

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 386 907**

51 Int. Cl.:
G01S 5/18 (2006.01)
G01S 11/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **07809087 .5**
- 96 Fecha de presentación: **15.05.2007**
- 97 Número de publicación de la solicitud: **2030041**
- 97 Fecha de publicación de la solicitud: **04.03.2009**

54 Título: **Métodos y sistemas para localización pasiva de alcance y profundidad**

30 Prioridad:
06.06.2006 US 422435

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
05.09.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
05.09.2012

73 Titular/es:
RAYTHEON COMPANY
870 WINTER STREET
WALTHAM, MA 02451-1449, US

72 Inventor/es:
NOVICK, Arnold, W. y
MCPHILLIPS, Kenneth, J.

74 Agente/Representante:
Ungría López, Javier

ES 2 386 907 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

Métodos y sistemas para localización pasiva de alcance y profundidad

5 Campo de la invención

Esta invención se refiere generalmente a métodos y sistemas acústicos y, más particularmente, a métodos y sistemas, que proporcionan una localización de alcance/profundidad de un generador de sonido pasivo, por ejemplo, un objetivo submarino.

10

Antecedentes de la invención

Se conoce que un buque submarino (es decir, un submarino) genera sonido, que generalmente es referido como sonido pasivo, cuando se desplaza por el agua. El sonido pasivo se genera por una variedad de fuentes, incluyendo, sin limitar a, el sonido generado por un sistema de propulsión del submarino, el sonido generado por una hélice del submarino, y el sonido generado por un generador de potencia eléctrica del submarino. Se conoce que los diseñadores de submarinos intentan reducir estas y otras fuentes de sonido pasivo con el fin de hacer que sea difícil detectar un submarino por medios acústicos, quedando por lo tanto lo más encubierto posible.

15

20

Algunos sistemas de sonar de guerra antisubmarina (GAS) intentan detectar el sonido submarino pasivo generado por un submarino enemigo. Algunos otros sistemas de sonar de GAS intentan detectar el sonido pasivo y también localizar y/o seguir la pista del submarino enemigo. La localización se usa para identificar una posición del submarino enemigo en acimut, y/o en alcance, y/o en profundidad.

25

Los sistemas de sonar de GAS pasivo intentan detectar, localizar y/o seguir la pista del submarino enemigo usando solamente el sonido pasivo recibido. El sistema de sonar pasivo puede permanecer encubierto e indetectable por el submarino enemigo. Algunos sistemas de sonar pasivo usan técnicas de formación de haces para generar y recibir haces. Los haces recibidos pueden dirigirse con acimuts para detectar, localizar y/o seguir la pista del submarino enemigo en acimut. El haz recibido también puede dirigirse a ángulos verticales.

30

Incluso a alcances relativamente cortos, la localización en profundidad y alcance no es generalmente posible cuando solamente se recibe sonido pasivo y depende de una dirección del señalamiento de los haces recibidos (dirigidos a un ángulo de dirección del haz vertical). Esto es porque para cualquier haz recibido y haz vertical asociado que señala hacia un submarino enemigo, el submarino enemigo puede colocarse en un número esencialmente infinito de alturas y alcances a lo largo del ángulo de dirección del haz vertical.

35

A alcances más largos, la localización del submarino enemigo en alcance y profundidad se hace incluso más difícil por una variedad de factores, incluyendo pero sin limitar a, una tendencia del sonido pasivo generado por el submarino enemigo a curvarse (es decir, refractar), principalmente en una dirección vertical, cuando el sonido se propaga por el agua. Por lo tanto, el ángulo vertical al que la mayor cantidad de sonido llega en el sistema del sonar, que está relacionado con un ángulo de haz vertical particular recibido, no señala necesariamente en la dirección del submarino enemigo. Por lo tanto, deben usarse otras técnicas para localizar el objetivo en alcance y profundidad.

40

El proceso de banda estrecha, o de campo combinado, es una técnica conocida usada para localizar en alcance y profundidad. Sin embargo, el proceso de banda estrecha requiere una mayor selección de sonar, que no es práctico para muchas aplicaciones. El proceso de banda estrecha también sufre los efectos de la refracción de sonido anteriormente descrita.

45

El proceso de autocorrelación de banda ancha es una técnica conocida en la que una señal recibida por un elemento sonar (es decir, un transductor de sonar), o un selección de sonar, se autocorrelaciona para identificar un tiempo de retardo relativo entre el sonido pasivo que llega al elemento sonar sobre una trayectoria de sonido directo y la llegadas del sonido pasivo el elemento sonar sobre una trayectoria de sonido reflejado en la superficie. El tiempo de retardo relativo puede usarse para calcular el alcance y la profundidad. Sin embargo, la ejecución de esta técnica puede degradarse enormemente en estados del mar de moderado a alto (es decir, cuando la superficie del mar tiene olas altas), debido a la dispersión del sonido reflejado dese la superficie, que causa que la correlación se degrade.

50

55

El documento EP1 271 175 enseña un método para determinar la posición de un objetivo que emite sonido.

Resumen de la invención

60

La invención se define en las reivindicaciones a la que se dirige ahora la referencia.

Breve descripción de los dibujos

65

Las características anteriores de la invención, así como la propia invención pueden entenderse de manera más completa a partir de la siguiente descripción detallada de los dibujos, en los que.

La FIG. 1 es un organigrama que muestra un proceso para determinar un alcance y una profundidad de un objetivo submarino,
 La FIG. 2 es un organigrama que muestra más detalles del proceso de la FIG. 1;
 La FIG. 2A es un organigrama que muestra más detalles del proceso de la FIG. 1 alternativos a los de la FIG. 2;
 La FIG. 3 es un organigrama que muestra más detalles del proceso de la FIG. 1;
 Las FIGS. 3A y 3B son organigramas que muestran más detalles del proceso de la FIG. 1 alternativos a los de la FIG. 3;
 La FIG. 4 es un organigrama que muestra aún más detalles del proceso de la FIG. 1;
 La FIG. 5 es una imagen que muestra una disposición de formación de haces de la presente invención que tiene dos trayectorias de sonido, para las que se usa una correlación de cruce;
 La FIG. 6 es una imagen que muestra una disposición omnidireccional de la presente invención que tiene dos trayectorias de sonido, para las que se usa una autocorrelación;
 La FIG. 6A es una imagen que muestra más detalles de la disposición omnidireccional de la FIG. 6;
 La FIG. 7 es una imagen que muestra otra disposición de formación de haces de la presente invención que tiene dos trayectorias de sonido, para las que se usa una autocorrelación;
 La FIG. 7A es una imagen que muestra más detalles de la disposición de formación de haces de la FIG. 6;
 La FIG. 8 es una imagen que muestra otra disposición de formación de haces de la presente invención que tiene dos trayectorias de sonido, para las que se usa una autocorrelación;
 La FIG. 9 es una imagen que muestra una disposición omnidireccional de la presente invención que tiene dos trayectorias de sonido, para las que se usa una correlación de cruce;
 La FIG. 9A es una imagen que muestra más detalles de la disposición omnidireccional de la FIG. 9;
 La FIG. 10 es un gráfico que muestra características de correlación conseguidas por una autocorrelación;
 La FIG. 11 es un gráfico que muestra características de correlación conseguidas por una correlación de cruce;
 La FIG. 12 es un diagrama de bloques de un sistema para determinar un alcance y una profundidad de un objetivo submarino;
 La FIG. 13 es un gráfico que muestra una técnica para encontrar una profundidad localizada de un objetivo submarino;
 La FIG. 14 es un gráfico que muestra una técnica para encontrar un alcance localizado del objetivo submarino; y
 La FIG. 15 es un gráfico que muestra una técnica para encontrar una profundidad y un alcance localizados del objetivo submarino de acuerdo con el gráfico de la FIG. 13.

35 Descripción detallada de la invención

Antes de describir el método y sistema para la localización pasiva de alcance y profundidad, se explican algunos conceptos y terminología introductoria. Como se usa en el presente documento, el término "sonido pasivo" se usa para describir el sonido generado por un objeto, que no se genera con el fin de proporcionar una función acústica. Por ejemplo, un submarino, cuando se desplaza por el agua, genera sonido pasivo desde un sistema de propulsión, desde una hélice, desde una planta de potencia eléctrica y desde vibraciones inducidas por el flujo. El sonido pasivo puede tener una variedad de características espectrales, tanto de banda estrecha como de banda ancha, que son representativas del tipo de objetivo (por ejemplo, un buque que no es submarino, un submarino, etc.).

Como se usa en el presente documento, el término "sonido activo" se usa para describir el sonido que se genera intencionadamente por un objeto con el fin de proporcionar una función acústica. Por ejemplo, el submarino puede transmitir sonido activo en el agua con un sistema de sonar activo con el fin de recibir ecos de retorno de objetos en o en contacto con el agua.

Se conoce que tanto el sonido pasivo como el activo pueden desplazarse por el agua en las llamadas "trayectorias de propagación", que pueden ser trayectorias no rectas, particularmente cuando las trayectorias de propagación se extienden sobre distancias apreciables, por ejemplo, millas. Las trayectorias de propagación pueden modelarse con modelos de propagación. Algunos modelos de propagación suponen que el sonido se desplaza en trayectorias rectas de propagación. Estos modelos a menudo se refieren como modelos de isovelocidad, ya que suponen que el sonido se desplaza a la misma velocidad de sonido en todas las profundidades del agua. Otros modelos de propagación no suponen que el sonido se desplaza en trayectorias rectas de propagación. Estos modelos, que muchas veces se refieren como modelos de "trazado de rayos", pueden usarse para predecir con más precisión las trayectorias de propagación del sonido y el sonido resultante que llega a un punto en el océano, por ejemplo, en un sistema de sonar que recibe sonido pasivo desde un objetivo submarino. Otros modelos de propagación cumplen la función equivalente pero son menos convenientes computacionalmente.

Como también se conoce, el sonido que se desplaza bajo el agua puede a menudo tomar más de una trayectoria de propagación. Por ejemplo, el sonido puede tomar una trayectoria directa de propagación desde una fuente de sonido a un receptor de sonido. El sonido puede también desplazarse hacia arriba desde la fuente de sonido, sobre una llamada "trayectoria reflejada en la superficie", que se refleja (o dispersa) desde la superficie del agua y se desplaza hacia abajo al receptor del sonido. El sonido también puede desplazarse hacia abajo desde la fuente de sonido,

sobre una llamada "trayectoria reflejada en el fondo", que se refleja (o dispersa) desde el fondo de la cuenca del agua y se desplaza hacia arriba al receptor de sonido. El sonido también puede tomar una variedad de otras trayectorias de propagación, que tienen, por ejemplo, tanto un reflejo (o dispersión) en la superficie como en el fondo o más de un reflejo (o dispersión) en la superficie y el fondo.

5 Aunque existe un gran número de trayectorias de propagación de sonido entre la fuente de sonido y un receptor de sonido, algunas de las trayectorias de propagación son dominantes, es decir, el sonido recibido en un receptor de sonido tendrá una intensidad en gran parte de las trayectorias dominantes de sonido. En particular, debido a que el sonido tiende a perder intensidad cada vez que se refleja o se dispersa desde la superficie o el fondo, las trayectorias de propagación que tienen la intensidad de sonido más fuerte cuando se reciben en un receptor de sonido tienden a ser la trayectoria directa, la trayectoria reflejada en la superficie y la trayectoria reflejada en el fondo. Sin embargo, una trayectoria reflejada de la superficie al fondo y una trayectoria reflejada del fondo a la superficie también pueden considerarse como trayectorias con múltiples contactos límites.

15 Mientras los sistemas y técnicas descritos más abajo se describen en conjunto con los generadores de sonido pasivo bajo el agua, por ejemplo, un submarino, los sistemas y técnicas no se limitan a acústica acuática, sino que también se aplican a acústica de aire y generadores de sonido pasivo de aire, por ejemplo, un avión.

20 Debería apreciarse que las FIGS. 1-4 muestran organigramas que corresponden a la técnica contemplada más abajo que se implementaría en un procesador 430 (FIG. 12). Los elementos rectangulares (tipificados por el elemento 12 en la FIG. 1), en el presente documento denotados por "bloques de proceso", representan instrucciones o grupos de instrucciones del software del ordenador. Los elementos en forma de diamante (tipificados por el elemento 34 en la FIG. 1), en el presente documento denotados como "bloques de decisión", representan instrucciones o grupos de instrucciones del software del ordenador que afectan a la ejecución de las instrucciones del software del ordenador representadas por los bloques de proceso.

25 Alternativamente, los bloques de proceso y decisión representan etapas que los circuitos funcionalmente equivalentes tales como un circuito procesador de señal digital o un circuito integrado de aplicación específica (CIAE) realizan. Los organigramas no representan la sintaxis de ningún programa particular de programación. Más bien, los organigramas ilustran la información funcional que un experto en la técnica requiere para fabricar circuitos o para generar software de ordenador para realizar el proceso requerido del aparato particular. Debería señalarse que no se muestran muchos elementos rutinarios de programación, tales como la inicialización de bucles y variables y el uso de variables temporales. Aquellos expertos en la técnica apreciarán que a menos que se indique lo contrario en el presente documento, la secuencia particular de bloques descrita solamente se ilustra y puede variar sin partir de la invención. De este modo, a menos que se exponga lo contrario, los bloques descritos más abajo significan de manera desordenada que, cuando sea posible, las etapas pueden realizarse en cualquier orden conveniente o deseable.

30 En referencia a la FIG. 1, un método para determinar un alcance y una profundidad de un objetivo submarino (es decir, localizar el objetivo en alcance y profundidad) comienza en el bloque 12, donde una señal acústica pasiva, generada por un objetivo, se recibe en un sistema de sonar. La señal sonora se desplaza sobre al menos dos trayectorias de propagación, es decir, una primera y una segunda trayectoria de propagación, al sistema de sonar, que recibe y procesa la señal del sonar. Por lo tanto, la señal del sonar incluye al menos una primera parte de señal sonora y una segunda parte de señal sonora de acuerdo con las respectivas trayectorias de señal sonora. La señal sonora puede recibirse con uno o más transductores de sonido (también referidos en el presente documento como sensores de sonido). En el bloque 16, el uno o más sensores de sonido convierten la señal sonora en otra forma de energía, por ejemplo a una respectiva o más señales electrónicas, colectivamente referidas como una señal electrónica.

40 Mientras el procesamiento de una señal electrónica se describe en el presente documento, debería apreciarse que las mismas técnicas descritas más abajo pueden aplicarse a una señal óptica, generada de acuerdo con la señal acústica recibida en el bloque 12.

45 En el bloque 18, la señal electrónica se correlaciona, para proporcionar una correlación que tiene características de correlación. La correlación del bloque 18 puede ser una autocorrelación, en la que la señal electrónica se correlaciona con sí misma, o una correlación de cruce, en la que una señal electrónica se correlaciona de manera cruzada con otra señal electrónica. En cualquier caso, la correlación puede generar características de correlación (por ejemplo, picos), una de las cuales puede identificarse en el bloque 20, que tiene parámetros de características de correlación (por ejemplo, tiempo de retardo, amplitud y fase), que pueden medirse en el bloque 22. Las características y parámetros de correlación se describen de manera más completa más abajo en conjunto con las FIGS. 10 y 11.

50 En el bloque 24, se supone una profundidad de un objetivo que genera sonido. En general, la profundidad supuesta puede acotarse mediante capacidades de profundidad conocida de submarinos. Por ejemplo, en algunas realizaciones, la profundidad supuesta puede acotarse entre cero y mil pies.

En el bloque 26, puede seleccionarse un par de trayectorias de propagación, que podrían generar la característica de correlación identificada en el bloque 20 dada la profundidad supuesta en el bloque 24.

5 Como se ha descrito anteriormente, existe una pluralidad de trayectorias diferenciadas de propagación entre una fuente de sonido y un receptor de sonido. En el bloque 26, puede seleccionarse un par de trayectorias diferenciadas de propagación de entre la pluralidad de posibles trayectorias de sonidos. Por ejemplo, pueden seleccionarse una trayectoria directa y una trayectoria reflejada en la superficie. Para otro ejemplo, pueden seleccionarse una trayectoria reflejada en la superficie y una trayectoria reflejada en el fondo. En general, el alcance máximo de trayectoria puede acotarse en base a niveles conocidos de la fuente de sonido de submarinos y a un conocimiento de acústica oceánica.

15 El tiempo de retardo de la característica de correlación identificada puede ser un indicador de qué trayectorias de propagación seleccionar en el par de trayectorias de propagación, ya que el tiempo de retardo de la característica de correlación es indicativo de una diferencia del tiempo de retardo del sonido que se desplaza sobre las dos trayectorias de propagación. La fase de la característica de correlación identificada también puede ser un indicador de qué trayectorias de propagación seleccionar, ya que se conoce que el rebote del sonido desde la superficie del océano tiene a experimentar una inversión de fase, mientras que el rebote del sonido desde el fondo del océano, en particular un fondo duro del océano, tiende a no experimentar una inversión de fase.

20 Aunque la pluralidad de trayectorias potenciales de sonido es grande en número, el par de trayectorias de propagación se selecciona de un número relativamente pequeño de tipos diferenciados de trayectorias de propagación. Como se ha descrito anteriormente, cuando el sonido rebota múltiples veces desde la superficie, tiende a perder intensidad y se vuelve insignificante en una señal sonora recibida.

25 Como se ha descrito anteriormente, aunque existe un gran número de trayectorias de sonido entre una fuente de sonido y un receptor de sonido, algunas de las trayectorias de sonido serán dominantes, es decir, el sonido recibido en un receptor de sonido tendrá contenido en gran parte de las trayectorias dominantes de sonido.

30 La selección del par de trayectorias de propagación se describe de manera más completa más abajo en conjunto con las FIG. 3-3A, en las que se hace la selección conociendo un ángulo de llegada del sonido en el receptor de sonido (FIG. 3), y en las que la selección se hace sin conocer el ángulo de llegada (FIGS. 3, 3A).

35 Desde el par de trayectorias seleccionadas de propagación del bloque 26, y dada la supuesta profundidad del objetivo en el bloque 24, primero se estima un alcance del objetivo en el bloque 28, para proporcionar un alcance estimado y la profundidad supuesta (alcance estimado/profundidad supuesta, también referido en el presente documento como un punto de inicio), y después se resuelve en el bloque 30, para proporcionar un alcance resuelto en la profundidad supuesta (alcance resuelto/profundidad supuesta).

40 El alcance estimado/profundidad supuesta se describe de manera más completa más abajo en conjunto con las FIGS. 3-3B, y el alcance resuelto/profundidad supuesta se describe de manera más completa en conjunto con la FIG. 4. Basta con decir que el alcance estimado/profundidad supuesta proporciona un punto de inicio, desde el que puede determinarse el alcance resuelto/profundidad supuesta. Sin embargo, el alcance resuelto/profundidad supuesta puede no ser indicativo de un alcance o profundidad final (localización) del objetivo.

45 Para este fin, en el bloque 32, se asigna un factor de probabilidad al alcance resuelto/profundidad supuesta generado en el bloque 30. El factor de probabilidad se describe de manera más completa más abajo en conjunto con la FIG. 4. El factor de probabilidad es un valor, que puede generarse de una variedad de maneras, que es indicativo de la calidad de la precisión del alcance resuelto/profundidad supuesta generado en el bloque 30. Por lo tanto, el alcance resuelto/profundidad supuesta generado en el bloque 30 puede compararse con otros alcances resueltos/profundidades supuestas generados como se describe más abajo, con el fin de seleccionar un mejor alcance resuelto/profundidad supuesta como indicativo de la localización del objetivo en alcance y profundidad.

55 Los bloques de decisión 34-40 son representativos de bucles que pueden realizarse a lo largo de los bloques 18-32 con el fin de generar más alcances resueltos/profundidades supuestas en el bloque 30 y más correspondientes factores de probabilidad en el bloque 32. El bloque de decisión 34 puede usarse para seleccionar otros pares de trayectorias de propagación en el bloque 26. El bloque de decisión 36 en conjunto con el bloque 44 puede usarse para seleccionar otras profundidades supuestas del objetivo en el bloque 24. El bloque de decisión 38 en conjunto con el bloque 46 puede usarse para identificar otra característica de correlación en el bloque 20 en la correlación generada en el bloque 18. El bloque de decisión 40 puede usarse para generar más correlaciones en el bloque 18.

60 Habiendo completado todos los bucles por medio de bloques de decisión 34-40, y por lo tanto, habiendo generado una pluralidad de alcances resueltos/profundidades supuestas y los correspondientes factores de probabilidad, en el bloque 42, se selecciona un alcance resuelto/profundidad supuesta de entre la pluralidad de alcances resueltos/profundidades supuestas, inspeccionando los correspondientes factores de probabilidad. El alcance resuelto/profundidad supuesta es referido en el presente documento como un alcance localizado y una profundidad localizada (alcance localizado/profundidad localizada). En algunas realizaciones, como se describe más abajo en

conjunto con las FIGS. 13-15, los factores de probabilidad pueden usarse para calcular el alcance localizado/profundidad localizada como un alcance de peso medio y una profundidad de peso medio. El alcance localizado/profundidad localizada representa el mejor cálculo aproximado del alcance y profundidad para el objetivo y se describe más abajo en conjunto con la FIG. 4 y las FIGS. 13-15.

5 Ahora en referencia a la FIG. 2, en la que se muestran elementos similares de la FIG. 1 que tienen indicadores referenciales similares, pero con una letra "a" añadida, un proceso 50 muestra más detalles de la parte del proceso 10 de la FIG. 1, en particular para un proceso que incluye formación de haces de la señal acústica recibida en el bloque 12 de la FIG. 1.

10 En el bloque 16a, las señales electrónicas del bloque 16 de la FIG. 1 se forman con haces para proporcionar un número, N, de haces recibidos acústicos. En el bloque 18a, la señal formada con haces se correlaciona. Por ejemplo una señal electrónica representativa de un haz acústico puede autocorrelacionarse. Por otro ejemplo, dos señales electrónicas representativas de dos haces acústicos pueden correlacionarse por cruce.

15 En el bloque 20a, en cualquier forma de correlación que se genere en el bloque 54, se identifica una característica de correlación en la correlación. En el bloque 22a, se miden los valores del parámetro de la característica de correlación, por ejemplo, un valor de tiempo de retardo de la característica de correlación, un valor de amplitud de la característica de correlación, y/o un valor de fase de la característica de correlación.

20 En el bloque 52, opcionalmente, las señales formadas con haces correspondientes a la pluralidad de haces acústicos generados en el bloque 16a pueden interpolarse con el fin de generar ángulos de llegada de mejor precisión asociados con la señal acústica recibida en el bloque 12 de la FIG. 1. Se entenderá que cada característica de correlación en la correlación generada en el bloque 18a se asocia con dos trayectorias de propagación de sonido, que pueden llegar a los sensores de sonido en ángulos diferentes o en ángulos similares. Por lo tanto, en el bloque 25 52, pueden identificarse uno o dos ángulos de llegada.

30 Por ejemplo, donde se genera una autocorrelación en un haz en el bloque 18a, y se mide una resultante magnitud de característica de correlación, pueden generarse autocorrelaciones similares usando haces adyacentes, y pueden combinarse magnitudes de correspondientes características de correlación comparables a la característica de correlación del primer haz (tiempo de retardo similar) para proporcionar un ángulo de llegada de precisión mejorada. Este ángulo de llegada de precisión mejorada puede suponer esencialmente que las dos trayectorias de sonido lleguen al mismo ángulo.

35 Por otro ejemplo, donde se genera una correlación de cruce entre dos haces en el bloque 18a, y se mide una resultante magnitud de característica de correlación, pueden generarse correlaciones de cruce similar usando haces adyacentes, y pueden combinarse magnitudes de correspondientes características de correlación comparables a la característica de correlación del primer par de haces para proporcionar dos ángulos de llegada de precisión mejorada. Estos ángulos de llegada de precisión mejorada pueden suponer esencialmente que las dos trayectorias 40 de sonido lleguen a ángulos diferentes.

En algunas disposiciones alternativas, se selecciona el ángulo o ángulos de llegada de precisión mejorada en lugar de ser el ángulo de dirección del haz del haz o haces usado para generar la correlación en el bloque 18a.

45 Como se describe de manera más completa más abajo, en algunas realizaciones, los ángulos de llegada de precisión mejorada pueden usarse en combinación con otros factores para generar los factores de probabilidad en el bloque 32 de la FIG. 1

50 Ahora en referencia a la FIG. 2A, en la que se muestran elementos similares de la FIG. 1 que tienen indicadores referenciales similares, pero con una letra "b" añadida, un proceso 70 muestra más detalles para un proceso que no incluye la formación de haces. En el bloque 18b, se correlaciona la señal electrónica del bloque 16 de la FIG. 1. Por ejemplo, puede autocorrelacionarse una señal electrónica proporcionada por un sensor de sonido que tiene un único patrón de haz, por ejemplo, un patrón de haz omnidireccional. Por otro ejemplo, pueden correlacionarse por cruce dos señales electrónicas proporcionadas por dos respectivos sensores de sonido, teniendo cada uno un respectivo 55 único patrón de haz, por ejemplo, respectivos patrones de haz omnidireccional.

60 En el bloque 20b, en cualquier forma de correlación que se genere en el bloque 18b, se identifica una característica de correlación en la correlación. En el bloque 22b, se miden los parámetros de la característica de correlación, por ejemplo, un tiempo de retardo de la característica de correlación, una amplitud de la característica de correlación, y/o una fase de la característica de correlación.

65 Ahora en referencia a la FIG. 3, en la que se muestran elementos similares de la FIG. 1 que tienen indicadores referenciales similares, pero con una letra "a" añadida, un proceso 80 muestra más detalles de los bloques 26-28 de la FIG. 1, en particular para un proceso que usa la formación de haces para conseguir los ángulos de llegada de sonido descritos en conjunto con la FIG. 2.

En el bloque 82, se selecciona un modelo de propagación. El modelo de propagación seleccionado puede tener cualquier forma de modelo de trazado de rayos o puede ser un modelo de propagación de isovelocidad. En general, es ventajoso seleccionar un modelo de propagación de trazado de rayos más que un modelo de propagación de isovelocidad, ambos descritos anteriormente, ya que un modelo de trazado de rayos dará en última instancia una localización más precisa del objetivo submarino en alcance y en profundidad.

En el bloque 84, usando el mismo modelo de propagación seleccionado, se identifica una primera trayectoria de propagación que tiene un primer ángulo de trayectoria (primer ángulo de llegada simulado) que podría dar como resultado un ángulo de llegada cercano al primer ángulo de llegada de precisión mejorada identificado en el bloque 52 de la FIG. 2 (o, en otra realización, un ángulo de haz de un haz generado en la FIG. 2), y que podría dar como resultado la profundidad supuesta en el bloque 24 de la FIG. 1. En el bloque 86, usando el modelo de propagación seleccionado, se identifica una segunda trayectoria de propagación que tiene un segundo ángulo de trayectoria (segundo ángulo de llegada simulado) que podría dar como resultado un ángulo de llegada cercano a un segundo ángulo de llegada de precisión mejorada identificado en el bloque 52 de la FIG. 2 (o, en otra realización, un ángulo de haz de un haz generado en la FIG. 2), y que podría dar como resultado la profundidad supuesta en el bloque 24 de la FIG. 1.

Debería reconocerse que, donde se usa la autocorrelación de un único haz en el bloque 18a de la FIG. 2, el primer y segundo ángulo de trayectoria pueden ser el mismo ángulo. Esta disposición se describe más abajo en conjunto con la FIG. 8. Sin embargo, donde se usa la correlación de cruce de dos haces en el bloque 18a de la FIG. 2, el primer y segundo ángulo de trayectoria pueden ser ángulos diferentes. Esta disposición se describe más abajo en conjunto con la FIG. 5.

En el bloque 88, usando el modelo de propagación seleccionado y la primera trayectoria de propagación identificada, se calcula un primer alcance para la profundidad supuesta en el bloque 24 de la Fig. 12. Similarmente, en el bloque 90, usando el modelo de propagación seleccionado y la segunda trayectoria de propagación identificada, se calcula un segundo alcance para la profundidad supuesta en el bloque 24 de la FIG. 12. Por lo tanto, los bloques 88 y 90 dan como resultado dos alcances en la profundidad supuesta.

En el bloque 28a, los dos alcances se combinan para proporcionar un único "alcance estimado/profundidad supuesta", que puede servir como el punto de inicio para más cálculos de alcance descritos anteriormente en conjunto con el bloque 28 de la FIG. 1. En algunas realizaciones, puede calcularse un punto medio entre el primer y el segundo alcance de bloques 88 y 90 en el bloque 28a. En otras realizaciones, uno del primer y segundo alcance puede resultar del cálculo del bloque 28a. Sin embargo, pueden usarse otros alcances de inicio, que se relacionan con el primer y segundo alcance de los bloques 88 y 90.

Ahora en referencia a las FIG. 3A, en la que se muestran elementos similares de la FIG. 1 que tienen indicadores referenciales similares, pero con una letra "b" añadida, un proceso 100 muestra más detalles de los bloques 26-28 de la FIG. 1, en particular para un proceso que no usa la formación de haces con el fin de conseguir los ángulos de llegada de precisión mejorada descritos en conjunto con el bloque 52 de la FIG. 2. Esencialmente, los ángulos de llegada de las partes de señal sonora que llegan en diferentes trayectorias de propagación dentro de la señal sonora recibida en el bloque 12 de la FIG. 1 no pueden medirse directamente, sino que se estiman mediante técnicas descritas más abajo.

En el bloque 102, se selecciona un modelo de propagación. Como se ha descrito anteriormente en conjunto con la FIG. 3, el modelo de propagación seleccionado puede tener cualquier forma de modelo de trazado de rayos o puede ser un modelo de propagación de isovelocidad. En general, es ventajoso seleccionar un modelo de propagación de trazado de rayos más que un modelo de propagación de isovelocidad, ambos descritos anteriormente, ya que un modelo de trazado de rayos dará en última instancia una localización más precisa del objetivo submarino en alcance y en profundidad.

En el bloque 104, sin embargo, sin tener en cuenta el modelo de propagación seleccionado en el bloque 102, de acuerdo con un modelo de propagación de isovelocidad, se selecciona la primera y segunda trayectoria de propagación de isovelocidad (es decir, rectas), que podrían dar como resultado la característica de correlación identificada del bloque 20 de la FIG. 1, que tiene un tiempo de retardo medido como en el bloque 22 de la FIG. 1, y la profundidad supuesta del bloque 24 de la FIG.1. Usando el modelo de propagación de isovelocidad, las dos trayectorias de propagación pueden calcularse geoméricamente, usando técnicas descritas más abajo en conjunto con la FIG. 6, reconociendo que el tiempo de retardo medido es representativo de una diferencia de retardo de tiempo de las dos trayectorias de propagación de isovelocidad seleccionadas.

En el bloque 106, a partir de la primera y segunda trayectoria de propagación de isovelocidad seleccionadas, se calculan el primer y segundo ángulo de llegada de isovelocidad en el sensor de sonido en el bloque 106. Estos ángulos de llegada se reconocerán por ser meros cálculos aproximados de los ángulos potenciales de llegada de acuerdo con dos trayectorias de propagación de isovelocidad. Sin embargo, como se ha descrito anteriormente, se conoce que el sonido tiende a desplazarse sobre trayectorias de propagación no rectas cuando se desplaza en el océano.

Por lo tanto, en el bloque 108, usando el modelo de propagación seleccionado en el bloque 102, que puede ser un modelo de trazado de rayos, y usando el primer ángulo de llegada de isovelocidad, se identifica una primera trayectoria de propagación (por ejemplo, no recta) que tiene un ángulo de llegada cercano al primer ángulo de llegada de isovelocidad. Similarmente, en el bloque 110, usando el modelo de propagación seleccionado en el bloque 102, y usando el segundo ángulo de llegada de isovelocidad, se identifica una segunda trayectoria de propagación (por ejemplo, no recta) que tiene un ángulo de llegada cercano al segundo ángulo de llegada de isovelocidad.

Debería reconocerse que, aunque el proceso de la FIG. 3A se asocia con un sistema que no tiene formación de haces, es decir, tiene un patrón de haz receptor generalmente omnidireccional, el ángulo de llegada de la primera y segunda trayectoria de propagación descritas anteriormente en conjunto con los bloques 108 y 110, proporciona un ángulo similar de información de llegada que el bloque 52 de la FIG. 3, pero para un sistema que no usa la formación de haces, y por lo tanto, los posteriores bloques 112-116 son similares a los bloques 88, 90, 28A de la FIG. 3.

En el bloque 112, usando el modelo de propagación seleccionado y la primera trayectoria de propagación identificada, se calcula un primer alcance para la profundidad supuesta en el bloque 24 de la FIG. 12. Similarmente, en el bloque 114, usando el modelo de propagación seleccionado y la segunda trayectoria de propagación identificada, se calcula un segundo alcance para la profundidad supuesta en el bloque 24 de la FIG. 12. Por lo tanto, los bloques 112 y 114 dan como resultado dos alcances en la profundidad supuesta.

En el bloque 28b, los dos alcances se combinan para proporcionar un único "alcance estimado/profundidad supuesta", que puede servir como el punto de inicio para más cálculos de alcance. En algunas realizaciones, puede calcularse un punto medio entre el primer y el segundo alcance de bloques 112, 114 en el bloque 116. En otras realizaciones, uno del primer y segundo alcance puede resultar del cálculo del bloque 116. Sin embargo, pueden usarse otros alcances de inicio, que se relacionan con el primer y segundo alcance de los bloques 112 y 114.

Ahora en referencia a las FIG. 3B, en la que se muestran elementos similares de la FIG. 1 que tienen indicadores referenciales similares, pero con una letra "c" añadida, un proceso 120 muestra más detalles de los bloques 26-30 de la FIG. 1, alternativo al proceso 100 de la FIG. 3A, en particular para un proceso que no usa la formación de haces para conseguir los ángulos de llegada de precisión mejorada descritos en conjunto con el bloque 52 de la FIG. 2. Esencialmente, los ángulos de llegada de las partes de señal sonora que llegan en diferentes trayectorias de propagación dentro de la señal sonora recibida en el bloque 12 de la FIG. 1 no pueden medirse directamente, sino estimarse. Sin embargo, a diferencia del proceso 100 de la FIG. 3A, solamente se usa un modelo de propagación de isovelocidad.

En el bloque 26c, similar al bloque 104 de la FIG. 3A, de acuerdo con un modelo de propagación de isovelocidad, se selecciona la primera y segunda trayectoria de propagación de isovelocidad (es decir, recta), que podría dar como resultado la característica de correlación identificada del bloque 20 de la FIG. 1, que tiene un tiempo de retardo medido como en el bloque 22 de la FIG. 1, y la profundidad supuesta del bloque 24 de la FIG. 1. Como se ha descrito anteriormente, usando el modelo de propagación de isovelocidad, las dos trayectorias de propagación pueden calcularse geoméricamente, usando técnicas descritas más abajo en conjunto con la FIG. 6, reconociendo que el tiempo de retardo medio es representativo de una diferencia de tiempo de retardo de las dos trayectorias de propagación de isovelocidad seleccionadas.

En el bloque 28c, se calcula un alcance estimado/profundidad supuesta (punto de inicio) en base a las trayectorias de propagación de isovelocidad. Debería señalarse que, a diferencia del proceso 100 de la FIG. 3, no se usan los ángulos de las trayectorias de propagación.

Ahora en referencia a la FIG. 4, un proceso 130 puede ser representativo del proceso del bloque 30 de la FIG. 1, y puede dar como resultado el llamado "alcance resuelto" a la profundidad objetivo supuesta (alcance resuelto/profundidad supuesta) del bloque 24 de la FIG. 1. En esencia, el alcance supuesto/profundidad supuesta puede ser más preciso que el alcance supuesto/profundidad supuesta proporcionado en el bloque 28 de la FIG. 1, como se representa en los métodos alternativos 80, 100, 120 de las FIGS. 3-3B, respectivamente.

El proceso 130 comienza en el bloque 132, donde se selecciona un modelo de propagación. Como se ha descrito anteriormente en conjunto con la FIG. 3, el modelo de propagación seleccionado puede tener cualquier forma de modelo de trazado de rayos o puede ser un modelo de propagación de isovelocidad. En general, es ventajoso seleccionar un modelo de propagación de trazado de rayos más que un modelo de propagación de isovelocidad, ambos descritos anteriormente, ya que un modelo de trazado de rayos dará en última instancia una localización más precisa del objetivo submarino en alcance y en profundidad. El modelo de propagación en el bloque 132 no necesita ser el mismo modelo de propagación seleccionado en otros bloques descritos anteriormente.

En el bloque 134, usando el modelo de propagación seleccionado, se identifica una primera trayectoria de propagación modificada que pasa a través de un punto representado por el alcance estimado/profundidad supuesta en los bloques 28, 28a, 28b, 28c de las FIGS. 1, 3, 3A y 3B, respectivamente. Similarmente, en el bloque 136,

usando el modelo de propagación seleccionado, se identifica una segunda trayectoria de propagación modificada que pasa a través de un punto representado por el alcance estimado/profundidad supuesta.

5 En el bloque 138, se calcula una diferencia de tiempo de retardo entre la primera y segunda trayectoria de propagación modificada. En algunas realizaciones, la diferencia de tiempo de retardo puede calcularse de acuerdo con el modelo de propagación seleccionado en el bloque 132.

10 En el bloque 140, la diferencia de tiempo de retardo calculada en el bloque 138 se compara con el tiempo de retardo medido asociado con la característica de correlación identificada, que se mide en los bloques 22, 22a, 22b de las FIGS. 1, 2 y 2A, respectivamente.

15 En el bloque 142, si los tiempos de retardo no coinciden dentro de un umbral predeterminado coincidente, entonces el proceso continua hasta el bloque 146, donde el punto correspondiente al alcance estimado/profundidad supuesta se mueve a otro alcance, y por lo tanto, a un nuevo alcance estimado/profundidad supuesta. Para este fin, el alcance puede moverse a un alcance más corto o a un alcance más grande en la profundidad supuesta seleccionada en la caja 24 de la FIG. 1.

20 La dirección del movimiento de alcance del alcance estimado/profundidad supuesta puede determinarse de una variedad de maneras. En algunas realizaciones, la dirección se selecciona para ser hacia alcances más grandes. En algunas realizaciones, la dirección se selecciona para ser hacia alcances más cortos. Aún en otras realizaciones, la dirección se selecciona de acuerdo con una reducción en la diferencia del tiempo de retardo resultante de otra comparación de tiempo de retardo como en el bloque 140.

25 El proceso se repite después en el bloque 134, donde se procesa el nuevo alcance estimado/profundidad supuesta, dando como resultado otra diferencia más de tiempo de retardo en el bloque 140. El proceso serpentea por el bloque de decisión 142 hasta que, en el bloque 142, los tiempos de retardo comparados coinciden dentro del umbral predeterminado coincidente. Cuando esta coincidencia ocurre, en el bloque 144, se considera que el alcance estimado/profundidad supuesta que da como resultado en la coincidencia es un alcance resuelto en la profundidad supuesta (alcance resuelto/profundidad supuesta), y se consideran que la primer y segunda trayectoria de propagación asociadas son la primera y segunda trayectoria de propagación resueltas, con los respectivos primero y segundo ángulos de trayectoria resuelta.

30 El alcance resuelto/profundidad supuesta es un punto en el espacio en el que el objetivo submarino puede estar presente. Sin embargo, por medio del proceso de bucles de la FIG. 1, pueden generarse una pluralidad de alcances resueltos en una pluralidad de profundidades supuestas, para una o una pluralidad de características de correlación resultantes de una o una pluralidad de correlaciones. Finalmente, el proceso de la FIG. 1, en el bloque 42, selecciona un alcance localizado y una profundidad localizada a partir de la pluralidad de alcances resueltos y las correspondientes profundidades supuestas.

35 La selección del alcance localizado/profundidad localizada puede realizarse de una variedad de maneras. En una realización particular, la selección se basa en un factor de probabilidad de los asignados a la pluralidad de alcances resueltos/profundidades supuestas en el bloque 32 de la FIG. 1.

40 Los factores de probabilidad pueden generarse de una variedad de maneras. En una realización particular, los factores de probabilidad se generan comparando, para cada uno de los alcances resueltos/profundidades supuestas, al menos uno de un ángulo de llegada calculado de la primera trayectoria de propagación resuelta con el primer ángulo de llegada de precisión mejorada en el bloque 52 de la FIG. 2, o un ángulo de llegada calculado de la segunda trayectoria de propagación resuelta con el ángulo de llegada de precisión mejorada medido en el bloque 52 de la FIG. 2. Esta comparación de ángulos de llegada puede describirse mediante la ecuación más abajo:

50

$$q = e^{-\frac{(\tilde{\theta}_1 - \theta_1)^2}{2\sigma_{\theta_1}^2}} e^{-\frac{(\tilde{\theta}_2 - \theta_2)^2}{2\sigma_{\theta_2}^2}} \quad (1)$$

donde: q es un factor de probabilidad, θ son los ángulos de llegada medidos de precisión mejorada, $\tilde{\theta}$ (con tilde) son los ángulos de llegada calculados para el alcance resuelto/profundidad supuesta, y σ es la desviación estándar.

55 En otras realización, y en particular, en realizaciones para las que no se mide un ángulo de llegada (es decir, disposiciones no formadas con haces), pueden usarse otros parámetros para generar factores de probabilidad, usados para seleccionar el alcance localizado y la profundidad localizada. Por ejemplo, en algunas realizaciones, los factores de probabilidad asignados a cada alcance resuelto/profundidad supuesta en el bloque 32 puede ser representativa de una magnitud (o una relación señal/ruido) de la característica de correlación identificada en el bloque 20 de la FIG. 1. En estas realizaciones, un alcance resuelto/profundidad supuesta que tiene una característica de correlación con la mejor relación señal/ruido puede seleccionarse como el alcance

60

localizado/profundidad supuesta.

Aún en otras realizaciones, pueden usarse aún otros parámetros para generar factores de probabilidad, usados para seleccionar el alcance localizado y la profundidad localizada. Por ejemplo, múltiples características de correlación pueden sostener la generación de una multiplicidad de posibles pares alcance-profundidad ya que el orden de llegada de la trayectoria no se conoce a priori. En algunas realizaciones, para cada combinación de orden de llegada de trayectoria supuesta, se calcula un alcance resuelto/profundidad supuesta. Estos alcances pueden después usarse para calcular un alcance y variación media. Puede desarrollarse un factor de probabilidad, por ejemplo, usando el inverso de la variación. La combinación de alcance resuelto/profundidad supuesta que tenga el mayor factor de probabilidad se selecciona como la solución para el alcance localizado/profundidad localizada; o alternativamente puede usarse un alcance de peso medio.

Ahora en referencia las Tablas 1 y 2, se da un ejemplo que calcula factores de probabilidad usando el inverso de la variación de alcances, como se ha descrito anteriormente. En este ejemplo, las trayectorias de propagación de isovelocidad (rectas) se usan para generar alcances y profundidades geoméricamente de acuerdo con cálculos similares a los mostrados más abajo en conjunto con las FIGS. 6 y 10. Sin embargo, también pueden usarse técnicas similares cuando se suponen trayectorias de propagación de no-isovelocidad, como se muestra más abajo en conjunto con la FIG. 5.

En la Tabla 1, los alcances resueltos/profundidades supuestas se muestran para una fuente a una profundidad de 60 yardas y a un alcance de 2.500 yardas desde un receptor situado a una profundidad de 170 yardas. Se supone una profundidad de agua de 200 yardas. Los tiempos de desplazamiento calculados para la trayectoria directa (D1), reflejada en el agua (S1) y reflejada en el fondo (B1) son 1,472, 1,476 y 1,474 segundos respectivamente. Estos retardos dan como resultado un correspondiente conjunto de tiempos de retardo de autocorrelación de 2,0, 2,8 y 4,8 ms, respectivamente.

Para este ejemplo particular, las soluciones de alcance y profundidad se obtienen generalmente usando el método de la FIG. 1. Sin embargo, para un caso de isovelocidad, los alcances resueltos/profundidades supuestas del bloque 30 (FIG. 1) son los mismos que los alcances estimados/profundidades supuestas del bloque 28 (FIG. 1). La Tabla 1 muestra alcances calculados para diferentes combinaciones de trayectorias que pueden atribuirse a características de correlación medidas que tiene los retardos de 2,0, 2,8 y 4,8 ms. Las anotaciones, por ejemplo, D1:S1, son indicativas de una característica de correlación generada por una autocorrelación, y son representativas de un par de trayectorias, por ejemplo, una trayectoria directa y una trayectoria reflejada en la superficie.

Tabla 1

RETARDO MEDIDO	TRAYECTORIAS SUPUESTAS	PROFUNDIDAD SUPUESTA, yardas					
		15	30	45	60	75	90
2,8	D1:S1	1066	2132	3198	4264	5330	6396
2,0	D1:B1	3309	3041	2772	2504	2236	1968
4,8	S1:B1	737	0	737	1474	2212	2949
	alcance medio	1704	1724	2236	2747	3259	3771
	alcanc.desv.media	1400	1561	1315	1411	1793	2326
4,8	D1:S1	627	1253	1880	2506	3133	3760
2,0	D1:B1	3309	3041	2772	2504	2236	1968
2,8	S1:B1	1254	0	1254	2508	3762	5016
	alcance medio	1730	1431	1969	2506	3044	3581
	alcanc.desv.media	1403	1528	763	2	767	1532
4,8	D1:S1	627	1253	1880	2506	3133	3760
2,0	D1:B1	2320	2132	1944	1756	1568	1379
2,8	S1:B1	1789	0	1789	3577	5366	7155
	alcance medio	1578	1128	1871	2613	3356	4098
	alcanc.desv.media	866	1071	78	915	1909	2902

Ahora en referencia a la Tabla 2, los factores de probabilidad se calculan y normalizan usando el recíproco de cuadrados de las desviaciones estándares de alcance (*alcanc. desv. media*) de la Tabla 1. Un alcance localizado y profundidad localizada se calculan usando los factores de probabilidad. En algunas realizaciones, los alcances de peso y los factores de probabilidad pueden calcularse para cada una de las profundidades supuestas.

Tabla 2

	PROFUNDIDAD SUPUESTA, yardas					
	15	30	45	60	75	90
Alcance de peso	1638	1347	1873	2506	3110	3713
Probabilidad	0,000	0,000	0,001	0,999	0,000	0,000

La solución de variación mínima (probabilidad máxima) es un alcance localizado/profundidad supuesta igual a 2.506 yardas de alcance y 60 pies de profundidad. En algunas realizaciones, puede calcularse un único alcance localizado de peso/profundidad supuesta, que, usando los datos de la tabla anterior, da los mismos resultados. Hay que señalar que hay un error de seis yardas (0,24% de error), que se debe a una aproximación descrita más abajo (para la mayoría de las aplicaciones de sonar pasivo este error es insignificante).

En algunas realizaciones, se selecciona un alcance resuelto/profundidad supuesta que tiene un mayor factor de probabilidad para ser el alcance localizado y la profundidad localizada. Sin embargo, debería ser aparente a partir de la discusión anterior, que en algunas realizaciones, los alcances resueltos/profundidades supuestas y los factores asociados de probabilidad pueden procesarse más (es decir, combinarse, por ejemplo, por un promedio de peso) para proporcionar el alcance localizado/profundidad localizada. Otro ejemplo de otro proceso de los alcances resueltos/profundidades supuestas se describe más abajo en conjunto con las FIGS. 13-15.

Ahora en referencia a la FIG. 5, un escenario 150 es representativo de los procesos descritos anteriormente para sistemas que usan la formación de haces y la correlación de cruce entre señales asociadas con dos haces recibidos diferentes. Una línea 152 es representativa de una superficie de una cuenca de agua, por ejemplo, una superficie del océano. Una línea 154 es representativa de un fondo de la cuenca del agua. Un sistema de sonar 156 está colocado generalmente en el fono de la cuenca del agua. Una línea discontinua 166 es representativa de una profundidad objetivo supuesta de acuerdo con el bloque 24 de la FIG. 1.

El sistema de sonar 156 incluye un sensor de sonido 162 acoplado a un procesador 158. En algunas realizaciones, el sensor de sonido 160 incluye un único elemento receptor, por ejemplo, un elemento receptor cilíndrico, adaptado para recibir sonido y para convertir el sonido recibido en una señal electrónica. En otras realizaciones, el sensor de sonido 160 puede incluir más de un elemento receptor, cada uno adaptado para recibir sonido y para convertir el sonido recibido en una respectiva señal electrónica.

Ya sea el sensor de sonido 160 un único elemento receptor o más de un elemento receptor, el sensor de sonido 160 es capaz de usarse para formar al menos dos haces recibidos 162, 164. Los haces recibidos pueden señalar hacia cualquier ángulo vertical. Aquí, el haz recibido 162 señala hacia arriba, con el fin de recibir el sonido que llega sobre una trayectoria reflejada en el agua, y el haz recibido 164 señala hacia abajo, con el fin de recibir el sonido que llega sobre una trayectoria reflejada en el fondo.

Debería entenderse que varias trayectorias de propagación descritas más abajo se muestran como líneas rectas en la FIG. 5. Sin embargo, como se ha descrito anteriormente, el sonido que se propaga en el agua tiende a propagarse sobre trayectorias de propagación no rectas. Las trayectorias de propagación mostradas en la FIG. 5 están representadas por líneas rectas por motivos de claridad, pero se entenderá que son curvas, particularmente cuando se calculan mediante un modelo de propagación de trazado de rayos como se describe más abajo.

Una primera trayectoria de propagación 168 corresponde a una trayectoria reflejada en la superficie seleccionada de acuerdo con el bloque 84 de la FIG. 3. Como se ha descrito anteriormente en conjunto con la FIG. 3, la primera trayectoria de propagación 168 se selecciona usando un modelo de propagación seleccionado para que un ángulo de llegada de la primera trayectoria de propagación 168 en el sistema de sonar 156 esté cerca de un ángulo de llegada de precisión mejorada identificado, por ejemplo, en el bloque 52 de la FIG. 2.

Una segunda trayectoria de propagación 170 corresponde a una trayectoria reflejada en el fondo seleccionada de acuerdo con el bloque 86 de la FIG. 3. Como se ha descrito anteriormente en conjunto con la FIG. 3, la segunda trayectoria de propagación 170 se selecciona usando el modelo de propagación seleccionado para que un ángulo de llegada de la segunda trayectoria de propagación 170 en el sistema de sonar 156 esté cerca de otro ángulo de llegada de precisión mejorada identificado, por ejemplo, en el bloque 52 de la FIG. 2.

La primera y segunda trayectoria de propagación 168, 170, una trayectoria reflejada en la superficie y una trayectoria reflejada en el fondo son aquellas trayectorias que se seleccionan primero de acuerdo con la FIG. 3. La primera trayectoria de propagación 168 da como resultado un punto calculado 180 correspondiente a un primer alcance al objetivo en la profundidad supuesta 166, de acuerdo con el bloque 88 de la FIG. 3. Similarmente, la segunda trayectoria de propagación 170 da como resultado un punto calculado 182 correspondiente a un segundo alcance al objeto en la profundidad supuesta 166, de acuerdo con el bloque 90 de la FIG. 3.

El primer y segundo punto se usan para calcular un punto 184 correspondiente a un alcance estimado/profundidad supuesta de acuerdo con el bloque 28a de la FIG. 3. El punto 184 puede seleccionarse para ser un punto medio en alcance entre los puntos 180, 182. Sin embargo, en otras realizaciones, el punto 184 puede seleccionarse para ser uno de los puntos 180, 182. En aún otras realizaciones, el punto 184 puede seleccionarse en base a cualquier función de las posiciones de los puntos 180, 182. El punto 184 corresponde al "punto de inicio" anteriormente descrito en el bloque 28a de la FIG. 3.

Usando de nuevo el modelo de propagación seleccionado, y usando el punto 184, que corresponde al alcance estimado/profundidad supuesta calculado en el bloque 28a en la FIG. 3, pueden calcularse las trayectorias de

propagación 172, 174, que pasan por el punto 184. Además, puede calcularse un tiempo de retardo entre las trayectorias de propagación 172, 174, por ejemplo, usando el modelo de propagación seleccionado.

5 El sonido que llega a los dos haces 162, 164 puede correlacionarse por cruce mediante el sistema de sonar 156, dando como resultado una característica de correlación que tiene un tiempo de retardo, una amplitud y una fase, que pueden medirse, por ejemplo, en los bloques 22, 22a de las FIGS. 1 y 2. Se entenderá que el tiempo de retardo medido de la característica de correlación puede corresponder a un tiempo de retardo entre una trayectoria de propagación reflejada en la superficie real (no modelada) y una trayectoria de propagación reflejada en el fondo real.

10 La diferencia de tiempo de retardo calculada anteriormente descrita entre las trayectorias de propagación 172, 174 puede compararse con el tiempo de retardo medido anteriormente descrito asociado con la característica de correlación identificada que, en este caso, es una característica de correlación en una correlación de cruce. Si la diferencia de tiempo de retardo es demasiado grande, el punto 184 puede moverse en alcance en la profundidad supuesta 166, por ejemplo a la derecha. En cada movimiento, de acuerdo con el bloque 142 de la FIG. 4, la
15 diferencia de tiempo de retardo se examina para identificar si la diferencia de tiempo de retardo es lo suficientemente pequeña, es decir, por debajo de un umbral de diferencia de tiempo de retardo. Finalmente, después de uno de más movimientos del punto 184, se identifica el punto 186 en el que la diferencia de tiempo de retardo es lo suficientemente pequeña. El punto 186 corresponde al alcance resuelto/profundidad supuesta anteriormente descrito identificado en el bloque 144 de la FIG. 4.

20 El alcance resuelto/profundidad supuesta 186 tiene una primera trayectoria de propagación resuelta 176 con un primer ángulo de trayectoria resuelta (no mostrado) en el sistema de sonar 156 y una segunda trayectoria de propagación resuelta 178 que tiene un segundo ángulo de trayectoria resuelta (no mostrado) en el sistema de sonar 156.

25 Se apreciará que el punto 186 puede corresponder a tan sólo uno de una pluralidad de alcances resueltos/profundidades supuestas identificados por el proceso 10 de la FIG. 1. Un ángulo localizado/profundidad localizada se selecciona de entre la pluralidad de alcances resueltos/profundidades supuestas por el proceso descrito anteriormente en conjunto con el bloque 42 de la FIG. 1.

30 Ahora en referencia a las FIGS. 6 y 6A, los escenarios 200, 220 son representativos de los procesos descritos anteriormente para el sistema que no usa la formación de haces y que usa la autocorrelación de una señal asociada con un haz recibido unidireccional. Como se describe más abajo, la autocorrelación pueden dar como resultado una característica de correlación que tiene un tiempo de retardo medido asociado con, por ejemplo, una trayectoria de
35 propagación directa y una trayectoria de propagación reflejada en el fondo, cuyas trayectorias de propagación se describen de manera más completa más abajo.

40 Primero en referencia a la FIG. 6, una línea 202 es representativa de una superficie de un cuenca de agua, por ejemplo, una superficie del océano. Una línea 204 es representativa de un fondo de la cuenca de agua. Un sistema de sonar 206 está generalmente colocado en el fondo de la cuenca de agua. Una línea discontinua 212 es representativa de una profundidad objetivo supuesta de acuerdo con el bloque 24 de la FIG. 1.

45 El sistema de sonar 206 incluye un sensor de sonido 210 acoplado a un procesador 208. En algunas realizaciones, el sensor de sonido 210 incluye un único elemento receptor, por ejemplo, un elemento receptor cilíndrico, adaptado para recibir sonido y para convertir el sonido recibido en una señal electrónica. En otras realizaciones, el sensor de sonido 210 puede incluir más de un elemento receptor, cada uno adaptado para recibir sonido y para convertir el sonido recibido en una respectiva señal electrónica.

50 Ya sea el sensor de sonido 210 un único elemento receptor o más de un elemento receptor, el sensor de sonido 210 proporciona un patrón de haz receptor sustancialmente unidireccional.

55 Debería entenderse que varias trayectorias de propagación descritas más abajo se muestran como líneas rectas en las FIGS. 6 y 6A. Las trayectorias de propagación mostradas en la FIG. 6 pretenden asociarse con un modelo de propagación de isovelocidad y, por lo tanto, se suponen de hecho que son rectas. Sin embargo, las trayectorias de propagación mostradas en la FIG. 6A están representadas por líneas rectas por motivos de claridad, pero se entenderá que son curvas, particularmente cuando se calculan mediante un modelo de propagación de trazado de rayos como se describe más abajo.

60 Una primera trayectoria de propagación 214 corresponde a una trayectoria de propagación de isovelocidad reflejada en el fondo. Una segunda trayectoria de propagación 216 corresponde a una trayectoria de propagación de isovelocidad directa. La primera y segunda trayectoria de propagación de isovelocidad 214, 216 corresponden a la primera y segunda trayectoria de propagación de isovelocidad seleccionadas anteriormente en conjunto con el bloque 104 de la FIG. 3A.

65 La primera y segunda trayectoria de propagación de isovelocidad 214, 216 se cruzan en un punto 218 en la profundidad supuesta 212 (profundidad z_t), dando como resultado ángulos de llegada etiquetados A y B. Los

ángulos de llegada etiquetados A y B corresponden al primer y segundo ángulo de llegada de isovelocidad identificados anteriormente en conjunto con el bloque 106 de la FIG. 3A.

5 La primera y segunda trayectoria de propagación de isovelocidad 214, 216, el punto 218 y los ángulos etiquetados A y B pueden calcularse geoméricamente, por ejemplo, mediante las ecuaciones más abajo:

$$\text{Trayectoria Directa (D1):} \quad \text{SR(D1)}^2 = (za - zt)^2 + R^2; \text{ y} \quad (2)$$

$$10 \text{ Trayectoria Reflejada en el Fondo (B1):} \quad \text{SR(B1)}^2 = (za - zt + 2a)^2 + R^2, \quad (3)$$

Donde: SR = alcance de inclinación; y a = d-za y es la altura del sensor de sonido (por ejemplo, el sensor de sonido 210 de la Fig. 6) por encima del fondo. Por conveniencia, se deja que h = za - zt. Desarrollando las ecuaciones anteriores y después tomando los resultados de la diferencia:

$$15 \quad \text{SR(B1)}^2 - \text{SR(D1)}^2 = 4ha + 4a^2 \quad (4)$$

Después, la expresión anterior puede factorizarse en:

$$20 \quad (\text{SR(B1)} - \text{SR(D1)})(\text{SR(B1)} + \text{SR(D1)}) = 4a(h + a) \quad (5)$$

Ahora, SR(B1)-SR(D1) es c (la velocidad media del sonido) veces el tiempo de retardo tau (τ) (también denotado como TSR(B1)) asociado con una característica de autocorrelación identificada. La cantidad, a, es conocida.

Las ecuaciones anteriores para SR(D1) y SR(B1) pueden reescribirse en términos de h y a.

$$25 \text{ Trayectoria Directa (D1):} \quad \text{SR(D1)} = \sqrt{h^2 + R^2} \approx R(1 + h^2 / 2 R^2), \quad h^2 / R^2 \ll 1 \quad (6)$$

$$\text{Trayectoria Reflejada en el fondo (B1):} \quad \text{SR(B1)} = \sqrt{(h+2a)^2 + R^2} \approx R [1 + (h+2a)^2 / 2 R^2] \quad (7)$$

30 A menudo es de mayor interés una solución para un sistema de sonar casi al fondo (por ejemplo, el sistema de sonar 206 de la FIG. 6) y para un objetivo cercano a la superficie. Por lo tanto, tanto $h^2 + R^2$ como $(h + 2a)^2 + R^2$ pueden aproximarse por $R^2 + d^2$. Entonces:

$$35 \quad \text{SR(D1)} + \text{SR(B1)} \approx \sqrt{R^2 + d^2} \approx 2(R + d^2 / 2 R^2) \quad (8)$$

Esto da como resultado una relación aproximada entre el alcance, R, y la profundidad, zt:

$$2(R + d^2 / 2 R^2) c \tau = 4a(a+h) \quad (9)$$

40 La expresión anterior puede resolverse como un cuadrático. Sin embargo, la expresión anterior puede simplificarse más ignorando el factor d, cuando $d^2 / R^2 \ll 1$ (por ejemplo, agua poco profunda). Esto lleva a una relación aproximada entre el alcance, R, y la profundidad, zt:

$$45 \quad R \approx 2a(h + a) / c \tau \quad (10)$$

Una forma ligeramente más conveniente del resultado anterior se obtiene señalando que $h + a = za - zt + a = d - zt$; y por lo tanto, la relación aproximada entre el alcance, R, y la profundidad, zt, se convierte en:

$$50 \quad R \approx 2a(d - zt) / c \tau \quad (11)$$

Debería reconocerse que un alcance calculado, R, identifica el punto 218 en la profundidad supuesta 212. Teniendo el alcance, R, se reconocerá que los ángulos etiquetados A y B pueden calcularse geoméricamente. Los ángulos calculados geoméricamente se han descrito anteriormente en conjunto con el bloque 106 de la FIG. 3A.

55 Mientras un cálculo geométrico que implica la trayectoria reflejada en el fondo 214 y la trayectoria directa 216 se ha mostrado anteriormente, se reconocerá que cálculos similares que usan otras combinaciones de trayectorias de sonido de isovelocidad pueden dar un alcance de isovelocidad y otros ángulos de trayectoria de propagación de isovelocidad. Por ejemplo, pueden usarse una trayectoria reflejada en la superficie y la trayectoria directa 216.

60 Los ángulos de trayectoria de propagación de isovelocidad etiquetados A y B pueden usarse en más estimaciones descritas más abajo en conjunto con la FIG. 6, con el fin de encontrar un posterior punto de inicio, también referido anteriormente como un alcance estimado/profundidad supuesta, que está asociado con la profundidad supuesta 212. Sin embargo, de acuerdo con el proceso descrito anteriormente en la FIG. 3B, en algunas realizaciones, el alcance y la profundidad supuesta representados directamente por el punto 218 pueden servir como el punto de inicio.

Ahora en referencia a la FIG. 6A en la que se muestran elementos similares de la FIG. 6 que tienen indicadores referenciales similares, un escenario 220 muestra cómo los ángulos etiquetados A y B en la FIG. 6 pueden usarse para identificar un punto de inicio, es decir, un alcance estimado/profundidad supuesta, representado por el bloque 28b de la FIG. 3A, y cómo el punto de inicio puede usarse para identificar un alcance resuelto, representado por el bloque 144 para la FIG. 4.

Una trayectoria reflejada en el fondo 222 (primera trayectoria) y una trayectoria de propagación directa 224 (segunda trayectoria) se generan usando un modelo de propagación seleccionado, por ejemplo un modelo de propagación de trazado de rayos, usando los ángulos de llegada etiquetados A y B, que se identificaron a partir de las trayectorias de propagación de isovelocidad 214, 216 de la FIG. 6. Como se ha descrito anteriormente, mientras las trayectorias de propagación 222, 224 están representadas por líneas rectas, se reconocerá que las trayectorias de propagación que usan el modelo de propagación seleccionado no necesitan ser rectas.

La trayectoria reflejada en el fondo 222 da como resultado un punto 236 en la profundidad supuesta 212. La trayectoria directa 214 da como resultado un punto 234 en la profundidad supuesta 212. Los dos puntos 234, 236 (alcances) pueden combinarse primero con el fin de encontrar un punto de inicio 238, es decir, un alcance estimado/profundidad supuesta. El alcance estimado/profundidad supuesta se ha descrito anteriormente, por ejemplo, en conjunto con el bloque 28 de la FIG. 1, el bloque 28a de la FIG. 3, el bloque 28b de la FIG. 3A, y el bloque 28c de la FIG. 3B.

En una realización particular, el punto de inicio 238 se selecciona para estar en el punto medio en alcance entre los puntos 234, 236. En otras realizaciones, el punto 234 se selecciona para ser el punto de inicio. En otra realización, el punto 236 se selecciona para ser el punto de inicio. En otra realización, el punto de inicio 238 se calcula como otra combinación de los puntos 234, 236.

El punto de inicio 238 puede usarse en conjunto con el modelo de propagación seleccionado, seleccionado, por ejemplo en el bloque 132 de la FIG. 4, con el fin de identificar una primera trayectoria de propagación modificada 226 y una segunda trayectoria de propagación modificada 228, que ambas pasan por el punto de inicio 238 de alcance estimado/profundidad supuesta, como se describe, por ejemplo, en conjunto con los bloques 134, 136 de la FIG. 4. De acuerdo con el bloque 138 de la FIG. 4, puede calcularse una diferencia de tiempo de retardo de la primera y segunda trayectoria de propagación modificada 226, 228. De acuerdo con el bloque 140 de la FIG. 4, la diferencia de tiempo de retardo puede compararse con un tiempo de retardo de una característica de correlación identificada, que en este caso, es una característica de correlación en una autocorrelación.

El sonido que llega al sensor de sonido 210 puede autocorrelacionarse mediante el sistema de sonar 206, dando como resultado una característica de correlación que tiene un tiempo de retardo, una amplitud y una fase, que pueden medirse, por ejemplo, en el bloque 22 de la FIG. 1 y en el bloque 22b de la FIG. 2A. Se entenderá que el tiempo de retardo medido de la característica de correlación puede corresponder a un tiempo de retardo entre una trayectoria de propagación reflejada en el fondo real (no modelada) y una trayectoria de propagación directa real.

La diferencia de tiempo de retardo calculada anteriormente descrita entre las trayectorias de propagación 226, 228 puede compararse con el tiempo de retardo medido anteriormente descrito asociado con la característica de correlación identificada. Si la diferencia de tiempo de retardo es demasiado grande, el punto 238 puede moverse en alcance en la profundidad supuesta 212, por ejemplo a la derecha. En cada movimiento, de acuerdo con el bloque 142 de la FIG. 4, la diferencia de tiempo de retardo se examina para identificar si la diferencia de tiempo de retardo es lo suficientemente pequeña, es decir, por debajo de un umbral de diferencia de tiempo de retardo. Finalmente, después de uno de más movimientos del punto 238, se identifica un punto 240 en el que la diferencia de tiempo de retardo es lo suficientemente pequeña. El punto 240 corresponde al alcance resuelto/profundidad supuesta anteriormente descrito identificado en el bloque 144 de la FIG. 4.

El alcance resuelto/profundidad supuesta 240 tiene una primera trayectoria de propagación resuelta 230 con un primer ángulo de trayectoria resuelta (no etiquetado) en el sistema de sonar 206 y una segunda trayectoria de propagación resuelta 232 que tiene un segundo ángulo de trayectoria resuelta (no etiquetado) en el sistema de sonar 206.

Se apreciará que el punto 240 puede corresponder a tan sólo uno de una pluralidad de alcances resueltos/profundidades supuestas identificados por el proceso 10 de la FIG. 1. Un ángulo localizado/profundidad localizada se selecciona de entre la pluralidad de alcances resueltos/profundidades supuestas como se ha descrito anteriormente en conjunto con la FIG. 4.

Ahora en referencia a las FIGS. 7 y 7A, los escenarios 250, 280 son representativos de los procesos descritos anteriormente para el sistema que usa la formación de haces y que usa la autocorrelación de una señal asociada con un haz recibido direccional. Como se describe más abajo, la autocorrelación pueden dar como resultado una característica de correlación que tiene un tiempo de retardo medido asociado con, por ejemplo, una trayectoria de propagación directa y una trayectoria de propagación reflejada en la superficie, cuyas trayectorias de propagación se describen de manera más completa más abajo.

Primero en referencia a la FIG. 7, una línea 252 es representativa de una superficie de un cuenca de agua, por ejemplo, una superficie del océano. Una línea 254 es representativa de un fondo de la cuenca de agua. Un sistema de sonar 256 está generalmente colocado en el fondo de la cuenca de agua. Una línea discontinua 264 es representativa de una profundidad objetivo supuesta de acuerdo con el bloque 24 de la FIG. 1.

5 El sistema de sonar 256 incluye un sensor de sonido 260 acoplado a un procesador 258. En algunas realizaciones, el sensor de sonido 260 incluye un único elemento receptor, por ejemplo, un elemento receptor cilíndrico, adaptado para recibir sonido y para convertir el sonido recibido en una señal electrónica. En otras realizaciones, el sensor de sonido 260 puede incluir más de un elemento receptor, cada uno adaptado para recibir sonido y para convertir el
10 sonido recibido en una respectiva señal electrónica.

Ya sea el sensor de sonido 260 un único elemento receptor o más de un elemento receptor, el sensor de sonido 260 es capaz de usarse para formar al menos un haz recibido 262. El haz recibido 262 puede señalar hacia cualquier ángulo vertical. Aquí, el haz 262 señala hacia arriba, con el fin de recibir el sonido que llega sobre una trayectoria reflejada en la superficie y sobre una trayectoria directa. Mientras se muestra el haz 262, el proceso descrito más
15 abajo es similar a los escenarios de las FIG. 6 y 6A, y el haz 262 no se usa para el ángulo de información de llegada.

Debería entenderse que varias trayectorias de propagación descritas más abajo se muestran como líneas rectas en las FIGS. 7 y 7A. Las trayectorias de propagación mostradas en la FIG. 7 pretenden asociarse con un modelo de propagación de isovelocidad y, por lo tanto, se suponen de hecho que son rectas. Sin embargo, las trayectorias de propagación mostradas en la FIG. 7A están representadas por líneas rectas por motivos de claridad, pero se entenderá que son curvas, particularmente cuando se calculan mediante un modelo de propagación de trazado de rayos como se describe más abajo.

25 Una primera trayectoria de propagación 266 corresponde a una trayectoria de propagación de isovelocidad reflejada en la superficie. Una segunda trayectoria de propagación 268 corresponde a una trayectoria de propagación de isovelocidad directa. La primera y segunda trayectoria de propagación de isovelocidad 266, 268 corresponden a la primera y segunda trayectoria de propagación de isovelocidad seleccionadas anteriormente en conjunto con el
30 bloque 104 de la FIG. 3A.

La primera y segunda trayectoria de propagación de isovelocidad 266, 268 se cruzan en un punto 270 en la profundidad supuesta 264 (profundidad z_t), dando como resultado ángulos de llegada etiquetados C y D. Los ángulos de llegada etiquetados C y D corresponden al primer y segundo ángulo de llegada de isovelocidad identificados anteriormente en conjunto con la FIG. 3A.

35 La primera y segunda trayectoria de propagación de isovelocidad 266, 270, el punto 270 y los ángulos etiquetados C y D pueden calcularse geoméricamente, por ejemplo, mediante ecuaciones similares a las descritas anteriormente en conjunto con la FIG. 6.

40 Debería reconocerse que un alcance calculado, R, identifica el punto 270 en la profundidad supuesta 264. Teniendo el alcance, R, se reconocerá que los ángulos etiquetados C y D pueden calcularse geoméricamente. Los ángulos calculados geoméricamente se han descrito anteriormente en conjunto con el bloque 106 de la FIG. 3A.

Mientras un cálculo geométrico que implica la trayectoria reflejada en la superficie 266 y la trayectoria directa 268 se ha mostrado anteriormente, se reconocerá que cálculos similares que usan otras combinaciones de trayectorias de sonido de isovelocidad pueden dar un alcance de isovelocidad y otros ángulos de trayectoria de propagación de isovelocidad. Por ejemplo, pueden usarse una trayectoria reflejada en el fondo y la trayectoria directa 268.

Los ángulos de trayectoria de propagación de isovelocidad etiquetados C y D pueden usarse en más estimaciones descritas más abajo en conjunto con la FIG. 7A, con el fin de encontrar un posterior punto de inicio, también referido anteriormente como un alcance estimado/profundidad supuesta, que está asociado con la profundidad supuesta 264. Sin embargo, de acuerdo con el proceso descrito anteriormente en la FIG. 3B, en algunas realizaciones, el alcance y la profundidad supuesta, representados directamente por el punto 270, pueden servir como el punto de inicio.

55 Ahora en referencia a la FIG. 7A, en la que se muestran elementos similares de la FIG. 7 que tienen indicadores referenciales similares, un escenario 280 muestra cómo los ángulos etiquetados C y D en la FIG. 6 pueden usarse para identificar un punto de inicio, es decir, un alcance estimado/profundidad supuesta, representado por el bloque 28a de la FIG. 3, y cómo el punto de inicio puede usarse para identificar un alcance resuelto, representado por el
60 bloque 144 para la FIG 4.

Una trayectoria reflejada en la superficie 282 (primera trayectoria) y una trayectoria de propagación directa 284 (segunda trayectoria) se generan usando un modelo de propagación seleccionado, por ejemplo un modelo de propagación de trazado de rayos, usando los ángulos de llegada etiquetados C y D, que se identificaron a partir de las trayectorias de propagación de isovelocidad 266, 268 de la FIG. 7. Como se ha descrito anteriormente, mientras las trayectorias de propagación 282, 284 están representadas por líneas rectas, se reconocerá que las trayectorias

de propagación que usan el modelo de propagación seleccionado no necesitan ser rectas.

La trayectoria reflejada en la superficie 282 da como resultado un punto 296 en la profundidad supuesta 264. La trayectoria directa 284 da como resultado un punto 294 en la profundidad supuesta 264. Los dos puntos 294, 296 (alcances) pueden combinarse primero con el fin de encontrar un punto de inicio 298, es decir, un alcance estimado/profundidad supuesta. El alcance estimado/profundidad supuesta se ha descrito anteriormente, por ejemplo, en conjunto con el bloque 28 de la FIG. 1, el bloque 28a de la FIG. 3, el bloque 28b de la FIG. 3A, y el bloque 28c de la FIG. 3B.

10 En una realización particular, el punto de inicio 298 se selecciona para estar en el punto medio en alcance entre los puntos 294, 296. En otras realizaciones, el punto 294 se selecciona para ser el punto de inicio. En otra realización, el punto 296 se selecciona para ser el punto de inicio. En otra realización, el punto de inicio 298 se calcula como otra combinación de los puntos 294, 296.

15 El punto de inicio 298 puede usarse en conjunto con el modelo de propagación seleccionado, seleccionado, por ejemplo en el bloque 132 de la FIG. 4, con el fin de identificar una primera trayectoria de propagación modificada 286 y una segunda trayectoria de propagación modificada 288, que ambas pasan por el punto de inicio 298 de alcance estimado/profundidad supuesta, como se describe, por ejemplo, en conjunto con los bloques 134, 136 de la FIG. 4. De acuerdo con el bloque 138 de la FIG. 4, puede calcularse una diferencia de tiempo de retardo de la primera y segunda trayectoria de propagación modificada 286, 288. De acuerdo con el bloque 140 de la FIG. 4, la diferencia de tiempo de retardo puede compararse con un tiempo de retardo de una característica de correlación identificada, que en este caso, es una característica de correlación en una autocorrelación.

25 El sonido que llega al sensor de sonido 260 puede autocorrelacionarse mediante el sistema de sonar 206, dando como resultado una característica de correlación que tiene un tiempo de retardo, una amplitud y una fase, que pueden medirse, por ejemplo, en el bloque 22 de la FIG. 1 y en el bloque 22b de la FIG. 2A. Se entenderá que el tiempo de retardo medido de la característica de correlación puede corresponder a un tiempo de retardo entre una trayectoria de propagación reflejada en la superficie real (no modelada) y una trayectoria de propagación directa real.

30 La diferencia de tiempo de retardo calculada anteriormente descrita entre las trayectorias de propagación 226, 228 puede compararse con el tiempo de retardo medido anteriormente descrito asociado con la característica de correlación identificada. Si la diferencia de tiempo de retardo es demasiado grande, el punto 298 puede moverse en alcance en la profundidad supuesta 264, por ejemplo a la derecha. En cada movimiento, de acuerdo con el bloque 142 de la FIG. 4, la diferencia de tiempo de retardo se examina para identificar si la diferencia de tiempo de retardo es lo suficientemente pequeña, es decir, por debajo de un umbral de diferencia de tiempo de retardo. Finalmente, después de uno de más movimientos del punto 298, se identifica un punto 300 en el que la diferencia de tiempo de retardo es lo suficientemente pequeña. El punto 300 corresponde al alcance resuelto/profundidad supuesta anteriormente descrito identificado en el bloque 144 de la FIG. 4.

40 El alcance resuelto/profundidad supuesta 300 tiene una primera trayectoria de propagación resuelta 290 que tiene un primer ángulo de trayectoria resuelta (no etiquetado) en el sistema de sonar 256 y una segunda trayectoria de propagación resuelta 292 que tiene un segundo ángulo de trayectoria resuelta (no etiquetado) en el sistema de sonar 256.

45 Se apreciará que el punto 300 puede corresponder a tan sólo uno de una pluralidad de alcances resueltos/profundidades supuestas identificados por el proceso 10 de la FIG. 1. Un ángulo localizado/profundidad localizada se selecciona de entre la pluralidad de alcances resueltos/profundidades supuestas como se ha descrito anteriormente en conjunto con la FIG. 4.

50 Ahora en referencia a la FIG.8, otro escenario 310 es similar al de las FIGS. 7 y 7A, excepto en la descripción que sigue en la que no se identificará ninguna trayectoria de propagación de isovelocidad como se identificaron en la FIG. 7. El escenario 310 es representativo de los procesos descritos anteriormente para sistemas que usan la formación de haces y la correlación de autocorrelación de una señal recibida en un haz acústico.

55 Una línea 312 es representativa de una superficie de una cuenca de agua, por ejemplo, una superficie del océano. Una línea 314 es representativa de un fondo de la cuenca de agua. Un sistema de sonar 316 está generalmente colocado en el fondo de la cuenca de agua. Una línea discontinua 324 es representativa de una profundidad objetivo supuesta de acuerdo con el bloque 24 de la FIG. 1.

60 El sistema de sonar 316 incluye un sensor de sonido 320 acoplado a un procesador 318. En algunas realizaciones, el sensor de sonido 320 incluye un único elemento receptor, por ejemplo, un elemento receptor cilíndrico, adaptado para recibir sonido y para convertir el sonido recibido en una señal electrónica. En otras realizaciones, el sensor de sonido 320 puede incluir más de un elemento receptor, cada uno adaptado para recibir sonido y para convertir el sonido recibido en una respectiva señal electrónica.

65

Ya sea el sensor de sonido 320 un único elemento receptor o más de un elemento receptor, el sensor de sonido 320 es capaz de usarse para formar al menos un haz recibido 322. El haz recibido 322 puede señalar hacia cualquier ángulo vertical. Aquí, el haz 322 señala hacia arriba, con el fin de recibir el sonido que llega sobre una trayectoria reflejada en la superficie, y sobre una trayectoria directa.

5 Debería entenderse que varias trayectorias de propagación descritas más abajo se muestran como líneas rectas en la FIG. 8. Sin embargo, las trayectorias de propagación mostradas en la FIG. 8 están representadas por líneas rectas por motivos de claridad, pero se entenderá que son curvas, particularmente cuando se calculan mediante un modelo de propagación de trazado de rayos como se describe más abajo.

10 Una primera trayectoria de propagación 328 corresponde a una trayectoria reflejada en la superficie seleccionada de acuerdo con el bloque 84 de la FIG. 3. Como se ha descrito anteriormente en conjunto con la FIG. 3, la primera trayectoria de propagación 328 se selecciona usando un modelo de propagación seleccionado para que un ángulo de llegada de la primera trayectoria de propagación 328 en el sistema de sonar 316 esté cerca de un ángulo de llegada de precisión mejorada identificado, por ejemplo, en el bloque 52 de la FIG. 2.

15 Una segunda trayectoria de propagación 326 corresponde a una trayectoria reflejada en el fondo seleccionada de acuerdo con el bloque 86 de la FIG. 3. Como se ha descrito anteriormente en conjunto con la FIG. 3, la segunda trayectoria de propagación 326 se selecciona usando el modelo de propagación seleccionado para que un ángulo de llegada de la segunda trayectoria de propagación 326 en el sistema de sonar 316 esté cerca de un ángulo de llegada de precisión mejorada identificado, por ejemplo, en el bloque 52 de la FIG. 2, que es el mismo ángulo que el proporcionado por la primera trayectoria de propagación 328.

20 La primera y segunda trayectoria de propagación 328, 326, una trayectoria reflejada en la superficie y una trayectoria directa, respectivamente, son aquellas trayectorias que se seleccionan primero de acuerdo con la FIG. 3. La primera trayectoria de propagación 328 da como resultado un punto calculado 340 correspondiente a un primer alcance al objetivo en la profundidad supuesta 324, de acuerdo con el bloque 88 de la FIG. 3. Similarmente, la segunda trayectoria de propagación 326 da como resultado un punto calculado 338 correspondiente a un segundo alcance al objetivo en la profundidad supuesta 324, de acuerdo con el bloque 90 de la FIG. 3.

25 El primer y segundo punto 340, 338 se usan para calcular un punto 342 correspondiente a un alcance estimado/profundidad supuesta de acuerdo con el bloque 28a de la FIG. 3. El punto 342 puede seleccionarse para ser un punto medio en alcance entre los puntos 338, 340. Sin embargo, en otras realizaciones, el punto 342 puede seleccionarse para ser uno de los puntos 338, 340. En aún otras realizaciones, el punto 342 puede seleccionarse en base a cualquier función de las posiciones de los puntos 338, 340. El punto 342 corresponde al "punto de inicio" anteriormente descrito en el bloque 28a de la FIG. 3.

30 Usando de nuevo el modelo de propagación seleccionado, y usando el punto 342, que corresponde al alcance estimado/profundidad supuesta calculado en el bloque 28a en la FIG. 3, pueden calcularse las trayectorias de propagación 330, 332, que pasan por el punto 342. Además, puede calcularse un tiempo de retardo entre las trayectorias de propagación 330, 332, por ejemplo, usando el modelo de propagación seleccionado.

35 El sonido que llega al haz 322 puede autocorrelacionarse mediante el sistema de sonar 316, dando como resultado una característica de correlación que tiene un tiempo de retardo, una amplitud y una fase, que pueden medirse, por ejemplo, en el bloque 22a de la FIG. 2. Se entenderá que el tiempo de retardo medido de la característica de correlación puede corresponder a un tiempo de retardo entre una trayectoria de propagación reflejada en la superficie real (no modelada) y una trayectoria de propagación reflejada en el fondo real.

40 La diferencia de tiempo de retardo calculada anteriormente descrita entre las trayectorias de propagación 330, 332 puede compararse con el tiempo de retardo medido anteriormente descrito asociado con la característica de correlación identificada que, en este caso, es una característica de correlación en una autocorrelación. Si la diferencia de tiempo de retardo es demasiado grande, el punto 342 puede moverse en alcance en la profundidad supuesta 324, por ejemplo a la derecha. En cada movimiento, de acuerdo con el bloque 142 de la FIG. 4, la diferencia de tiempo de retardo se examina para identificar si la diferencia de tiempo de retardo es lo suficientemente pequeña, es decir, por debajo de un umbral de diferencia de tiempo de retardo. Finalmente, después de uno de más movimientos del punto 342, se identifica el punto 344 en el que la diferencia de tiempo de retardo es lo suficientemente pequeña. El punto 344 corresponde al alcance resuelto/profundidad supuesta anteriormente descrito identificado en el bloque 144 de la FIG. 4.

45 El alcance resuelto/profundidad supuesta 344 tiene una primera trayectoria de propagación resuelta 334 con un primer ángulo de trayectoria resuelta en el sistema de sonar 316 y una segunda trayectoria de propagación resuelta 336 que tiene un segundo ángulo de trayectoria resuelta en el sistema de sonar 316.

50 Se apreciará que el punto 344 puede corresponder a tan sólo uno de una pluralidad de alcances resueltos/profundidades supuestas identificados por el proceso 10 de la FIG. 1. Un ángulo localizado/profundidad localizada se selecciona de entre la pluralidad de alcances resueltos/profundidades supuestas por el proceso

descrito anteriormente en conjunto con la FIG. 4.

- 5 Ahora en referencia a las FIGS. 9 y 9A, los escenarios 350, 380 son representativos de los procesos descritos anteriormente para el sistema que no usa la formación de haces y que usa la correlación de cruce de señales asociadas con dos haces recibidos omnidireccionales separados (no mostrados). La correlación de cruce puede dar como resultado una característica de correlación que tiene un tiempo de retardo medido asociado con, por ejemplo, una primera trayectoria de propagación directa y una segunda trayectoria de propagación directa, cuyas trayectorias de propagación se describen de manera más completa más abajo.
- 10 Primero en referencia a la FIG. 9, una línea 352 es representativa de una superficie de un cuenca de agua, por ejemplo, una superficie del océano. Una línea 354 es representativa de un fondo de la cuenca de agua. Un sistema de sonar 356 está generalmente colocado en el fondo de la cuenca de agua. Una línea discontinua 364 es representativa de una profundidad objetivo supuesta de acuerdo con el bloque 24 de la FIG. 1.
- 15 El sistema de sonar 356 incluye un primer sensor de sonido 360 y un segundo sensor de sonido 362, cada uno acoplado a un procesador 358. En algunas realizaciones, los sensores de sonido 360, 362 incluyen cada uno un único elemento receptor, por ejemplo, un elemento receptor cilíndrico, adaptado para recibir sonido y para convertir el sonido recibido en una señal electrónica.
- 20 Los sensores de sonido 360, 362 son cada uno capaces de recibir sonido omnidireccionalmente, es decir, con respectivos haces recibidos unidireccionales o casi omnidireccionales (no mostrados). Los sensores de sonido 360, 362 pueden cada uno recibir sonido que llega sobre cualquier trayectoria de propagación a los sensores de sonido 360, 362, incluyendo, pero sin limitar a, una trayectoria reflejada en la superficie, una trayectoria reflejada en el fondo, y una trayectoria directa.
- 25 Debería entenderse que varias trayectorias de propagación descritas más abajo se muestran como líneas rectas en las FIGS. 9 y 9A. Las trayectorias de propagación mostradas en la FIG. 9 pretenden asociarse con un modelo de propagación de isovelocidad y, por lo tanto, se suponen de hecho que son rectas. Sin embargo, las trayectorias de propagación mostradas en la FIG. 9A están representadas por líneas rectas por motivos de claridad, pero se
- 30 entenderá que son curvas, particularmente cuando se calculan mediante un modelo de propagación de trazado de rayos como se describe más abajo.
- Una primera trayectoria de propagación 366 corresponde a una primera trayectoria de propagación de isovelocidad directa. Una segunda trayectoria de propagación 368 corresponde a una segunda trayectoria de propagación de isovelocidad directa. La primera y segunda trayectoria de propagación de isovelocidad 366, 368 corresponden a la
- 35 primera y segunda trayectoria de propagación de isovelocidad seleccionadas anteriormente en conjunto con el bloque 104 de la FIG. 3A.
- La primera y segunda trayectoria de propagación de isovelocidad 366, 368 se cruzan en un punto 370 en la
- 40 profundidad supuesta 364 (profundidad z_t), dando como resultado ángulos de llegada etiquetados E y F. Los ángulos de llegada etiquetados E y F corresponden al primer y segundo ángulo de llegada de isovelocidad identificados anteriormente en conjunto con la FIG. 3.
- La primera y segunda trayectoria de propagación de isovelocidad 366, 368, el punto 370 y los ángulos etiquetados E
- 45 y F pueden calcularse geoméricamente, usando técnicas similares a las descritas anteriormente en conjunto con la FIG. 6.
- Debería reconocerse que el alcance calculado, R, identifica el punto 370 en la profundidad supuesta 364. Teniendo
- 50 el alcance, R, se reconocerá que los ángulos etiquetados E y F pueden calcularse geoméricamente. Los ángulos calculados geoméricamente se han descrito anteriormente en conjunto con el bloque 106 de la FIG. 3A.
- Mientras un cálculo geométrico que implica las trayectorias directas 366, 368 puede usarse anteriormente, se
- reconocerá que cálculos similares que usan otras combinaciones de trayectorias de sonido de isovelocidad pueden
- 55 dar un alcance de isovelocidad y otros ángulos de trayectoria de propagación de isovelocidad. Por ejemplo, pueden usarse una trayectoria reflejada en la superficie y la trayectoria directa.
- Los ángulos de trayectoria de propagación de isovelocidad etiquetados E y F pueden usarse en más estimaciones
- 60 descritas más abajo en conjunto con la FIG. 9A, con el fin de encontrar un posterior punto de inicio, también referido anteriormente como un alcance estimado/profundidad supuesta, que está asociado con la profundidad supuesta 364. Sin embargo, de acuerdo con el proceso descrito anteriormente en la FIG. 3B, en algunas realizaciones, el alcance y la profundidad supuesta representados directamente por el punto 370 pueden servir como el punto de inicio.
- Ahora en referencia a la FIG. 9A, en la que se muestran elementos similares de la FIG. 9 que tienen indicadores
- 65 referenciales similares, un escenario 380 muestra cómo los ángulos etiquetados E y F en la FIG. 9 pueden usarse para identificar un punto de inicio, es decir, un alcance estimado/profundidad supuesta, representado por el bloque

28b de la FIG. 3A, y cómo el punto de inicio puede usarse para identificar un alcance resuelto, representado por el bloque 144 para la FIG 4.

Una trayectoria de propagación directa 382 (primera trayectoria) y una trayectoria de propagación directa 384 (segunda trayectoria) se generan usando un modelo de propagación seleccionado, por ejemplo un modelo de propagación de trazado de rayos, usando los ángulos de llegada etiquetados E y F, que se identificaron a partir de las trayectorias de propagación de isovelocidad 366, 368 de la FIG. 9. Como se ha descrito anteriormente, mientras las trayectorias de propagación 382, 384 están representadas por líneas rectas, se reconocerá que las trayectorias de propagación que usan el modelo de propagación seleccionado no necesitan ser rectas.

La trayectoria directa 382 da como resultado un punto 394 en la profundidad supuesta 364. La trayectoria directa 384 da como resultado un punto 396 en la profundidad supuesta 212. Los dos puntos 394, 396 (alcances) pueden combinarse primero con el fin de encontrar un punto de inicio 398, es decir, un alcance estimado/profundidad supuesta. El alcance estimado/profundidad supuesta se ha descrito anteriormente, por ejemplo, en conjunto con el bloque 28 de la FIG. 1, el bloque 28a de la FIG. 3, el bloque 28b de la FIG. 3A, y el bloque 28c de la FIG. 3B.

El punto de inicio 398 puede seleccionarse mediante técnicas descritas anteriormente en conjunto con la FIG. 5. El punto de inicio 398 puede usarse en conjunto con el modelo de propagación seleccionado, seleccionado, por ejemplo en el bloque 132 de la FIG. 4, con el fin de identificar una primera trayectoria de propagación modificada 386 y una segunda trayectoria de propagación modificada 388, que ambas pasan por el punto de inicio 398 de alcance estimado/profundidad supuesta, como se describe, por ejemplo, en conjunto con los bloques 134, 136 de la FIG. 4. De acuerdo con el bloque 138 de la FIG. 4, puede calcularse una diferencia de tiempo de retardo de la primera y segunda trayectoria de propagación modificada 386, 388. De acuerdo con el bloque 140 de la FIG. 4, la diferencia de tiempo de retardo puede compararse con un tiempo de retardo de una característica de correlación identificada.

El sonido que llega a los sensores de sonido 362, 360 puede correlacionarse por cruce mediante el sistema de sonar 356, dando como resultado una característica de correlación que tiene un tiempo de retardo, una amplitud y una fase, que pueden medirse, por ejemplo, en el bloque 22 de la FIG. 1 y en el bloque 22b de la FIG. 2A. Se entenderá que el tiempo de retardo medido de la característica de correlación puede corresponder a un tiempo de retardo entre una trayectoria de propagación directa real (no modelada) y otra trayectoria de propagación directa real.

La diferencia de tiempo de retardo calculada anteriormente descrita entre las trayectorias de propagación 386, 388 puede compararse con el tiempo de retardo medido anteriormente descrito asociado con la característica de correlación identificada, que, en este caso, es una característica de correlación en una autocorrelación. Si la diferencia de tiempo de retardo es demasiado grande, el punto 398 puede moverse en alcance en la profundidad supuesta 364, por ejemplo a la derecha. En cada movimiento, de acuerdo con el bloque 142 de la FIG. 4, la diferencia de tiempo de retardo se examina para identificar si la diferencia de tiempo de retardo es lo suficientemente pequeña, es decir, por debajo de un umbral de diferencia de tiempo de retardo. Finalmente, después de uno de más movimientos del punto 398, se identifica un punto 400 en el que la diferencia de tiempo de retardo es lo suficientemente pequeña. El punto 400 corresponde al alcance resuelto/profundidad supuesta anteriormente descrito identificado en el bloque 144 de la FIG. 4.

El alcance resuelto/profundidad supuesta 400 tiene una primera trayectoria de propagación resuelta 390 con un primer ángulo de trayectoria resuelta (no etiquetado) en el sistema de sonar 356 y una segunda trayectoria de propagación resuelta 392 que tiene un segundo ángulo de trayectoria resuelta (no etiquetado) en el sistema de sonar 356.

Se apreciará que el punto 400 puede corresponder a tan sólo uno de una pluralidad de alcances resueltos/profundidades supuestas identificados por el proceso 10 de la FIG. 1. Un ángulo localizado/profundidad localizada se selecciona de entre la pluralidad de alcances resueltos/profundidades supuestas como se ha descrito anteriormente en conjunto con la FIG. 4.

Ahora en referencia a la FIG. 10, un gráfico 410 incluye una escala horizontal en unidades de tiempo en unidades arbitrarias y una escala vertical en unidades de magnitud en unidades arbitrarias. Las características etiquetadas D1, S1:B1, S1:D1 y B1:D1 corresponden a la característica de correlación en una producción de una autocorrelación, donde S se refiere a una trayectoria de propagación reflejada en la superficie, D se refiere a una trayectoria de propagación directa, y B se refiere a una trayectoria de propagación reflejada en el fondo. Por lo tanto, por ejemplo, S1:B1 se refiere a una característica de correlación asociada con un par de trayectorias de propagación correspondiente a una trayectoria de propagación reflejada en la superficie y una trayectoria de propagación reflejada en el fondo.

Mientras se muestran tres características de correlación, debería entenderse que puede haber otras características de correlación correspondientes a otras combinaciones de trayectorias de propagación.

Ahora en referencia a la FIG. 11, un gráfico 420 incluye una escala horizontal en unidades de tiempo en unidades arbitrarias y una escala vertical en unidades de magnitud en unidades arbitrarias. Las características etiquetadas B1:B2, B2:S1, B1:S1 y S1:S1 corresponden a la característica de correlación en una producción 410 de una correlación de cruce, donde S se refiere a una trayectoria de propagación reflejada en la superficie, D se refiere a una trayectoria de propagación directa, B se refiere a una trayectoria de propagación reflejada en el fondo y 1 se refiere a una trayectoria a un primer sensor de sonido o selección, y 2 se refiere a una trayectoria a un segundo sensor de sonido o selección. Por lo tanto, por ejemplo, B1:B2 se refiere a una característica de correlación asociada con un par de trayectorias de propagación correspondiente a una trayectoria de propagación reflejada en el fondo a un primer sensor de sonido y a una trayectoria de propagación reflejada en el fondo a un segundo sensor de sonido.

Mientras se muestran cuatro características de correlación, debería entenderse que puede haber otras características de correlación correspondientes a otras combinaciones de trayectorias de propagación.

Ahora en referencia a la FIG. 12, un sistema de sonar 430 puede ser el mismo o similar a cualquiera de los sistemas de sonar 156, 206, 256, 316, 356 de las FIGS. 5-9A. El sistema de sonar puede incluir uno o más sensores de sonido 432 adaptados para generar señales electrónicas 434, 446 en respuesta a una señal sonora recibida.

El sistema de sonar (opcionalmente) puede incluir un formador de haces 436 acoplado a uno o más sensores de sonido 432 y adaptado para generar una señal formada por haces 438. Un procesador de autocorrelación 440 está adaptado para generar una señal de correlación 442 en respuesta a la señal formada por haces 438. Un procesador de identificación de la característica de correlación 444 está adaptado para identificar una característica de correlación 456 en la señal de correlación 442. Un procesador de medición de parámetro de la característica de correlación 458 está adaptado para medir un parámetro de la característica de correlación identificada 456 y para generar valores medidos de la característica de correlación 460. Un procesador de identificación de un par de trayectorias 462 está adaptado para suponer una profundidad del objetivo y adaptado para seleccionar un par de trayectorias de propagación 464 asociadas con la característica de correlación identificada 456 y con la profundidad supuesta. Un procesador de alcance estimado/profundidad supuesta 466 está adaptado para estimar un alcance del objetivo 468 en la profundidad supuesta usando el par identificado de trayectorias de propagación 464. Un procesador de resolución de alcance 470 está adaptado para procesar el alcance estimado 468 del objetivo en la profundidad supuesta para proporcionar un alcance resuelto 472 del objetivo en la profundidad supuesta y un primer par de trayectorias de propagación resueltas asociadas 472. Un procesador de estimación de probabilidad 474 está adaptado para asignar un factor de probabilidad 476 al alcance resuelto 472 del objetivo en la profundidad supuesta. Un procesador de localización 478 está adaptado para procesar el factor de probabilidad 478 y para generar una señal de localización 480, que localiza el objetivo en profundidad y en alcance en base al factor de probabilidad 478.

En algunas realizaciones, el sistema de sonar 439 también incluye (opcionalmente) otro formador de haces 448 acoplado a uno o más sensores de sonido 432 y adaptado para generar otra señal formada por haces 438. Un procesador de correlación de cruce 452 está adaptado para generar una señal de correlación 454 asociada con las señales formadas por haces 450, 438. El procesador de identificación de la característica de correlación 444 está adaptado para identificar otra característica de correlación 456 en la señal de correlación 454.

Las FIGS. 13, 14 y 15 presentan resultados para un caso ilustrativo. Sin embargo, antes de volver a las FIGS. 13-15, se presenta una discusión general de antecedentes.

El factor de probabilidad anteriormente descrito es una medida de la calidad de una solución para alcance y profundidad. En algunas realizaciones, el factor de probabilidad se forma por una cadena multiplicativa de factores de probabilidad (también referidos más abajo como factores de calidad). Los factores de calidad pueden asociarse con un sistema, medición o limitación de solución. En una disposición descrita anteriormente, un factor de probabilidad (calidad) del ángulo puede ser indicativo de la probabilidad de una solución válida en base a un ángulo medido, un ángulo calculado, y una incertidumbre asociada con la medición y/o cálculo. En otra disposición descrita anteriormente, un factor de calidad puede determinarse en conjunto con una serie de pares de trayectorias de llegada supuestos que corresponden a una serie de mediciones de tiempo de retardo de correlación. En esta disposición, el factor de calidad se relaciona con la variación de los múltiples cálculos aproximados del alcance fuente. Otro factor de probabilidad puede ser una combinación, por ejemplo, un producto, de los factores de probabilidad anteriores.

Ahora en referencia a la FIG. 13, un gráfico 500 incluye una escala horizontal en unidades de profundidad objetivo en pies y una escala vertical en unidades del factor de probabilidad descrito anteriormente. Una curva 502 muestra (una simulación de) una probabilidad normalizada para las profundidades supuestas anteriormente descritas, calculada sumando los factores de probabilidad sobre todas las combinaciones de alcance resuelto/par de trayectorias de rayos para cada profundidad supuesta, cada alcance resuelto calculado por el proceso de la FIG. 1, y cada uno de los factores de probabilidad normalizados trazados frente a su profundidad objetivo asociada. La curva 502 es no-simétrica y tiene un pico a una profundidad objetivo de trescientos pies, tipificada por un punto 502a. Un promedio de peso de la curva 502 ocurre a aproximadamente trescientos catorce pies, tipificado por un punto 502b.

En algunas realizaciones, la profundidad pico a trescientos pies puede usarse como la profundidad objetivo localizada. Sin embargo, en otras realizaciones, la profundidad de trescientos catorce pies puede usarse como la profundidad objetivo localizada.

5 Ahora en referencia a la FIG. 14, un gráfico 520 incluye una escala horizontal en unidades de alcance objetivo en kiloyardas (Kyds) y una escala vertical en unidades del factor de probabilidad anteriormente descrito. Una curva 522 muestra (una simulación de) un factor de probabilidad normalizado de alcance objetivo como una función del alcance objetivo. Este factor de probabilidad normalizado de alcance se calcula a partir de la distribución de los factores de probabilidad de los alcances resueltos/profundidades supuestas anteriormente descritos calculados por el proceso de la FIG. 1. La curva 522 es no-simétrica y tiene un pico a un alcance objetivo de una kiloyarda. Un promedio de peso de la curva 522 ocurre a aproximadamente 1,027 kiloyardas.

En algunas realizaciones, el alcance pico a una kiloyarda puede usarse como el alcance localizado. Sin embargo, en otras realizaciones, el alcance de 1,027 kiloyardas puede usarse como el alcance objetivo localizado.

15 Ahora en referencia a la FIG. 15, un gráfico 540 incluye una escala horizontal en unidades de profundidad objetivo en pies y una escala vertical en unidades de alcance objetivo en millas náuticas (mn) y una escala vertical en unidades del factor de probabilidad anteriormente descrito. Una curva 542 muestra (una simulación de) la variación conjunta de los alcances resueltos/profundidades supuestas anteriormente descritas calculadas por el proceso de la FIG. 1, trazada en alcance y en profundidad.

25 La curva 542 muestra (una simulación de) el alcance objetivo resuelto medio, calculado por un promedio de peso del factor de probabilidad sobre todas las combinaciones de pares de trayectorias para cada una de las profundidades supuestas anteriormente descritas calculadas por el proceso de la FIG. 1. Una curva 544 muestra (una simulación de) el factor de probabilidad no normalizado de profundidad de cada una de las profundidades objetivos trazadas frente a su profundidad supuesta asociada, de acuerdo con la curva 502 (de la escala) de la FIG. 13. Como se ha descrito anteriormente en conjunto con la FIG. 13, la curva 544 es no-simétrica y tiene un pico a una profundidad objetivo de trescientos pies, tipificado por un punto 544a. Un promedio de peso de la curva 544 ocurre a aproximadamente trescientos catorce pies, tipificado por un punto 544b.

30 El punto 544a se alinea sobre la curva 542 con un punto 542a en un alcance objetivo de 0,494 millas náuticas (1.000 yardas). El punto 544b se alinea sobre la curva 542 con un punto 542b en un alcance objetivo de 0,507 millas náuticas (1.027 yardas).

35 En algunas realizaciones, el pico a trescientos pies puede usarse como la profundidad localizada y el alcance correspondiente de 0,497 millas náuticas puede usarse como el alcance objetivo localizado. Sin embargo, en otras realizaciones, la profundidad de trescientos catorce pies puede usarse como la profundidad objetivo localizada y el alcance correspondiente de 0,507 millas náuticas puede usarse como el alcance objetivo localizado, que se generan por los promedios de peso anteriormente descritos.

40 Los gráficos 500, 520, 540 de las FIGS. 13, 14, 15, respectivamente, son indicativos de tan sólo una manera en la que los alcances resueltos/profundidades supuestas y los factores de probabilidad asociados con ellos generados por el proceso 10 de la FIG. 1 pueden combinarse para conseguir un alcance localizado y una profundidad localizada del objetivo. También pueden usarse otras técnicas sin partir de la presente invención.

45 Habiendo descrito las realizaciones preferentes de la invención, ahora será aparente para aquel experto en la técnica que puedan usarse otras realizaciones que incorporen sus conceptos. Por lo tanto, se siente que estas realizaciones no deberían limitarse a las realizaciones desveladas, sino más bien deberían limitarse por el alcance de las reivindicaciones adjuntas:

50

REIVINDICACIONES

1. Un método para determinar un alcance y una profundidad de un objetivo submarino (10), que comprende:

5 recibir una señal sonora del objetivo (12), en el que la señal sonora incluye una pluralidad de partes de señal sonora, propagándose cada una de las partes de señal sonora sobre una respectiva de una pluralidad de trayectorias de propagación, en el que dos trayectorias cualesquiera de propagación corresponden a un par de trayectorias de propagación;
 10 convertir la señal sonora en una o más señales electrónicas (16);
 generar una señal de correlación asociada con al menos una o más señales electrónicas (18);
 identificar una característica de correlación en la señal de correlación (20);
 medir un parámetro de la característica de correlación identificada (22);
caracterizado por:

15 suponer una profundidad del objetivo (24);
 seleccionar un par de trayectorias de propagación asociadas con la característica de correlación identificada y con la profundidad supuesta (26);
 estimar un alcance del objetivo en la profundidad supuesta usando el par de trayectorias de propagación seleccionadas (28);
 20 procesar el alcance estimado del objetivo en la profundidad supuesta para proporcionar un alcance resuelto del objetivo (30) en la profundidad supuesta y un primer par de trayectorias de propagación resueltas asociadas; y
 asignar un factor de probabilidad al alcance resuelto del objetivo en la profundidad supuesta (32).

25 2. El método de la Reivindicación 1, que además comprende:

seleccionar un segundo par de trayectorias de propagación asociadas con la características de correlación identificada y con la profundidad supuesta (86);
 30 estimar un segundo alcance del objetivo en la profundidad supuesta usando el segundo par de trayectorias de propagación seleccionadas (90);
 procesar el segundo alcance estimado del objetivo en la profundidad supuesta para proporcionar un segundo alcance resuelto del objetivo en la profundidad supuesta y un segundo par de trayectorias de propagación resueltas asociadas;
 35 asignar un segundo factor de probabilidad al segundo alcance resuelto; y seleccionar de entre el alcance resuelto y el segundo alcance resuelto.

3. El método de la Reivindicación 1, que además comprende:

suponer una segunda profundidad del objetivo;
 40 seleccionar un segundo par de trayectorias de propagación asociadas con la característica de correlación identificada y con la segunda profundidad supuesta;
 estimar un segundo alcance del objetivo en la segunda profundidad supuesta usando el segundo par de trayectorias de propagación seleccionadas;
 45 procesar el segundo alcance estimado del objetivo en la segunda profundidad supuesta para proporcionar un segundo alcance resuelto en la segunda profundidad supuesta;
 asignar un segundo factor de probabilidad al segundo alcance resuelto; y
 seleccionar de entre el alcance resuelto y el segundo alcance resuelto.

4. El método de la Reivindicación 1, que además comprende:

50 identificar una segunda característica de correlación en la señal de correlación;
 medir un parámetro de la segunda característica de correlación identificada;
 seleccionar un segundo par de trayectorias de propagación asociadas con la segunda característica de correlación y con la profundidad supuesta;
 55 estimar un segundo alcance del objetivo en la profundidad supuesta usando el segundo par de trayectorias de propagación seleccionadas;
 procesar el segundo alcance estimado del objetivo en la profundidad supuesta para proporcionar un segundo alcance resuelto del objetivo en la profundidad supuesta;
 60 asignar un segundo factor de probabilidad al segundo alcance resuelto; y
 seleccionar de entre el alcance resuelto y el segundo alcance resuelto.

5. El método de la Reivindicación 1, que además comprende:

65 generar una segunda correlación asociada con al menos una o más señales electrónicas para proporcionar una segunda señal de correlación;
 identificar una segunda característica de correlación en la segunda señal de correlación;

- medir un parámetro de la segunda característica de correlación identificada;
 seleccionar un segundo par de trayectorias de propagación asociadas con la segunda característica de correlación y con la profundidad supuesta;
 5 estimar un segundo alcance del objetivo en la profundidad supuesta usando el segundo par de trayectorias de propagación seleccionadas;
 procesar el segundo alcance estimado del objetivo en la profundidad supuesta para proporcionar un segundo alcance resuelto del objetivo en la profundidad supuesta;
 asignar un segundo factor de probabilidad al segundo alcance resuelto; y
 10 seleccionar de entre el alcance resuelto y el segundo alcance resuelto.
6. El método de la Reivindicación 1, en el que al menos uno de la generación de una correlación, la identificación de una característica de correlación, la suposición de una profundidad, o la selección de un par de trayectorias de propagación se repite para proporcionar al menos una de otra señal de correlación, otra características de correlación identificada, otra profundidad supuesta, u otro par de trayectorias de propagación seleccionadas, así como para proporcionar otro alcance estimado del objetivo, otro alcance resuelto del objetivo, y otro factor de probabilidad, en el que el proceso además comprende seleccionar de entre el alcance resuelto y el otro alcance resuelto.
7. El método de la Reivindicación 1, en el que la conversión de las señales sonoras a una o más señales electrónicas comprende la formación de haces para proporcionar una o más señales electrónicas asociadas con los respectivos haces acústicos, teniendo cada haz acústico un respectivo ángulo de haz, en el que el método además comprende:
 20 identificar al menos uno de un primer ángulo de llegada de la primera parte de señal sonora o un segundo ángulo de llegada de la segunda parte de señal sonora.
8. El método de la Reivindicación 7, en el que la selección de un par de trayectorias de propagación comprende:
 30 seleccionar un modelo de propagación de alcance estimado;
 identificar una primera trayectoria de propagación, usando el modelo de propagación de alcance estimado, que tiene un ángulo de llegada cercano a un ángulo de llegada asociado con un primer ángulo de haz;
 identificar una segunda trayectoria de propagación, usando el modelo de propagación de alcance estimado, que tiene un ángulo de llegada cercano a un ángulo de llegada asociado con un segundo ángulo de haz;
 35 calcular un primer alcance del objetivo en la profundidad supuesta a lo largo de la primera trayectoria de propagación identificada;
 calcular un segundo alcance del objetivo en la profundidad supuesta a lo largo de la segunda trayectoria de propagación identificada; y
 combinar el primer alcance con el segundo alcance para identificar el alcance estimado del objetivo en la profundidad supuesta.
9. El método de la Reivindicación 8, en el que el procesamiento del alcance estimado del objetivo comprende:
 40 seleccionar un modelo de propagación de resolución de alcance;
 45 identificar una primera trayectoria de propagación modificada, usando el modelo de propagación de resolución de alcance, que pasa a través del alcance estimado en la profundidad supuesta;
 identificar una segunda trayectoria de propagación modificada, usando el modelo de propagación de resolución de alcance, que pasa a través del alcance estimado en la profundidad supuesta;
 calcular una diferencia de tiempo de retardo entre la primera trayectoria de propagación modificada y la segunda trayectoria de propagación modificada;
 50 comparar la diferencia calculada de tiempo de retardo entre la primera trayectoria de propagación modificada y la segunda trayectoria de propagación modificada con un tiempo de retardo medido de la característica de correlación identificada; y
 mover el alcance estimado del objetivo en la profundidad supuesta a un alcance resuelto del objetivo en la profundidad supuesta de acuerdo con la comparación del tiempo de retardo, en el que el alcance resuelto del objetivo en la profundidad supuesta se asocia con una primera trayectoria de propagación resuelta que tiene un primer ángulo de trayectoria resuelta y una segunda trayectoria de propagación resuelta que tiene un segundo ángulo de trayectoria resuelta.
10. El método de la Reivindicación 9, en el que la asignación de un factor de probabilidad comprende al menos uno de:
 60 comparar el primer ángulo de trayectoria resuelta con el primer ángulo de llegada medido; o
 comparar el segundo ángulo de trayectoria resuelta con el segundo ángulo de llegada medido.
- 65 11. El método de la Reivindicación 1, en el que la selección de un par de trayectorias de propagación comprende:

seleccionar un modelo de propagación de alcance estimado;
 identificar una primera trayectoria de propagación de isovelocidad que tiene un primer ángulo de llegada de isovelocidad, usando un modelo de propagación de isovelocidad;
 5 identificar una segunda trayectoria de propagación de isovelocidad que tiene un segundo ángulo de llegada de isovelocidad, usando un modelo de propagación de isovelocidad;
 identificar una primera trayectoria de propagación, usando el modelo de propagación seleccionado, que tiene un ángulo de llegada cercano al primer ángulo de llegada de isovelocidad;
 10 identificar una segunda trayectoria de propagación, usando el modelo de propagación seleccionado, que tiene un ángulo de llegada cercano al segundo ángulo de llegada de isovelocidad;
 calcular un primer alcance del objetivo en la profundidad supuesta a lo largo de la primera trayectoria de propagación identificada;
 calcular un segundo alcance del objetivo en la profundidad supuesta a lo largo de la segunda trayectoria de propagación identificada; y
 15 combinar el primer alcance con el segundo alcance para identificar el alcance estimado del objetivo en la profundidad supuesta.

12. El método de la Reivindicación 11, en el que el procesamiento del alcance estimado del objetivo comprende:

seleccionar un modelo de propagación de resolución de alcance;
 20 identificar una primera trayectoria de propagación modificada, usando el modelo de propagación de resolución de alcance, que pasa a través del alcance estimado en la profundidad supuesta;
 identificar una segunda trayectoria de propagación modificada, usando el modelo de propagación de resolución de alcance, que pasa a través del alcance estimado en la profundidad supuesta;
 25 calcular una diferencia de tiempo de retardo entre la primera trayectoria de propagación modificada y la segunda trayectoria de propagación modificada;
 comparar la diferencia calculada de tiempo de retardo entre la primera trayectoria de propagación modificada y la segunda trayectoria de propagación modificada con un tiempo de retardo medido de la característica de correlación identificada; y
 30 mover el alcance estimado en la profundidad supuesta a un alcance resuelto del objetivo en la profundidad supuesta de acuerdo con la comparación del tiempo de retardo, en el que el alcance resuelto del objetivo en la profundidad supuesta se asocia con una primera trayectoria de propagación resuelta que tiene un primer ángulo de trayectoria resuelta y una segunda trayectoria de propagación resuelta que tiene un segundo ángulo de trayectoria resuelta.

35 13. El método de la Reivindicación 12, en el que la asignación de un factor de probabilidad comprende:

calcular un valor característico de una características calculada asociada con la primera y segunda trayectoria de propagación resuelta;
 40 medir un valor característico de una característica medida asociada con la señal sonora recibida; y
 comparar el valor característico calculado con el valor característico medido.

14. El método de la Reivindicación 13, en el que la característica medida comprende un seleccionado de una amplitud medida de la característica de correlación identificada, una fase medida de la característica de correlación identificada, o un tiempo de retardo medido de la característica de correlación identificada, y en el que la característica calculada comprende un seleccionado correspondiente de una amplitud calculada de una característica de correlación calculada, una fase calculada de la característica de correlación calculada, o un tiempo de retardo calculado de la característica de correlación calculada.

50 15. El método de la Reivindicación 1, en el que la asignación de un factor de probabilidad comprende:

calcular un valor característico de una características calculada asociada con la primera y segunda trayectoria de propagación resuelta;
 55 medir un valor característico de una característica medida asociada con la señal sonora recibida; y
 comparar el valor característico calculado con el valor característico medido.

16. El método de la Reivindicación 15, en el que la característica medida comprende un seleccionado de una amplitud medida de la característica de correlación identificada, una fase medida de la característica de correlación identificada, o un tiempo de retardo medido de la característica de correlación identificada, y en el que la característica calculada comprende un seleccionado correspondiente de una amplitud calculada de una característica de correlación calculada, una fase calculada de la característica de correlación calculada, o un tiempo de retardo calculado de la característica de correlación calculada.

17. El método de la Reivindicación 15, que además comprende:

65 combinar el factor de probabilidad y el alcance resuelto del objetivo en la profundidad supuesta para proporcionar un alcance localizado del objetivo y una profundidad localizada del objetivo.

18. Un sistema (403) para determinar un alcance y una profundidad de un objetivo submarino, que comprende:

5 al menos un transductor de sonido (432) adaptado para recibir una señal sonora del objetivo, en el que la señal sonora incluye una pluralidad de partes de señal sonora, propagándose cada una de las partes de señal sonora sobre una respectiva de una pluralidad de trayectorias de propagación, en el que dos trayectorias cualesquiera de propagación corresponden a un par de trayectorias de propagación, en el que al menos un sensor de sonido está adaptado para convertir la señal sonora en una o más señales electrónicas;

10 un procesador de correlación adaptado para generar una señal de correlación asociada con al menos una de una o más señales electrónicas;

un procesador de identificación de la característica de correlación (444) adaptado para identificar una característica de correlación en la señal de correlación;

un procesador de medición del parámetro de la característica de correlación (458) adaptado para medir un parámetro de la característica de correlación identificada y para generar valores de la característica de correlación medida;

15 **caracterizador por:**

un procesador de identificación del par de trayectorias (462) adaptado para suponer una profundidad del objetivo y adaptado para seleccionar un par de trayectorias de propagación asociadas con la característica de correlación identificada y con la profundidad supuesta;

20 un procesador de alcance estimado/profundidad supuesta (466) adaptado para estimar un alcance del objetivo en la profundidad supuesta usando el par de trayectorias de propagación seleccionadas;

un procesador de resolución de alcance (470) adaptado para procesar el alcance estimado del objetivo en la profundidad supuesta para proporcionar un alcance resuelto del objetivo en la profundidad supuesta y un primer par de trayectorias resueltas asociadas; y

25 un procesador de estimación de probabilidad (474) adaptado para asignar un factor de probabilidad al alcance resuelto del objetivo en la profundidad supuesta.

19. El sistema de la Reivindicación 18, en el que el procesador de conversión comprende un formador de haces (436, 448) adaptado para combinar una o más señales electrónicas para proporcionar uno o más haces acústicos.

20. El sistema de la Reivindicación 18, en el que el procesador de correlación comprende un procesador de correlación de cruce (452).

21. El sistema de la Reivindicación 18, en el que el procesador de correlación comprende un procesador de autocorrelación (440).

22. El sistema de la Reivindicación 18, en el que el parámetro medido de la característica de correlación identificada comprende un tiempo de retardo.

23. El sistema de la Reivindicación 18, que además incluye un procesador de localización (478) adaptado para combinar el factor de probabilidad y el alcance resuelto del objetivo en la profundidad supuesta para proporcionar un alcance localizado del objetivo y una profundidad localizada del objetivo.

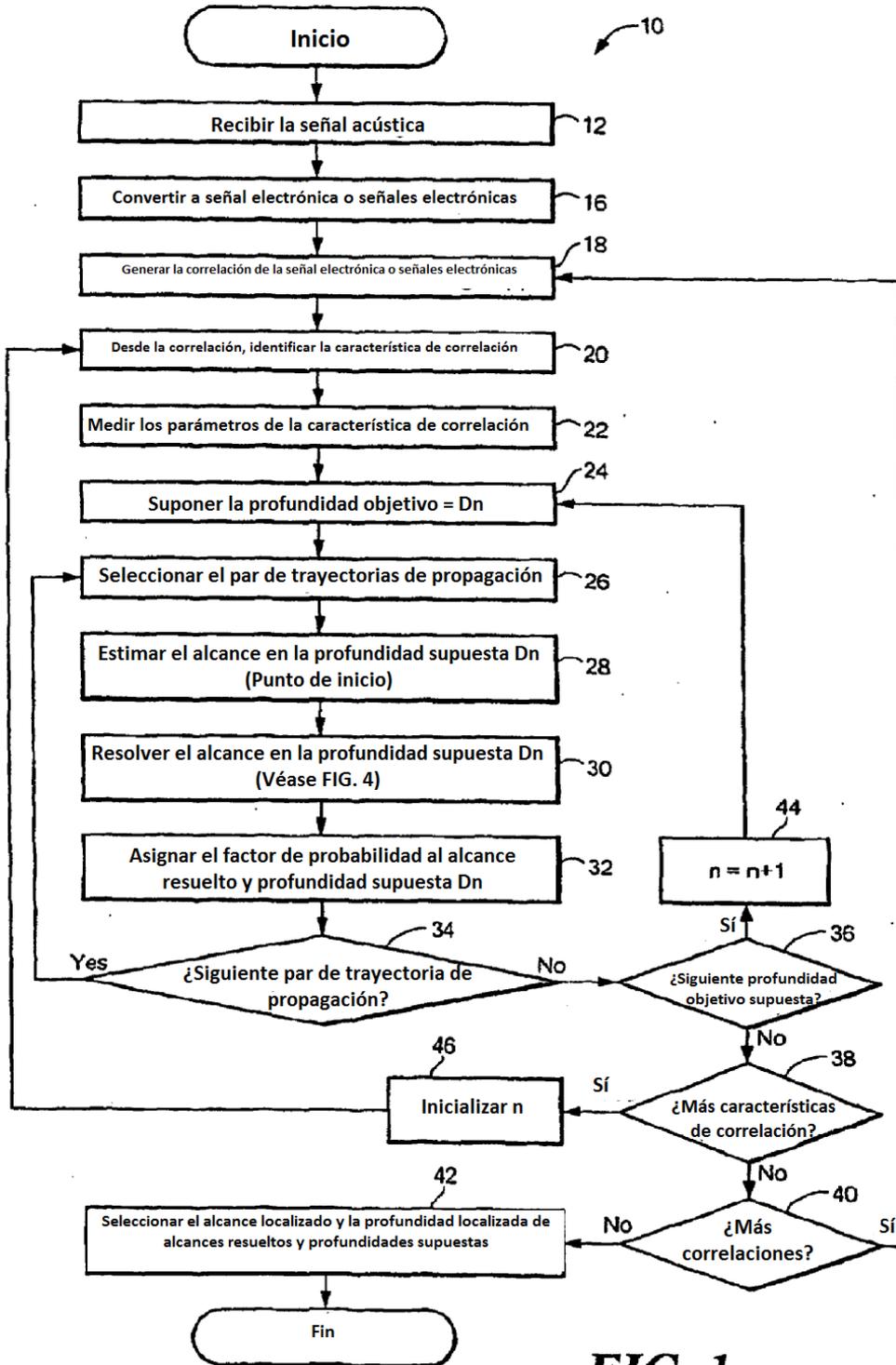


FIG. 1

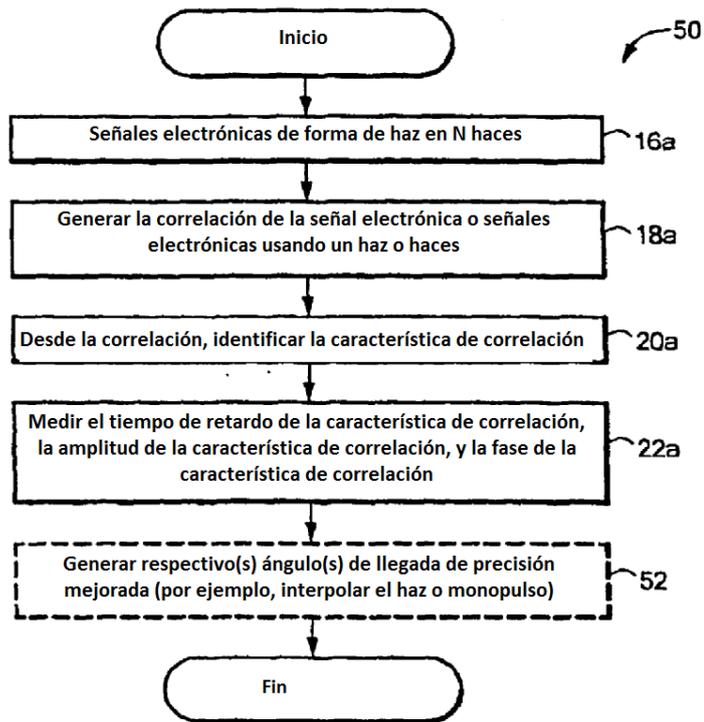


FIG. 2

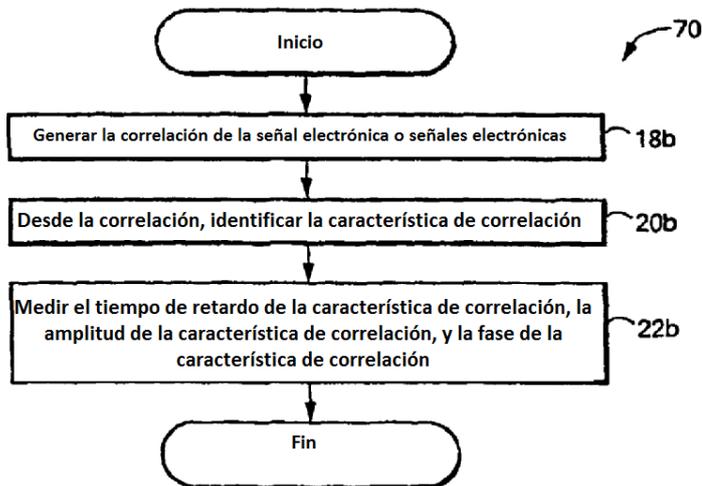


FIG. 2A

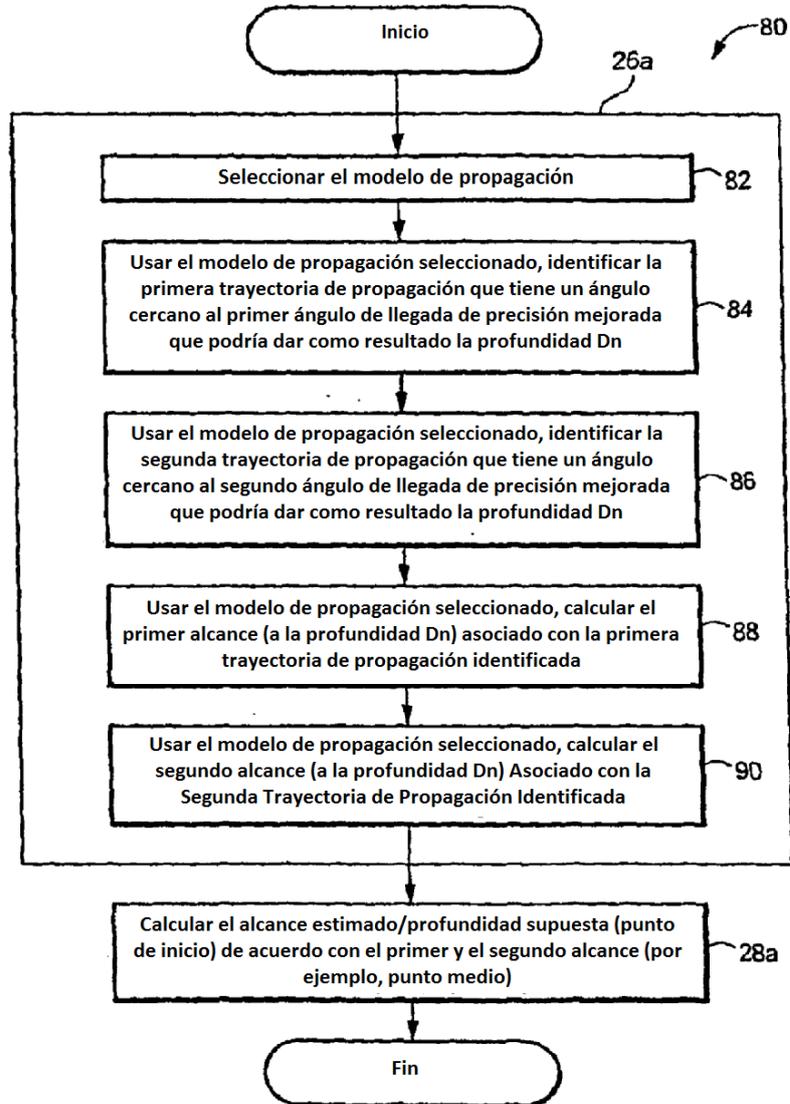


FIG. 3

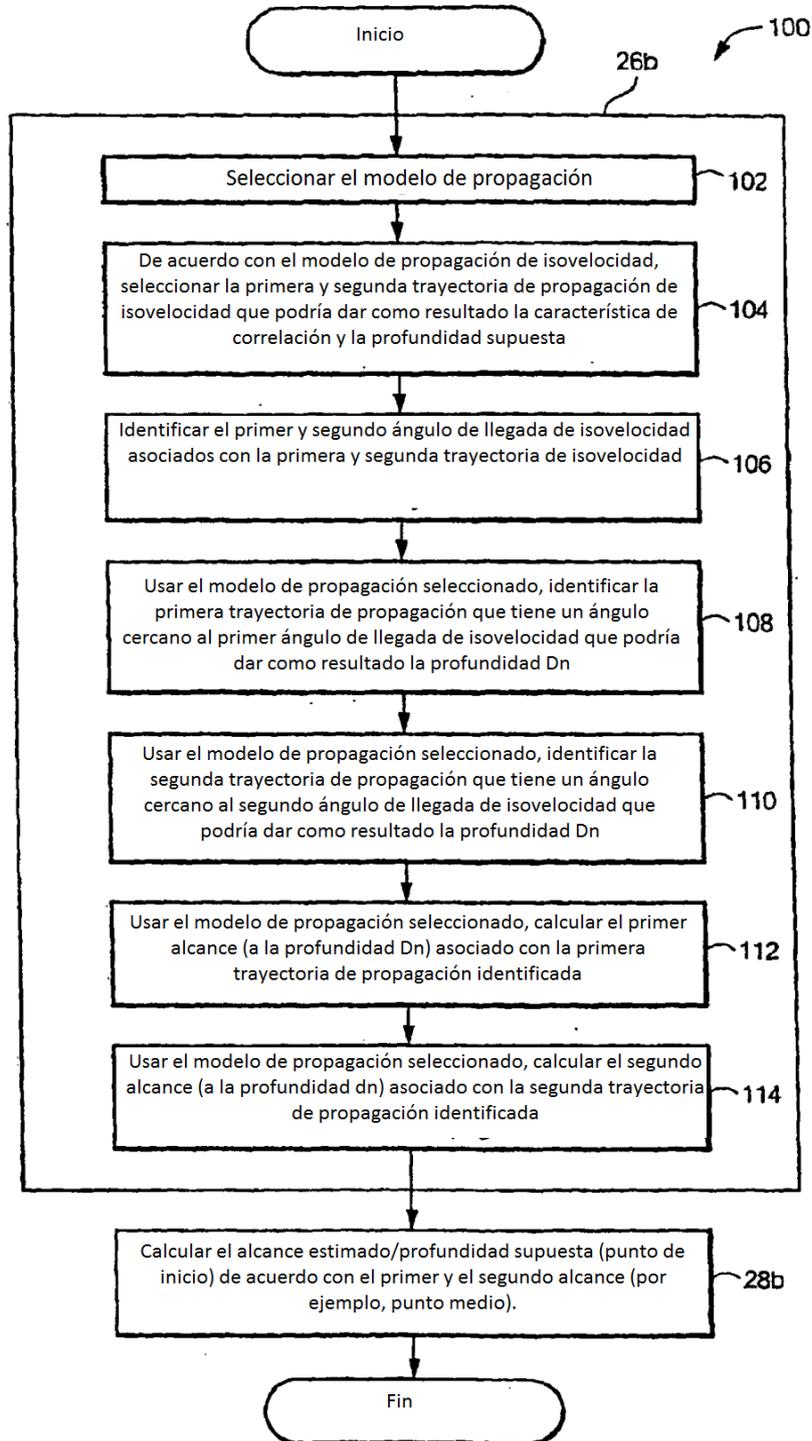


FIG. 3A

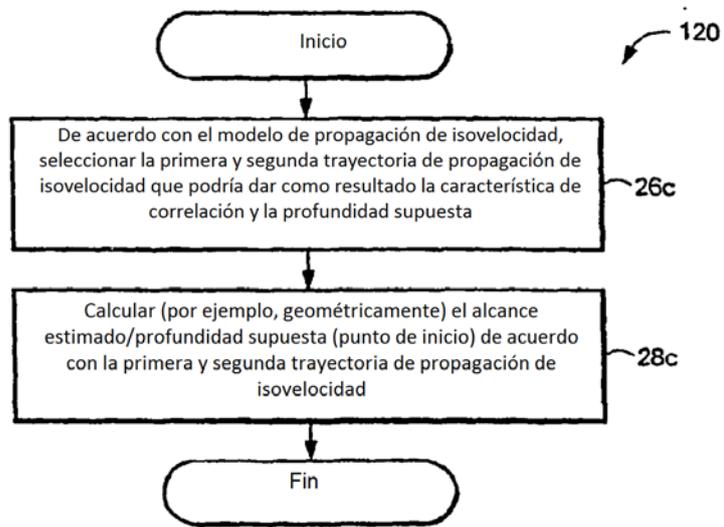


FIG. 3B

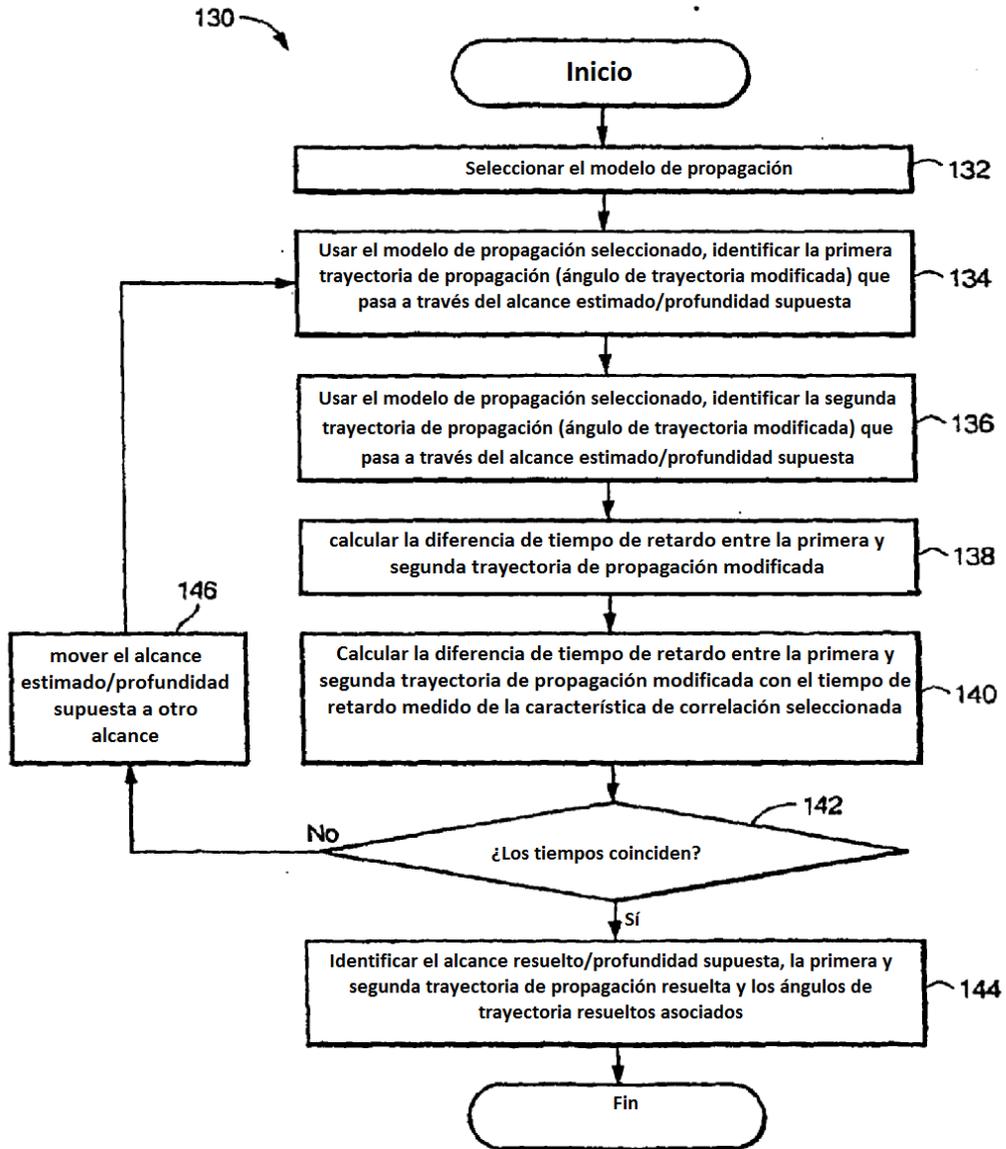


FIG. 4

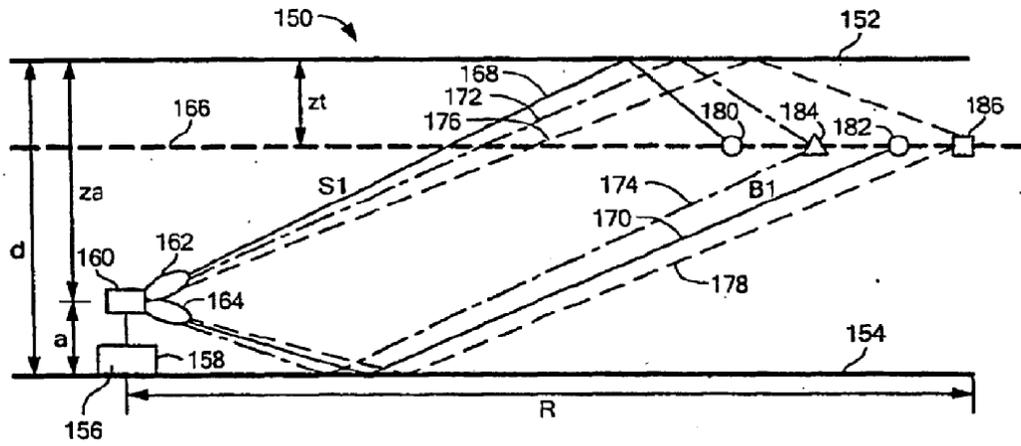


FIG. 5

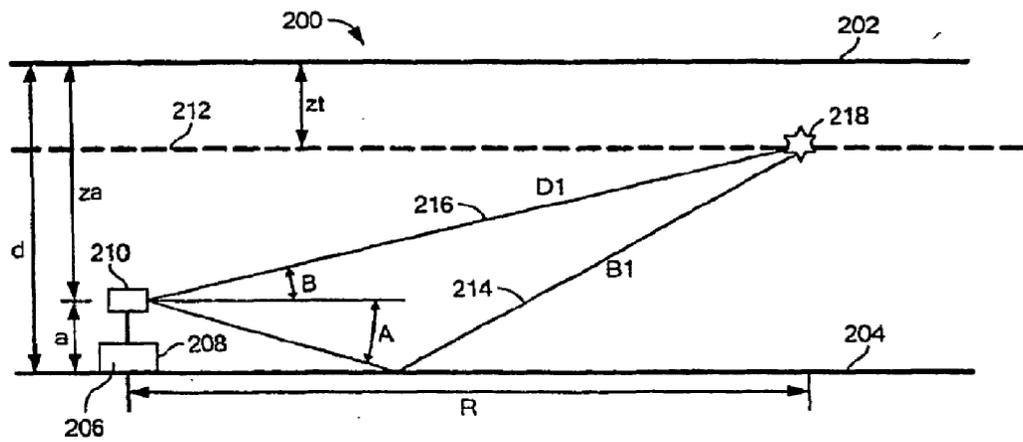


FIG. 6

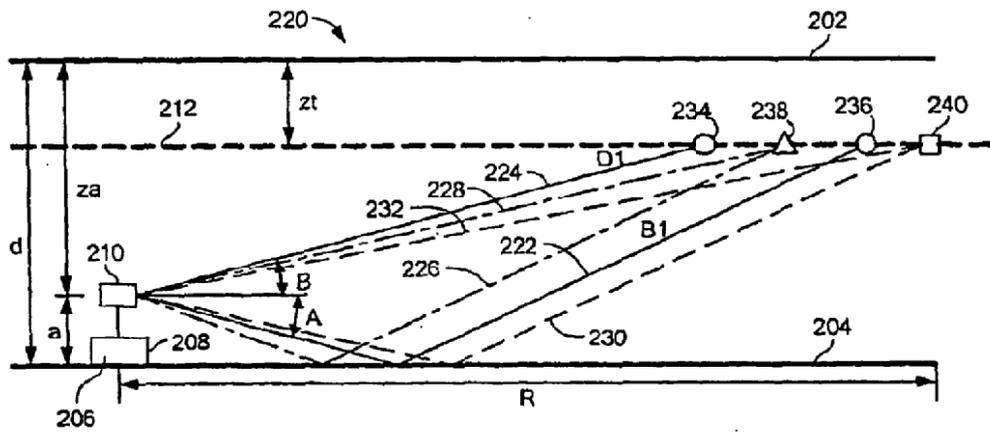


FIG. 6A

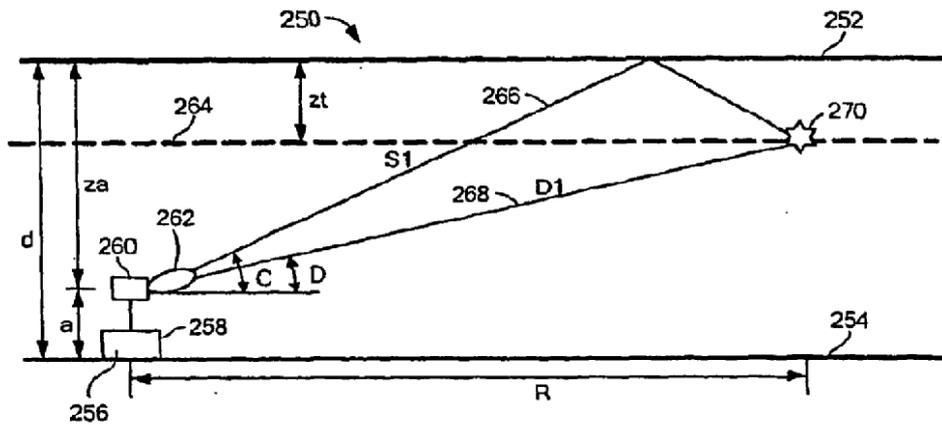


FIG. 7

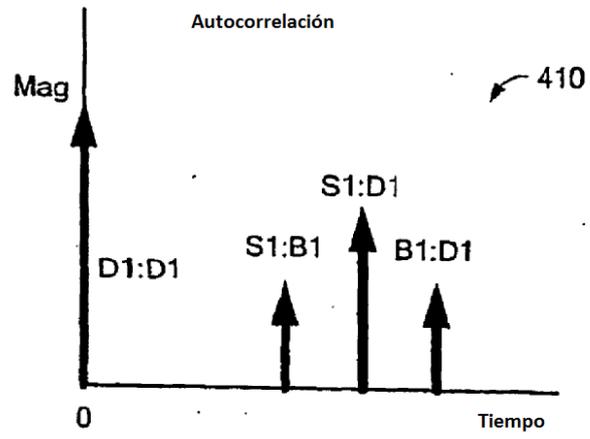


FIG. 10

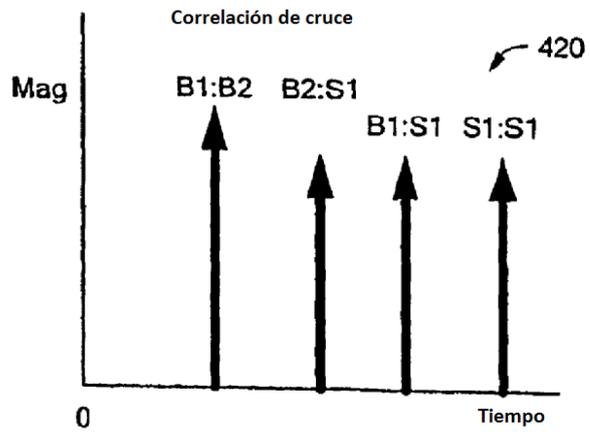


FIG. 11

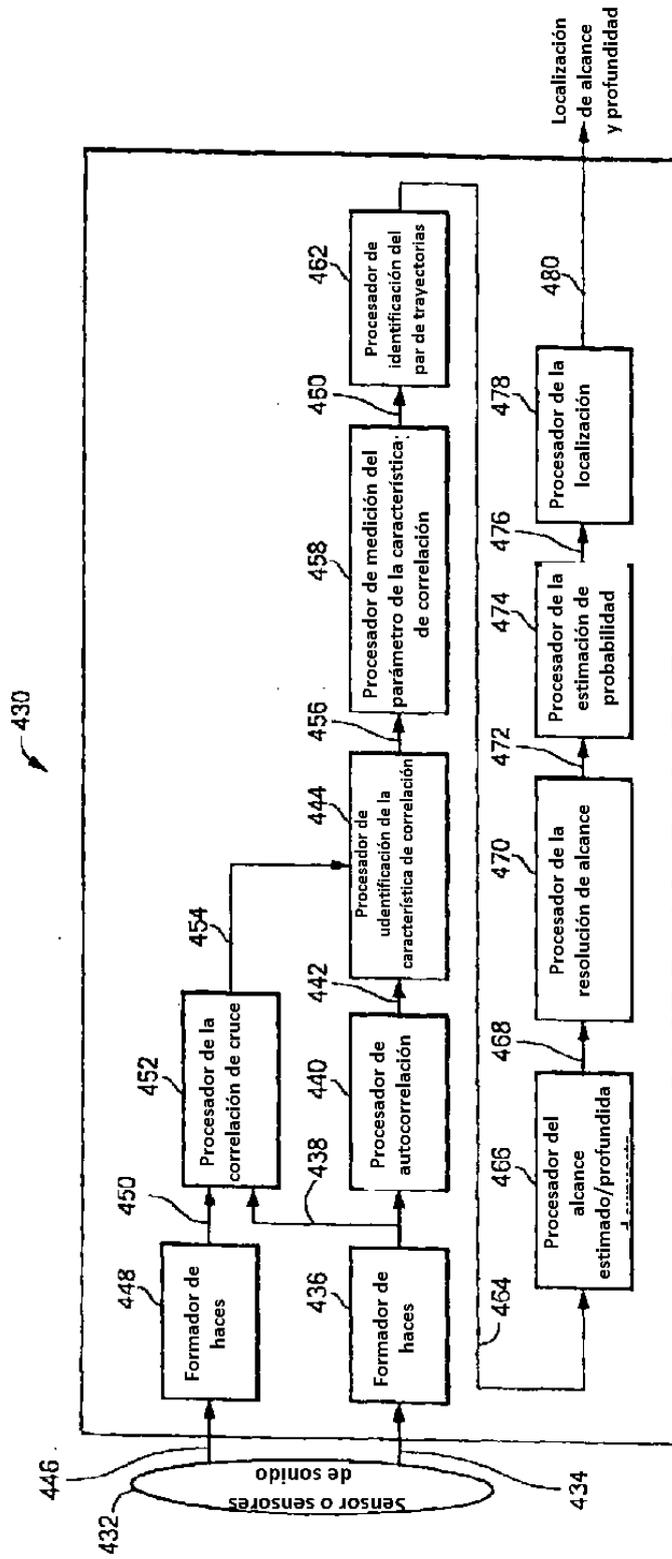


FIG. 12

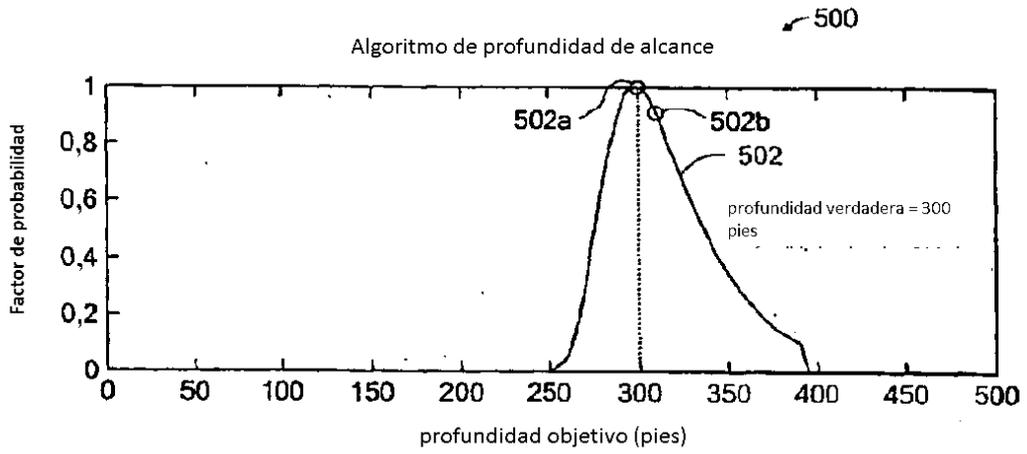


FIG. 13

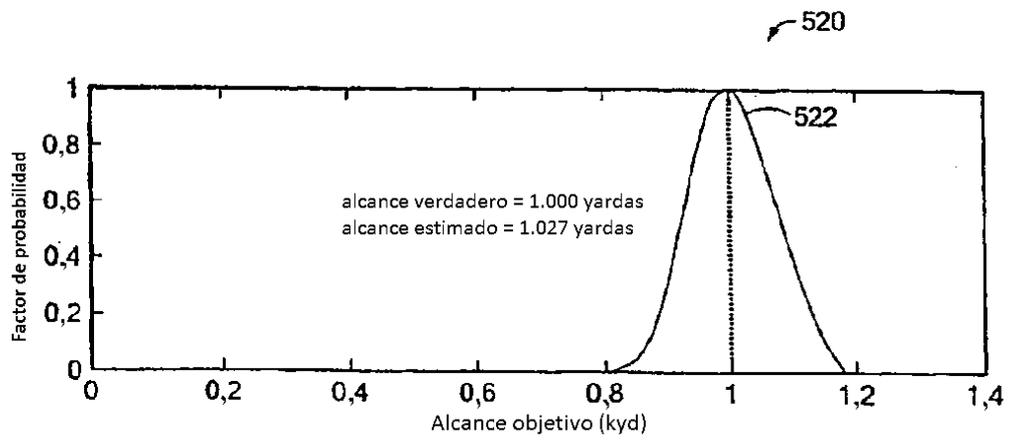


FIG. 14

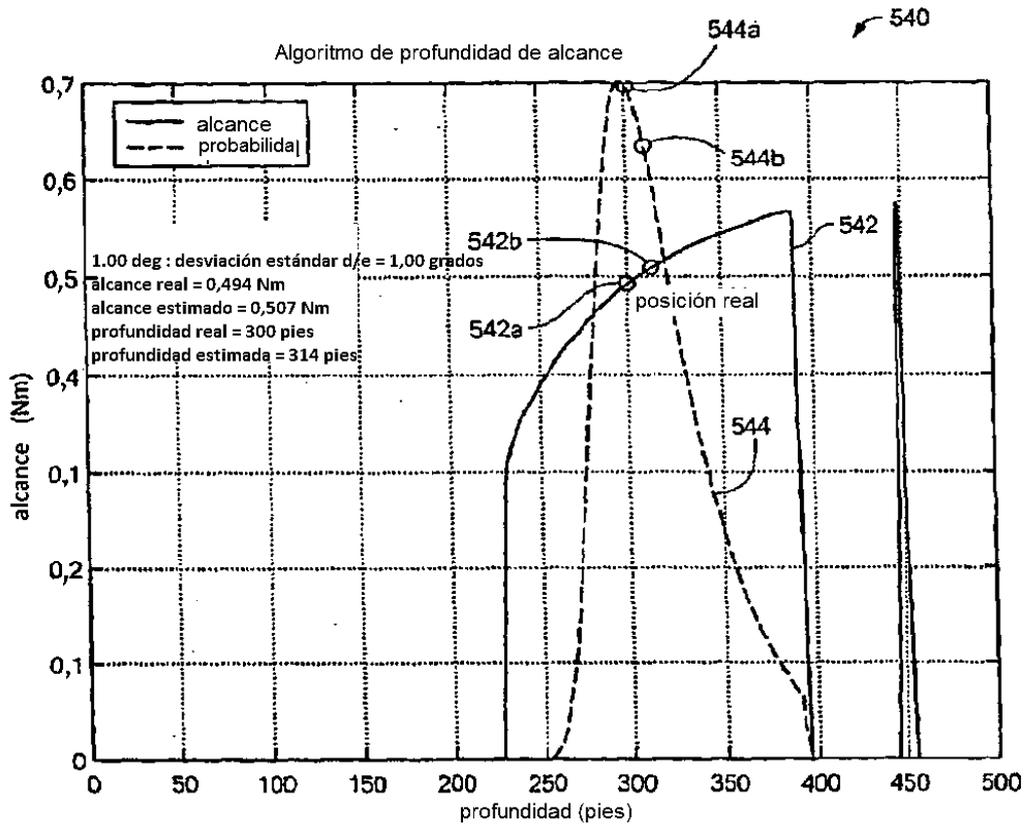


FIG. 15