

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 974 377**

51 Int. Cl.:

G01C 21/20 (2006.01)

G08G 5/00 (2006.01)

G08G 5/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.11.2017 PCT/GB2017/053403**

87 Fecha y número de publicación internacional: **24.05.2018 WO18091870**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.11.2017 E 17798300 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.01.2024 EP 3542132**

54 Título: **Aparato, método y sistema relativos a los sistemas de aeronaves**

30 Prioridad:

17.11.2016 GB 201619473

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

27.06.2024

73 Titular/es:

**UNIVERSITY OF BATH (100.0%)
Wessex House 3-8 Claverton Down
Bath, Bath and North East Somerset BA2 7AY,
GB**

72 Inventor/es:

**CLEAVER, DAVID;
DU BOIS, JONATHAN;
IRAVANI, PEJMAN y
LAWRENSON, ANTHONY**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 974 377 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

Aparato, método y sistema relativos a los sistemas de aeronaves

5 Campo técnico de la invención

Las realizaciones descritas en la presente se refieren a un aparato, un método y un sistema relativos a sistemas de aeronaves y, en particular, a un aparato, un método y un sistema para determinar trayectorias de vuelo para sistemas de aeronaves, por ejemplo, sistemas de aeronaves no tripuladas.

10

Antecedentes

Los sistemas aéreos no tripulados (UAS, por sus siglas en inglés, también conocidos comúnmente como “drones”) son cada vez más populares para diversas aplicaciones, incluyendo, por ejemplo, las operaciones de vigilancia o la entrega de objetos en lugares remotos.

15

Un obstáculo para el uso generalizado de los sistemas aéreos no tripulados es su integración en el espacio aéreo nacional. La principal preocupación es el riesgo de colisión con otras aeronaves tripuladas. Actualmente, en el Reino Unido la normativa prohíbe el uso de sistemas aéreos no tripulados más allá de una línea visual de visión (denominados BVLOS, por sus siglas en inglés) sin la certificación de la Autoridad de Aviación Civil (CAA, por sus siglas en inglés), que todavía no ha concedido ninguna. Esto limita el funcionamiento de los sistemas aéreos no tripulados a una línea de visión visual, por ejemplo, dentro de un radio de aproximadamente 500 m de un operador, lo que inhibe gravemente las operaciones comerciales.

20

US 2016/140851 divulga un sistema para la navegación de drones.

US 7.194.353 divulga un sistema para planificar y/o ajustar las rutas de la aeronave.

Breve descripción de la invención

30

Es un objetivo de las realizaciones descritas en la presente proporcionar un método, un aparato y un sistema que obvien o reduzcan al menos una o varias de las desventajas mencionadas anteriormente.

De acuerdo con la presente invención se proporciona un método para determinar una trayectoria de vuelo para un sistema de aeronave. El método es realizado por un sistema que comprende un procesador y una memoria que contiene instrucciones ejecutables por dicho procesador. El método comprende el análisis de un mapa de intensidad relativo a un espacio tridimensional, en donde el mapa de intensidad comprende una matriz de vóxeles, cada vóxel define un volumen en el espacio tridimensional, y cada vóxel tiene un valor de intensidad de tráfico relacionado basado en datos históricos de vuelo a través de ese vóxel. El método comprende determinar una probabilidad de encuentro para una trayectoria de vuelo preferida entre un punto inicial y un punto final a través de uno o más vóxeles en el espacio tridimensional, basándose en los valores de intensidad de tráfico de uno o más vóxeles a lo largo de la trayectoria de vuelo preferida. El método comprende la selección de la trayectoria de vuelo preferida si la probabilidad de encuentro es inferior a un primer valor umbral.

40

45 Breve descripción de los dibujos

Para una mejor comprensión de los ejemplos de la presente invención y para mostrar más claramente cómo pueden llevarse a la práctica, a continuación se hará referencia, a título meramente ilustrativo, a los siguientes dibujos en los que:

50

La Figura 1 muestra un ejemplo de método de acuerdo con una realización;

Las Figuras 2a a 2c muestran un ejemplo de mapa de intensidad para su uso con una realización;

Las Figuras 3a a 3c muestran un ejemplo de selección de una trayectoria de vuelo de acuerdo con una realización;

Las Figuras 3d y 3e muestran un ejemplo de cómo puede determinarse un valor de intensidad de tráfico;

La Figura 3f muestra un ejemplo de cómo puede determinarse la probabilidad de encuentro;

La Figura 3g muestra un ejemplo de valores de intensidad de tráfico a lo largo de una trayectoria de vuelo;

55

Las Figuras 4a a 4c muestran un ejemplo de selección de una trayectoria de vuelo de acuerdo con una realización;

Las Figuras 5a a 5c muestran un ejemplo de selección de una trayectoria de vuelo de acuerdo con una realización;

Las Figuras 6a a 6c muestran un ejemplo de selección de una trayectoria de vuelo de acuerdo con una realización;

Las Figuras 7a a 7e se refieren a otra realización;

La Figura 8 muestra un ejemplo de aplicación de la realización de las Figuras 7a a 7e;

60

La Figura 9 muestra otro ejemplo de aplicación de la realización de las Figuras 7a a 7e;

La Figura 10 muestra un ejemplo de sistema aéreo no tripulado de acuerdo con una realización;

La Figura 11 muestra un ejemplo de un sistema para determinar una trayectoria de vuelo para un sistema aéreo no tripulado de acuerdo con una realización; y

La Figura 12 muestra un ejemplo de método de acuerdo con otro aspecto, para evaluar un riesgo asociado a una trayectoria de vuelo para un sistema de aeronave.

65

Descripción detallada de la invención

A continuación, se exponen detalles específicos, tales como realizaciones particulares con fines explicativos y no limitativos. Sin embargo, un experto en la técnica entenderá que otras realizaciones pueden ser empleadas aparte de estos detalles específicos. En algunos casos, se omiten descripciones detalladas de métodos, procesos y dispositivos bien conocidos para no opacar la descripción con detalles innecesarios. Los expertos en la técnica entenderán que las funciones descritas pueden implementarse en uno o más aparatos o nodos utilizando circuitos de hardware (por ejemplo, puertas lógicas analógicas y/o discretas interconectadas para realizar una función especializada, ASIC, PLA, etc.) y/o utilizando programas de software y datos en conjunción con uno o más microprocesadores digitales u ordenadores de propósito general. Los aparatos o nodos que se comunican mediante la interfaz aérea también disponen de circuitos de radiocomunicación adecuados. Además, en su caso, puede considerarse que la tecnología está incorporada en su totalidad en cualquier forma de memoria legible por ordenador, tal como una memoria de estado sólido, un disco magnético o un disco óptico que contenga un conjunto adecuado de instrucciones informáticas que hagan que un procesador lleve a cabo las técnicas descritas en la presente.

La implementación del hardware puede incluir o abarcar, sin limitación, hardware de procesador de señales digitales (DSP, por sus siglas en inglés), un procesador de conjunto de instrucciones reducido, circuitos de hardware (por ejemplo, digitales o analógicos), incluyendo, entre otros, circuitos integrados de aplicación específica (ASIC, por sus siglas en inglés) y/o matrices de puertas programables en campo (FPGA, por sus siglas en inglés), y (en su caso) máquinas de estado capaces de realizar dichas funciones.

En términos de implementación informática, se entiende generalmente que un ordenador comprende uno o más procesadores, una o más unidades de procesamiento, uno o más módulos de procesamiento o uno o más controladores, y los términos ordenador, procesador, unidad de procesamiento, módulo de procesamiento y controlador pueden emplearse indistintamente. Cuando son proporcionadas por un ordenador, procesador, unidad de procesamiento, módulo de procesamiento o controlador, las funciones pueden ser proporcionadas por un único ordenador, procesador, unidad de procesamiento, módulo de procesamiento o controlador dedicado, por un único ordenador, procesador, unidad de procesamiento, módulo de procesamiento o controlador compartido, o por una pluralidad de ordenadores, procesadores, unidades de procesamiento, módulos de procesamiento o controladores individuales, algunos de los cuales pueden ser compartidos o distribuidos, con algunas o todas las funciones informáticas basadas en la nube. Además, estos términos también se refieren a otro hardware capaz de realizar dichas funciones y/o ejecutar software, tal como el hardware de ejemplo recitado anteriormente.

En la presente se hará referencia al término "sistema de aeronave", que pretende abarcar tanto los sistemas aéreos no tripulados (UAS) como los sistemas aéreos tripulados.

También se hará referencia en la presente al término "vóxel", que se utiliza para representar un volumen en el espacio tridimensional. Una matriz tridimensional de vóxeles puede utilizarse, por lo tanto, para representar un espacio tridimensional mayor, y cada vóxel concreto se refiere a un punto, volumen o región de ese espacio tridimensional.

Cabe señalar que un vóxel puede tener cualquier forma, incluyendo, por ejemplo, formas rectangulares, cuboides, esféricas o tetraédricas. Los diferentes vóxeles de una matriz pueden tener la misma forma, o pueden tener formas diferentes, o una combinación de las mismas. Los vóxeles pueden ser de cualquier tamaño, por ejemplo, de acuerdo con la granularidad deseada con la que se quiera definir el espacio tridimensional. Los diferentes vóxeles de una matriz pueden tener el mismo tamaño, o pueden tener tamaños diferentes, o una combinación de los mismos.

Se observa además que los vóxeles individuales de la matriz de vóxeles pueden ser adyacentes o contiguos, de modo que cada punto particular del espacio tridimensional cae dentro de un vóxel particular. Alternativamente, los vóxeles individuales pueden estar espaciados entre sí o no ser contiguos.

La Figura 1 muestra un ejemplo de método para determinar una trayectoria de vuelo para un sistema de aeronave, por ejemplo, un sistema aéreo no tripulado (UAS), de acuerdo con una primera realización. El método comprende el análisis de un mapa de intensidad relativo a un espacio tridimensional, en donde el mapa de intensidad comprende una matriz de vóxeles, cada vóxel define un volumen en el espacio tridimensional, y cada vóxel tiene un valor de intensidad de tráfico relacionado basado en datos históricos de vuelo a través de ese vóxel, paso 101.

El método comprende determinar una probabilidad de encuentro para una trayectoria de vuelo preferida entre un punto inicial y un punto final a través de uno o más vóxeles en el espacio tridimensional, basándose en los valores de intensidad de tráfico de uno o más vóxeles a lo largo de la trayectoria de vuelo preferida, paso 103. La trayectoria de vuelo preferida puede comprender, por ejemplo, una trayectoria de vuelo a lo largo de una línea directa entre el punto inicial y el punto final.

El método comprende la selección de la trayectoria de vuelo preferida si la probabilidad de encuentro es inferior a un primer valor umbral, paso 105.

La selección de una trayectoria de vuelo de acuerdo con un mapa de intensidad basado en el tráfico histórico permite

seleccionar una trayectoria de vuelo con una probabilidad aceptable de encuentro.

La Figura 2a muestra un ejemplo de vista en perspectiva de un mapa de intensidad 21 relativo a un espacio tridimensional entre las ciudades de Bath y Bristol, relacionado con el tráfico histórico de aeronaves del aeropuerto de Bristol. En este ejemplo, el mapa de intensidad representa el tráfico histórico durante un periodo de 16 días, aunque se entenderá que los datos históricos para el mapa de intensidad pueden recopilarse durante cualquier periodo de tiempo.

Debido a la escala del mapa de intensidad, los vóxeles individuales no se muestran por sí mismos. Sin embargo, los valores de intensidad de tráfico de los distintos vóxeles que componen el espacio tridimensional se ilustran en escala de grises, de modo que cuanto más oscura es la imagen, mayor es el valor de intensidad de tráfico. En otras palabras, las zonas más oscuras representan el hecho de que han pasado más aeronaves por esas zonas (vóxeles) durante el periodo en el que se han recopilado los datos históricos.

En el ejemplo de la Figura 2a, el mapa de intensidad 21 también comprende datos del terreno 23, donde uno o más vóxeles representan el terreno subyacente del espacio tridimensional, es decir, en lugar de la densidad de tráfico para los vóxeles que representan el espacio aéreo, que, como se describirá más adelante, pueden utilizarse para proporcionar altitudes mínimas de seguridad al determinar una trayectoria de vuelo. Cabe señalar que los datos del terreno 23 pueden omitirse del mapa de intensidad en algunas realizaciones.

La Figura 2b muestra una vista lateral del mapa de intensidad 21 desde un lado norte, y la Figura 2c una vista lateral del mapa de intensidad desde un lado este. Se observa que en las Figuras 2a a 2c (y en otras Figuras a continuación) la escala z está estirada 5:1 para enfatizar la altitud.

La Figura 3a muestra un ejemplo de cómo se determina una trayectoria de vuelo de acuerdo con una realización. La Figura 3a ilustra una trayectoria de vuelo preferida 31 de un sistema de aeronave (no mostrado), por ejemplo, un sistema aéreo no tripulado, a través de un espacio tridimensional, estando la trayectoria de vuelo preferida 31 entre un punto inicial 33 y un punto final 35. La trayectoria de vuelo preferida 31 en este ejemplo comprende una trayectoria de vuelo a lo largo de una línea directa entre el punto inicial 33 y el punto final 35.

Como se ha descrito anteriormente en la Figura 1, al determinar la trayectoria de vuelo de un sistema aéreo no tripulado de este tipo, se analiza un mapa de intensidad 21 relativo al espacio tridimensional. Esto comprende el análisis de los valores de intensidad del tráfico para uno o más vóxeles a lo largo de la trayectoria de vuelo 31, cada vóxel definiendo un volumen en el espacio tridimensional. Los valores de intensidad del tráfico se basan en los datos históricos de vuelo a través de los vóxeles, como reflejan los valores en escala de grises de la Figura 3a. Cabe señalar que un vóxel puede tener cualquier tamaño y/o forma. Por ejemplo, en la trayectoria de vuelo preferida 31 que se muestra en la Figura 3a, puede haber varios cientos o incluso varios miles de vóxeles (o secciones) a lo largo de la trayectoria de vuelo que se utilizan en el cálculo de la probabilidad de un encuentro. En un ejemplo, los vóxeles tienen una forma cuboide, por ejemplo, cada vóxel mide aproximadamente 1 km × 1 km y tiene una altura de aproximadamente 75 m. Cabe señalar que pueden utilizarse vóxeles de menor tamaño cuando se requiera una mayor granularidad en la precisión de la determinación de la trayectoria de vuelo.

A continuación, se determina una probabilidad de encuentro con otra aeronave, por ejemplo, con una aeronave tripulada, si el sistema aéreo no tripulado recorriera la trayectoria de vuelo preferida 31 entre el punto inicial 33 y el punto final 35, a través de una pluralidad de vóxeles en el espacio tridimensional entre ambos, con base en el mapa de intensidad 21, es decir, con base en los valores de intensidad de tráfico de la pluralidad de vóxeles a lo largo de la trayectoria de vuelo preferida 31.

Si la probabilidad de encuentro es inferior a un primer valor umbral, puede seleccionarse la trayectoria de vuelo preferida 31.

Sin embargo, si la probabilidad de encuentro determinada es superior al primer valor umbral, por ejemplo, como se ilustra en la Figura 3a, debido a que la trayectoria de vuelo preferida 31 atraviesa regiones más oscuras correspondientes a cómo han viajado históricamente los aviones, por ejemplo, hacia y desde el aeropuerto de Bristol (lo que ilustra valores de intensidad de tráfico más elevados), entonces se selecciona una trayectoria de vuelo alternativa entre el punto inicial 33 y el punto final 35, por ejemplo, la trayectoria de vuelo alternativa 37.

Las Figuras 3b y 3c proporcionan vistas laterales desde un lado este y un lado norte, respectivamente, que ilustran cómo la trayectoria de vuelo alternativa en este ejemplo implica predominantemente un cambio de altitud para evitar una zona de espacio aéreo congestionado o de alta densidad de tráfico histórica. En este ejemplo, la probabilidad de encuentro determinada para la trayectoria directa 31 es de 0,000756 para una distancia de 16,531 m, frente a una probabilidad de encuentro de 0,000143 para una distancia de 17,132 m para la trayectoria alternativa 37. De este modo, existe una reducción del riesgo del 81% por sólo un aumento del 3,6% en la distancia.

En algunos ejemplos, la selección de una trayectoria de vuelo alternativa entre el punto inicial y el punto final comprende la comparación de la probabilidad de encuentro a lo largo de dos o más trayectorias de vuelo diferentes entre el punto inicial 33 y el punto final 35, a través de diferentes vóxeles en el espacio tridimensional, y la selección de una trayectoria

de vuelo que tenga una probabilidad de encuentro inferior al primer valor umbral.

En algunos ejemplos, la selección de una trayectoria de vuelo alternativa comprende la selección de la trayectoria de vuelo más corta que tenga una probabilidad de encuentro inferior al primer valor umbral. De acuerdo con tal realización se selecciona un nivel aceptable de probabilidad de encuentro, pero el que tenga la trayectoria de vuelo más corta.

En otros ejemplos, la selección de una trayectoria de vuelo alternativa comprende la selección de la trayectoria de vuelo que tenga la menor probabilidad de encuentro global. De acuerdo con esta realización, esta opción simplemente elige una trayectoria de vuelo que tenga la menor probabilidad de encuentro, por ejemplo, independientemente de la distancia.

En otros ejemplos, la selección de una trayectoria de vuelo alternativa comprende la selección de una trayectoria de vuelo que tenga una probabilidad de encuentro cero, por ejemplo, una trayectoria de vuelo más corta que tenga una probabilidad de encuentro cero. Con una realización de este tipo, la trayectoria de vuelo se dirige a zonas en las que no se ha registrado la detección de tráfico alguno durante el periodo de tiempo en el que se genera el mapa de intensidad, es decir, en las que los datos históricos no tienen constancia de que ninguna aeronave anterior haya transitado por esas zonas.

Los valores de intensidad de tráfico que forman el mapa de intensidad pueden determinarse de diferentes maneras de acuerdo con distintas realizaciones. Por ejemplo, en una realización sencilla, un valor de intensidad de tráfico para un vóxel particular puede determinarse en función del número de aeronaves que han pasado por algún lugar de ese vóxel durante un periodo de tiempo, por ejemplo, el número de aeronaves por minuto.

Las Figuras 3d y 3e muestran un ejemplo de otra realización para determinar los valores de intensidad de tráfico de un mapa de intensidad. En referencia a la Figura 3d, en este ejemplo se supone que los vóxeles tienen una forma cuboide. Se asigna un valor de intensidad de tráfico para cada uno de los vóxeles a un nodo N dentro de ese vóxel, por ejemplo, un nodo en el centro de cada vóxel. De este modo, se puede considerar que cada vóxel tiene el mismo valor de intensidad de tráfico que su correspondiente nodo N.

Al recopilar datos históricos para generar un mapa de intensidades, la Figura 3e explica cómo se asignan a los vóxeles los datos del avión tomados en un momento determinado en un punto X particular del espacio. La Figura 3e muestra una pluralidad de nodos N_1 a N_8 que representan vóxeles respectivos (omitiendo los propios vóxeles cuboides para mayor claridad).

Los datos de la aeronave se adquieren a una velocidad seleccionada, por ejemplo, una vez por minuto (que puede elegirse, por ejemplo, para que corresponda a la velocidad a la que una aeronave transmite información relativa a su posición, por ejemplo, una vez por minuto). La probabilidad de cada avión se distribuye por la matriz de vóxeles (malla de vóxeles) en función de la distancia entre el avión y los N nodos más próximos que representan los N vóxeles más cercanos. Por ejemplo, distribuir la probabilidad entre $N=8$ nodos proporciona una solución matemáticamente rigurosa, aunque cabe señalar que $N>8$ es factible para una mayor modulación, y que $N<8$ puede utilizarse por simplicidad o para reducir el tiempo de cálculo. La distribución puede ser lineal o no lineal (por ejemplo, gaussiana) con la distancia. Un ejemplo de expresión lineal para un aeronave situado en el punto X, definido como x_{ac} , y_{ac} , z_{ac} en el tiempo t_1 viene dado por:

$$d_{i,j,k,t_1} = \sqrt{(x_{i,j,k} - x_{ac})^2 + (y_{i,j,k} - y_{ac})^2 + (z_{i,j,k} - z_{ac})^2}$$

Para los valores 1..N de $\min(d_{i,j,k,t_1})$:

$$p_{i,j,k,t_1} = \frac{d_{i,j,k,t_1}}{\sum_1^N d_{i,j,k,t_1}}$$

Si se repite para todas las aeronaves detectadas en ese momento, se obtendrá un mapa de intensidad para el tiempo t_1 . Para producir un mapa de intensidad de alta confianza, este proceso puede repetirse varias veces a lo largo de un intervalo, por ejemplo, $t = t_1$ a t_2 y promediarse:

$$p_{i,j,k} = \frac{\sum_{t=t_1}^{t=t_2} p_{i,j,k,t}}{t_2 - t_1}$$

La información del mapa de intensidad puede utilizarse para determinar o cuantificar la probabilidad de un encuentro. Un encuentro puede definirse, por ejemplo, como estar a una distancia horizontal de X km y a una altitud de Y m (o pies) de otro aeronave.

Para una sección de vuelo determinado, la probabilidad de un encuentro puede definirse como: tiempo de vuelo de la sección (por ejemplo, en segundos) x densidad de vuelo (por ejemplo, en número de aeronaves por segundo).

Cabe señalar que pueden utilizarse otras unidades de tiempo. Cuando se agrega en toda una trayectoria de vuelo, esto proporciona la probabilidad de un encuentro durante el vuelo.

La Figura 3f ofrece un ejemplo de cómo puede determinarse la probabilidad de un encuentro a lo largo de una trayectoria de vuelo (por ejemplo, que tenga una longitud D), para lo cual la trayectoria de vuelo se discretiza en una serie de K elementos, cada uno de longitud D/K.

Para cada uno de los K elementos, la intensidad local ($p_{FP,i}$) se interpola desde la malla mayor hasta un punto situado en el centro del elemento. Esta interpolación puede ser del nodo más cercano, lineal o no lineal (por ejemplo, cúbica). La probabilidad de encuentro para un elemento particular será, por lo tanto, la intensidad local de la aeronave (normalmente en aeronaves por minuto) multiplicada por el tiempo necesario para cubrir el elemento ($D/K \cdot 1/V$ donde V es la velocidad de la aeronave, por ejemplo utilizando minutos). La probabilidad de un encuentro para toda la trayectoria de vuelo es, por lo tanto:

$$p_{FP} = \sum_{i=1}^K p_{FP,i} * \frac{D}{KV}$$

Así, de acuerdo con un ejemplo, determinar una probabilidad de encuentro comprende dividir una trayectoria de vuelo de longitud D en una serie de K elementos, cada elemento de longitud D/K, y para cada uno de los K elementos, interpolar una intensidad local ($p_{FP,i}$) desde la matriz de vóxeles hasta un punto situado en el centro del elemento, y determinar la probabilidad de encuentro para un elemento concreto con base en el valor de la intensidad local multiplicado por el tiempo que tarda el sistema aéreo no tripulado en cubrir el elemento. Cabe señalar que para una aeronave con velocidad constante, la determinación de la probabilidad de encuentro de un elemento concreto puede basarse en el valor de la intensidad del tráfico local multiplicado por la distancia del elemento K.

En algunos ejemplos, la longitud de un elemento K corresponde a la longitud de un vóxel, mientras que en otras realizaciones éstas pueden ser diferentes.

De acuerdo con otro ejemplo, la determinación de una probabilidad de encuentro puede comprender la determinación de si uno o más vóxeles a lo largo de la trayectoria de vuelo comprenden un valor de intensidad de tráfico superior a un segundo valor umbral. En algunas realizaciones, determinar una probabilidad de encuentro comprende determinar si uno o más vóxeles a lo largo de la trayectoria de vuelo comprenden un valor promedio de intensidad de tráfico que está por encima de un segundo valor umbral.

La Figura 3g muestra un ejemplo de valores de intensidad de tráfico a lo largo de la trayectoria de vuelo directa 31 y de la trayectoria de vuelo alternativa de bajo riesgo 37. Por lo tanto, en algunas realizaciones, los distintos valores de intensidad de vuelo a lo largo de la trayectoria de vuelo se utilizan para determinar una probabilidad de encuentro, y esta probabilidad de encuentro determinada se compara a continuación con un primer valor umbral para determinar si debe seleccionarse o no la trayectoria de vuelo preferida.

En otra realización, los diversos valores de intensidad de tráfico a lo largo de la trayectoria de vuelo directa 31 se comparan cada uno con un primer valor umbral, y si uno o más de los valores de intensidad de tráfico están por encima de un primer valor umbral, entonces no se selecciona la trayectoria de vuelo preferida. En otras palabras, en tal realización, la trayectoria de vuelo preferida 31 sólo se selecciona si todos los valores de intensidad de tráfico a lo largo de la trayectoria de vuelo están por debajo del primer valor umbral.

En algunos ejemplos, la selección de una trayectoria de vuelo alternativa comprende la selección de una trayectoria de vuelo alternativa que evite uno o más vóxeles que tengan un valor de intensidad de tráfico superior a un segundo valor umbral. Dicho de otro modo, la selección de una trayectoria de vuelo alternativa comprende la selección de una trayectoria de vuelo alternativa a través de uno o más vóxeles que tengan valores de intensidad de tráfico por debajo de un segundo valor umbral. En algunos ejemplos, la selección de una trayectoria de vuelo alternativa comprende la selección de una trayectoria de vuelo alternativa a través de uno o más vóxeles que tengan valores de intensidad de tráfico de cero. Una trayectoria de vuelo de este tipo puede eliminar eficazmente la probabilidad de un encuentro.

Con tales realizaciones, una trayectoria de vuelo puede dirigirse a un espacio aéreo despejado, con base en el mapa de intensidad que se ha recopilado a partir de los datos históricos de vuelo.

En algunos ejemplos, tal como el ejemplo de las Figuras 3a a 3c, el paso de seleccionar una trayectoria de vuelo alternativa comprende primero intentar seleccionar una trayectoria de vuelo que tenga una altitud diferente en el espacio tridimensional en comparación con la trayectoria de vuelo preferida. Dado que los sistemas aéreos no tripulados tienden a operar a altitudes diferentes a las de las aeronaves tripuladas, esto puede proporcionar una forma rápida de encontrar una trayectoria de vuelo alternativa mejor, sin un aumento significativo de la distancia.

Como se ha mencionado anteriormente, en algunas realizaciones un mapa de intensidad 21 puede comprender datos del

terreno 23. De este modo, los datos del terreno relativos a colinas, montañas, edificios y otras características pueden incorporarse al sistema asignando valores de intensidad de tráfico a los vóxeles de estas zonas o regiones. Por lo tanto, de forma similar a los valores de intensidad de tráfico de los datos históricos de tráfico de aeronaves que se utilizan para determinar una probabilidad de encuentro durante la selección de una trayectoria de vuelo, los datos del terreno también pueden tenerse en cuenta de forma similar. Por lo tanto, en tales realizaciones, el mapa de intensidad comprende además datos del terreno. Los valores de intensidad de tráfico de los vóxeles relativos a una zona que comprende terreno pueden fijarse, por ejemplo, en un valor de intensidad de tráfico del 100%. En algunas realizaciones, los valores de intensidad de tráfico de los vóxeles relativos a los datos del terreno pueden fijarse por debajo del 100%, por ejemplo, en un sistema configurado para seleccionar una trayectoria alternativa que implique estrellarse contra el suelo con preferencia a estrellarse contra otra aeronave, por ejemplo, en un sistema en tiempo real en donde la selección de una trayectoria alternativa implique decidir estrellar un sistema aéreo no tripulado contra el suelo, en lugar de otra aeronave, si no es posible seleccionar otra trayectoria de vuelo alternativa.

En algunos ejemplos, la selección de una trayectoria de vuelo comprende la selección de una trayectoria de vuelo que tenga una altitud mínima en el espacio tridimensional, por ejemplo, en relación con los datos del terreno del mapa de intensidad.

Las Figuras 4a a 4c ilustran un ejemplo en el que el mapa de intensidad incluye una región que refleja una altitud mínima de seguridad 41. Esto puede comprender la fijación de los valores de intensidad del tráfico al 100% para los vóxeles de esta región 41 (como ilustra el sombreado negro de la imagen en escala de grises). Esto puede reflejar los datos del terreno para proporcionar la altitud mínima de seguridad sobre el terreno. De este modo, los vóxeles de la región correspondiente a la altitud mínima de seguridad pueden utilizarse para impedir que una trayectoria de vuelo se dirija a través de (por debajo de) esa altitud mínima de seguridad.

Las Figuras 5a a 5c ilustran ejemplos en los que un mapa de intensidad se adapta adicionalmente para incluir datos de espacio aéreo restringido o controlado. La Figura 5a muestra una zona de espacio aéreo restringido 51, correspondiente, por ejemplo, al espacio aéreo cercano a un aeropuerto. La Figura 5b muestra una vista lateral desde un lado este, y la Figura 5c una vista lateral desde un lado norte. En este ejemplo, para los vóxeles relativos a una zona que comprende terreno y/o espacio aéreo restringido, los valores de intensidad del tráfico pueden fijarse en 100%, por ejemplo (como ilustran las zonas negras de la imagen en escala de grises). De este modo, al fijar un valor de intensidad de tráfico del 100%, se garantiza que la probabilidad de encuentro sea superior al primer valor umbral, de modo que no pueda seleccionarse una trayectoria de vuelo preferida que pretenda atravesar dicho espacio aéreo restringido 51, de modo que en su lugar se busque una trayectoria de vuelo alternativa alrededor del espacio aéreo restringido 51. En algunas realizaciones, los valores de intensidad de tráfico relativos a los datos del terreno y/o al espacio aéreo controlado o restringido pueden configurarse para ser porosos, por ejemplo, mediante los cuales los valores de intensidad de tráfico aumentan gradualmente desde un borde de los datos del terreno y/o del espacio aéreo controlado o restringido con la distancia desde su límite. Estos datos porosos del terreno y/o el espacio aéreo controlado o restringido pueden permitir a una aeronave contravenir un límite, por ejemplo, si la amenaza de una aeronave en tiempo real supera la amenaza de contravenir el límite (es decir, es mejor volar en un espacio aéreo restringido que sufrir una colisión en pleno vuelo).

Cabe señalar que dichas zonas de espacio aéreo restringido pueden fijarse de antemano como parte de los datos históricos que constituyen el mapa de intensidad. No obstante, cabe señalar que el espacio aéreo restringido también puede añadirse dinámicamente al mapa de intensidad. Por ejemplo, si existe una necesidad repentina de bloquear la entrada de aeronaves no tripuladas en una determinada región del espacio aéreo, por ejemplo, si se espera una gran multitud de personas bajo ese espacio aéreo a causa de un acontecimiento, o si se esperan repentinamente aeronaves de rescate en ese espacio aéreo a causa de un incidente, entonces el mapa de intensidad puede ajustarse para bloquear los sistemas aéreos no tripulados para que no seleccionen trayectorias de vuelo que pasen por esas regiones restringidas del espacio aéreo (por ejemplo, ajustando artificialmente los valores de intensidad de tráfico de los vóxeles dentro del espacio aéreo restringido para que tengan un valor determinado, por ejemplo, 100%).

De acuerdo con otro aspecto, las características o capacidades del sistema de aeronave para el que se está determinando la trayectoria de vuelo, por ejemplo, la aeronave no tripulada, pueden tenerse en cuenta a la hora de determinar una trayectoria de vuelo. En una realización, la selección de una trayectoria de vuelo comprende la recepción de datos de capacidad relativos a una o más capacidades del sistema aéreo no tripulado para el que se está determinando la trayectoria de vuelo, por lo que los datos de capacidad se utilizan entonces como al menos parte del paso de selección de la trayectoria de vuelo. De este modo, la selección de la trayectoria de vuelo puede tener en cuenta las capacidades del UAS, tal como el máximo ascenso, descenso, balanceo, etc. Por ejemplo, si un UAS particular es capaz de ascender rápidamente, entonces puede seleccionarse una trayectoria de vuelo alternativa que tenga un ascenso pronunciado para evitar una zona de alta intensidad de tráfico, mientras que si un UAS no es capaz de ascender rápidamente, entonces puede seleccionarse en su lugar una trayectoria de vuelo alternativa que rodee lateralmente una zona de alta intensidad de tráfico, y/o una trayectoria de vuelo alternativa que tenga un ascenso menos pronunciado.

De manera similar, de acuerdo con otro aspecto, puede tenerse en cuenta la densidad de población a la hora de determinar una trayectoria de vuelo. En tal realización, la selección de una trayectoria de vuelo alternativa puede comprender la recepción de datos de densidad de población relativos a la densidad de población bajo un vóxel, y la utilización de los datos de densidad de población como al menos parte del paso de selección de la trayectoria de vuelo alternativa. De este

modo, la selección de la trayectoria de vuelo puede tener en cuenta los datos de densidad de población a la hora de seleccionar una trayectoria de vuelo.

5 Cabe señalar que los valores umbral primero y segundo descritos anteriormente pueden fijarse en función de aplicaciones específicas, y también pueden modificarse o alterarse, por ejemplo, de forma dinámica en respuesta a otros factores variables, por ejemplo, las condiciones meteorológicas.

10 En algunos ejemplos, el primer valor umbral y/o el segundo valor umbral pueden fijarse en relación con el tipo de sistema de aeronave, por ejemplo, UAS, para el que se está determinando una trayectoria de vuelo. Por ejemplo, los criterios para seleccionar una trayectoria de vuelo pueden establecerse de forma más estricta para los UAS más grandes, que tienen más probabilidades de causar daños a otras aeronaves. De este modo, el primer valor umbral para un UAS grande puede fijarse más alto que un primer valor umbral para un UAS más pequeño.

15 El primer nivel umbral y/o el segundo valor umbral también pueden estar conectados a una capacidad de colisión del sistema de aeronave o UAS cuya trayectoria de vuelo se esté determinando. Es probable que los UAS lleven sistemas anticolidión, por ejemplo, en el caso de las aeronaves que no estén equipadas con ADS-B o transpondedores. Durante el vuelo, estos sensores anticolidión pueden requerir que el UAS se desvíe de su trayectoria predeterminada de riesgo mínimo para realizar una maniobra anticolidión, por ejemplo, debido a las condiciones meteorológicas o a un cambio en el plan de vuelo. Esta desviación podría aumentar significativamente la probabilidad de una colisión debido a la sensibilidad a la altitud de la intensidad del vuelo. Sin embargo, al actualizar continuamente la ruta de riesgo mínimo se garantiza que la aeronave siga la mejor ruta posible.

25 De acuerdo con algunas realizaciones, si un UAS dispone de un sofisticado sistema anticolidión, el primer nivel umbral de la probabilidad de encuentro puede aumentarse al determinar una trayectoria de vuelo para dicho UAS. En otras palabras, si el UAS dispone de un sistema complejo de evitación de colisiones, puede asumir más riesgos a la hora de seleccionar una trayectoria de vuelo, ya que si se determina la posibilidad de una colisión durante el propio vuelo, el UAS puede tomar medidas para evitarla. Por el contrario, si un UAS tiene un sistema anticolidión menos sofisticado, entonces el primer nivel umbral de la probabilidad de encuentro puede disminuirse al determinar una trayectoria de vuelo para dicho UAS. De este modo, se puede adaptar una ruta para incluir las capacidades de evitación de colisiones del UAS.

30 Por tanto, el primer nivel umbral y/o el segundo nivel umbral pueden ajustarse para que sean inversamente proporcionales al nivel de capacidad o al nivel de evitación de colisiones del sistema aéreo no tripulado cuya trayectoria de vuelo se esté controlando.

35 Del mismo modo que pueden tenerse en cuenta las capacidades de un UAS a la hora de determinar una trayectoria de vuelo, de acuerdo con otro aspecto también pueden tenerse en cuenta las capacidades de un operador de un UAS. En tales realizaciones, el primer valor umbral y/o el segundo valor umbral pueden fijarse en relación con un nivel de experiencia de un operador del sistema aéreo no tripulado cuya trayectoria de vuelo se está determinando.

40 A continuación, se describirá con más detalle cómo puede generarse un mapa de intensidad. Cabe señalar que puede generarse un mapa de intensidad en un nodo central de control o supervisión, por ejemplo, que luego puede descargarse o transmitirse a nodos de control más pequeños o, de hecho, a UAS individuales. Alternativamente, un mapa de intensidad puede generarse a nivel local, por ejemplo, por el propio UAS.

45 En algunos ejemplos, la generación de un mapa de intensidad comprende la recepción de señales de transpondedor y/o señales de vigilancia automática dependiente, ADS-B, y/u otra información sobre la posición de vuelo de los aeronaves que se desplazan por el espacio tridimensional durante un periodo de tiempo, y/o de otras fuentes. A continuación, se generan valores de intensidad de tráfico para la pluralidad de vóxeles dentro del espacio tridimensional utilizando las señales de transpondedor recibidas y/o las señales de vigilancia automática dependiente, ADS-B, y/u otra información de posición de vuelo, por ejemplo, como se ha descrito anteriormente en las Figuras 3d y 3e.

50 Cabe señalar que las señales del transpondedor/ADS-B/posición pueden recibirse tanto de aeronaves tripuladas como no tripuladas, de modo que también pueden utilizarse otros UAS que lleven transpondedores para afectar a la intensidad del tráfico. También pueden recibirse datos de otras fuentes terrestres, tales como: Multi-lateración o fuentes de Internet (recopilación de radar ATC primario/secundario, ADS-B y multi-lat para producir una única fuente). Los datos recibidos en las señales del transpondedor pueden variar en función de una aplicación particular. Por ejemplo, un transpondedor en modo A puede transmitir sólo un código Squawk de 4 dígitos. Cabe señalar que algunos sistemas secundarios son capaces de extraer a continuación información sobre la dirección/el alcance basándose en esta señal. Un transpondedor en modo C puede transmitir como se indica anteriormente, además de información sobre la altitud de presión. Un transpondedor en modo S puede transmitir como en el caso anterior, más una "dirección" de 24 bits que identifica a la aeronave.

60 Las señales anteriores pueden transmitirse desde una aeronave en respuesta a las interrogaciones de, por ejemplo, un controlador de tráfico aéreo (ATC, por sus siglas en inglés) o un sistema anticolidión de tráfico (TCAS, por sus siglas en inglés), por ejemplo, en aeronaves de gran tamaño, pero luego pueden ser detectadas pasivamente por cualquier aeronave o estación terrestre que esté convenientemente habilitada.

Ejemplos de señales periódicas son el Modo S con Squitter Extendido y ADS-B, que transmiten información que incluye: identificación, posición actual, altitud y velocidad.

5 Como se ha mencionado anteriormente, en algunos ejemplos el valor de intensidad de tráfico de un vóxel comprende la determinación de un número de aeronaves que han pasado por el vóxel durante un periodo de tiempo. En otros ejemplos, tales como los descritos en las Figuras 3d y 3e, la determinación de un valor de intensidad de tráfico puede ser más compleja.

10 En algunas realizaciones, el paso de generación de un valor de intensidad de tráfico comprende además ponderar las señales de transpondedor y/o las señales ADS-B y/o la información de posición de vuelo recibidas en función del tipo de aeronave asociado a la respectiva señal de transpondedor y/o señal ADS-B y/o información de posición de vuelo. Por ejemplo, como no todos los planeadores llevan transpondedores, la señal del transpondedor de un planeador puede utilizarse para aumentar un valor de intensidad de tráfico que refleje el hecho de que existe la probabilidad de que otros planeadores también hayan pasado por ese vóxel durante la recopilación de datos históricos, que no llevaban transpondedores.

20 En algunos ejemplos, el paso de generar un valor de intensidad de tráfico para un vóxel comprende recibir datos de densidad de población relativos a la densidad de población en un área bajo el vóxel, y ponderar el valor de intensidad de tráfico en función de los datos de densidad de población. De este modo, en lugar de (o como una alternativa a) utilizar los datos de densidad de población en una etapa posterior del proceso de determinación de la trayectoria de vuelo, los valores de intensidad de tráfico pueden ponderarse para reflejar la densidad de población en la zona relativa a ese vóxel, por ejemplo, de modo que el valor de intensidad de tráfico aumente a su vez para intentar evitar que se elija una trayectoria de vuelo sobre zonas muy pobladas, es decir, porque el riesgo de encuentro también aumenta.

25 En las realizaciones descritas en la presente, cada vóxel puede definir una sección de una trayectoria de vuelo. Como ya se ha mencionado, la matriz o malla de vóxeles puede tener la misma forma y/o tamaño, o al menos un vóxel puede tener una forma y/o tamaño diferentes. Además, se observa que diferentes regiones dentro del espacio tridimensional pueden tener vóxeles de diferente forma y/o tamaño. De este modo, se puede aumentar la granularidad en determinadas zonas, por ejemplo, las que tienen una mayor intensidad de tráfico, para proporcionar así un control más refinado en estas zonas.

30 Las realizaciones descritas anteriormente se han basado en un mapa de intensidad que es efectivamente estático en el tiempo, o que se actualiza periódicamente, para reflejar los datos históricos de vuelo. En tal realización, un vóxel particular puede comprender un único valor de intensidad de tráfico basado en los datos históricos de vuelo, y en donde este valor único se actualiza periódicamente.

35 De acuerdo con otro aspecto, un mapa de intensidad puede comprender una pluralidad de segmentos temporales, cada segmento temporal comprende valores de intensidad de tráfico para cada uno de los vóxeles de la matriz para ese segmento temporal. Por ejemplo, el mapa de intensidad puede estar segmentado en el tiempo de acuerdo con los minutos de un día y los días de una semana. Como tal, el análisis del mapa de intensidad relativo al espacio tridimensional puede comprender el análisis del mapa de intensidad de uno o más segmentos temporales relativos a un periodo de tiempo durante el cual se está determinando la trayectoria de vuelo.

40 Por ejemplo, si se está determinando una trayectoria de vuelo para un espacio determinado a una hora particular del día, para un día concreto de la semana, entonces se podrá utilizar un segmento de tiempo (o segmentos de tiempo) correspondiente para la misma hora del día, y día de la semana, a la hora de determinar la probabilidad de un encuentro. Otras variables posibles para los segmentos temporales son, por ejemplo, las condiciones meteorológicas, las variaciones diarias/semanales/mensuales, estacionales (por ejemplo, picos de uso cerca de Navidad o fiestas nacionales), eventos especiales (por ejemplo, espectáculos aéreos, etc.).

50 En tales realizaciones, los vóxeles de la matriz de vóxeles pueden comprender una serie de valores de intensidad de tráfico relativos a una serie de segmentos temporales.

55 En cualquiera de las realizaciones descritas en la presente, cabe señalar que los valores de intensidad de tráfico pueden actualizarse periódicamente. En otros ejemplos, cabe señalar que los valores de intensidad de tráfico pueden actualizarse en tiempo real.

60 Las Figuras 6a a 6c se refieren a una realización en la que la simulación de un encuentro se realiza en tiempo real, por ejemplo, para hacer frente en tiempo real a una aeronave intrusa.

En la Figura 6a se muestra la trayectoria de vuelo de la aeronave intrusa mediante líneas punteadas, algunas de las cuales están etiquetadas como 61. La aeronave intrusa (no mostrada) puede representarse, por ejemplo, mediante un óvalo tridimensional con una intensidad del 100% en su centro, que decae de forma no lineal hacia el exterior. La forma del óvalo se deforma a lo largo del eje del vector de velocidad de la aeronave intrusa, ya que esta región tiene la mayor probabilidad de encuentro.

En algunos ejemplos, la forma de la representación de la aeronave intrusa puede basarse en el uso de datos históricos de aeronaves reales. Esto permite derivar una probabilidad espacial del comportamiento real de la aeronave. A continuación, esta distribución espacial puede ampliarse en función de la velocidad de la aeronave intrusa.

5 En la Figura 6a, una trayectoria de vuelo preferida, por ejemplo, una trayectoria de vuelo directa, por el UAS se representa mediante símbolos negros sólidos, algunos de los cuales están etiquetados como 65.

Una primera trayectoria alternativa, por ejemplo, utilizando datos históricos de vuelo para encontrar una trayectoria alternativa de bajo riesgo como se describe en las realizaciones anteriores, se muestra como símbolos negros con una
10 cruz, algunos de los cuales están etiquetados como 67.

Una segunda trayectoria alternativa, por ejemplo, utilizando una trayectoria de bajo riesgo en tiempo real de acuerdo con otra realización, comprende una trayectoria mostrada como círculos negros con interiores blancos, algunos de los cuales están etiquetados como 69.

15 Las Figuras 6b y 6c muestran vistas laterales desde el lado norte y el lado este, respectivamente, de las mismas trayectorias de vuelo.

20 Como puede verse en las Figuras 6a a 6c, la diferencia en la incorporación de datos en tiempo real es visible al comparar la primera trayectoria alternativa 67 con la segunda trayectoria alternativa 69. Con este último, la trayectoria de vuelo del UAS se desvía por el camino de menor resistencia para pasar por debajo de la aeronave intrusa (lo que se ilustra mejor en la Figura 6b).

25 Por lo tanto, en las realizaciones descritas en la presente, el método para determinar una trayectoria de vuelo puede ejecutarse tanto en prevuelo (por ejemplo, para determinar uno o varios puntos de ruta que luego pueden cargarse en un controlador de vuelo del UAS) como en tiempo real (a bordo del UAS o en una estación de control en tierra). Una ventaja de la planificación de la misión en tiempo real es que la planificación de la trayectoria de vuelo puede responder a los peligros en desarrollo. Por lo tanto, una aeronave intrusa puede representarse como un tipo móvil de espacio aéreo restringido, con vóxeles relativos a ese tipo móvil de espacio aéreo restringido con valores de intensidad de tráfico de, por
30 ejemplo, 100% que se desplazan por el espacio tridimensional.

Con los datos en tiempo real, tanto la planificación de la misión previa al vuelo como la planificación de la misión de vuelo en tiempo real pueden incorporar datos de vuelo en tiempo real procedentes de señales ADS-B, señales de transpondedor u otras fuentes. En el modo de prevuelo, esto permitiría identificar las regiones actuales de alta intensidad. Para el modo
35 de control de vuelo en tiempo real, esto actualizaría continuamente el riesgo de colisión con la aeronave real frente al riesgo de desviarse de su trayectoria de riesgo mínimo. Efectivamente, la aeronave real actúa como un "repulsor", en forma de objeto de intensidad de tráfico aéreo en movimiento que distorsiona el campo de intensidad de vuelo, empujando o impulsando el curso del UAS fuera de su trayectoria de vuelo prevista originalmente. Cuanto mayor sea el riesgo, más fuerte será la desviación. Este enfoque puede formar parte de una solución a mayor escala del problema de la separación del tráfico en el espacio aéreo no controlado.

40 Es factible que el modo en tiempo real se ejecute en el propio UAS o en un sistema de control de vuelo independiente, tal como una estación de control en tierra. Un factor determinante en esta elección podría ser la fuente de información de vuelo en tiempo real (es decir, dependiendo de si esta información está basada en Internet, en sensores terrestres, en sensores ADS-B a bordo, etc.).

A continuación, se describirán realizaciones en las que una trayectoria de vuelo determinada se adapta para tener en cuenta uno o varios sistemas de otras aeronaves, por ejemplo, UAS, a los que se asignan trayectorias de vuelo similares, por ejemplo, entre puntos de partida similares y puntos finales similares, o a lo largo de trayectorias de vuelo que tienen
50 en común al menos una sección de la trayectoria de vuelo.

En una realización de este tipo, la selección de una trayectoria de vuelo o de una trayectoria de vuelo alternativa puede comprender la definición de un corredor de vuelo por el que vaya a circular el sistema aéreo no tripulado.

55 La Figura 7a muestra un ejemplo de sección transversal a través de un corredor de vuelo 71. En este ejemplo, el corredor de vuelo 71 tiene una sección transversal circular, pero cabe señalar que puede utilizarse una sección transversal de cualquier forma. La Figura 7a muestra un primer UAS 73a al que se le asigna una trayectoria de vuelo cerca del perímetro del corredor de vuelo. El centro del corredor de vuelo 75 puede considerarse como una trayectoria de vuelo "ideal". En algunos ejemplos, el primer UAS puede asignarse a una trayectoria de vuelo a lo largo del centro 75 del corredor de vuelo
60 71, en lugar del perímetro, como se muestra.

De acuerdo con esta realización, un primer UAS 73a al que se le ha asignado una trayectoria de vuelo en el corredor de vuelo 71 está configurado para desplazarse a lo largo de un primer canal dentro del corredor de vuelo (siendo el canal la trayectoria de vuelo hacia el interior de la página).

65 En referencia a la Figura 7b, un segundo UAS 73b al que se ha asignado una trayectoria de vuelo en el corredor de vuelo

71 está configurado para desplazarse a lo largo de un segundo canal dentro del corredor de vuelo, estando el segundo canal físicamente separado del primer canal. Asimismo, un tercer UAS 73c al que se le asigne una trayectoria de vuelo en el corredor de vuelo 71 está configurado para desplazarse a lo largo de un tercer canal dentro del corredor de vuelo, estando el tercer canal físicamente separado de los canales primero y segundo. Mediante el uso de un corredor de vuelo 71, se puede establecer una distancia determinada alrededor de cada UAS dada esa trayectoria de vuelo (o sección de la trayectoria de vuelo), siendo éstas alrededor de la "trayectoria de vuelo ideal" asignada al primer UAS.

Las Figuras 7c, 7d y 7e muestran otros ejemplos en los que se muestran UAS adicionales dentro del mismo corredor de vuelo 71. En particular, la Figura 7c muestra cómo puede modificarse la forma del corredor de vuelo, por ejemplo, para adaptarse al espacio aéreo o a las condiciones meteorológicas. La Figura 7d muestra cómo se divide el corredor de vuelo en sectores, en este ejemplo cuadrantes.

De lo anterior se desprende que los métodos descritos en la presente pueden utilizarse para determinar las trayectorias de vuelo de múltiples UAS a lo largo de rutas similares.

La Figura 8 muestra un ejemplo de UAS que se desplazan por un corredor de vuelo, con UAS individuales espaciados entre sí como se ha descrito anteriormente.

La Figura 9 muestra un ejemplo en el que se utilizan distintos corredores 71a y 71b para hacer pasar los UAS en distintas direcciones, reduciendo así el riesgo de que los UAS colisionen entre sí. Los diferentes corredores 71a, 71b pueden estar situados a diferentes altitudes para reducir aún más el riesgo de colisión.

Aunque las realizaciones anteriores se han descrito a nivel de operador, cabe señalar que, a medida que las operaciones BVLOS crecen en popularidad, este espacio aéreo de "baja intensidad" utilizado por las presentes realizaciones puede poblarse a su vez de operadores de UAS.

Por lo tanto, las realizaciones descritas en la presente pueden ampliarse para incluir la funcionalidad de entrada/salida del coordinador para facilitar la coordinación de varios operadores. Esta coordinación puede hacer uso de la posición en tiempo real y de los puntos de ruta de salida y llegada de todas las aeronaves. Si se identifica un encuentro potencial, se puede calcular una solución global que minimice el riesgo para todas las aeronaves. Además, los datos de selección de la trayectoria de vuelo pueden compartirse entre los operadores, de forma que la información en tiempo real pueda utilizarse para ayudar a seleccionar futuras selecciones de la trayectoria de vuelo.

La Figura 10 muestra un ejemplo de un sistema de aeronave 1000, por ejemplo, un sistema aéreo no tripulado, de acuerdo con una realización. El sistema de aeronave 1000 comprende un procesador 1001 y una memoria 1003, en donde dicha memoria 1003 contiene instrucciones ejecutables por dicho procesador 1003. El sistema de aeronave 1000 es operativo para: analizar un mapa de intensidad relativo a un espacio tridimensional, en donde el mapa de intensidad comprende una matriz de vóxeles, cada vóxel define un volumen en el espacio tridimensional, y cada vóxel tiene un valor de intensidad de tráfico relacionado basado en datos históricos de vuelo a través de ese vóxel; determinar una probabilidad de encuentro para una trayectoria de vuelo preferida entre un punto inicial y un punto final a través de uno o más vóxeles en el espacio tridimensional, con base en los valores de intensidad de tráfico de uno o más vóxeles a lo largo de la trayectoria de vuelo preferida; y seleccionar la trayectoria de vuelo preferida si la probabilidad de encuentro es inferior a un primer valor umbral.

El sistema de aeronave 1000 también puede ser operativo para realizar el método definido en otras realizaciones descritas anteriormente. En algunas realizaciones, el sistema de aeronave 1000 está configurado para determinar por sí mismo la información sobre la trayectoria de vuelo, por ejemplo, con base en datos históricos de vuelo y/o datos de vuelo en tiempo real, y controlar el funcionamiento del sistema de aeronave 1000 en consecuencia.

De acuerdo con otro ejemplo, en lugar de determinar una trayectoria de vuelo por sí mismo, un sistema de aeronave 1000 puede estar configurado para recibir una trayectoria de vuelo determinada de acuerdo con cualquiera de las realizaciones descritas en la presente, por ejemplo, de un centro de control remoto o de un sistema de control de vuelo (algunos o todos los cuales pueden estar basados en la nube), en donde el procesador 1001 del sistema de aeronave 1000 está configurado para controlar su trayectoria de vuelo de acuerdo con la información recibida sobre la trayectoria de vuelo.

La Figura 11 muestra un ejemplo de sistema de control de vuelo 1100 de acuerdo con otra realización, para controlar un sistema de aeronave 1105, por ejemplo un sistema aéreo no tripulado. El sistema de control de vuelo 1100 comprende un procesador 1101 y una memoria 1103, en donde dicha memoria 1103 contiene instrucciones ejecutables por dicho procesador 1101. El sistema de control de vuelo 1100 es operativo para: analizar un mapa de intensidad relativo a un espacio tridimensional, en donde el mapa de intensidad comprende una matriz de vóxeles, cada vóxel define un volumen en el espacio tridimensional, y cada vóxel tiene un valor de intensidad de tráfico relacionado basado en datos históricos de vuelo a través de ese vóxel; determinar una probabilidad de encuentro para una trayectoria de vuelo preferida entre un punto inicial y un punto final a través de uno o más vóxeles en el espacio tridimensional, con base en los valores de intensidad de tráfico de uno o más vóxeles a lo largo de la trayectoria de vuelo preferida; y seleccionar la trayectoria de vuelo preferida si la probabilidad de encuentro es inferior a un primer valor umbral.

A continuación, la trayectoria de vuelo seleccionada puede transmitirse a un sistema de aeronave 1105, por ejemplo, un

UAS.

El sistema de control de vuelo 1100 puede ser operativo para realizar el método definido en otras realizaciones descritas en la presente para determinar una trayectoria de vuelo.

Cabe señalar que, en el sistema de control de vuelo 1100, el procesamiento realizado por el procesador 1101 puede comprender el procesamiento en una estación terrestre (por ejemplo, situada en el sitio en un lugar de control de tráfico), o el procesamiento en un servidor remoto (por ejemplo, un servidor basado en la nube), o una combinación de ambos.

De las realizaciones descritas anteriormente se desprende que los datos de vuelo agregados, por ejemplo, adquiridos a través de señales de transpondedor y/o ADS-B y/u otra información de posición de vuelo, se utilizan para compilar un mapa tridimensional de la intensidad de vuelo (densidad de tráfico). Cabe señalar que un mapa de intensidad puede generarse de otras maneras, por ejemplo, recibiendo datos de otra fuente para ayudar a generar el mapa de intensidad, por ejemplo, de un sistema de radar configurado para determinar información sobre el tráfico, ya sea histórico y/o en tiempo real. De este modo, la información del radar puede utilizarse junto con las técnicas descritas anteriormente, o en lugar de ellas, para generar un mapa de intensidad.

Para facilitar la manipulación, los datos de vuelo de muchos días, meses o años se interpolan en una cuadrícula regular discretizada, en donde cada sección de la cuadrícula representa un vóxel. Cuantos más datos se introduzcan, más suave y preciso será el resultado. En este mapa de intensidad 3D, las regiones de alta intensidad pueden evitarse al determinar una trayectoria de vuelo.

Los datos de los mapas de intensidad descritos en la presente pueden corregirse o actualizarse periódicamente, por ejemplo, diaria, semanal o anualmente, dependiendo, por ejemplo, de cómo cambien los patrones de vuelo.

Como se ha descrito, la probabilidad de encuentro también puede combinarse con la capacidad de evitación de colisiones de una aeronave (cuantificada como probabilidad de evitación con éxito) para cuantificar la probabilidad de una colisión. Dicha probabilidad de colisión se refiere a la información requerida por la Autoridad de Aviación Civil para evaluar cuantitativamente la idoneidad de una determinada operación de UAS. Por ejemplo, un diseño particular de aeronave puede tener un nivel aceptable de probabilidad de encuentro, basado en su capacidad para evitar colisiones, de forma que pueda demostrarse que es más seguro que una aeronave ligera.

Las realizaciones anteriores permiten definir rutas de riesgo mínimo mediante algoritmos de planificación de trayectorias. Cabe señalar que existe una serie de algoritmos establecidos para la planificación de trayectorias, per se, cualquiera de los cuales puede utilizarse con las realizaciones en la presente, pero en donde los algoritmos de planificación de trayectorias se adaptan en función de la minimización de la probabilidad de un encuentro (que es, por ejemplo, una escala continua). Una ruta más corta puede atravesar una región de mayor intensidad de tráfico, mientras que una ruta más larga puede suponer más tiempo expuesto a una intensidad menor. Este compromiso puede tenerse en cuenta en la definición anterior de probabilidad de encuentro.

Con base en las pruebas realizadas con un algoritmo básico de planificación de trayectorias, es posible reducir sustancialmente la probabilidad de encuentro (por ejemplo, del 50% al 90%) con un aumento mínimo de la distancia de vuelo (por ejemplo, del orden del 1%). Esto se debe en parte a la sensibilidad a la altitud de las operaciones de las aeronaves tripuladas. Una vez planificada, la ruta puede transmitirse al UAS para que éste la lleve a cabo.

Como se desprende de lo anterior, el aparato de planificación de trayectorias de riesgo mínimo puede adaptarse para incluir además:

- a) Visualización del terreno: mediante la cual se incluye un mapa en 3D del terreno local.
- b) Espacio aéreo restringido: mediante el cual es posible incorporar también mapas en 3D del espacio aéreo restringido que el planificador de la misión no puede contravenir. Esto también podría incluir la actualización diaria de los Avisos a los Tripulantes Aéreos (NOTAM), que son una forma de zona restringida temporal.
- c) Altitud mínima de seguridad (MSA, por sus siglas en inglés): para permitir altitud para maniobras / acciones de emergencia y para salvar obstáculos es necesario operar con una MSA con referencia al nivel del suelo. Puede ser relativo a un único punto (lugar de despegue) y, por lo tanto, efectivamente un único valor Por Encima del Nivel Medio del Mar; o puede ser local (el suelo se eleva artificialmente como un límite) y, por lo tanto, tener en cuenta las curvas de nivel.
- d) Métricas de rendimiento de la aeronave: si no se controla, el algoritmo de planificación puede elegir maniobras por encima de la capacidad de la aeronave. Para tomar en cuenta lo anterior, algunas de las realizaciones descritas en la presente tienen en cuenta las capacidades del UAS, por ejemplo, las características de manejo de la aeronave (por ejemplo, la velocidad máxima de ascenso/descenso/balanceo, etc.).
- e) Densidad de población; también existe un elemento de riesgo debido al vuelo sobre zonas pobladas. Por lo tanto, algunas realizaciones incluyen la densidad de población local como variable de riesgo (adecuadamente equilibrada con la probabilidad de encuentro) o simplemente zonas de no vuelo sobre espacios poblados. También pueden tener en cuenta el comportamiento de planeo/descenso en paracaídas del UAS, incluyendo las condiciones locales del viento.

De la descripción anterior se entenderá que las realizaciones descritas en la presente se basan en la constatación de que la probabilidad de que un sistema aéreo no tripulado sufra una colisión está estrechamente conectada con la densidad

del tráfico. Las realizaciones descritas anteriormente aplican datos históricos de vuelo para producir o visualizar mapas tridimensionales de la intensidad media de vuelo. Los mapas pueden utilizarse entonces para cuantificar la probabilidad de un encuentro y calcular las rutas de mínima probabilidad/riesgo de encuentro.

5 Las realizaciones descritas permiten que distintos tipos de aeronaves operen en diferentes regiones del espacio aéreo. Al identificar estas regiones, los sistemas de aeronaves, tales como los sistemas aéreos no tripulados, pueden controlarse para que operen en el espacio aéreo no utilizado entre las aeronaves tripuladas, reduciendo así en gran medida la probabilidad de un encuentro y, por lo tanto, de una colisión. Las realizaciones descritas en la presente determinan los patrones tridimensionales en los que operan las aeronaves en el espacio, en particular con respecto a la altitud, lo que
10 permite controlar los sistemas aéreos no tripulados para evitar espacios que tienen una alta probabilidad de estar densamente poblados por aeronaves.

Las realizaciones descritas en la presente también pueden aprovechar la constatación de que los distintos tipos de aeronave (por ejemplo, planeador / aeronave ligera / transporte civil / militar / helicóptero) colisionan principalmente con
15 aeronaves de su mismo tipo.

La Figura 12 muestra un ejemplo de método de acuerdo con otro aspecto, para evaluar un riesgo asociado a una trayectoria de vuelo para un sistema de aeronave. El método comprende el análisis de un mapa de intensidad relativo a un espacio tridimensional, en donde el mapa de intensidad comprende una matriz de vóxeles, cada vóxel define un volumen en el espacio tridimensional, y cada vóxel tiene un valor de intensidad de tráfico relacionado basado en datos
20 históricos de vuelo a través de ese vóxel, paso 1201. El método comprende determinar una probabilidad de encuentro para una trayectoria de vuelo preferida entre un punto inicial y un punto final a través de uno o más vóxeles en el espacio tridimensional, basándose en los valores de intensidad de tráfico de uno o más vóxeles a lo largo de la trayectoria de vuelo preferida, paso 1203. El método comprende la evaluación del riesgo asociado a la trayectoria de vuelo preferida en función de la probabilidad de encuentro determinada, paso 1205. Un método de este tipo puede ser utilizado, por ejemplo, por una aseguradora para evaluar el riesgo que plantea un operador de un sistema de aeronave, de modo que se pueda dar una cotización de seguro y/o un permiso de vuelo en función del nivel de riesgo evaluado. La evaluación del riesgo puede tener una escala móvil, por ejemplo, según la cual un riesgo mayor genera una cotización de seguro más elevada. Cabe señalar que el método de la Figura 12 puede incorporar uno o varios pasos cualquiera de los otros métodos descritos
25 anteriormente.
30

Debe tenerse en cuenta que las realizaciones mencionadas ilustran más que limitan la invención, y que los expertos en la técnica podrán diseñar muchas realizaciones alternativas sin apartarse del alcance de las reivindicaciones anexas. La palabra "comprende" no excluye la presencia de elementos o pasos distintos de los enumerados en una reivindicación, "un" o "una" no excluye una pluralidad, y un único procesador u otra unidad puede cumplir las funciones de varias unidades recitadas en las reivindicaciones. Cualquier signo de referencia en las reivindicaciones no debe interpretarse en el sentido de limitar su alcance.
35

REIVINDICACIONES

1. Un método para determinar una trayectoria de vuelo para un sistema de aeronave, en donde el método es realizado por un sistema (1000, 1100) que comprende un procesador (1001, 1101) y una memoria (1003, 1103) que contiene instrucciones ejecutables por dicho procesador (1001, 1101), en donde el método comprende además:
5 analizar (101) un mapa de intensidad (21) relativo a un espacio tridimensional, en donde el mapa de intensidad comprende una matriz de vóxeles, cada uno de los cuales define un volumen en el espacio tridimensional;
determinar (103) una probabilidad de encuentro para una trayectoria de vuelo preferida entre un punto inicial y un punto final a través de uno o más vóxeles en el espacio tridimensional, basándose en los valores de intensidad de tráfico de uno
10 o más vóxeles a lo largo de la trayectoria de vuelo preferida (31); y
seleccionar (105) la trayectoria de vuelo preferida si la probabilidad de encuentro es inferior a un primer valor umbral,
caracterizado porque
Cada vóxel tiene un valor de intensidad de tráfico relacionado basado en los datos históricos de vuelo a través de ese vóxel.
15
2. El método de conformidad con la reivindicación 1, en donde, si la probabilidad de encuentro determinada es superior al primer valor umbral, se selecciona una trayectoria de vuelo alternativa entre el punto inicial y el punto final.
3. El método de conformidad con la reivindicación 2, en donde la selección de una trayectoria de vuelo alternativa entre
20 el punto inicial y el punto final comprende:
comparar la probabilidad de encuentro a lo largo de dos o más trayectorias de vuelo diferentes entre el punto inicial y el punto final, a través de diferentes vóxeles en el espacio tridimensional; y
seleccionar una trayectoria de vuelo que tenga una probabilidad de encuentro inferior al primer valor umbral.
4. El método de conformidad con las reivindicaciones 2 o 3, en donde la selección de una trayectoria de vuelo alternativa comprende la selección de la trayectoria de vuelo más corta que tenga una probabilidad de encuentro inferior al primer
25 valor umbral.
5. El método de conformidad con cualquiera de las reivindicaciones 2 a 4, en donde la selección de una trayectoria de vuelo alternativa comprende la selección de la trayectoria de vuelo que tenga la menor probabilidad de encuentro global, o una probabilidad de encuentro cero.
6. El método de conformidad con las reivindicaciones 1 o 2, en donde la determinación de una probabilidad de encuentro comprende determinar si uno o más vóxeles a lo largo de la trayectoria de vuelo comprenden un valor de intensidad de tráfico, o un valor promedio de intensidad de tráfico, por encima de un segundo valor umbral.
30
7. El método de conformidad con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la determinación de una probabilidad de encuentro comprende:
dividir una trayectoria de vuelo de longitud D en una serie de K elementos, cada elemento de una longitud D/K;
40 para cada uno de los K elementos, interpolar una intensidad local ($p_{FP,i}$) desde la matriz de vóxeles hasta un punto situado en el centro del elemento; y
determinar la probabilidad de encuentro para un elemento particular con base en el valor de la intensidad del tráfico local multiplicado por el tiempo que tarda el sistema de aeronave en cubrir el elemento.
8. El método de conformidad con la reivindicación 7, en donde la probabilidad de un encuentro para toda la trayectoria de vuelo se determina como:
45

$$p_{FP} = \sum_{i=1}^K p_{FP,i} * \frac{D}{KV}$$

50 en donde V es la velocidad del sistema de aeronave.

9. El método de conformidad con la reivindicación 2, en donde la selección de una trayectoria de vuelo alternativa comprende la selección de una trayectoria de vuelo alternativa que evite uno o más vóxeles que tengan un valor de intensidad de tráfico superior a un segundo valor umbral.
55
10. El método de conformidad con las reivindicaciones 2 o 3, en donde la selección de una trayectoria de vuelo alternativa comprende primero intentar seleccionar una trayectoria de vuelo que tenga una altitud diferente en el espacio tridimensional en comparación con la trayectoria de vuelo preferida, o una trayectoria de vuelo que tenga una altitud mínima en el espacio tridimensional.
11. El método de conformidad con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la selección de una trayectoria de vuelo alternativa comprende:
60 recibir datos de densidad de población relativos a la densidad de población bajo un vóxel; y

utilizar los datos de densidad de población al menos en parte del paso de selección de la trayectoria de vuelo alternativa.

5 12. El método de conformidad con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el mapa de intensidad comprende además datos de espacio aéreo restringido o controlado, o en donde a un vóxel relativo a una zona que comprende terreno y/o espacio aéreo controlado o restringido se le fija un valor de intensidad de tráfico del 100%, o un valor de intensidad de tráfico que aumenta a partir de un primer valor en un límite del mismo hacia un valor del 100%.

10 13. El método de conformidad con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además el paso de generar el mapa de intensidad mediante los siguientes:
 recibir señales de transpondedor y/o señales de vigilancia automática dependiente, ADS-B, y/u otra información sobre la posición de vuelo de las aeronaves que se desplacen por el espacio tridimensional, y/o de otras fuentes, durante un periodo de tiempo; y
 15 generar valores de intensidad de tráfico para la pluralidad de vóxeles dentro del espacio tridimensional utilizando las señales de transpondedor recibidas y/o las señales de vigilancia dependiente automática, ADS-B, y/u otra información de posición de vuelo.

20 14. El método de conformidad con la reivindicación 13, en donde la generación de un valor de intensidad de tráfico para un vóxel comprende la determinación de un número de aeronaves que han pasado por el vóxel durante un periodo de tiempo.

15. El método de conformidad con la reivindicación 13, en donde un valor de probabilidad de cada avión se distribuye por la matriz de vóxeles en función de la distancia entre un avión y los N nodos más cercanos asociados a los N vóxeles más cercanos.

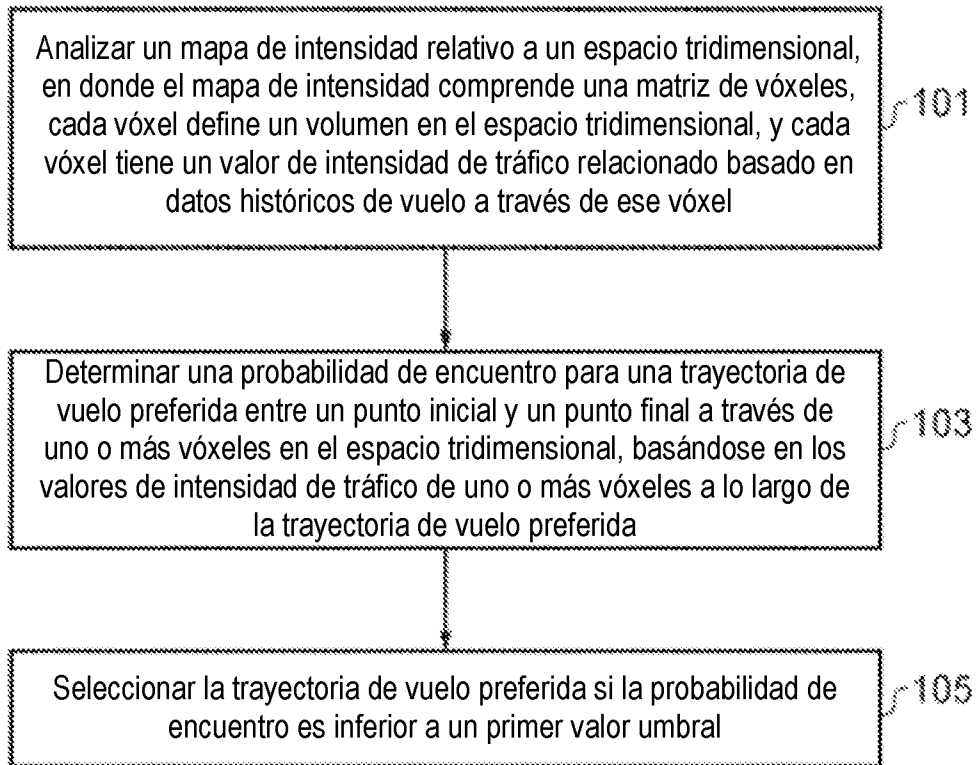


FIG. 1

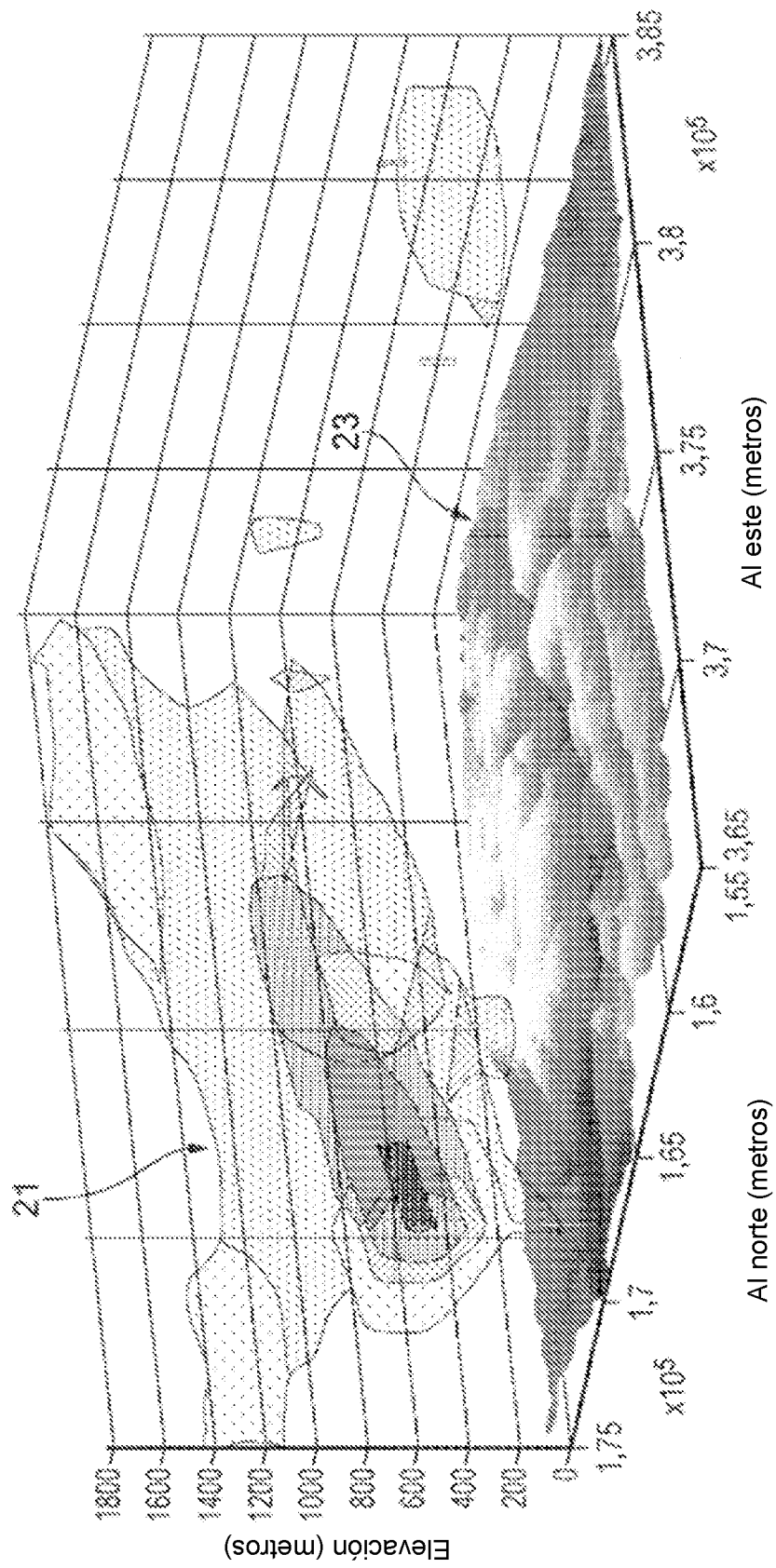


FIG. 2a

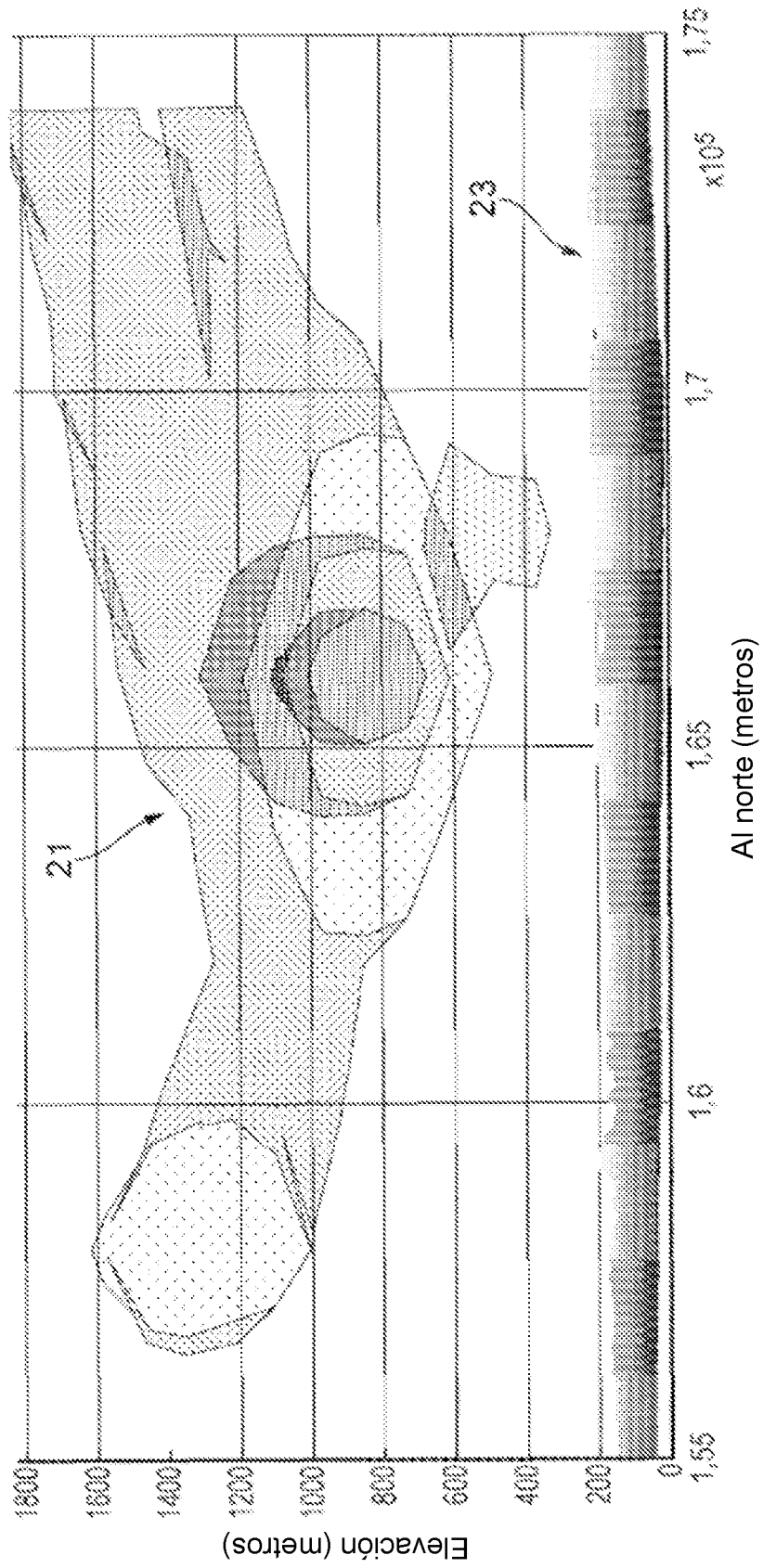


FIG. 2b

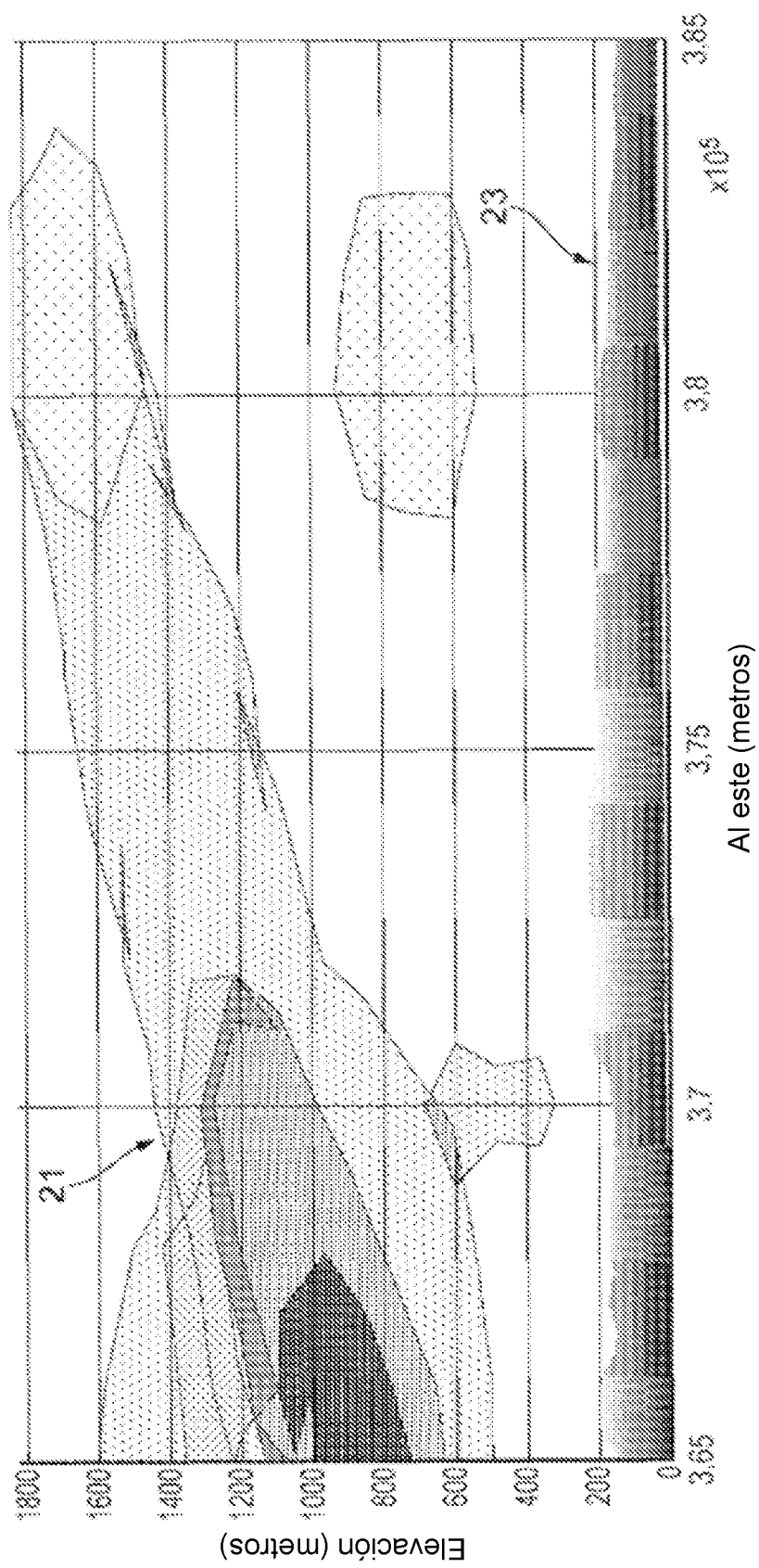
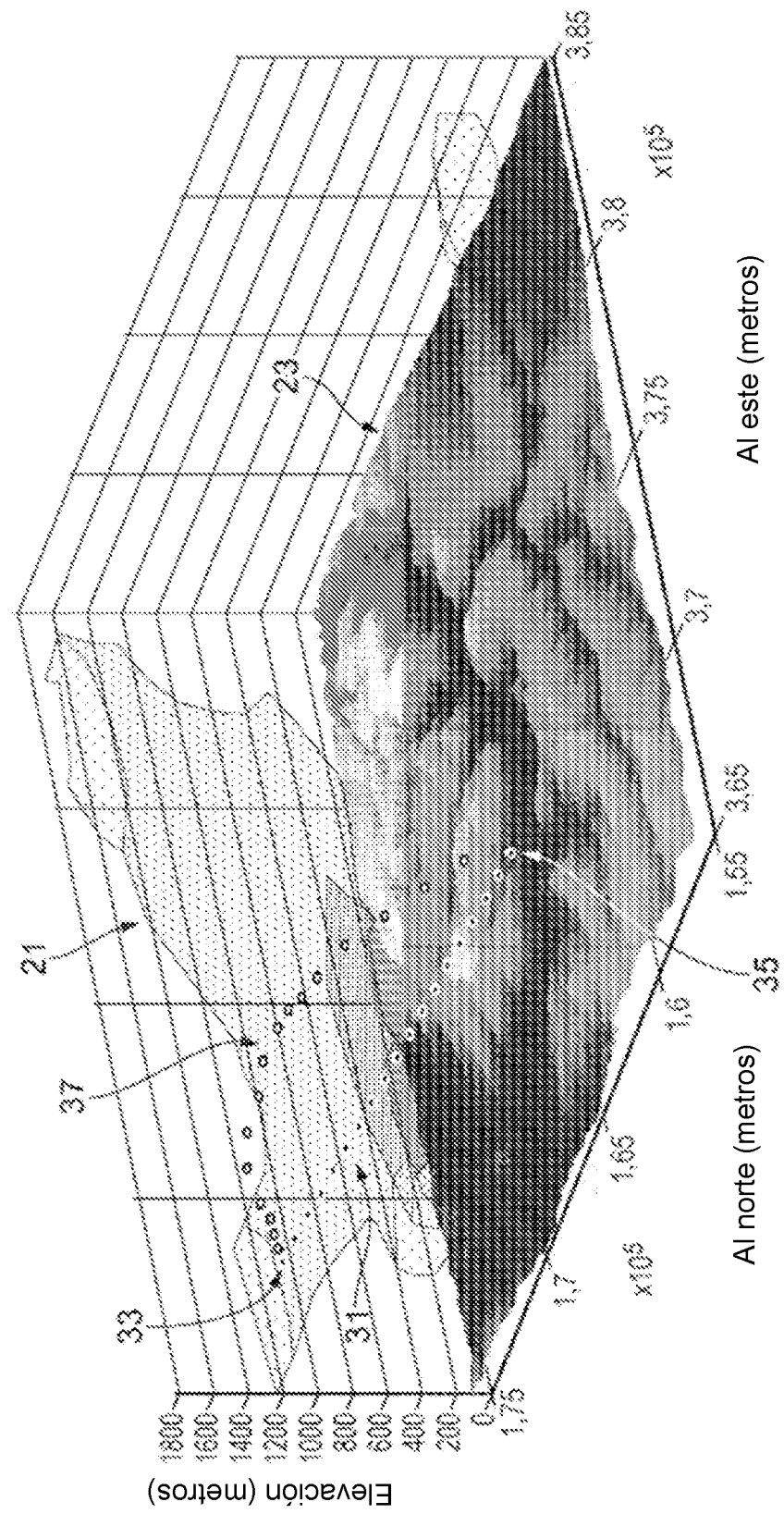


FIG. 2c



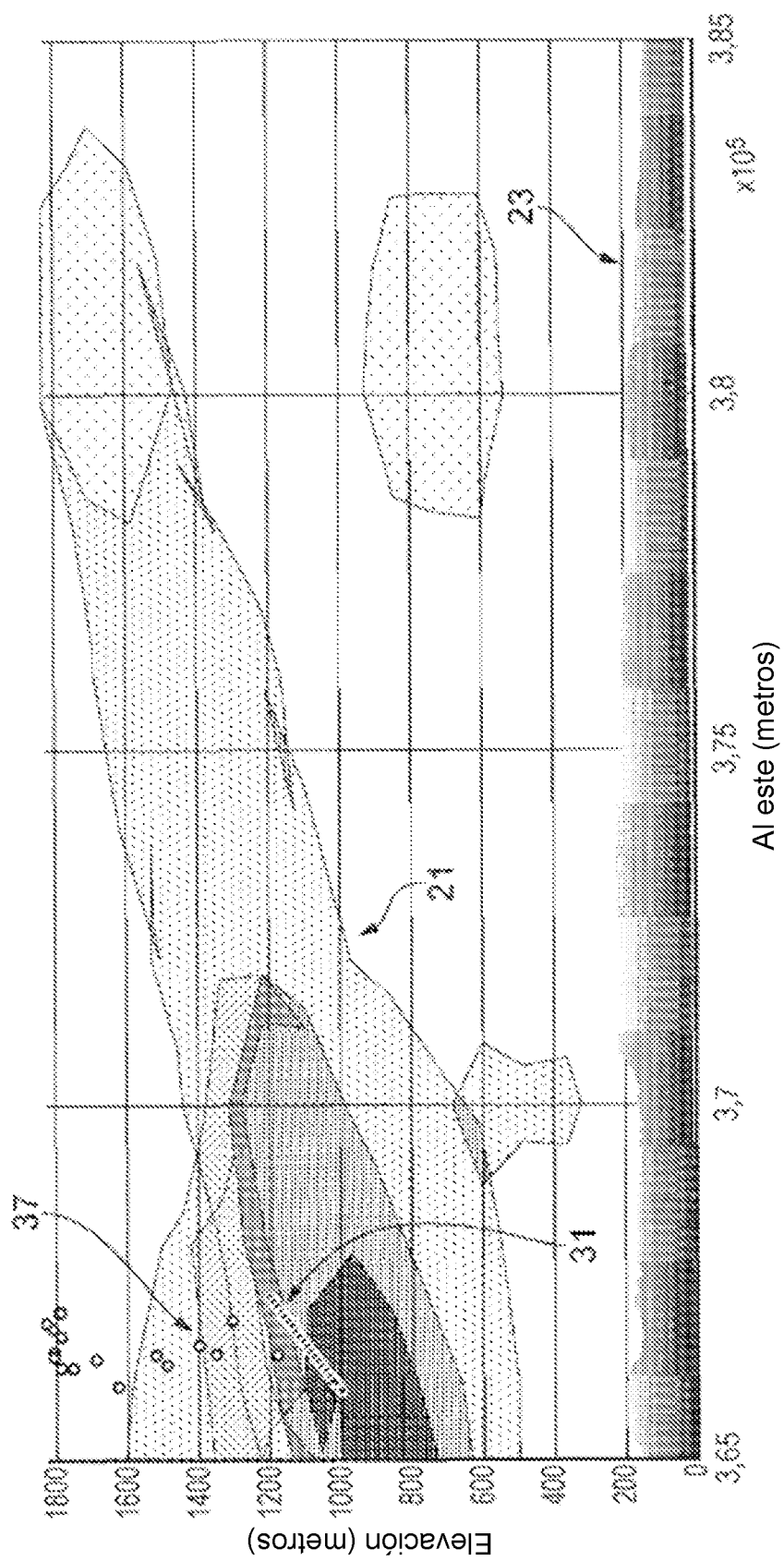


FIG. 3b

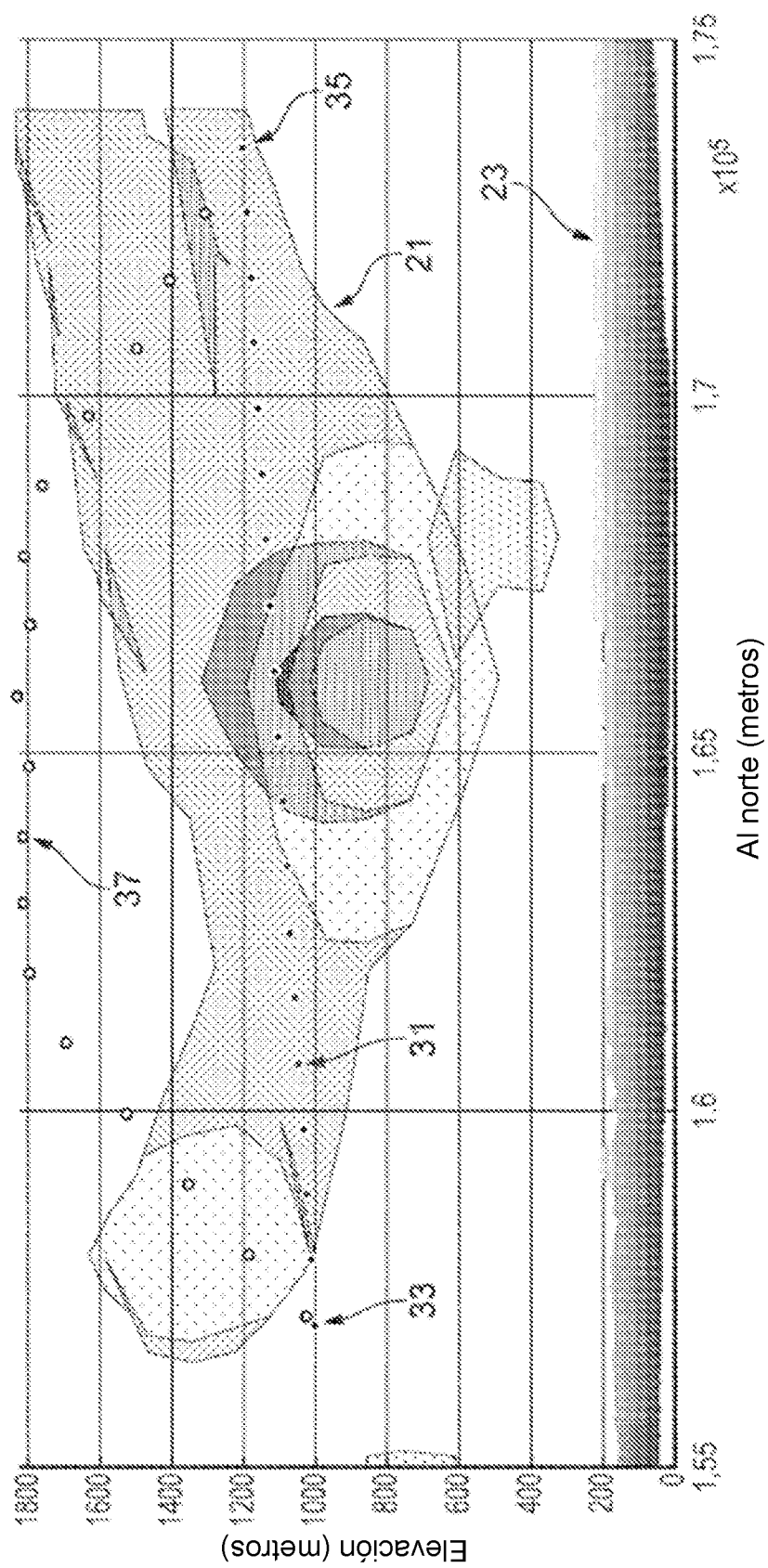


FIG. 3c

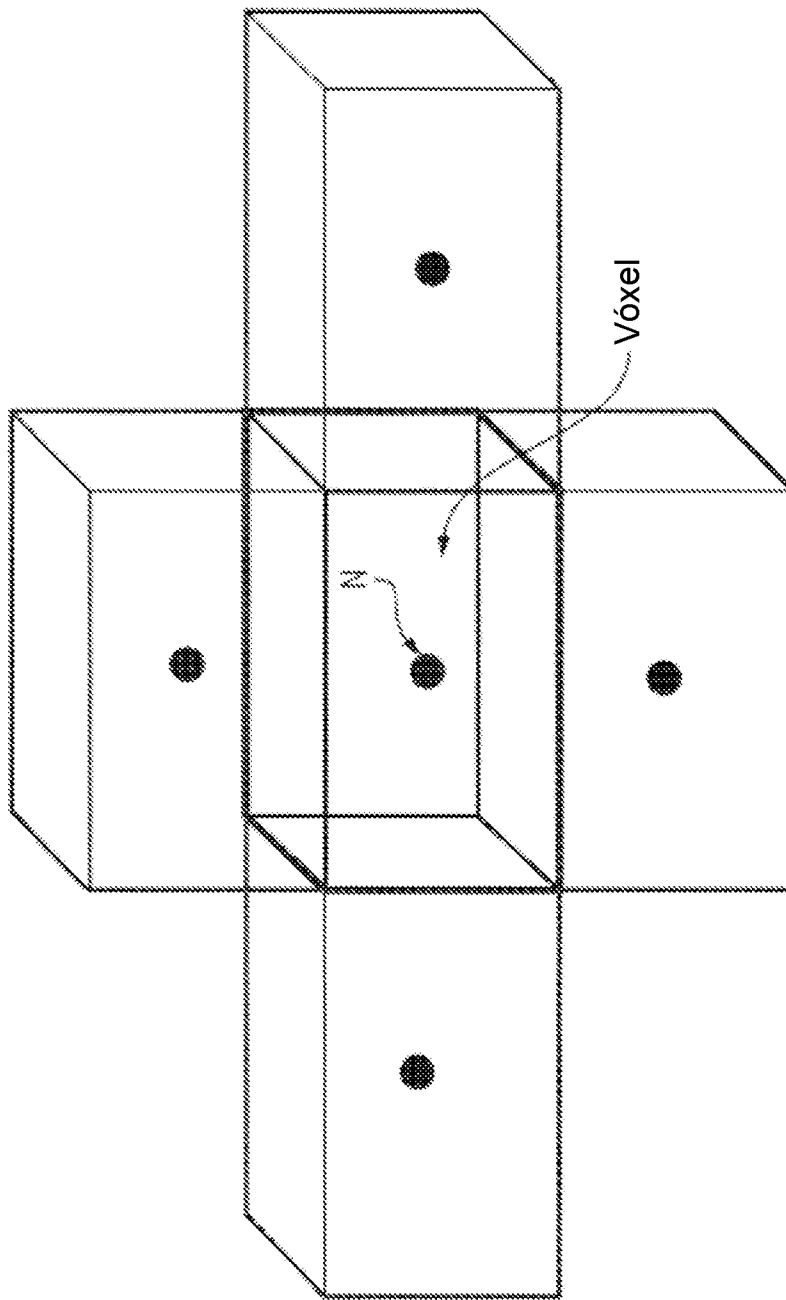


FIG. 3d

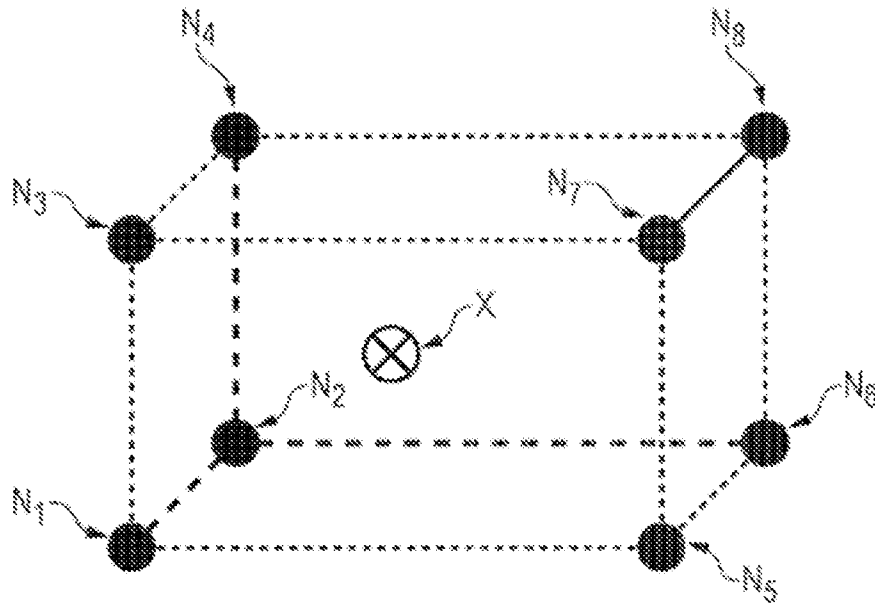


FIG. 3e

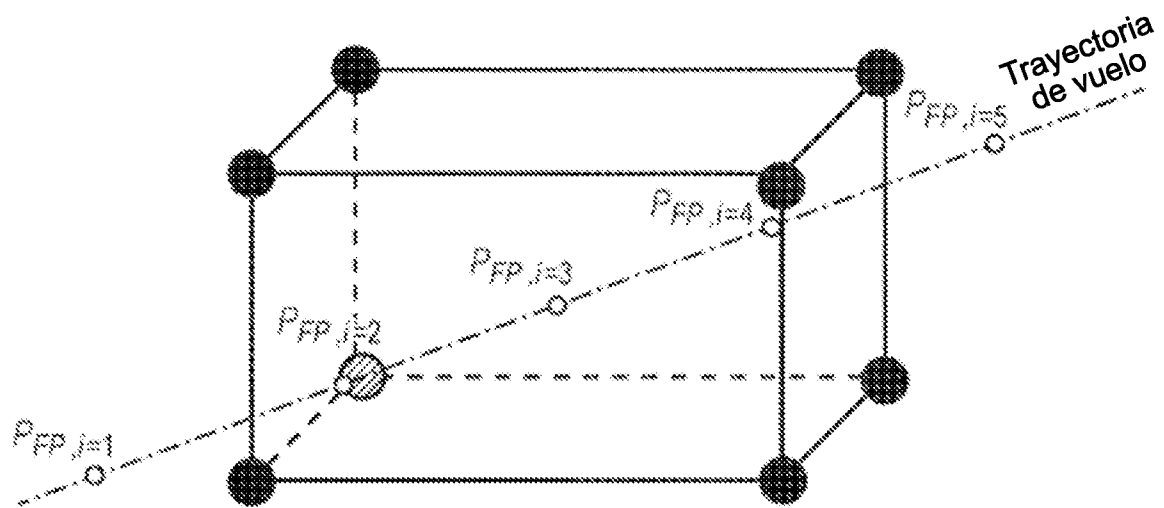


FIG. 3f

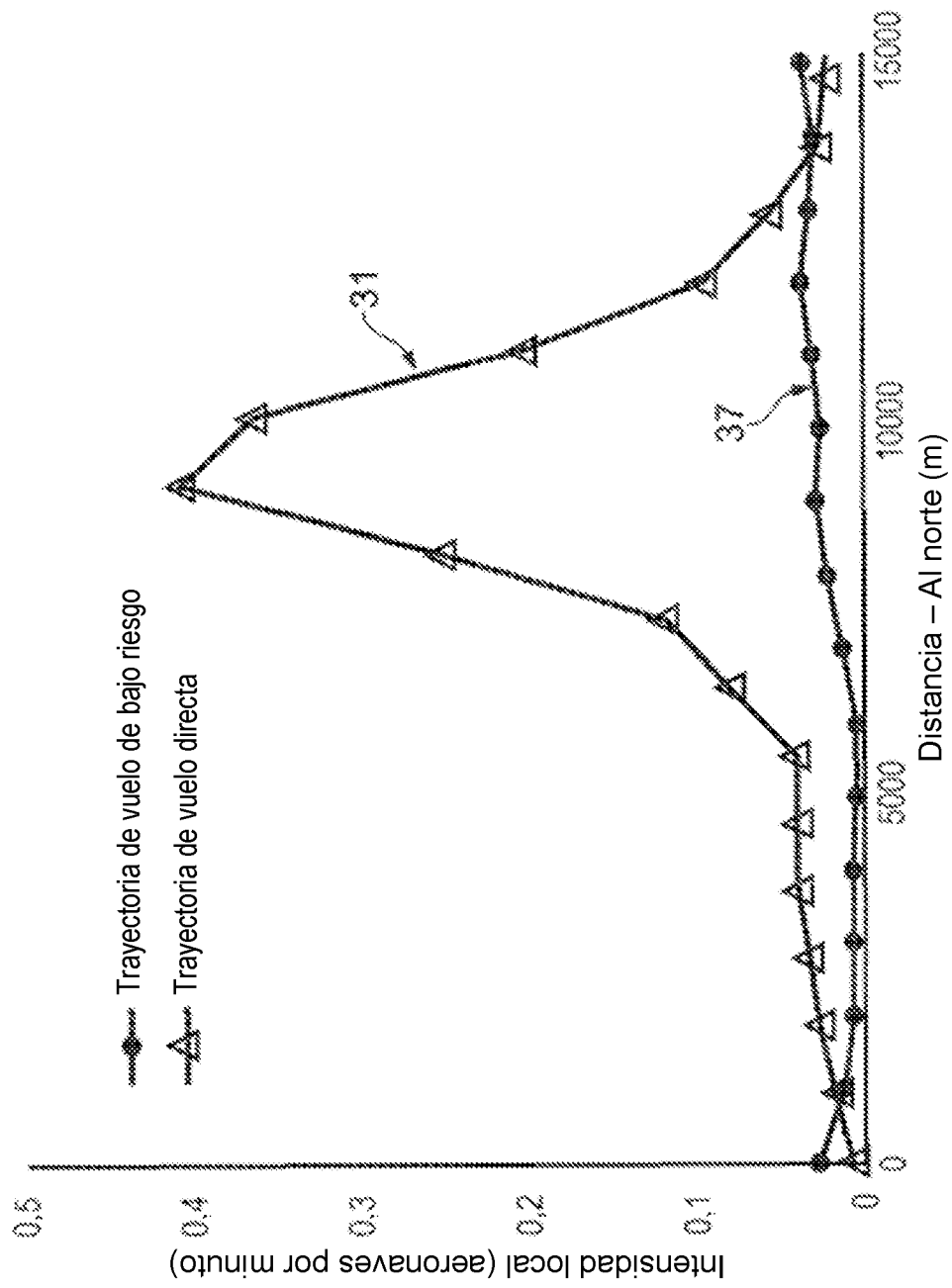


FIG. 3g

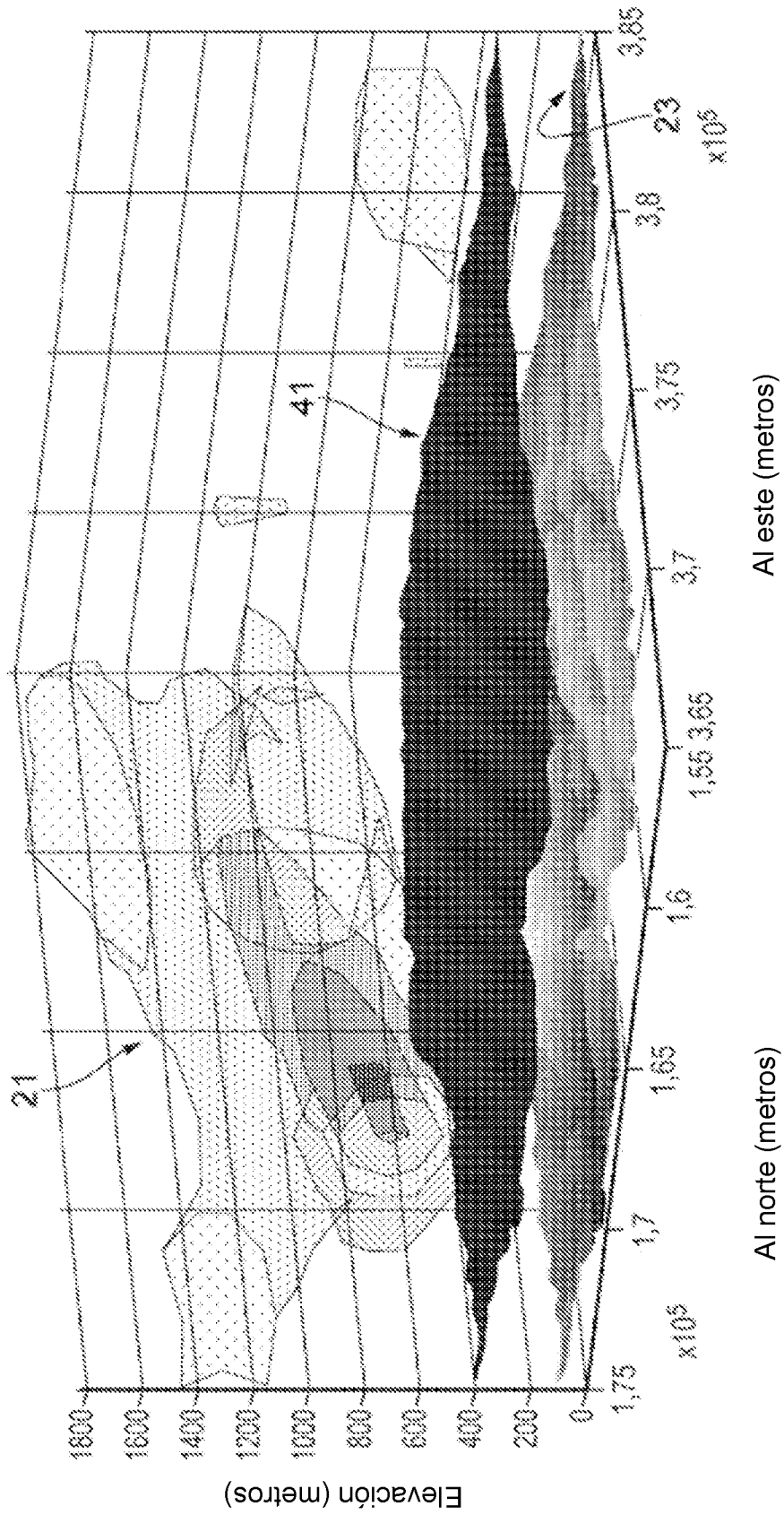


FIG. 4a

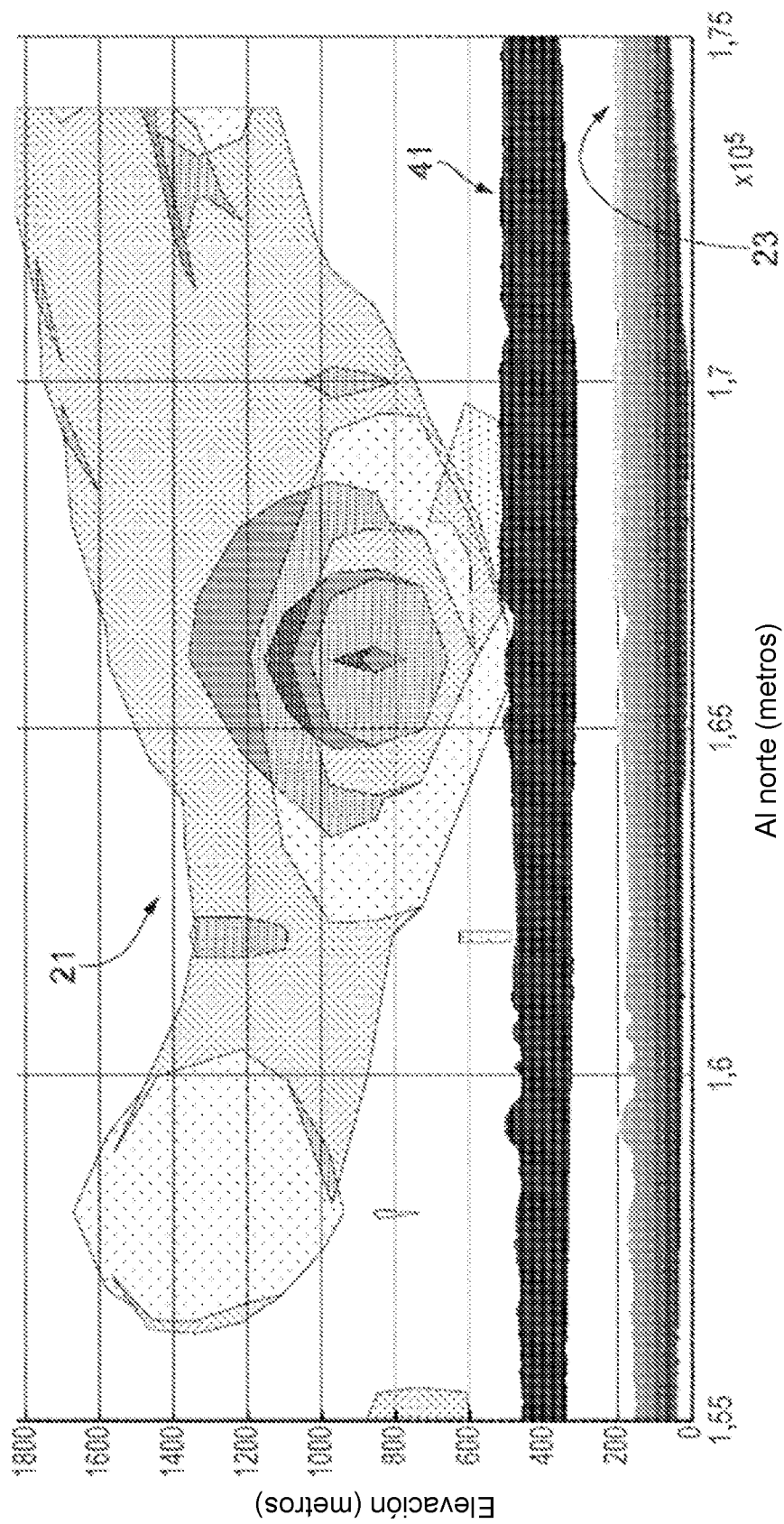


FIG. 4b

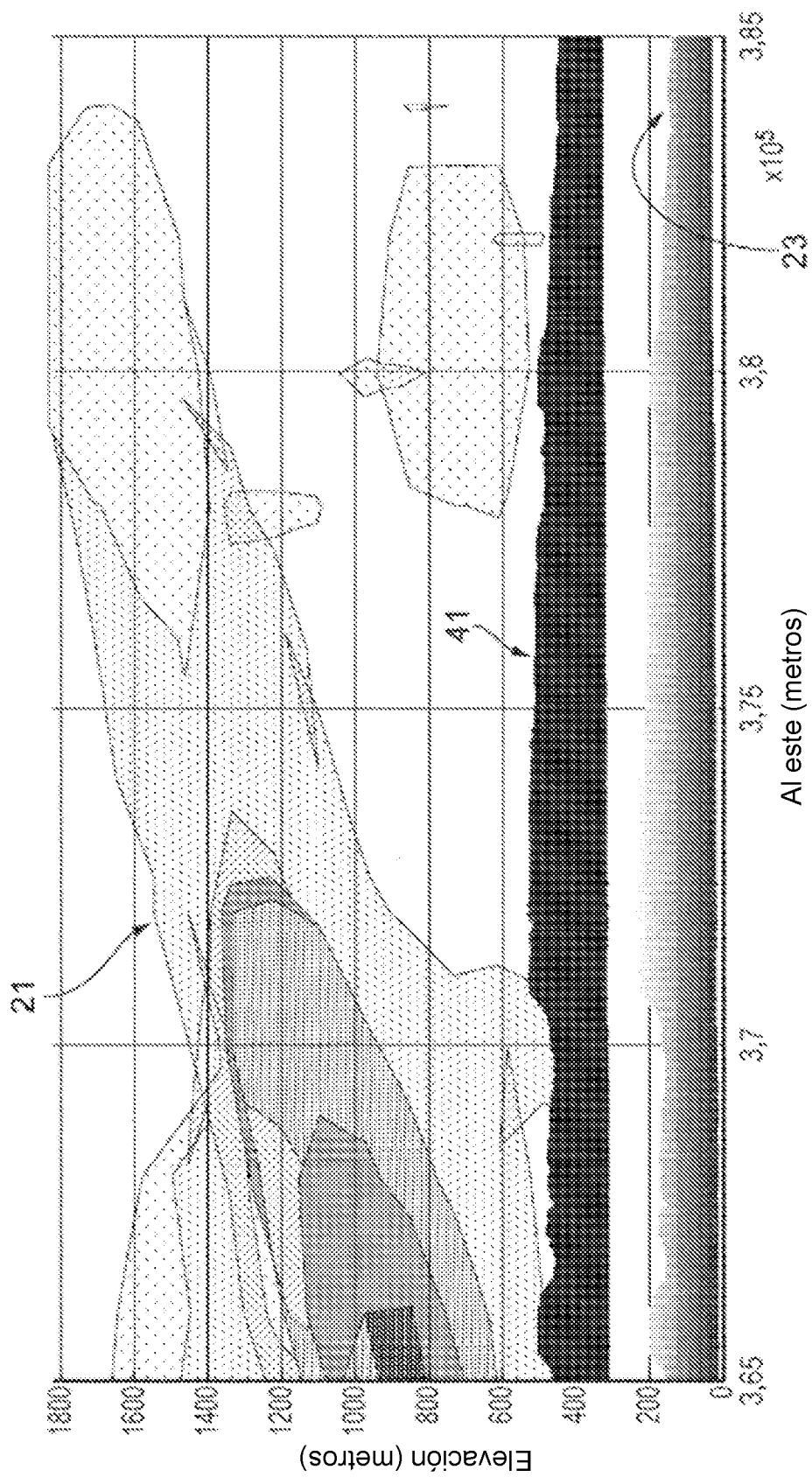
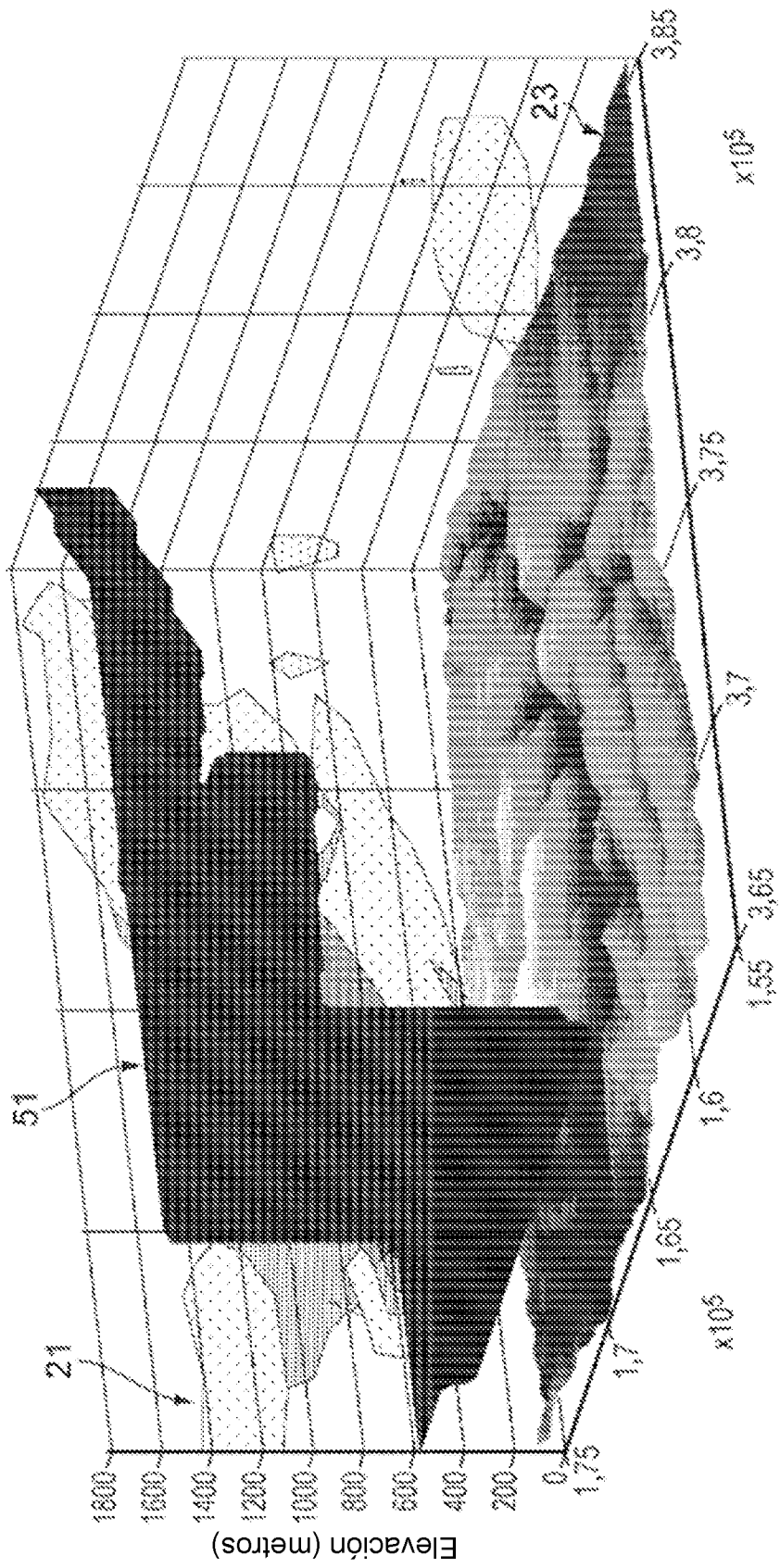


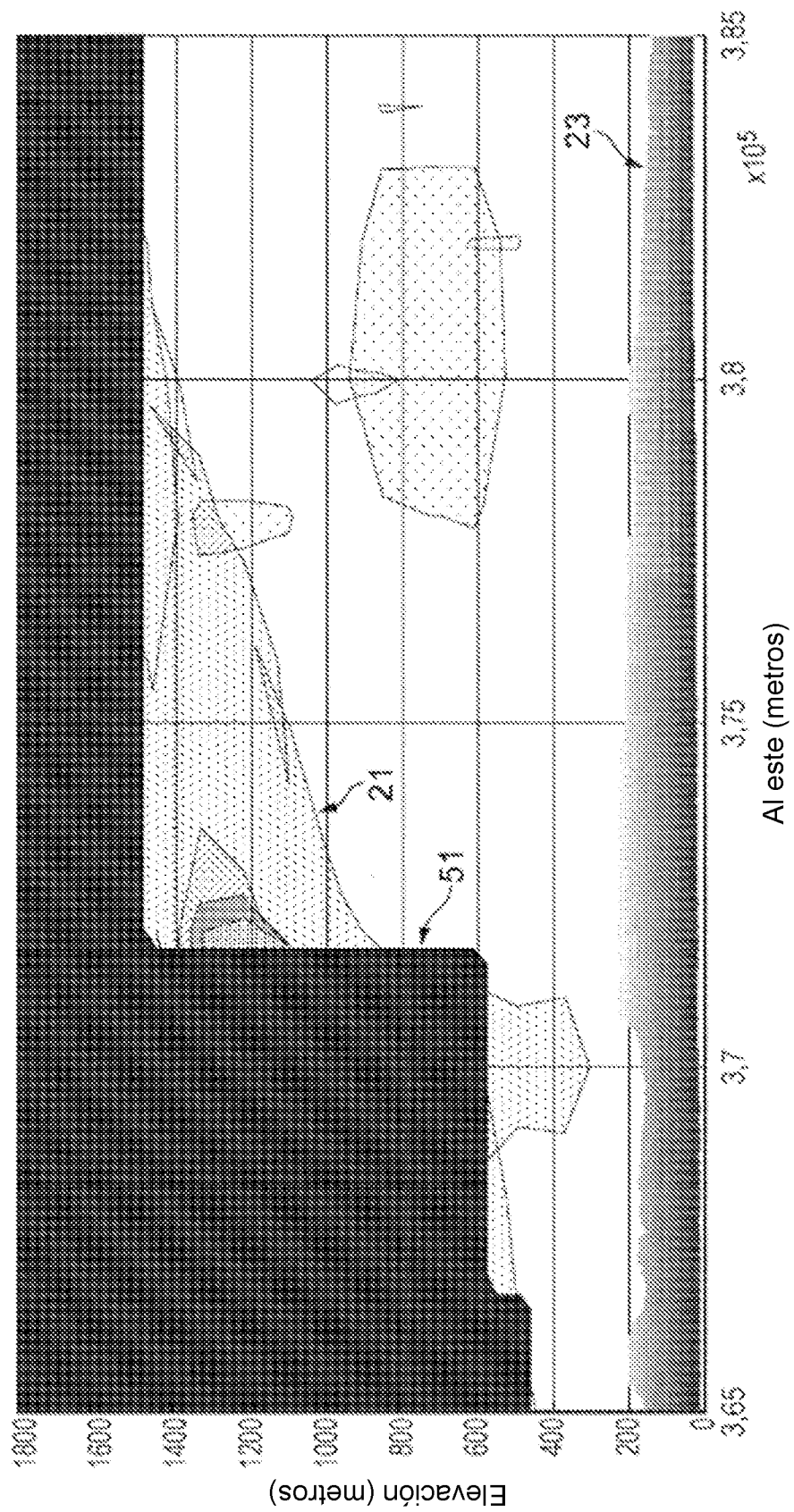
FIG. 4c



Al este (metros)

Al norte (metros)

FIG. 5a



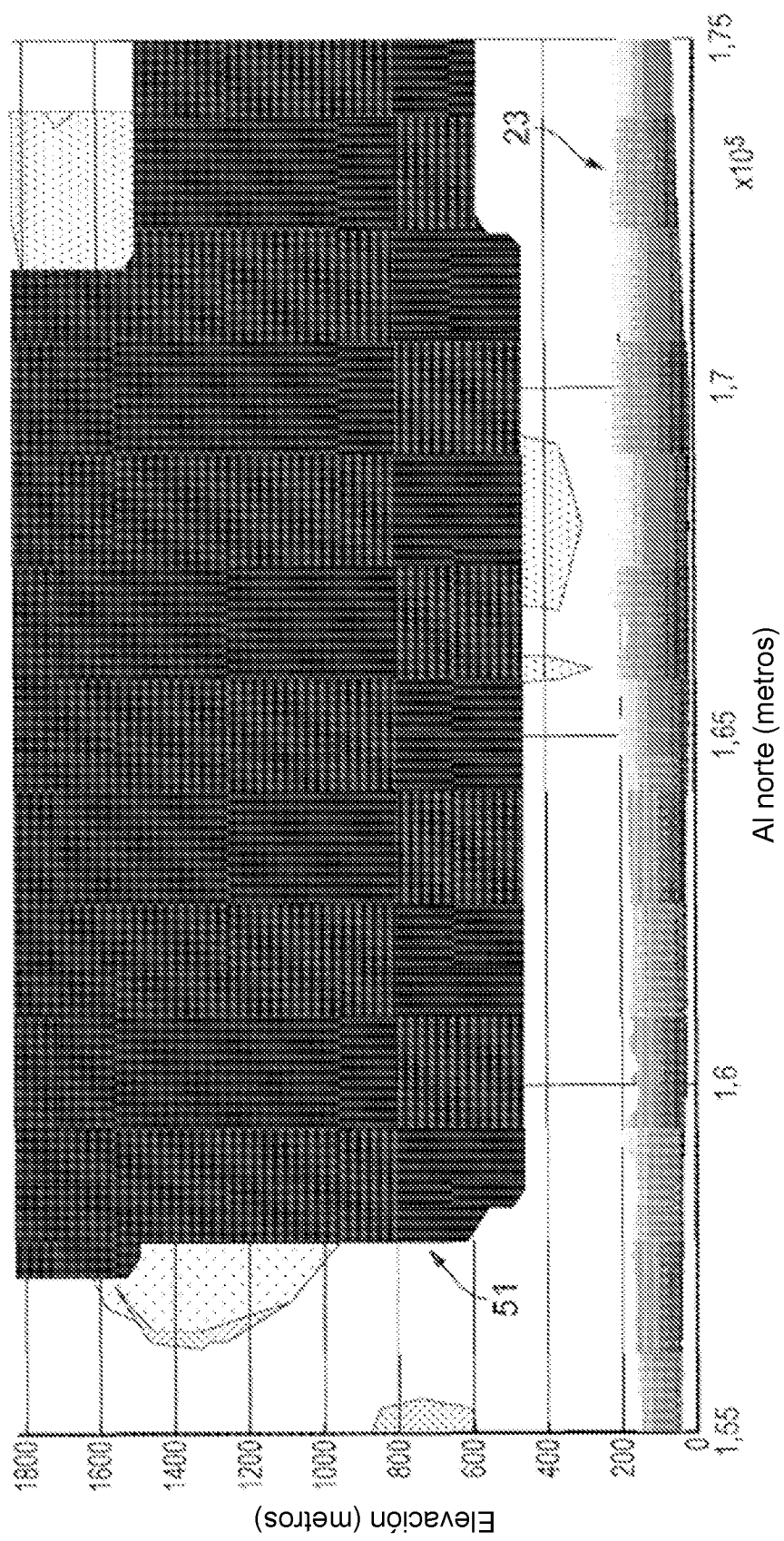


FIG. 5c

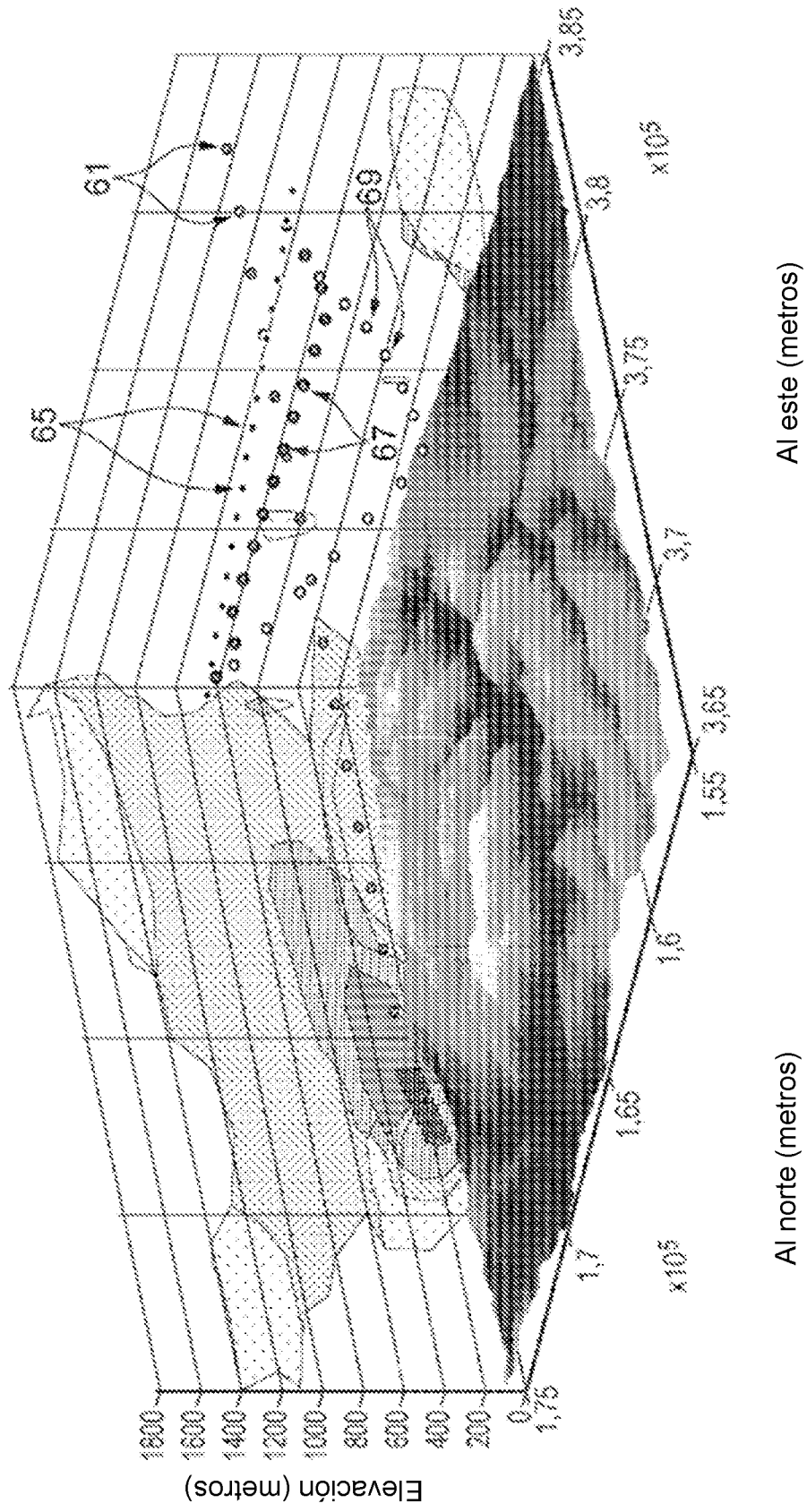


FIG. 6a

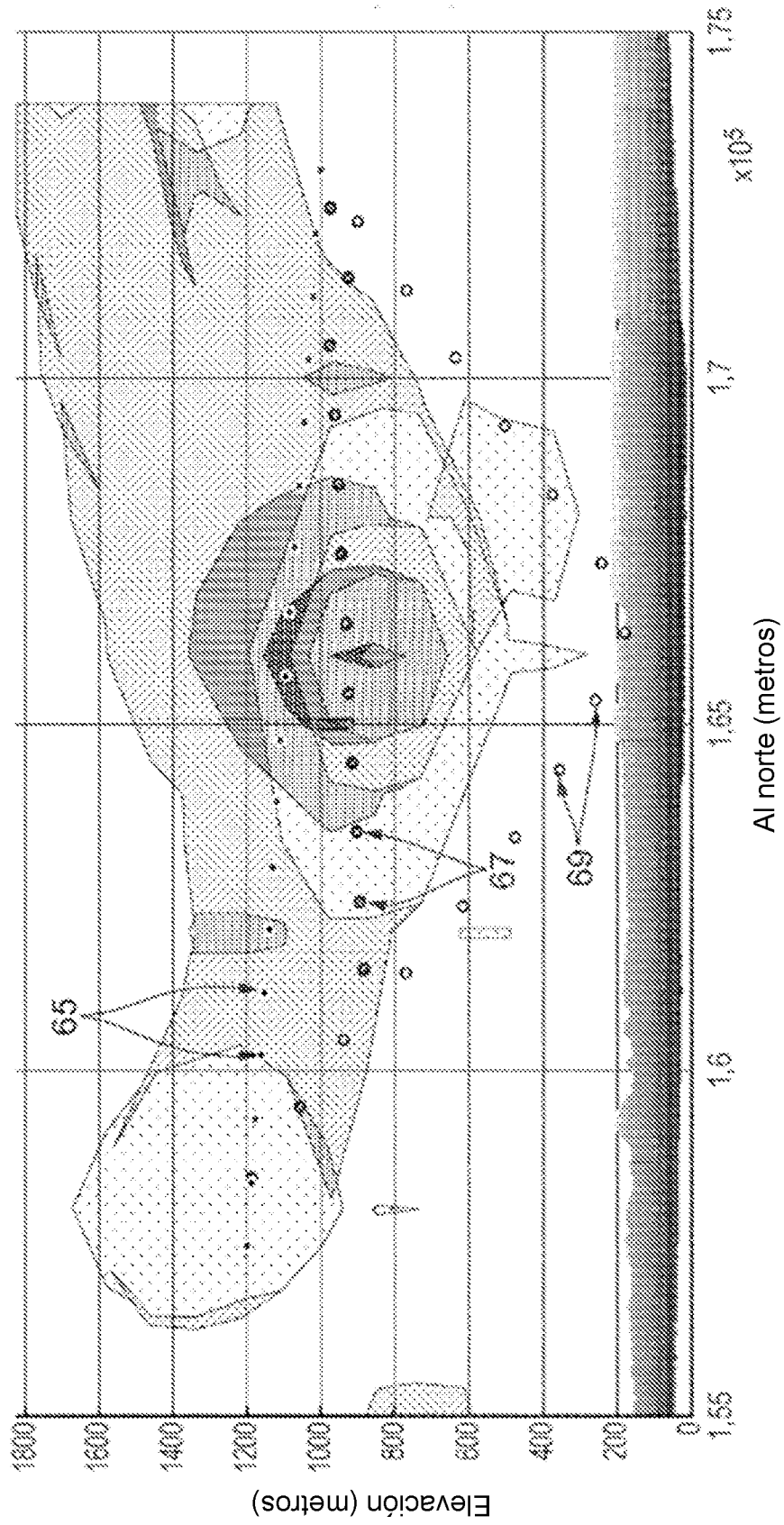


FIG. 6b

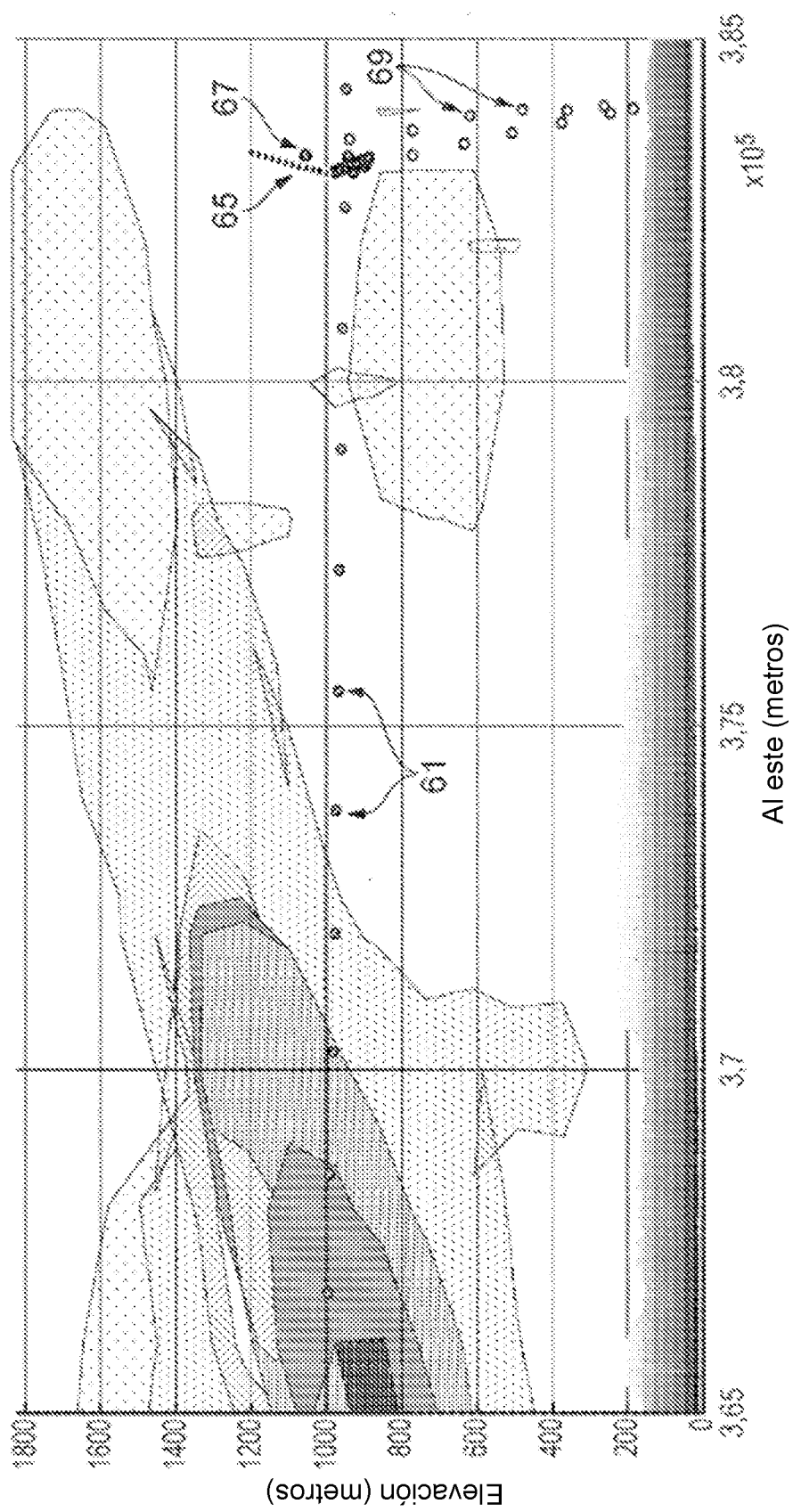


FIG. 6c

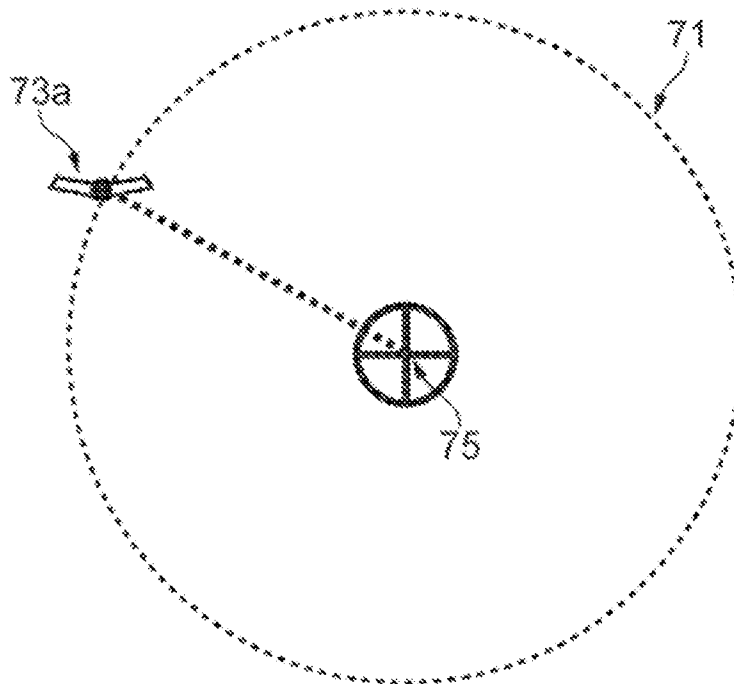


FIG. 7a

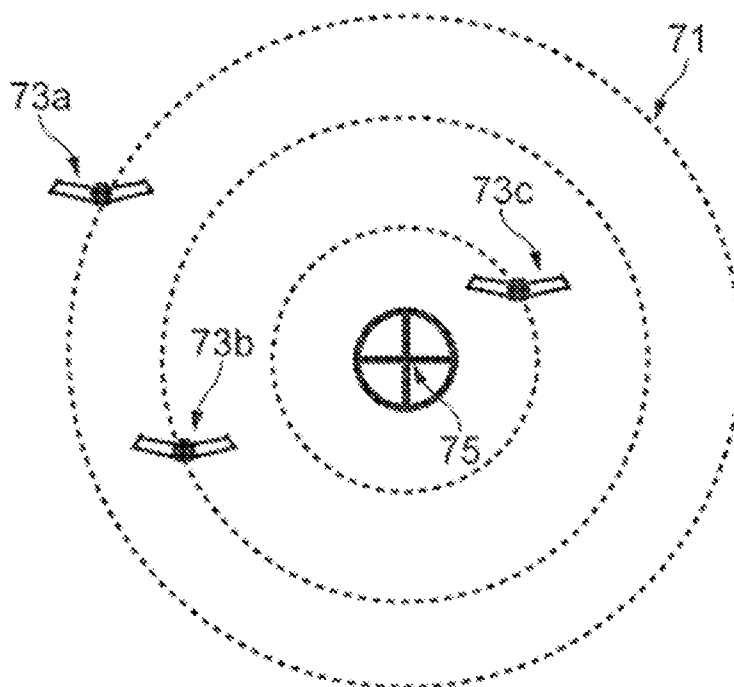
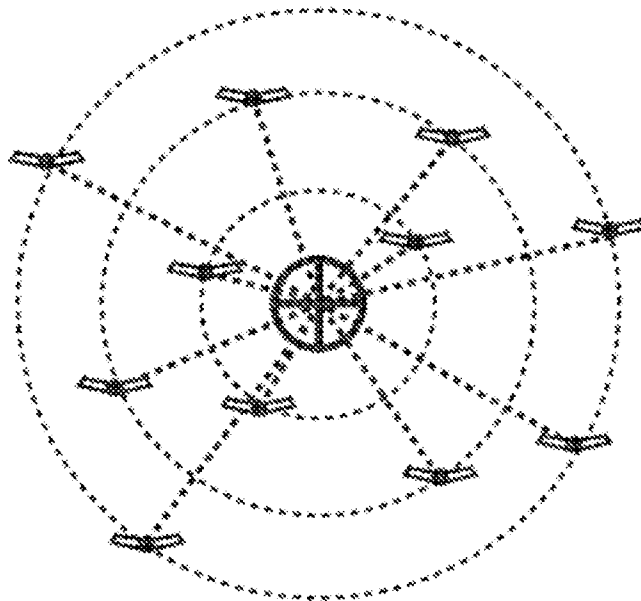
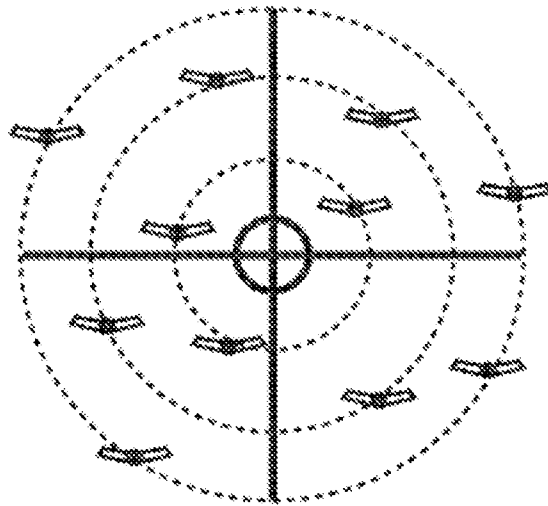
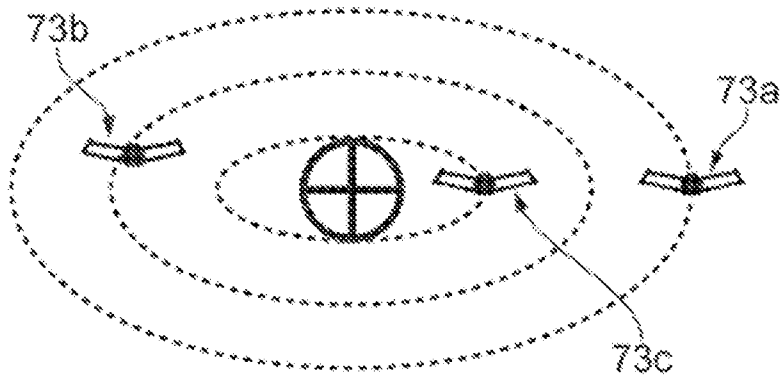


FIG. 7b



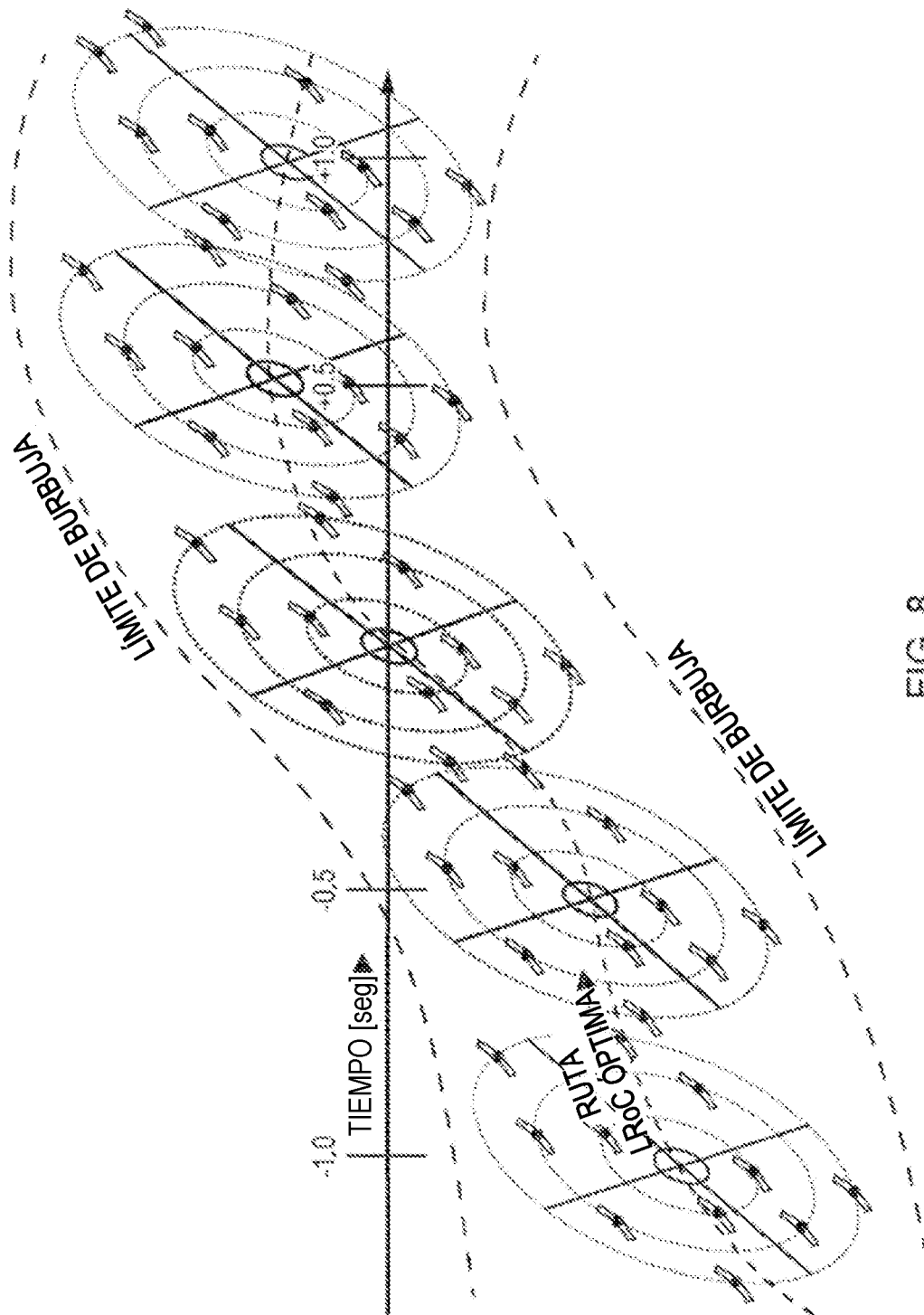


FIG. 8

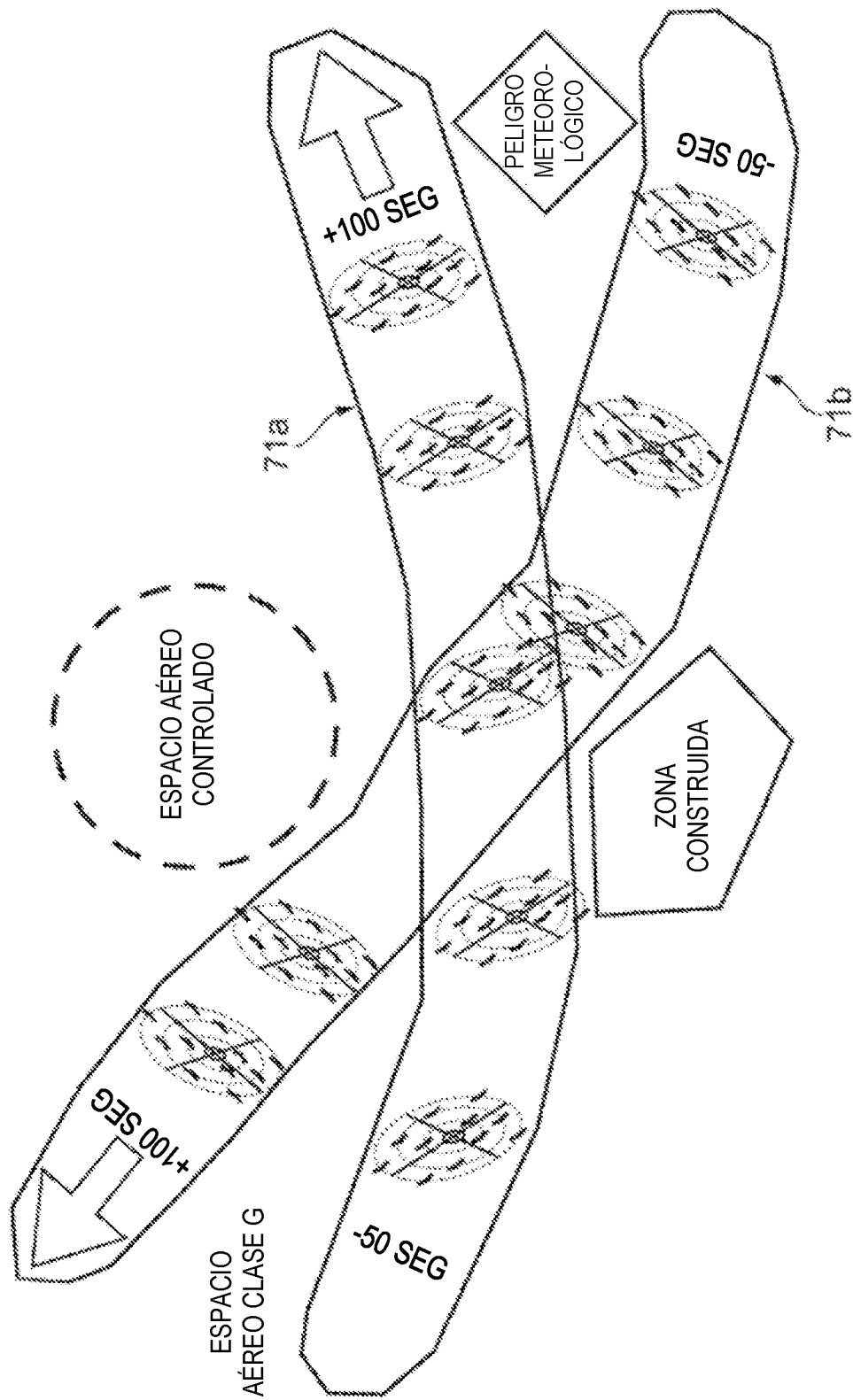


FIG. 9

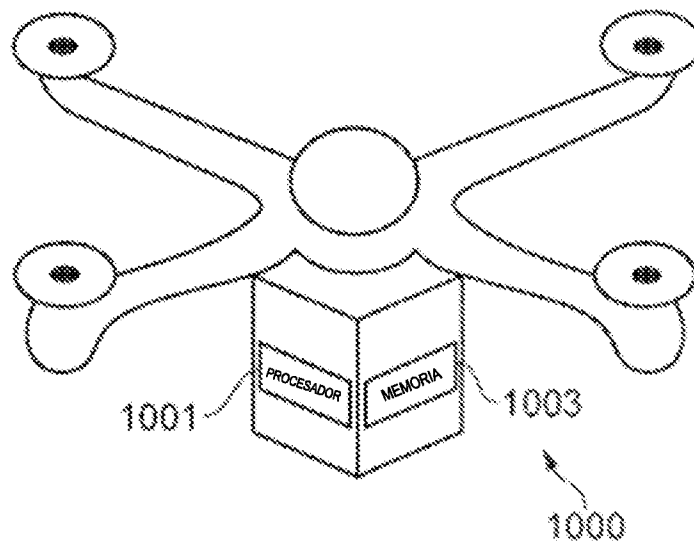


FIG. 10

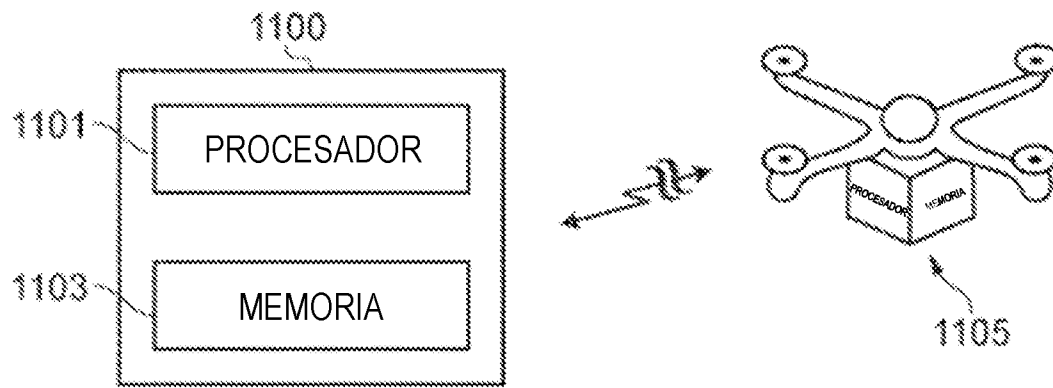


FIG. 11

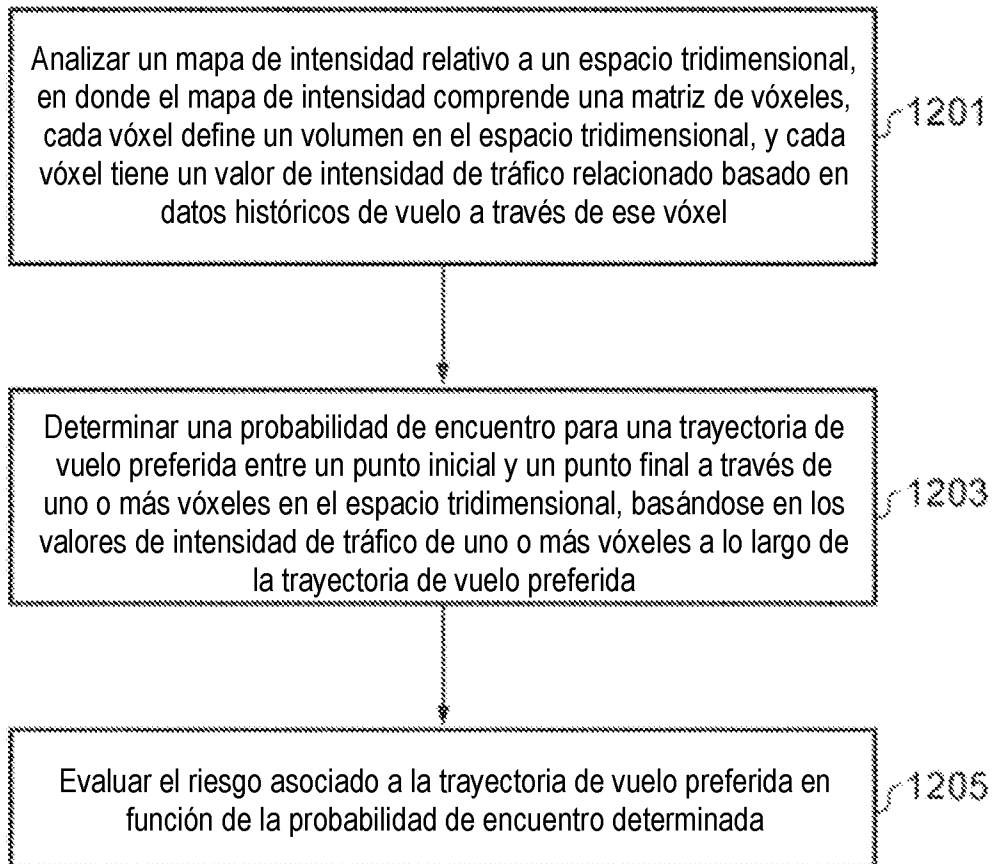


FIG. 12