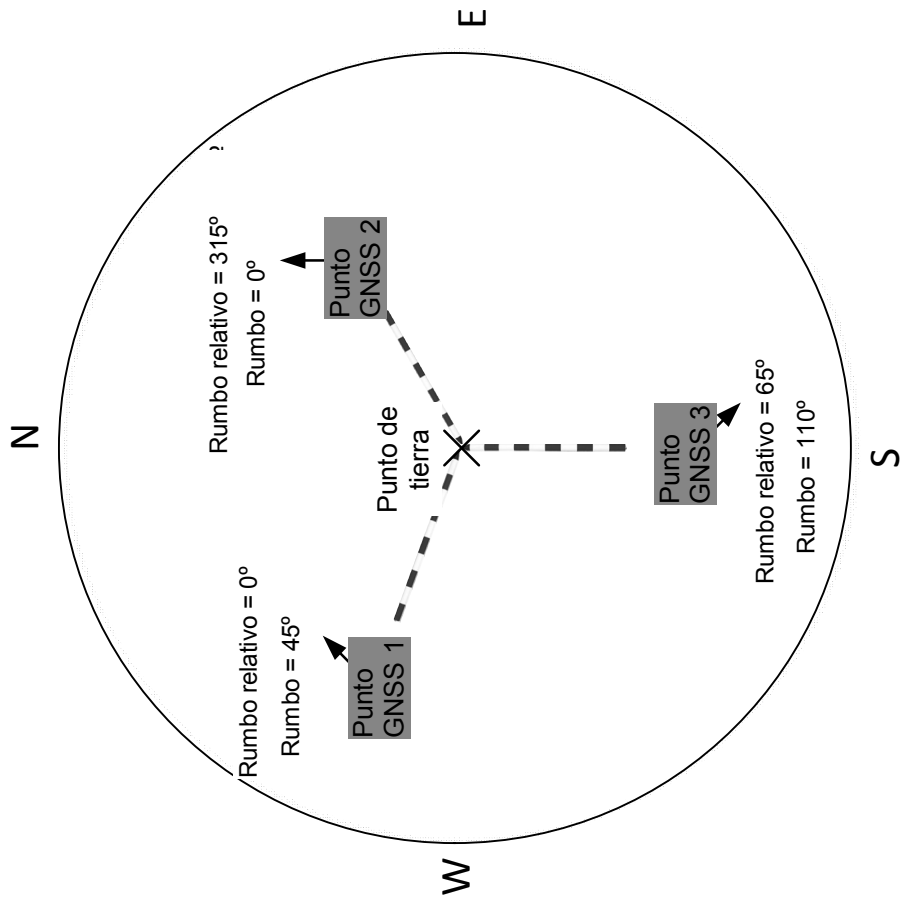


FIG. 21