

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 422 756**

51 Int. Cl.:

**G01S 3/86**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.03.2009 E 09719241 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.06.2013 EP 2263097**

54 Título: **Sistema y método de sonar autónomo**

30 Prioridad:

**12.03.2008 US 35870 P**

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

**13.09.2013**

73 Titular/es:

**RAYTHEON COMPANY (100.0%)  
870 Winter Street  
Waltham, MA 02451-1449, US**

72 Inventor/es:

**NOVICK, ARNOLD W.;  
JANIK, MICHAEL F.;  
MCHALE, THOMAS J.;  
ROZENFELD, ILYA;  
MCPHILLIPS, KENNETH J.;  
SHORT, JOHN R. y  
CASALEGNO, JAMES W.**

74 Agente/Representante:

**UNGRÍA LÓPEZ, Javier**

**ES 2 422 756 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

Sistema y método de sonar autónomo

5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere, en general, a sistemas y método de sonar y, más particularmente, a un sistema y método de sonar autónomo, que puede realizar un complejo procesamiento de señales de sonar sin ayuda humana.

10 **Antecedentes de la invención**

Se sabe que una embarcación bajo el agua (es decir, un submarino) genera sonido a medida que viaja a través del agua. El sonido es generado por una diversidad de fuentes, incluyendo, pero sin limitarse a, el sonido generado por un sistema de propulsión de submarinos, sonido generado por una hélice del submarino, y el sonido generado por un generador de energía eléctrica del submarino. Se sabe que los diseñadores de submarinos intentan reducir estas y otras fuentes de sonido con el fin de hacer que un submarino sea difícil de detectar por medios acústicos pasivos, manteniéndose por tanto tan encubierto como sea posible.

Algunos sistemas de sonares antisubmarina NAV (ASW) tratan de detectar el sonido bajo el agua generada por un submarino. Algunos otros sistemas de sonares ASW intentan tanto detectar el sonido como también localizar y/o hacer seguimiento del submarino. La localización se utiliza para identificar una posición del submarino enemigo en acimut, y/o en alcance, y/o en profundidad. Los sistemas convencionales que localizan y hacen seguimiento a una fuente de sonido requieren una cantidad sustancial de ayuda humana.

Algunos sistemas de sonares conocidos utilizan porciones autónomas. Por ejemplo, los sistemas de sonoboyas utilizan una o más sonoboyas, que son unidades de flotación libre autónomas, algunos tipos de los que son capaces de proporcionar el procesamiento de conformación de haces para generar haces de recepción. El documento US 5.305.286 enseña un sistema de sonar de aguas poco profundas para garantizar una cobertura completa de columna de agua por el uso de reflejos superficiales para minimizar la sombra causada por la topografía del fondo en relieve alto. Las sonoboyas convencionales proporcionan señales de salida representativas solamente del sonido en el agua, pero, no son capaces, por sí mismas, de detectar, localizar, hacer seguimiento, o clasificar dianas en el agua. Por otra parte, en general, el haz de recepción proporcionado por una sonoboya está estáticamente dirigido solo a los ángulos acimutal o vertical fijos.

Los sistemas de sonoboyas no solo incluyen la una o más sonoboyas autónomas, sino que también deben incluir otro activo, por ejemplo, una aeronave, con capacidades de procesamiento más avanzadas para recibir las señales procedentes de la una o más sonoboyas. Es el otro activo, por ejemplo, la aeronave, el que se configura para detectar, localizar, hacer seguimiento y clasificar las dianas. Dentro de la aeronave, la detección, localización, seguimiento y clasificación se realizan con ayuda humana sustancial.

Al igual que con los sistemas de sonoboyas, algunos sistemas de sonares pasivos convencionales a bordo pueden conformar haces, detectar, localizar, hacer seguimiento y clasificar un submarino. Sin embargo, estos sistemas no son autónomos y dependen de una gran cantidad de ayuda humana. Por ejemplo, un tipo de sistema de sonar a bordo de embarcaciones convencional puede conformar haces con un sistema de antenas acústicas, por ejemplo, un sonar de remolque, procesar parcialmente las señales conformadas por haces, y proporcionar en un monitor de ordenador una pantalla de visualización con la información parcialmente procesada. La pantalla de visualización puede tener una diversidad de formas. Una de estas formas de visualización es una pantalla de dominio de la frecuencia en cascada. Un operador humano puede detectar visualmente un submarino (es decir, hacer una detección y una clasificación) a través de la pantalla de visualización, por ejemplo, mediante el reconocimiento visual de patrones de línea espectrales representativos de una frecuencia de sonido de banda estrecha generada por el submarino. El operador humano puede entonces ayudar en la localización y el seguimiento del submarino.

Se apreciará que la identificación (detección) del submarino relativamente silencioso desde dentro de un gran número de embarcaciones relativamente ruidosas en la misma área puede ser un problema formidable. Adicionalmente, se apreciará que la localización, el seguimiento, y clasificación del submarino una vez detectado es también un problema formidable.

Aún a distancias relativamente cortas, la localización en profundidad y alcance no es posible generalmente con los sistemas de sonares pasivos convencionales, incluso con ayuda humana. Esto se debe a que para cualquier haz de recepción y ángulo vertical asociado que apunta hacia un submarino, el submarino se puede posicionar en un número esencialmente infinito de profundidades y alcances a lo largo del ángulo de dirección del haz vertical.

A alcances más largos, la localización del submarino en alcance y profundidad se hace aún más difícil por una diversidad de factores, incluyendo pero sin limitarse a, la tendencia del sonido generado por el submarino a doblarse (es decir, refractarse), principalmente en una dirección vertical, ya que el sonido se propaga a través del agua. Por lo tanto, el ángulo de llegada vertical, al que la mayor cantidad de sonido llega al sistema de sonar, que está

relacionado con un ángulo de haz vertical de recepción particular, no apunta necesariamente directamente hacia el submarino.

5 Con ayuda humana, (es decir, en disposiciones no autónomas) una diversidad de técnicas de procesamiento se utilizan por los sistemas de sonares pasivos convencionales. Por ejemplo, algunos sistemas de sonares pasivos utilizan el procesamiento espacial de banda estrecha. El procesamiento de campo coincidente de banda estrecha es una técnica conocida y utilizada para localizar un submarino en alcance y en profundidad. El procesamiento de banda estrecha requiere generalmente una gran larga matriz de sonar, lo que no es práctico para muchas aplicaciones. El procesamiento de campo coincidente de banda estrecha sufre también los efectos de la refracción de sonido descrita anteriormente.

15 En otro ejemplo, con la ayuda humana, algunos sistemas de sonares pasivos utilizan el procesamiento de banda ancha. El procesamiento de autocorrelación de banda ancha es una técnica conocida en la que una señal recibida por un elemento de sonar (es decir, transductor de sonar), o una matriz de sonar, se autocorrelaciona para identificar un retardo de tiempo relativo entre el sonido que llega al elemento de sonar en una trayectoria de sonido directa y el sonido que llega al elemento de sonar en una trayectoria de sonido reflejada en la superficie. El retardo de tiempo relativo se puede utilizar para calcular el alcance y la profundidad. Sin embargo, el rendimiento de esta técnica puede degradarse en gran medida en estados moderado a de alta mar (es decir, cuando la superficie marítima tiene olas de gran tamaño) debido a la dispersión del sonido reflejado desde la superficie, lo que hace que la autocorrelación se degrade.

25 Algunos sonidos en el agua tienden a modularse en amplitud por el campo de sonido emitido por las hélices de una embarcación. En particular, el sonido de banda ancha recibido por el sistema de sonar pasivo puede modularse en amplitud en una forma relacionada con las características de la hélice.

30 Para otro ejemplo adicional, algunos sistemas de sonares pasivos utilizan la modulación de amplitud del sonido recibido con el fin de identificar las características de la hélice, por ejemplo, velocidad de giro y el número de palas de la hélice. Con esta información, los sistemas de sonares pasivos, con ayuda humana, pueden ser capaces de clasificar el tipo de embarcación, incluyendo, pero sin limitarse a, si la embarcación es una embarcación de superficie o un submarino. El procesamiento puede ser de un tipo conocido como "detección de modulación de envolvente de ruido". Un tipo convencional de detección de modulación de envolvente de ruido se denomina convencionalmente como DEMON.

35 Además, algunos sistemas de sonares pasivos utilizan la conformación de haces adaptativa, donde se dirigen los haces de recepción para reducir su respuesta en las direcciones de las fuentes de ruido en el agua, por ejemplo, embarcaciones de superficie, que no son de interés.

40 Sería deseable proporcionar un sistema autónomo que pueda conformar haces de forma adaptativa, y también detectar, localizar, hacer seguimiento y clasificar el sonido generado por dianas en el agua, todo sin ayuda humana.

## Sumario de la invención

La invención se define en las reivindicaciones a las que se hace referencia a continuación.

45 El sistema y el método descritos anteriormente proporcionan disposiciones que pueden realizar autónomamente un procesamiento de señales acústicas de cantidad sustancial. El sistema y el método se pueden configurar para detectar, hacer seguimiento, clasificar y reportar autónomamente la presencia de dianas silenciosas, por ejemplo, dianas de submarinos, que puedan operar en áreas de tráfico denso.

## 50 Breve descripción de los dibujos

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

55 La Figura 1 es un dibujo pictórico que muestra dos disposiciones de despliegue ejemplares para una pluralidad de sistemas de sonares autónomos;

La Figura 2 es un dibujo pictórico de un sistema de sonar autónomo ejemplar antes de su despliegue en el agua que tiene un conjunto de procesamiento y una matriz de recepción acústica;

60 La Figura 2A es un dibujo pictórico de un sistema de sonar autónomo ejemplar como desplegado en el agua que tiene el conjunto de procesamiento y la matriz de recepción acústica de la Figura 2, que puede utilizarse como uno de los sistemas de sonares autónomos de la Figura 1;

La Figura 3 es un diagrama de bloques que muestra módulos de procesamiento que pueden estar dentro del conjunto de procesamiento de las Figuras 2 y 2A y que muestra también la matriz de recepción acústica de las Figuras 2 y 2A;

65 La Figura 4 es un diagrama pictórico de una matriz de recepción acústica ejemplar que se puede utilizar como la matriz de recepción acústica de las Figuras 2, 2A, y 3;

La Figura 5 es un gráfico que muestra un patrón de haces adaptativo que puede proporcionarse por los módulos de procesamiento de la Figura 3;

La Figura 6 es un gráfico que muestra un patrón de haces (adaptativo) alternativo que tiene un nulo más amplio que puede proporcionarse por los módulos de procesamiento de la Figura 3;

5 Las Figuras 7-14 son representativas de la estimación del ángulo de llegada vertical realizada por el sistema electrónico de la Figura 3;

La Figura 7 es un diagrama de bloques de un sistema acústico representativo de los aspectos del sistema de sonar autónomo de las Figuras 2, 2A, y 3;

La Figura 8 es un diagrama de flujo de un proceso para determinar los ángulos de llegada verticales del sonido generado por una diana, que puede ser representativo de una parte del procesamiento proporcionado por el sistema electrónico de la Figura 3;

10 La Figura 9 es un gráfico de un ejemplo de un primer haz de recepción y un segundo haz de recepción del sistema acústico de la Figura 7;

La Figura 10 es un gráfico de una autocorrelación de una primera señal acústica recibida por el primer haz de recepción de la Figura 9;

15 La Figura 11 es un gráfico de una correlación cruzada de la primera señal acústica recibida por el primer haz de la Figura 9 y una segunda señal acústica recibida por el segundo haz de recepción de la Figura 9;

La Figura 12 es un gráfico de las proporciones de tensión del primer haz de recepción de la Figura 9 y el segundo haz de recepción de la Figura 9 frente al ángulo;

20 La Figura 13 es un diagrama de bloques de un sistema de procesamiento ejemplar en el que el proceso de la Figura 8 puede implementarse (y en el que se puede implementar el sistema electrónico de la Figura 3, en general);

La Figura 14 es un diagrama de bloques del procesamiento para determinar un ángulo de llegada vertical;

25 Las Figuras 15-29 son representativas de la estimación de alcance y profundidad diana realizada por el sistema electrónico de la Figura 3;

La Figura 15 es un diagrama de flujo que muestra un proceso de determinación de un alcance y una profundidad de una diana bajo el agua;

La Figura 16 es un diagrama de flujo que muestra detalles adicionales del proceso de la Figura 15;

30 La Figura 16A es un diagrama de flujo que muestra detalles adicionales del proceso de la Figura 15 alternativos a los de la Figura 16;

La Figura 17 es un diagrama de flujo que muestra detalles adicionales del proceso de la Figura 15;

Las Figuras 17A y 17B son diagramas de flujo que muestran detalles adicionales del proceso de la Figura 15 alternativos a los de la Figura 17;

35 La Figura 18 es un diagrama de flujo que muestra aún más detalles sobre el proceso de la Figura 15;

La Figura 19 es un gráfico que muestra una disposición de conformación de haces que tiene dos trayectorias de sonido, para las que se utiliza una correlación cruzada;

La Figura 20 es un gráfico que muestra una disposición omnidireccional que tiene dos trayectorias de sonido, para las que se utiliza una autocorrelación;

40 La Figura 20A es un gráfico que muestra detalles adicionales de la disposición omnidireccional de la Figura 20;

La Figura 21 es un gráfico que muestra otra disposición de conformación de haces que tiene dos trayectorias de sonido, para las que se utiliza una autocorrelación;

La Figura 21A es un gráfico que muestra detalles adicionales de la disposición de conformación de haces de la Figura 20;

45 La Figura 22 es un gráfico que muestra otra disposición de conformación de haces que tiene dos trayectorias de sonido, para las que se utiliza una autocorrelación;

La Figura 23 es un gráfico que muestra una disposición omnidireccional que tiene dos trayectorias de sonido, para las que se utiliza una correlación cruzada;

La Figura 23A es un gráfico que muestra detalles adicionales de la disposición omnidireccional de la Figura 23;

50 La Figura 24 es un gráfico que muestra las características de correlación obtenidas por una autocorrelación;

La Figura 25 es un gráfico que muestra las características de correlación obtenidas por una correlación cruzada;

La Figura 26 es un diagrama de bloques de un sistema para determinar un alcance y una profundidad de una diana bajo el agua, que puede formar parte de los módulos de procesamiento de la Figura 3;

55 La Figura 27 es un gráfico que muestra una técnica para la búsqueda de una profundidad localizada de una diana bajo el agua;

La Figura 28 es un gráfico que muestra una técnica para la búsqueda de un alcance localizado de la diana bajo el agua;

La Figura 29 es un gráfico que muestra una técnica para la búsqueda de una profundidad y alcance localizados de la diana bajo el agua de acuerdo con el gráfico de la Figura 27;

60 Las Figuras 30-33 son representativas de una diversidad de tipos de procesamiento de "detección de modulación de envolvente de ruido", que pueden realizarse por el sistema electrónico de la Figura 3;

La Figura 30 es un diagrama de bloques que muestra un sistema que tiene un hidrófono omnidireccional, el sistema adaptado para realizar la detección de la modulación de envolvente en el procesamiento de ruido;

La Figura 31 es un diagrama de bloques que muestra un sistema que tiene dos hidrófonos omnidireccionales, el sistema adaptado para realizar la "detección de modulación de canal dual" (DCMD);

65 La Figura 31A es un diagrama de bloques que muestra un sistema que tiene dos matrices, el sistema adaptado

para realizar la detección de modulación de canal dual (DCMD);

La Figura 31B es un diagrama de bloques que muestra un sistema que tiene una matriz, el sistema adaptado para realizar la detección de modulación de canal dual (DCMD);

5 La Figura 32 es un diagrama de bloques que muestra una porción de un sistema adaptado para realizar la detección de modulación de canal dual (DCMD) y que tiene también un detector de característica y un procesador de asociación de retardos de multitrayectoria;

La Figura 32A es un diagrama de bloques que muestra detalles adicionales del detector de característica de la Figura 32; y

10 La Figura 33 es una serie de gráficos que muestran espectros de frecuencia asociados con el sistema de la Figura 32.

### Descripción detallada de la invención

15 Antes de describir el sistema y método de sonar autónomo, se explican algunos de los conceptos introductorios y terminología. Se sabe que el sonido puede viajar a través del agua en las denominadas "trayectorias de propagación", que pueden ser trayectorias no rectas, en particular cuando las trayectorias de propagación se extienden a lo largo de distancias apreciables, por ejemplo, millas. Las trayectorias de propagación se pueden modelar con modelos de propagación. Algunos modelos de propagación asumen que el sonido viaja en trayectorias de propagación rectas. Estos modelos son a menudo referidos como modelos de isovelicidad, ya que suponen que

20 el sonido viaja a la misma velocidad del sonido en todas las profundidades del agua. Otros modelos de propagación, no asumen que el sonido viaja en trayectorias de propagación rectas. Estos modelos, que se conocen como modelos de "trazado de rayos" pueden utilizarse, a veces, para predecir con mayor 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 de una diana bajo el agua. Otros modelos de propagación cumplen la función equivalente, pero son menos convenientes computacionalmente.

Como también se sabe, el sonido que viaja bajo el agua a menudo puede tomar más de una trayectoria de propagación. Por ejemplo, el sonido puede tomar una trayectoria de propagación directa desde una fuente de sonido hasta un receptor de sonido. Los sonidos también pueden viajar hacia arriba desde la fuente de sonido, en una denominada "trayectoria reflejada desde el fondo," que se refleja (o dispersa) de la superficie del agua y viaja hacia abajo hasta el receptor de sonido. El sonido también puede viajar hacia abajo desde la fuente de sonido, en una denominada "trayectoria reflejada desde el fondo", que se refleja (o dispersa) desde el fondo de la balsa de agua y viaja hacia arriba hasta el receptor de sonido. El sonido también puede tomar una diversidad de otras trayectorias de propagación, que tienen, por ejemplo, tanto una superficie como un reflejo (o dispersión) de fondo o más de una

35 superficie y un reflejo (o dispersión) de fondo.

Aunque existen un gran número de trayectorias de propagación de sonido entre una 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 mayormente de las trayectorias de sonido dominantes. En particular, debido a que el sonido tiende a perder intensidad cada vez que se refleja o dispersa de la superficie o del fondo, las trayectorias de propagación con la intensidad de sonido más fuerte cuando se reciben en un receptor de sonido tienden a ser la trayectoria directa, la trayectoria reflejada desde la superficie, y la trayectoria reflejada desde el fondo. Sin embargo, una trayectoria reflejada de superficie a fondo y una trayectoria reflejada desde el fondo a superficie pueden también considerarse, así como trayectorias con múltiples contactos limitantes.

45 Un submarino, cuando viaja a través del agua, genera sonido de un sistema de propulsión, de una hélice, de una planta de energía eléctrica, y de las vibraciones inducidas por el flujo. El sonido puede tener una diversidad de características espectrales, tanto de banda estrecha como de banda ancha, que son representativas del tipo de diana (por ejemplo, embarcación de superficie, submarino, etc.). Aunque los sistemas y las técnicas descritas a continuación se describen junto con generadores de sonido bajo el agua, por ejemplo, un submarino, los sistemas y técnicas no se limitan a la acústica de agua, sino que también se aplican a la acústica de aire y generadores de sonido sobre la superficie del agua, por ejemplo, una aeronave.

50 Como se utiliza en el presente documento, la expresión "analyzer de espectro" se utiliza para describir un circuito o algoritmo de software, que recibe una señal en el dominio del tiempo y que genera una señal asociada en el dominio de la frecuencia. Un analyzer de espectro puede incluir una diversidad de circuitos continuos o circuitos discretos (por ejemplo, circuitos digitales) o algoritmos. Por ejemplo, el analyzer de espectro puede incluir un módulo de transformación de Fourier discreto (DFT), que puede, en algunas disposiciones, ser un módulo de transformación de Fourier rápido (FFT). Se reconocerá que el módulo de DFT puede generar un espectro de frecuencia. En otras disposiciones, el analyzer de espectro puede incluir uno o más módulos de multiplicación, cada uno de que se adapta para multiplicar la señal de dominio del tiempo por una señal sinusoidal respectiva, lo que resulta en una o más señales de producto respectivas. En algunas disposiciones particulares, el analyzer de espectro puede incluir al menos dos módulos de multiplicación, el primero de los cuales se adapta para multiplicar la señal de dominio del tiempo por una señal sinusoidal, lo que resulta en una primera señal de producto, y otro de los cuales se adapta para multiplicar la señal de dominio del tiempo por una señal de coseno, lo que resulta en una segunda señal de producto. Un experto en la materia reconocerá que la primera y segunda señales de productos se pueden combinar

para generar una magnitud y una fase de una frecuencia dentro de la señal de dominio del tiempo, donde la frecuencia es la frecuencia de las señales de seno y coseno. Mediante la realización de una pluralidad de tales multiplicaciones, se puede generar un espectro de frecuencia.

5 Haciendo referencia ahora a la Figura 1, dos campos desplegados 12, 16 de los sistemas de sonares autónomos se muestran. El campo 12 se dispone con una separación más próxima entre los sistemas de sonares autónomos individuales que el campo 16.

10 Al comparar el campo más estrechamente espaciado 12 con el campo más escasamente espaciados 16, se debe apreciar que puede haber una probabilidad relativamente alta de que al menos uno de los sistemas de sonares autónomos dentro del campo más estrechamente espaciado 12 detecte un submarino 10 que atraviesa el campo 12, en comparación con una probabilidad relativamente baja de que al menos uno de los sistemas de sonares autónomos dentro del campo más escasamente espaciado 16 detecte el submarino 14 (que tiene la misma generación de sonido que el submarino 10) que atraviesa el campo más grande 16.

15 Seleccionando las separaciones entre los sistemas de sonares autónomos dentro de un campo de sistemas de sonares autónomos, y seleccionando el número de los sistemas de sonares autónomos dentro del campo de los sistemas de sonares autónomos (y por lo tanto, el tamaño del campo), es posible seleccionar una probabilidad de detección de un submarino que atraviesa el campo de los sistemas de sonares autónomos.

20 De este modo, barreras con una alta probabilidad acumulada de detección, de las que el campo 12 es representativo, pueden desplegarse. También, áreas más grandes, con una densidad más escasa de sensores pero que al mismo tiempo alcanzan una alta probabilidad acumulada de detección, pueden desplegarse, de las que el campo 16 es representativo. Cada disposición de implementación se puede configurar para un tipo diferente de misión.

25 La selección de la disposición del campo de despliegue está también disponible para algunos sistemas de sonares convencionales. Por ejemplo, una selección de este tipo puede hacerse al desplegar sonoboyas convencionales. Como se ha descrito anteriormente, las sonoboyas convencionales, que se despliegan desde el aire, dependen de otros activos, por ejemplo, una aeronave (por ejemplo, un avión P3) configurados para implementar tanto las sonoboyas como también para recibir señales de radio transmitidas continuamente desde cada sonoboya dentro de un campo de sonoboyas. Por lo tanto, la aeronave debe estar relativamente cerca de las sonoboyas. Las señales de radio son indicativas de las señales acústicas individuales recibidas por las sonoboyas. Las sonoboyas pueden ser capaces de generar haces de recepción acústicos, pero las sonoboyas no proporcionan ningún procesamiento adicional (por ejemplo, no hay detecciones, no hay localizaciones, no hay seguimiento, no hay clasificaciones). En su lugar, la aeronave se configura para procesar las señales de radio indicativas de las señales acústicas en una diversidad de maneras, con sustancial ayuda humana.

30 Será evidente a partir de la siguiente descripción que cada uno de los sistemas de sonares autónomos dentro de los campos 12, 16 se configura para generar una pluralidad de haces de recepción acústicos para recibir sonido bajo el agua, para detectar dianas ruidosas, para conformar adaptativamente los haces de recepción acústicos para evitar dianas ruidosas de poco interés, para detectar dianas silenciosas, para localizar las dianas ruidosas y silenciosas detectadas en relación con el alcance, rumbo, y profundidad, para generar seguimientos diana de las dianas ruidosas y silenciosas, para clasificar las dianas ruidosas y silenciosas en una diversidad de formas, y proporcionar informes sobre las dianas ruidosas y silenciosas sometidas a seguimiento a una estación de recepción de destino, todo sin ayuda humana.

35 Como se utiliza en el presente documento, la expresión "diana ruidosa" se refiere a un generador de sonido relativamente fuerte en el agua que se recibe por un receptor. Una diana ruidosa es generalmente una embarcación de superficie. Sin embargo, una diana ruidosa también puede ser un submarino en estrecha proximidad con el receptor o un submarino que viaja a alta velocidad. Tal como se utiliza aquí, la expresión "diana silenciosa" se refiere a un generador de sonido relativamente tranquilo en el agua que se recibe por un receptor. Una diana silenciosa a menudo será un submarino. Sin embargo, una diana silenciosa también puede ser una embarcación de superficie que viaja a baja velocidad o a una larga distancia desde el receptor. Las expresiones diana ruidosa y diana silenciosa se utilizan como expresiones relativas en el presente documento, donde una diana ruidosa da como resultado una potencia acústica más recibida que una diana silenciosa.

40 Con esta disposición, los campos 12, 16 de los sistemas de sonares autónomos pueden funcionar durante largos períodos de tiempo sin recibir activos en el área. De vez en cuando, un activo, por ejemplo, una aeronave, una embarcación de superficie, o un satélite, puede acercarse a los campos 12, 16 y recibir los informes mencionados anteriormente. Otras disposiciones de comunicaciones que implican equipos acústicos, por radiofrecuencia (RF) u ópticos o combinaciones de tales equipos también son posibles.

45 Haciendo referencia ahora a la Figura 2, un sistema de sonar autónomo 20 se muestra antes de su despliegue en el agua puede incluir una cubierta cilíndrica externa 22, un módulo de flotación para soportar un módulo electrónico 28, y un carrete de cable que retiene una longitud de cable 30. El sistema de sonar autónomo 20 puede incluir también

una matriz de recepción acústica 32 acoplada al módulo electrónico 28 a través del cable 30.

La matriz de recepción acústica 32 puede tener una pluralidad de hidrófonos, aquí se muestran como pequeños cilindros. En algunas disposiciones, cada uno de los hidrófonos tiene un patrón de haces de recepción sustancialmente omnidireccionales.

El sistema de sonar autónomo 20 puede incluir también una batería 38 y otro carrete de cable 36 que retiene otra longitud de cable 34. El cable 34 puede acoplar la batería 38 a la matriz de recepción acústica 32 y al módulo electrónico 26.

Haciendo referencia ahora a la Figura 2A, el sistema de sonar autónomo 20a se muestra en una configuración desplegada, en la que los cables 30 y 34 están desplegados. En algunas disposiciones, el carrete de cable 38 y la batería 36 pueden permanecer dentro de la carcasa cilíndrica exterior 22. En algunas disposiciones, una vez desplegada, la carcasa cilíndrica exterior 22 se encuentra en el fondo del océano y el módulo de flotación 24 está por debajo de la superficie marítima.

En otras disposiciones, el módulo de flotación 24 está en la superficie marítima. En otras disposiciones, la carcasa cilíndrica exterior 22 se aleja, dejando el carrete de cable 36 y la batería 38 suspendidos fuera del fondo del océano.

Debe tenerse en cuenta que puede haber una diversidad de disposiciones del sistema de sonar autónomo 20, 20a, antes y después de su despliegue, algunas disposiciones más adecuadas para aguas poco profundas y algunas más adecuadas para aguas profundas. Otras disposiciones del sistema de sonar 20, 20a incluyen, pero no se limitan a, los sensores de la deriva (por ejemplo, sonoboyas) o disposiciones desplegadas en o desde plataformas móviles o fijas.

Haciendo referencia ahora a la Figura 3, un sistema electrónico 50 puede ser representativo de la electrónica en el módulo electrónico 26 de las Figuras 2 y 2A, en combinación con una matriz de recepción acústica 52, que puede ser la misma que o similar a la matriz de recepción acústica 32 de las Figuras 2 y 2A. Se debe reconocer que el sistema electrónico 50 y los módulos de procesamiento asociados de la Figura 3 pueden implementarse en cualquier combinación de instrucciones de software y hardware. Por otra parte, se debe apreciar que cualquiera de los procesos que se muestran a continuación por medio de diagramas de flujo o sistemas que se muestran a continuación por medio de diagramas de bloques puede implementarse en cualquier combinación de instrucciones de software y hardware.

Como se ha descrito anteriormente en relación con las Figuras 2 y 2A, la matriz de recepción acústica 52 puede tener una pluralidad de hidrófonos, y cada hidrófono puede tener un patrón de haces sustancialmente omnidireccionales. La pluralidad de hidrófonos puede proporcionar una pluralidad respectiva de señales de hidrófonos 54, cada una de las que puede ser una señal analógica. Un búfer 56 se puede acoplar para recibir la pluralidad de señales de hidrófonos 54, para convertir la pluralidad de señales de hidrófonos en señales digitales de hidrófonos, y para almacenar temporalmente las señales de hidrófonos digitalizadas en una memoria intermedia de búfer. El búfer 56 puede proporcionar la pluralidad de señales de hidrófonos digitalizadas 58.

El sistema electrónico 50 puede incluir también un conformador de haces verticales 60 acoplado para recibir la pluralidad de señales de hidrófonos digitalizadas 58 y configurado para formar una pluralidad de haces de recepción verticales 62. La pluralidad de haces de recepción verticales 62 es representativa de una pluralidad respectiva de haces de recepción acústicos sobre la matriz de recepción 52, cada haz de los cuales es no direccional en acimut y direccional en elevación.

Otro búfer 64 se puede configurar para almacenar temporalmente la pluralidad de haces de recepción verticales 62 en una memoria intermedia de búfer y para proporcionar una pluralidad respectiva de las señales de haces de recepción verticales 66.

El sistema electrónico 50 puede incluir un módulo de procesamiento de diana ruidosa 68 configurado para operar durante un primer periodo de tiempo y un módulo de procesamiento de diana silenciosa 126 configurado para operar durante un segundo periodo de tiempo. En algunas disposiciones, el primer y segundo periodos de tiempo se producen periódicamente y de forma secuencial, uno tras otro. En otras disposiciones, el primer y segundo periodos de tiempo se producen generalmente en paralelo. El primer y segundo periodos de tiempo pueden no tener los mismos intervalos de tiempo. Se entenderá a partir de la siguiente descripción que el módulo de procesamiento de diana ruidosa 68 procesa generalmente dianas ruidosas (por ejemplo, embarcaciones de superficie) y que el módulo de procesamiento de diana silenciosa 126 procesa generalmente dianas silenciosas (por ejemplo, submarinos).

El módulo de procesamiento de diana ruidosa 68 puede incluir un conformador de haces acimutales 70 acoplado para recibir la pluralidad de haces de recepción verticales 66 y configurado para proporcionar una pluralidad de haces de recepción direccionales 76. La pluralidad de haces de recepción direccionales 76 son representativas de una pluralidad respectiva de haces de recepción acústicos sobre la matriz de recepción 52, cada haz de los cuales es direccional en acimut y también direccional en elevación.

Se entenderá que es deseable que la pluralidad de señales de haces de recepción direccionales 76 se identifiquen como la dirección con respecto a un sistema de coordenadas fijo, por ejemplo el sistema de coordenadas de la tierra. También se entenderá que la matriz de recepción 52 puede tender a girar alrededor de un eje vertical respecto a la tierra, lo que tendería a hacer que los haces de recepción acústicos direccionales descritos  
 5 anteriormente, cuyas señales de haces de recepción direccionales 76 son representativas, giren también. Haciendo referencia de nuevo brevemente a la Figura 2A, se entenderá que la matriz de recepción 32 puede girar alrededor de un eje de los cables 30, 34.

Con referencia de nuevo a la Figura 3, es por lo tanto deseable incluir una brújula electrónica 101, que se puede acoplar físicamente a la matriz de recepción 52 (32 de la Figura 2A), y que puede detectar una posición de giro de la  
 10 matriz de recepción 52 en relación con la tierra.

La brújula 101 puede proporcionar una señal de brújula 101a para el conformador de haces acimutales 70. Con esta disposición, cada una de las señales de haces de recepción direccionales 76 puede estar relacionada con el sistema de coordenadas de la tierra, lo que en última instancia puede dar como resultado el conocimiento de la dirección del acimut en relación con la tierra de cualquiera de las dianas detectadas posteriores.  
 15

En algunas disposiciones, las señales de haces de recepción direccionales 76 son simplemente etiquetadas con la información de dirección de acimut indicativa de sus direcciones que apuntan al acimut en relación con la tierra. Sin embargo, en otras disposiciones, las señales de haces de recepción direccionales 76 se pueden corregir en la dirección que apunta al acimut con respecto a la tierra por el conformador de haces acimutales 70.  
 20

El conformador de haces acimutales puede ser un conformador de haces de peso fijo que tiene coeficientes de formación de haces predeterminados o puede ser un conformador de haces adaptativo, similar a un conformador de haces acimutales adaptativo 128 que se describe con más detalle a continuación.  
 25

Un módulo de detección de diana ruidosa puede identificar (es decir, detectar) dianas ruidosas dentro de la pluralidad de señales de haces de recepción direccionales 76. En cualquier momento, el módulo de detección de diana ruidosa puede detectar dianas ruidosas en algunas de las señales de haces de recepción direccionales 76, en ninguna de las señales de haces de recepción direccionales 76, o en todas las señales de haces de recepción direccionales 76, dependiendo de tráfico de embarcaciones próximo a la matriz de recepción 52.  
 30

Las detecciones generadas por el módulo de detección de diana ruidosa 78 se pueden realizar en una diversidad de maneras. Por ejemplo, en una disposición particular, el módulo de detección de diana ruidosa se configura para realizar el análisis de frecuencia de banda estrecha sobre cada una de la pluralidad de señales de haces de recepción direccionales 76 con el fin de detectar dianas ruidosas. Con esta disposición, el módulo de detección de diana ruidosa 78 puede convertir primero las señales de haces de recepción direccionales 76 de dominio del tiempo en el dominio de la frecuencia, por ejemplo, por medio de los respectivos transformadores de Fourier rápidos. El módulo de detección de diana ruidosa 78 puede generar el umbral de las señales del dominio de la frecuencia resultantes para identificar las líneas espectrales de banda estrecha que son indicativas de las fuentes de fuertes sonidos acústicos.  
 35  
 40

En otras disposiciones, el módulo de detección de diana ruidosa 78 se configura para realizar el análisis de banda ancha de cada una de la pluralidad de señales de haces de recepción direccionales 76 con el fin de detectar dianas ruidosas. Con esta disposición, el módulo de detección de diana ruidosa 78 puede convertir primero las señales de haces de recepción direccionales 76 del dominio del tiempo en el dominio de la frecuencia, por ejemplo, por medio de los respectivos transformadores de Fourier rápidos. El módulo de detección de diana ruidosa 78 puede calcular una potencia total dentro de las bandas anchas seleccionadas de las señales del dominio de la frecuencia resultantes para identificar los niveles de presión sonora, que son indicativos de las fuentes de fuertes sonidos acústicos.  
 45  
 50

En algunas otras disposiciones, el módulo de detección de diana ruidosa 78 se configura para realizar tanto el análisis de banda estrecha como de banda ancha de cada una de la pluralidad de señales de haces de recepción direccionales 76 con el fin de detectar dianas ruidosas. Los ejemplos anteriores son solamente algunos de los procesamientos que podría realizarse por el módulo de detección de diana ruidosa 78 con el fin de detectar las dianas ruidosas. Se podría utilizar una diversidad de técnicas convencionales.  
 55

Como se ha descrito anteriormente, la señales de haces de recepción direccionales 76 a partir de las que se realizan las detecciones por el módulo de detección de diana ruidosa 78, se pueden etiquetar con información de la dirección del acimut con respecto al sistema de coordenadas de la tierra, o corregirse de otra manera con respecto al sistema de coordenadas de la tierra. Por lo tanto, el módulo de detección de diana ruidosa 78 se puede configurar para realizar no sólo detecciones de las dianas ruidosas, sino también para identificar las direcciones de acimut de las dianas ruidosas en relación con la tierra.  
 60

La información de detección de dianas ruidosas 80 se proporciona a un módulo de matriz de covarianza 84, que se acopla también para recibir las señales de haces de recepción verticales 66. El módulo de matriz de covarianza 84  
 65



se configura para generar una matriz de covarianza "sintética" 102 (y, opcionalmente, la matriz de covarianza de muestra habitual 72) asociada con la señales de haces de recepción verticales 66. La generación de una matriz de covarianza de muestra habitual 72 se entenderá por los expertos en la materia. El módulo de matriz de covarianza 84 se puede configurar también para modificar (o adaptar) la matriz de covarianza 102 de acuerdo con la información de detección de dianas ruidosas 80 de manera que la matriz de covarianza 102 sea una matriz de covarianza adaptada o modificada.

En una realización, la matriz de covarianza modificada 102 se forma mediante la colocación de dos fuentes "sintéticas" muy ruidosas, en las direcciones L1 y L2 a cada lado de una diana ruidosa conocida, alejadas a una pequeña distancia angular (típicamente 1 grado). La amplitud de estas fuentes se hace extremadamente grande. La matriz de covarianza se forma utilizando productos exteriores de vectores de las direcciones de giro, por ejemplo,  $V_{L1}V_{L1}^H$ , y  $V_{L2}V_{L2}^H$ . Se añade ruido blanco (la matriz de identidad) para hacer que la matriz sea invertible. La matriz de covarianza "sintética" 102 resultante es:

15 y la matriz de covarianza inversa es:

$$R_x = I + aV_{L1}V_{L1}^H + aV_{L2}V_{L2}^H$$

$$H = R_x^{-1}$$

20 La matriz de covarianza inversa se puede determinar utilizando la inversión de matriz Lemma u otros métodos. Al hacer la amplitud, a, de las fuentes sintéticas muy grande, la anchura angular del patrón de haces resultante puede hacerse arbitrariamente pequeña de modo que su efecto pasa desapercibido excepto cuando el conformador de haces está apuntando directamente a las fuentes "sintéticas".

25 Se entenderá que en última instancia es deseable poder apuntar los nulos de los haces de recepción acústicos direccionales representados por algunas otras señales de haces de recepción direccionales (por ejemplo, las señales de haces de recepción direccionales que se describen a continuación junto con el módulo de procesamiento de diana silenciosa 126 ) hacia las dianas ruidosas detectadas de modo que las dianas silenciosas en direcciones fuera de los nulos pueden ser detectadas y no verse abrumadas por altos niveles de presión sonora de las dianas ruidosas. El procesamiento de las dianas silenciosas se describe más adelante junto con la descripción del módulo de procesamiento de diana silenciosa 126.

30 El módulo de detección de diana ruidosa 78 proporciona la detección y la dirección de la información de detección 82 a un módulo de detección de modulación de envolvente de ruido (DEMON) 86, a un módulo de estimación de ángulos de llegada verticales 88, y a un módulo de estimación de rumbo/alcance/profundidad/nivel recibido 90. El módulo de detección de modulación de envolvente de ruido (DEMON) 86, el módulo de estimación de ángulos de llegadas verticales 88 y el módulo de estimación de rumbo/alcance/profundidad/nivel recibido 90 se acoplan también para recibir las señales de haces de recepción direccionales 76. Aunque se indica que el módulo de detección de modulación de envolvente de ruido 86 es un módulo DEMON, no es necesario que el módulo de detección de modulación de envolvente de ruido 86 realice solamente el procesamiento DEMON convencional.

40 El módulo de detección de modulación de envolvente de ruido 86 se describe con mayor detalle en relación con las Figuras 30-33. El módulo de estimación de ángulos de llegada verticales 88 se describe más completamente a continuación en relación con las Figuras 7-14. El módulo de estimación de rumbo/alcance/profundidad/nivel recibido 90 se describe más completamente a continuación en relación con las Figuras 15-29.

45 El módulo de detección de modulación de envolvente de ruido 86 puede ser del tipo descrito en la solicitud de patente de Estados Unidos número 12/040.123, titulada "Sistemas y métodos para la detección y análisis de modulación de amplitud del sonido bajo el agua", presentada el 29 de febrero de 2008. El módulo de estimación de ángulos de llegada verticales 88 puede ser de un tipo descrito en la en la solicitud de patente de Estados Unidos número 11/683.712, titulada "Determinación de ángulos de llegada utilizando múltiples trayectorias", presentada el 8 de marzo de 2007. El módulo de estimación de rumbo/alcance/profundidad/nivel recibido 90 puede ser del tipo descrito en la patente de Estados Unidos número 7.315.488, titulada "Métodos y sistemas para el alcance pasivo y localización de profundidad", publicada el 1 de enero de 2008. Todas las solicitudes de patente y patentes anteriores se asignan al cesionario de la presente invención.

50 Baste aquí decir que el módulo de estimación de ángulos de llegada verticales 88 se configura para identificar los ángulos de llegada dominantes y asociados de sonido procedentes de las diana en el agua y para proporcionar información del ángulo de llegada vertical 90 al módulo de estimación de rumbo/alcance/profundidad/nivel recibido 90. Como se ha descrito anteriormente, el sonido generado por una diana puede llegar a la matriz de recepción 52 a partir de una pluralidad de ángulos de llegada verticales, cada uno correspondiente a una trayectoria diferente de sonido a través del agua, pero cada uno asociado con la misma diana.

5 Baste decir aquí también que el módulo de estimación de rumbo/alcance/profundidad/nivel recibido 90 se configura para identificar un alcance y una profundidad de una diana ruidosa asociada a la información del ángulo de llegada vertical 90. Debido a las diferentes trayectorias de sonido en las que el sonido se propaga bajo el agua, la identificación de un alcance a una diana puede ser un problema particularmente difícil. Se debe reconocer que una profundidad de diana que se identifica que está por debajo de la superficie marítima es muy probablemente un submarino.

10 El módulo de estimación de rumbo/alcance/profundidad/nivel recibido 90 se puede configurar también para recibir la información de detección y de rumbo 82 del módulo de detección de diana ruidosa 78 y para procesar aún más la información de haces direccionales 76, por ejemplo, utilizando técnicas de interpolación haces o similares, para identificar los rumbos acimutales más precisos de las dianas ruidosas detectadas.

15 El módulo de estimación de rumbo/alcance/profundidad/nivel recibido 90 se puede configurar también para identificar un nivel de la presión sonora recibida asociado con una diana ruidosa.

Adicionalmente, baste decir aquí que el módulo de detección de modulación de envolvente de ruido 86 puede detectar una modulación del ruido del océano asociado con una hélice de una diana ruidosa. Esta información puede ser utilizada para clasificar una diana como un submarino o de una embarcación de superficie.

20 En algunas disposiciones, el módulo de detección de modulación de envolvente de ruido 86, el módulo de estimación de llegada vertical 88 y el módulo de estimación de rumbo/alcance/profundidad/nivel recibido 90 pueden iniciar sus procesamientos respectivos tras la detección de una diana ruidosa por el módulo de detección de diana ruidosa 78, con el fin de procesar la información asociada con las dianas ruidosas detectadas.

25 Volviendo ahora al módulo de procesamiento de diana silenciosa 126, el módulo de procesamiento de diana silenciosa 126 tiene muchos elementos similares o iguales al módulo de procesamiento de diana ruidosa 68. Sin embargo, el módulo de procesamiento de diana silenciosa tiene el conformador de haces acimutales adaptativo 128, que puede ser diferente del conformador de haces acimutales 70. El conformador de haces acimutales adaptativo 128 se acopla para recibir la matriz de covarianza modificada 102 descrita anteriormente del módulo de matriz de covarianza 84. Los valores de la matriz de covarianza modificada 102 pueden ser utilizados por el conformador de haces acimutales adaptativo 128 para dirigir los nulos de las señales haces de recepción direccionales 130 adaptivamente resultantes hacia las dianas ruidosas detectadas por el módulo de detección de diana ruidosa 78.

30 El conformador de haces 128 puede utilizar un peso de conformación de haces,  $w$ , que es el producto de un factor de escala,  $b$ , una matriz hermitiana,  $H$ , calculada por el módulo de matriz de covarianza 80 y el vector de dirección  $V_s$ . El factor de escala,  $b$ , se puede seleccionar para producir una respuesta plana en todas las direcciones de giro cuando se aplica a un campo de datos de ruido blanco para los que una matriz de covarianza es la matriz de identidad  $I$ .

40 
$$w = bHV_s = \frac{HV_s}{\sqrt{V_s^H H H V_s}}$$

Por lo tanto, el procesamiento posterior por el módulo de procesamiento de diana silenciosa 126 se ve menos abrumado por las dianas ruidosas, por lo que las dianas silenciosas pueden ser detectadas y procesadas.

45 Del mismo modo, el conformador de haces acimutales 70, en algunas realizaciones, puede recibir la matriz de covarianza de muestra habitual 72, y adaptar sus haces utilizando conformación de haces de respuesta sin distorsión de varianza mínima (MVDR) o métodos similares.

50 El módulo de procesamiento de diana silenciosa 126 incluye un módulo de detección de diana silenciosa 132 que opera sobre las señales de haces de recepción direccionales adaptativas 130 de la misma manera que el módulo de detección de diana ruidosa 78 opera sobre las señales de haces de recepción direccionales 76.

55 Un módulo de detección de diana silenciosa 132, un módulo de detección de modulación de envolvente de ruido 148, un módulo de estimación de ángulos de llegada vertical de 144 y un módulo de estimación de rumbo/alcance/profundidad/nivel recibido 136 operan utilizando las señales de haces de recepción direccionales adaptativas 130 en lugar de las señales de haces de recepción direccionales 76, pero son por el contrario los mismos que o similares al módulo de detección de modulación de envolvente de ruido 86, al módulo de estimación de ángulos de llegada verticales 188, y al módulo de estimación de rumbo/alcance/profundidad/nivel recibido 92, respectivamente.

60 En algunas disposiciones, el módulo de detección de modulación de envolvente de ruido 148, el módulo de estimación de llegada vertical 144 y el módulo de estimación de rumbo/alcance/profundidad/nivel recibido 136 pueden iniciar su procesos correspondientes tras la detección de una diana silenciosa por el módulo de detección de diana silenciosa 132, con el fin de procesar la información relacionada con las dianas silenciosas detectadas.

El módulo de estimación de rumbo/alcance/profundidad/nivel recibido 90 puede proporcionar información de alcance y rumbo 94 asociada con las dianas ruidosas detectadas en un módulo de detección 2-D configurado para procesar la información de alcance y rumbo 94 asociada con las dianas ruidosas detectadas para identificar alguna información alcance y un rumbo dentro de la información de rumbo y alcance 94 que tiene la calidad suficiente para su posterior procesamiento. En una disposición particular, con el fin de identificar la calidad de alcance y rumbo, el módulo de detección 2-D se configura para generar seguimientos bidimensionales (alcance y rumbo) de dianas asociadas con la información de alcance y rumbo 94. Seguimientos de dianas bidimensionales que son suficientemente estables (es decir, tienen fluctuación de dirección (ruido) por debajo de un umbral de fluctuaciones predeterminado, y que no son ambiguos) se pueden considerar como aceptables para su posterior procesamiento.

Del mismo modo, el módulo de estimación de rumbo/alcance/profundidad/nivel recibido 136 puede proporcionar información de distancia y rumbo 138 asociada con las dianas silenciosas detectadas en el módulo de detección 2-D, que se configura para procesar la información de alcance y rumbo 138 asociada con las dianas silenciosas detectadas para identificar alguna información de alcance y rumbo dentro de la información de alcance y rumbo 138 que tiene la calidad suficiente para su posterior procesamiento sustancialmente de la misma manera descrita anteriormente.

Seguimientos bidimensionales de buena calidad 106 (alcance y rumbo) asociadas tanto con dianas ruidosas como silenciosas se reciben por un módulo de seguimiento 3-D 108, que se acopla también para recibir información de profundidad de diana del módulo de estimación de rumbo/alcance/profundidad/nivel recibido 90 y del módulo de estimación de rumbo/alcance/profundidad/nivel recibido 136. El módulo de seguimiento 3-D 108 se configura para generar seguimientos tridimensionales (alcance, rumbo, y profundidad) de todas o algunas de las dianas ruidosas y silenciosas detectadas por el módulo de detección de diana ruidosa 78 y por el módulo de detección de diana silenciosa 132.

Un módulo de procesamiento de datos 112 se acopla para recibir seguimientos tridimensionales 110 desde el módulo de seguimiento 3-D 108, para recibir información del alcance y del nivel de presión sonora recibida 98 del módulo de estimación de rumbo/alcance/profundidad/nivel recibido 90, y recibir información del alcance y del nivel de presión sonora recibida 142 del módulo de estimación de rumbo/alcance/profundidad/nivel recibido 136.

El módulo de procesamiento de datos 112 puede incluir un módulo de modelo de propagación 114, que puede procesar trayectorias de propagación con un modelo de isovelocidad y/o con un modelo de trazado de rayos. El modelo de propagación del módulo 114 se configura para revertir el cálculo para estimar el nivel de presión acústica en las dianas detectadas ruidosas y silenciosas en comparación con el nivel de presión sonora recibido en la matriz de recepción 52. Se reconocerá que el nivel de presión sonora de la fuente puede ser indicativo del tipo de diana, por ejemplo, submarino o embarcación de superficie.

El módulo de detección de modulación de envolvente de ruido 86 puede proporcionar frecuencias y amplitudes asociadas con la velocidad de la hélice (y el número de palas en la hélice), denominado en el presente documento como información de ruido desmodulada 100, asociadas con rumbos de dianas ruidosas al módulo de procesamiento de datos 112. Del mismo modo, el módulo de detección de modulación de envolvente de ruido 148 puede proporcionar información de ruido desmodulada 146 asociada con rumbos de dianas silenciosas al módulo de procesamiento de datos 112.

El módulo de procesamiento de datos 112 puede pasar la información de ruido desmodulada 100, 148 las tres seguimientos de diana tridimensionales 110, y los niveles de presión sonora de la fuente calculados como una señal combinada 116 a un módulo de clasificación y presentación de informes 118. El módulo de clasificación y presentación de informes 118 puede al menos clasificar a las dianas como los submarinos que tienen seguimientos que están por debajo de la superficie del océano. Adicionalmente, el módulo de clasificación y presentación de informes 118 puede utilizar otra información para clasificar a las dianas, por ejemplo, nivel de presión sonora de la fuente, velocidad de seguimiento, dirección de seguimiento, e información de ruido desmodulada (por ejemplo, velocidad de la pala de la hélice). Aunque no se muestra acoplado para mayor claridad, el módulo de clasificación y presentación de informes 118 puede recibir información de detección del módulo de detección de dianas ruidosas 78 e información de detección del módulo de detección de dianas silenciosas 132, que pueden utilizar el procesamiento de banda estrecha o de banda ancha y que pueden identificar líneas espectrales de banda estrecha o regiones de frecuencia de banda ancha de alto nivel de la fuente asociado las dianas detectadas ruidosas y silenciosas. El módulo de clasificación y presentación de informes 118 puede utilizar esta información para clasificar a las dianas como submarinos o embarcaciones de superficie y tipos de embarcaciones. El módulo de clasificación y presentación de informes 118 también puede asignar probabilidades a cada una de sus clasificaciones.

El módulo de clasificación y presentación de informes 118 puede reunir la información de ruido desmodulada 100, 146, los seguimientos de diana tridimensionales 110, la información de detección 82, 134, y los niveles de presión sonora de la fuente calculados dentro de la señal combinada 116, junto con las decisiones de clasificación y junto con probabilidades calculadas de precisiones de clasificación en los informes 120 acoplados a un módulo de comunicaciones 122.

- 5 El módulo de comunicaciones 122 puede funcionar para enviar los informes 124 a otro activo. En algunas disposiciones, el módulo de comunicaciones 122 puede enviar los informes 124 a través de un enlace de radio frecuencia a una aeronave, barco, o vía satélite. En algunas otras disposiciones, el módulo de comunicaciones 122 puede enviar los informes 124 a través de un enlace acústico submarino a una embarcación u otro nodo de comunicaciones. Otras disposiciones también son posibles.
- 10 Se reconocerá que todo el procesamiento asociado con el sistema electrónico 50 se realiza sin ayuda humana y sin decisiones humanas. Por lo tanto, el sistema electrónico 50 es capaz de detectar dianas, localizar dianas, hacer seguimiento a las dianas en tres dimensiones, y clasificar las dianas.
- 15 Haciendo referencia ahora a la Figura 4, una realización de matriz de recepción acústica 170 que se puede utilizar como la matriz de recepción 52 de la Figura 3 incluye una pluralidad de "duelas" verticales, una duela 172 de las cuales es sólo un ejemplo. Cada duela vertical puede incluir una pluralidad de hidrófonos, de los cuales un hidrófono 174 es sólo un ejemplo.
- 20 La matriz de recepción acústica 170 es esencialmente un tipo de matriz volumétrica, de las que hay muchos, con muchas disposiciones de hidrófonos. Se reconocerá que una matriz volumétrica es particularmente adecuada para conformar haces que son direccionales tanto en acimut como en elevación.
- 25 Haciendo referencia ahora a la Figura 5, un gráfico 200 incluye un eje vertical en unidades de decibelios y un eje horizontal que tiene unidades de ángulos en grados, que pueden ser grados verticales o acimutales. Una curva 202 es representativa de un patrón de haces (verticales u horizontales) de un haz de recepción acústico asociado con una de las señales de haces de recepción direccionales 76 de la Figura 3. La curva 202 tiene un nulo 204.
- 30 Haciendo referencia ahora a la Figura 6, un gráfico 210 incluye un eje vertical en unidades de decibelios y un eje horizontal que tiene unidades de grados angulares, que pueden ser grados verticales o acimutales, al igual que el gráfico de la Figura 5. Una curva 212 es el patrón de haces de OFA representativo de un haz de recepción acústico adaptado asociado con una de las señales de haces de recepción direccionales 130 de la Figura 3. La curva 212 tiene un nulo 214 formado mediante la colocación de dos fuentes "sintéticos" muy ruidosas, en las direcciones L1 y L2 a cada lado de una diana ruidosa conocida a una pequeña distancia angular alejada, como se ha descrito anteriormente. Se apreciará que el nulo 214 se produce en un ángulo ligeramente diferente que el nulo 2045 de la Figura 5. El nulo 214 se adapta también para tener una anchura de nulo más amplia que el nulo 204. La anchura de nulo más amplia del nulo 214 se puede lograr, por ejemplo, mediante el uso de la matriz de covarianza "sintética" 102 como entrada al procesamiento del conformador de haces acimutales adaptativo 128 de la Figura 3.
- 35 Los módulos de estimación de ángulos de llegada verticales 88, 144 de la Figura 3 se describen más completamente a continuación en relación con las Figuras 7-14. Se reconocerá que la estimación de ángulos de llegada verticales que se describe más adelante junto con las Figuras 7-14 es un método de estimación de los ángulos de llegada verticales a partir de una única matriz con múltiples haces verticales. Si se emplea un sistema con receptores o matrices de recepción separados verticalmente, las estimaciones de ángulos de llegada se pueden hacer utilizando diferencias de trayectorias entre-matrices. Un método de estimación del alcance-profundidad, que se describe a continuación en relación con las Figuras 15-29, requiere estimaciones de los ángulos de llegada de la trayectoria, independientemente de la técnica empleada.
- 40 En el presente documento se describe un enfoque para determinar los ángulos de llegada (por ejemplo, verticales, horizontales y así sucesivamente) de sonido que utiliza más de un haz de recepción para entornos multi-trayectorias, por ejemplo, el uso de dos patrones de haces de recepción para recibir dos señales de dos trayectorias de llegada. Sin embargo, al usar más de un haz de recepción para recibir las señales procedentes de las múltiples trayectorias, las señales recibidas interactúan de forma multiplicativa y, por lo tanto, es difícil separar matemáticamente las señales recibidas.
- 45 Aunque las técnicas de la descripción del presente documento se centran en señales acústicas de banda ancha en el agua, se pueden aplicar técnicas a cualquier entorno de señal de banda ancha.
- 50 Se entenderá de la siguiente descripción que una estimación de los ángulos de llegada verticales de sonido recibido es necesaria para la estimación del alcance y la profundidad descrita más adelante junto con las Figuras 15-29.
- 55 Haciendo referencia ahora a la Figura 7, un sistema de acústica 310 incluye un sistema de procesamiento 312 y un sistema de sensor acústico 314, que puede ser el mismo que o similar a la matriz de recepción acústica 52 de la Figura 3), conectado al sistema de procesamiento 312 por una red 316. El sistema de procesamiento 312 puede ser el mismo que o similar a los procesadores de estimación de ángulos de llegada verticales 88, 144 de la Figura 3, en combinación con el búfer 56, el conformador de haces verticales de 60, el búfer 64, el conformador de haces acimutales 70, y el conformador de haces acimutales adaptativo 128.
- 60 El sistema de sensor acústico 314, recibe las señales acústicas de un objeto 318 (es decir, una diana). En general, las señales acústicas recibidas pueden ser de medidas activas (por ejemplo, una señal reflejada resultante de una
- 65

señal enviada desde el sistema acústico 310) o de medidas pasivas (por ejemplo, recibir una señal acústica resultante del movimiento del objeto 318 u otras acústicas que emanan del objeto 318). Sin embargo, para el sistema de sonar autónomo 50 de la Figura 3, solamente se consideran las señales acústicas resultantes del movimiento de un objeto o las señales acústicas que emanan del objeto.

5 Las señales recibidas pueden tener más de una trayectoria de acceso al sistema de sensor acústico 314. Por ejemplo, una primera trayectoria de llegada 322 (una trayectoria de fondo-reflejada) se refleja en un suelo marino 330. Una segunda trayectoria de llegada 324 (una trayectoria superficie-reflejada), se refleja fuera de una superficie 340 de agua. En otros ejemplos, ya sea la primera trayectoria de llegada 322 o la segunda trayectoria de llegada 324 puede ser una trayectoria directa al sistema de sensor acústico 314.

10 Un ángulo, Y, representa el ángulo de llegada de la primera trayectoria de llegada 322. Un ángulo, Z, representa el ángulo de llegada de la segunda trayectoria de llegada 324. En este ejemplo, los ángulos de llegada, Y y Z, son ángulos verticales. En otros ejemplos, los ángulos de llegada pueden ser ángulos horizontales.

15 En un ejemplo, el sistema de sensor acústico 314 puede incluir uno o más sensores de sonido. En un ejemplo, la red 316 puede ser una red cableada o inalámbrica. Sin embargo, en relación con el sistema de sonar autónomo 50 de la Figura 3, el sistema de sensor acústico 314 puede ser el mismo que o similar a la matriz de recepción 170 de la Figura 4.

20 El sistema de procesamiento 312 se puede situar en una plataforma con base en tierra (por ejemplo, en un edificio, en un vehículo y así sucesivamente), una plataforma con base en el espacio (por ejemplo, un satélite, un vehículo espacial y así sucesivamente), una plataforma con base en el mar (por ejemplo, un barco, un submarino, una boya, una estructura mar anclada, un torpedo, un vehículo robótico submarino y así sucesivamente) o en una plataforma con base en el aire (por ejemplo, un avión, un helicóptero, un misil y así sucesivamente). Sin embargo, en relación con el sistema de sonar autónomo 50 de la Figura 3, el sistema de procesamiento 312 se sitúa como se muestra, por ejemplo, en las Figuras 2 y 2A, en el módulo electrónico 26. En esta disposición, el sistema de procesamiento 312 puede estar co-situado (es decir, en el mismo sistema de sonar autónomo) con el sistema de sensor acústico 314. Sin embargo, en otras disposiciones, el sistema de procesamiento 312 no está co-situado con el sistema de sensor acústico 314.

25 Como se muestra a continuación, el enfoque descrito en el presente documento utiliza más de una trayectoria de llegada para determinar los ángulos de llegada verticales del sonido que viajan desde una diana hasta el sistema de sonar autónomo 20a de la Figura 2A. La siguiente descripción proporciona soporte matemático ilustrativo para determinar los ángulos de llegada verticales utilizando dos haces de recepción para recibir dos señales a partir de dos trayectorias de llegada.

30 Para una primera trayectoria de llegada, un tiempo de llegada relativo es  $t_1$ , una amplitud relativa de un medio (por ejemplo, un océano) es  $A_1$ , una primera amplitud de tensión del patrón de haces es  $v_{11}$  y una segunda amplitud de tensión del patrón de haces es  $v_{21}$ . Para una segunda trayectoria de llegada, un tiempo de llegada relativo es  $t_2$ , una amplitud relativa del medio es  $A_2$ , una primera amplitud de tensión del patrón de haces es  $v_{12}$  y una segunda amplitud de tensión del patrón de haces es  $v_{22}$ . Tal como se utiliza aquí, la expresión "amplitud de tensión" se refiere a una amplitud de señal de una señal de conformación de haces, por ejemplo, la señal de haces de recepción direccional 76 o señal de haces de recepción adaptativamente direccional 130 de la Figura 3.

35 En la descripción anterior,  $A_i$  es una función de transferencia de un medio complejo de una  $i$ -ésima trayectoria. Se apreciará que la función de transferencia de un medio complejo puede incluir una diversidad de efectos, por ejemplo, una atenuación frente a alcance, una pérdida de reflexión superficial compleja, y una pérdida de reflexión de fondo compleja. También en la descripción anterior,  $v_{ij}$  es la respuesta del  $j$ -ésimo patrón de haces para el ángulo de llegada de la  $i$ -ésima trayectoria y  $t_i$  es un tiempo de viaje asociado con la  $i$ -ésima trayectoria. Se asume que la amplitud de tensión,  $v_{ij}$ , es verdadera para simplificar el análisis, ya que la extensión de una compleja respuesta del patrón de haces es sencilla para un experto en la materia. Se supone que  $t_2$  es mayor que  $t_1$ .

40 Si  $s(t)$  representa una fuente de señal, una señal recibida que se recibe en el primer haz de recepción de la fuente de señal recibida de la primera trayectoria de llegada y de la segunda trayectoria de llegada se describe como:

$$s_1(t) = v_{11} \cdot A_1 \cdot s(t-t_1) + v_{12} \cdot A_2 \cdot s(t-t_2).$$

45 Una señal recibida que se recibe en la segunda fuente de haces de la fuente de la señal recibida de la primera llegada y de la segunda trayectoria de llegada se describe como:

$$s_2(t) = v_{21} \cdot A_1 \cdot s(t-t_1) + v_{22} \cdot A_2 \cdot s(t-t_2).$$

50 Los dos componentes de señales incluidos en  $s_1(t)$  están separados en el tiempo por una diferencia de tiempo,  $\tau = t_2 - t_1$ . La autocorrelación de  $s_1$  da como resultado una salida de correlación que exhibe picos a los retardos de  $\tau = 0, \pm$

( $t_2 - t_1$ ). La magnitud pico a  $\tau = 0$  viene dada por

$$[|v_{11} \cdot A_1| + |v_{12} \cdot A_2|^2] \cdot \langle s^2 \rangle,$$

5 donde  $\langle s^2 \rangle$  es la energía media de la fuente. La magnitud pico a  $\tau = 0$  proporciona la medida de la energía total de la señal, pero no es útil para determinar los ángulos de llegada, porque las señales de las dos trayectorias se combinan.

10 A continuación se considera el pico en  $\tau = + (t_2 - t_1) = \tau_{21}$ , donde la señal está siendo retardada. La magnitud pico viene dada por:

$$\rho_{11}(\tau_{21}) = v_{11} \cdot v_{12} \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot \langle s^2 \rangle.$$

15 Del mismo modo, si la señal se hace avanzar por  $\tau = - (t_2 - t_1)$ , entonces

$$\rho_{11}(\tau_{21}) = v_{11} \cdot v_{12} \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot \langle s^2 \rangle$$

20  $\rho_{11}(\tau_{21})$  and  $\rho_{11}(-\tau_{21})$  son idénticos y contienen el producto del patrón de haces en dos ángulos diferentes,  $v_{11}$ ,  $v_{12}$ , peor no es posible resolver únicamente un solo par de ángulos a partir de este producto.

25 A continuación, se considera la correlación cruzada de las señales recibidas en el primer y segundo haces de recepción (haces 1 y 2), que producirán picos en los mismos retardos que la autocorrelación anterior ya que el receptor de los haces de recepción está en un solo lugar. En  $\tau = +\tau_{21}$ , donde la copia de la señal del haz 2 se está retrasando, la magnitud pico viene dada por

$$\rho_{12}(\tau_{21}) = v_{12} \cdot v_{21} \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot \langle s^2 \rangle.$$

Del mismo modo, si el haz 2 se hace avanzar por  $\tau = - (t_2 - t_1)$ , la magnitud pico viene dada por:

$$\rho_{12}(-\tau_{21}) = v_{22} \cdot v_{11} \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot \langle s^2 \rangle.$$

30 Una vez más, estos términos contienen el producto de dos valores del patrón de haces desconocidos y no es posible determinar en forma exclusiva los ángulos de llegada.

35 Sin embargo, utilizando la correlación automática y de correlación cruzada en conjunto, se pueden resolver los ángulos de llegada. Por ejemplo, dejar que la proporción de la amplitud pico de correlación cruzada con respecto al pico de autocorrelación correspondiente se denote por  $X(\tau)$ , a continuación,

$$X(\tau_{21}) = (\rho_{12}(\tau_{21})) / (\rho_{11}(\tau_{21}))$$

$$X(\tau_{21}) = (v_{11} \cdot v_{22} \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot \langle s^2 \rangle) / (v_{11} \cdot v_{12} \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot \langle s^2 \rangle)$$

$$X(\tau_{21}) = v_{22} / v_{12}.$$

40 Dado que la proporción de los lóbulos principales del patrón de haces es una función monótona (es decir, una relación única entre las proporciones del lóbulo principal del patrón de haces y el ángulo de llegada por encima del intervalo de interés está garantizada), la proporción permitirá que se determine el segundo ángulo de llegada de trayectoria o mediante inversión o interpolación de la función de proporción del patrón de haces utilizando el valor medido de  $X(\tau)$ .

45 Del mismo modo, la proporción de los picos de correlación para  $\tau = -\tau_{21}$  produce la proporción para el primer ángulo de llegada de trayectoria, que es

$$X(-\tau_{21}) = v_{21} / v_{11}$$

50 Se debe apreciar que los diagramas de flujo que se muestran a continuación corresponden a las siguientes técnicas contempladas que se pueden implementar en un procesador tal como un procesador representado por los sistemas electrónicos 50 de la Figura 3. Los elementos rectangulares (tipificados por el elemento 612 en la Figura 15), denominados aquí "bloques de procesamiento", representan las instrucciones de software o grupos de instrucciones. Los elementos en forma de diamante (tipificados por el elemento 634 en la Figura 15), denominados

aquí "bloques de decisión", representan instrucciones de software de ordenador, o grupos de instrucciones que afectan a la ejecución de las instrucciones del software de ordenador representadas por los bloques de procesamiento.

- 5 Como alternativa, los bloques de procesamiento y de decisión representan etapas realizadas por circuitos funcionalmente equivalentes tales como un circuito de procesador de señales digitales o un circuito integrado de aplicación específica (ASIC). Los diagramas de flujo no representan la sintaxis de cualquier lenguaje de programación particular. Más bien, los diagramas de flujo ilustran la información funcional que un experto en la materia requiere para fabricar circuitos o para generar un software de ordenador para realizar el procesamiento necesario del aparato particular. Cabe señalar que no se muestran muchos elementos del programa rutinarios, tales como la inicialización de bucles y variables ni el uso de variables temporales. Se apreciará por los expertos ordinarios en la materia que a menos que se indique lo contrario en el presente documento, la secuencia particular de bloques descritos es sólo ilustrativa y se puede variar sin alejarse del espíritu de la invención. Por lo tanto, a menos que se indique lo contrario los bloques descritos a continuación significan de forma desordenada que, cuando sea posible, las etapas se pueden realizar en cualquier orden conveniente o deseable.

10 Los procedimientos que se especifican a continuación por medio de diagramas de flujo no están limitados para su uso con cualquier hardware o software en particular, sino que se pueden usar en cualquier entorno informático o de procesamiento y con cualquier tipo de máquina o conjunto de máquinas que sea capaz de ejecutar un programa de ordenador. Los procesos que se muestran a continuación se pueden implementar en hardware, software, o una combinación de ambos. Los procesos se pueden implementar en programas informáticos ejecutados en ordenadores/máquinas programables que incluyan cada uno un procesador, un medio de almacenamiento u otro artículo de fabricación que sea legible por el procesador (incluyendo memoria volátil y no volátil y/o elementos de almacenamiento), en al menos una entrada de dispositivo, y uno o más dispositivos de salida. El código de programa se puede aplicar a los datos introducidos utilizando un dispositivo de entrada para realizar los procesos y para generar información de salida.

15 Haciendo referencia ahora a la Figura 8, un proceso 360 es representativo de un método para determinar los ángulos de llegada. En el bloque 364, el proceso 360 forma un primer haz de recepción que tiene un primer ángulo de haz. Haciendo una breve referencia a la Figura 9, en un ejemplo, el primer haz de recepción 402 tiene un lóbulo principal con un ángulo de respuesta máxima (MRA) en +5 grados, como se observa en el gráfico 400.

20 En el bloque 368, el proceso 360 forma un segundo haz de recepción que tiene un segundo ángulo de haz. En algunas realizaciones, el segundo haz de recepción se superpone sobre el primer haz de recepción. Haciendo una breve referencia de nuevo a la Figura 9, en un ejemplo, el segundo haz de recepción 404 tiene un lóbulo principal con un ARM en -5 grados en el gráfico 400.

25 Por conveniencia, y de acuerdo con el sistema de sensor autónomo 20a de la Figura 2A, el presente ejemplo considera el caso del primer y segundo haces que se forman a partir de la misma matriz de recepción acústica. Sin embargo, la técnica funcionará con matrices separadas, siempre que las funciones de amplitud del canal sean comparables o puedan estimarse, y que los retardos de pares multi-trayectorias correspondientes puedan hacerse coincidir.

30 Cuando más de dos trayectorias y/o dos haces están disponibles, la presente técnica se puede aplicar a cada una del par de trayectorias y/o combinaciones de haces. Este proceso puede generar múltiples estimaciones de los ángulos de llegada de la misma trayectoria de llegada, en este caso, las estimaciones se pueden ponderar y promediarse para obtener una mejor estimación que la conseguida utilizando una sola trayectoria.

35 En el bloque 376, el proceso 360 realiza una autocorrelación de una primera señal recibida en el primer haz de recepción. En un ejemplo, la primera trayectoria de llegada 322 (Figura 7) tiene un tiempo de viaje relativo,  $t_1$ , de 17 ms con una amplitud relativa,  $A_1$ , de cero dB. La segunda trayectoria de llegada 324 (Figura 7) tiene un tiempo de viaje relativo,  $t_2$ , de 29ms y una amplitud relativa,  $A_2$ , de -2dB. La diferencia de tiempo de llegada,  $\tau$ , es  $t_2 - t_1$  o de 12 ms. Los ángulos desconocidos a resolver son Y y Z (Figura 7).

40 Haciendo una breve referencia a las Figuras 9 y 10, una autocorrelación de la primera señal recibida en el primer haz de recepción 402 (Figura 9) se muestra en un gráfico 410 representado en la Figura 10.

45 En el bloque 382, el proceso 360 correlaciona de forma cruzada una segunda señal recibida en el segundo haz de recepción con la primera señal recibida en el primer haz.

50 Haciendo una breve referencia a las Figuras 9 y 11, un gráfico 440 muestra un ejemplo de la correlación cruzada de la primera señal recibida en el primer haz 402 y la segunda señal recibida en el segundo haz 404.

55 En el bloque 386, el proceso 360 determina los picos. Por ejemplo, se determinan los picos de autocorrelación y los picos de correlación cruzada.

Haciendo referencia brevemente a la Figura 10, en un ejemplo de la autocorrelación, un pico 412 está en 12 ms y tiene una amplitud de autocorrelación de 0,28 y el otro pico 414 está en -12 ms y tiene una amplitud de autocorrelación de 0,28. Un pico de correlación en el tiempo igual a cero se ha omitido a efectos de escala.

5 Haciendo referencia brevemente a la Figura 11, en un ejemplo de la correlación cruzada, un pico 442 está en 12 ms y tiene una amplitud de correlación cruzada de 0,125 y el otro pico 444 está en -12 ms y tiene una amplitud de correlación cruzada de 0,38 (Véase Figura 11.).

10 En el bloque 362, el proceso 360 forma proporciones de amplitud de haces de tensión para el mismo retardo de tiempo. Por ejemplo, la proporción de amplitud del haz de tensión de la segunda trayectoria viene dada por:

$$v_{22}/v_{12} = (\rho_{12}(+\tau_{21})) / (\rho_{11}(+\tau_{21})),$$

y la relación de amplitud del haz de tensión de la primera trayectoria viene dada por:

15

$$v_{21}/v_{11} = (\rho_{12}(-\tau_{21})) / (\rho_{11}(-\tau_{21}))$$

Utilizando los picos de autocorrelación y de correlación cruzada en el ejemplo para el procesamiento del bloque 386:

20

$$v_{21}/v_{11} = 0,38/0,28 = 1,35$$

y

$$v_{22}/v_{12} = 0,125/0,28 = 0,45$$

25 En el bloque 394, el proceso 360 determina la proporción de tensión del patrón de haces frente al ángulo. Por ejemplo, haciendo referencia brevemente a la Figura 12, un gráfico 460 tiene una curva 462 representativa de las proporciones de tensión del primer haz de recepción dividido entre el segundo haz de recepción (por ejemplo, de Figura 9) frente a los ángulos.

30 La curva 462 se puede generar asumiendo un ángulo de llegada vertical de trayectoria, calculando una respuesta de tensión para dos patrones de haces de interés, calculando su proporción, después repitiendo para los otros ángulos de llegada verticales de trayectoria esperada.

35 En el bloque 396, el proceso 360 resuelve los ángulos de llegada utilizando las proporciones de amplitud de haces de tensión. En los ejemplos anteriores,  $v_{22}/v_{12} = 0,125/0,28 = 0,45$  en un punto 472 (Figura 12), que corresponde a un primer ángulo de llegada de trayectoria (ángulo Y, Figura 7) de -5 grados y  $v_{21}/v_{11} = 0,38/0,28 = 1,35$  en un punto 474 (Figura 12), que corresponde a un segundo ángulo de llegada de trayectoria (ángulo Z, Figura 7) de 9 grados.

40 Haciendo referencia ahora a la Figura 13, en un ejemplo, el sistema de procesamiento 312 de la Figura 7 puede ser un sistema de procesamiento 312'. El sistema de procesamiento 312 'incluye un procesador 480, una memoria volátil 482, una memoria no volátil 486 (por ejemplo, disco duro) y un transceptor de red 484. La memoria no volátil 486 almacena instrucciones informáticas 488, un sistema operativo 492 y los datos 494. Las instrucciones informáticas 488 incluyen instrucciones 490 para determinar un ángulo de llegada. En un ejemplo, representado en la Figura 14, las instrucciones 490 para determinar un ángulo de llegada incluyen instrucciones de autocorrelación 502 (por ejemplo, instrucciones para realizar el bloque de procesamiento 376 de la Figura 8), instrucciones de correlación cruzada 504 (por ejemplo, instrucciones para realizar el bloque de procesamiento 382 de la Figura 8) e instrucciones de procesamiento de ángulos 506 (por ejemplo, instrucciones para realizar los bloques de procesamiento de 386, 392, 394 y 396 de la Figura 8). El transceptor 484 se utiliza para comunicarse con el sistema de sensor acústico 314 de la Figura 7. En un ejemplo, las instrucciones informáticas 488 se ejecutan por el procesador 480 de la memoria volátil 482 para realizar el proceso 360.

55 El proceso 360 no se limita a la orden de procesamiento específica de la Figura 8. Más bien, cualquiera de los bloques de procesamiento de la Figura 8 podrá reordenarse, combinarse o eliminarse, realizarse en paralelo o en serie, según sea necesario, para lograr los resultados establecidos anteriormente.

Los bloques de procesamiento en la Figura 8 podrán realizarse por uno o más procesadores programables de ejecución de uno o más programas informáticos para realizar las funciones del sistema. Todo o parte del sistema se puede implementarse como, circuitería lógica de propósito especial (por ejemplo, una FPGA (matriz de puertas programable de campo) y/o un ASIC (circuito integrado de aplicación específica)).

60 Los módulos de estimación de rumbo/alcance/profundidad/nivel recibido 90, 136 de la Figura 3 se describen más completamente a continuación en relación con las Figuras 15-29. Con las técnicas descritas más adelante junto con las Figuras 15 a 29, se puede determinar el alcance a y la profundidad de una diana. Las técnicas se describen



primero en términos de los procesos de las Figuras 15-18, y después, a modo de representaciones ilustradas en las Figuras 19-25.

5 El rumbo acimutal se puede refinar del definido por los ángulos que apuntan los haces, por ejemplo, mediante el uso interpolación de la amplitud del haz u otros métodos. Los niveles de amplitud recibidos se pueden medir directamente y refinarse también por interpolación entre los haces.

10 Haciendo referencia ahora a la Figura 15, un método 600 para determinar un alcance y una profundidad de una diana bajo el agua (es decir, la localización de la diana en alcance y profundidad) comienza en el bloque 612, donde una señal acústica, generada por una diana, es recibida en un sistema de sonar, por ejemplo, en el sistema de sonar autónomo 20a de la Figura 2A. La señal de sonido se desplaza en al menos dos trayectorias de propagación, es decir, una primera y una segunda trayectoria de propagación, en el sistema de sonar, que recibe y procesa la señal del sonar. Por lo tanto, la señal del sonar incluye al menos una primera porción de la señal de sonido y una segunda  
15 se puede recibir con uno o más transductores de sonido (también denominados aquí sensores de sonido), por ejemplo, por la matriz de recepción 32 de la Figura 2A. En el bloque 616, los uno o más sensores de sonido convierten la señal de sonido en otra forma de energía, por ejemplo, a una o más respectivas señales electrónicas, denominadas colectivamente señal electrónica.

20 Aunque el procesamiento de una señal electrónica se describe en el presente documento, se debe apreciar que las mismas técnicas descritas a continuación se pueden aplicar a una señal óptica, generada de acuerdo con la señal acústica recibida en el bloque 612.

25 En el bloque 618, la señal electrónica se correlaciona, para proporcionar una correlación con características de correlación. La correlación del bloque 618 puede ser o bien una autocorrelación, en la que la señal electrónica se correlaciona con la misma, o una correlación cruzada, en la que una señal electrónica se correlaciona de forma cruzada con otra señal electrónica. En cualquiera de los casos, la correlación puede generar características de correlación (por ejemplo, picos), uno de los que se puede identificar en el bloque 620, con parámetros de características de correlación (por ejemplo, retardo de tiempo, amplitud y fase), que se pueden medir en el bloque  
30 622. Las características y parámetros de correlación se describen más completamente a continuación en relación con las Figuras 24 y 25.

35 En el bloque 624, se supone una profundidad de una diana de generación de sonido. En general, la profundidad asumida puede estar limitada por las capacidades de profundidad conocidas de los submarinos. Por ejemplo, en algunas realizaciones, la profundidad asumida puede estar limitada entre cero y mil pies.

40 En el bloque 626, se puede seleccionar un par de trayectorias de propagación, lo que podría generar la característica de correlación identificada en el bloque 620 dada la profundidad asumida seleccionada en el bloque 624. Como se ha descrito anteriormente, existe una pluralidad de trayectorias de propagación discretas entre una fuente de sonido y un receptor de sonido. En el bloque 626, un par de las trayectorias de propagación discretas se puede seleccionar entre la pluralidad de posibles trayectorias de sonido. Por ejemplo, una trayectoria directa y una trayectoria reflejada desde la superficie se pueden seleccionar. Para otro ejemplo, una trayectoria reflejada desde la superficie y una trayectoria reflejada desde el fondo se pueden seleccionar. En general, el alcance de trayectoria máximo puede estar limitado en base a los niveles conocidos de fuente de sonido de los submarinos y a un  
45 conocimiento de la acústica del océano.

50 El retardo de tiempo de la característica de correlación identificada puede ser un indicador de cuales trayectorias de propagación se seleccionan del par de trayectorias de propagación, ya que el retardo de tiempo de la característica de correlación es indicativo de una diferencia de retardo de tiempo de sonido que viaja en las dos trayectorias de propagación. La fase de la característica de correlación identificada también puede ser un indicador de cuales trayectorias de propagación se seleccionan, ya que se sabe que el sonido que rebota de la superficie del océano tiende a sufrir una inversión de fase, mientras que el sonido que rebota del fondo del océano, en particular, un fondo de océano duro, tiende a no someterse a una inversión de fase.

55 A pesar de la pluralidad de trayectorias de sonido potenciales es grande en número, el par de trayectorias de propagación se selecciona a partir de un número relativamente pequeño de tipos de trayectorias de propagación discretas. Como se ha descrito anteriormente, cuando el sonido rebota varias veces de las superficies, tiende a perder intensidad y convertirse en insignificante en una señal de sonido recibida.

60 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 propagación serán dominantes, es decir, el sonido recibido en un receptor de sonido tendrá en gran parte contenido de las trayectorias de sonido dominantes.

65 La selección del par de trayectoria de propagación se describe más completamente a continuación en relación con las Figuras 17-17B, en las que se hace la selección sabiendo un ángulo de llegada del sonido en el receptor de sonido (Figura 17), y en las que la selección se realiza sin conocer el ángulo de llegada (Figuras 17, 17B).

A partir del par de trayectorias de propagación seleccionadas del bloque 626, y dada la profundidad asumida de la diana en el bloque 624, un alcance a la diana se estima primero en el bloque 628, para proporcionar un alcance estimado a la profundidad asumida (alcance estimado/profundidad asumida, también denominado aquí como un punto de partida), y a continuación, resuelve en el bloque 630, para proporcionar un alcance resuelto a la profundidad asumida (alcance resuelto/profundidad asumida).

El alcance estimado/profundidad asumida se describe más completamente a continuación en relación con las Figuras 17-17B, y el alcance resuelto/profundidad asumida se describe más completamente a continuación en relación con la Figura 18. Baste aquí decir que el alcance estimado/profundidad asumida proporciona un punto de partida, desde el que se puede determinar el alcance resuelto/profundidad asumida. Sin embargo, el alcance resuelto/profundidad asumida no puede ser indicativo de un alcance y profundidad (localización) finales de la diana.

Para este fin, en el bloque 632, un factor de probabilidad se asigna al alcance resuelto/profundidad asumida generados en el bloque 630. El factor de probabilidad se describe más completamente a continuación en relación con la Figura 18. El factor de probabilidad es un valor, que puede generarse en una diversidad de maneras, que es indicativo de la calidad de la precisión del alcance resuelto/profundidad asumida generados en el bloque 630. Por lo tanto, el alcance resuelto/profundidad asumida generados en el bloque 630 se puede comparar con otros alcances resueltos/profundidades asumidas generados como se describe a continuación, con el fin de seleccionar un mejor alcance resuelto/profundidad asumida como indicativos de la ubicación de la diana en alcance y profundidad.

Los bloques de decisión 634-640 son representativos de los bucles que se pueden realizar a través del bloque 618-632 con el fin de generar alcances resueltos/profundidades asumidas adicionales en el bloque 630 y factores de probabilidad correspondientes adicionales en el bloque 632. El bloque de decisión 634 se puede utilizar para seleccionar otros pares de trayectorias de propagación en el bloque 626. El bloque de decisión 636, en relación con el bloque 644, se puede utilizar para seleccionar otras profundidades de diana asumidas en el bloque 624. El bloque de decisión 638, en relación con el bloque 646, se puede utilizar para identificar otra característica de correlación en el bloque 620 en la correlación generada en el bloque 618. El bloque de decisión 640 se puede utilizar para generar más correlaciones en el bloque 618.

Después de haber completado todos los bucles a través de los bloques de decisión 634-640, y por lo tanto, después de haber generado una pluralidad de alcances resueltos/profundidades asumidas y los factores de probabilidad correspondientes, en el bloque 642, un alcance resuelto/profundidad asumida se selecciona de entre la pluralidad de alcances resueltos/profundidades asumidas, mediante la inspección de los factores de probabilidad correspondientes. El un alcance resuelto/profundidad asumida se denomina en el presente documento como un alcance localizado y profundidad localizada (alcance localizado/profundidad localizada). En algunas realizaciones, tal como se describe más adelante junto con las Figuras 27-29, los factores de probabilidad se pueden utilizar para calcular el alcance localizado/profundidad localizada como un alcance medio ponderado y una profundidad media ponderada. El alcance localizado/profundidad localizada representa la mejor estimación del alcance y profundidad a la diana y se describen con más detalle a continuación junto con la Figura 18 y las Figuras 27-29.

Haciendo referencia ahora a la Figura 16, en la que los elementos similares a la Figura 15 se muestran designados con referencias similares, pero con un carácter de "a" adjunto, un proceso 650 muestra más detalles de la parte del proceso 600 de la Figura 15, en particular para un proceso que incluye la conformación de haces de la señal acústica recibida en el bloque 612 de la Figura 15.

En el bloque 616a, las señales electrónicas del bloque 616 de la Figura 15 conforman haces para proporcionar un número, N, de haces de recepción acústicos. En el bloque 618a, la señal de conformación de haces se correlaciona. Por ejemplo, una señal electrónica representativa de un haz acústico se puede autocorrelacionar. En otro ejemplo, dos señales electrónicas representativas de dos haces acústicos se pueden correlacionar de forma cruzada.

En el bloque 620a, en cualquier forma de correlación que se genere en el bloque 618a, una característica de correlación se identifica en la correlación. En el bloque 622a, se miden valores de los parámetros de la característica de correlación que incluyen, por ejemplo, un valor de retardo de tiempo 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.

En el bloque 652, opcionalmente, las señales de conformación de haces correspondientes a la pluralidad de haces acústicos generados en el bloque 616a se pueden interpolar con el fin de generar ángulos de llegada de precisión mejorados asociados con la señal acústica recibida en el bloque 612 de la Figura 15. Se entenderá que cada característica de correlación en la correlación generada en el bloque 618a se puede asociar con dos trayectorias de propagación de sonido, que pueden llegar a los sensores de sonido en diferentes ángulos o en ángulos similares. Por lo tanto, en el bloque 652, uno o dos ángulos de llegada se pueden identificar.

Por ejemplo, cuando se genera una autocorrelación en un haz en el bloque 618a, y una magnitud de la característica de correlación resultante se mide, se pueden generar autocorrelaciones similares utilizando haces adyacentes, y magnitudes de características de correlación correspondientes comparables con la característica de correlación del primer haz (retardo de tiempo similar) se pueden combinar para proporcionar un mejor ángulo de llegada de

precisión. Este mejor ángulo de llegada de precisión puede asumir esencialmente que las dos trayectorias de sonido llegan al mismo ángulo.

5 En otro ejemplo, cuando se genera una correlación cruzada entre dos haces en el bloque 618a, y se mide una magnitud de la característica de correlación resultante, se pueden generar correlaciones cruzadas similares utilizando haces adyacentes, y magnitudes de la característica de correlación correspondientes comparables a la característica de correlación del primer par de haces se pueden combinar para proporcionar dos ángulos de llegada de precisión mejorados.

10 En algunas disposiciones alternativas, se selecciona el mejor ángulo o ángulos de llegada de precisión en lugar de ser el ángulo de dirección del haz o haces utilizado para generar la correlación en el bloque 618a.

Junto con las Figuras 7-14, se muestra una técnica diferente para identificar un par de trayectorias llegada verticales. El par de trayectorias llegada verticales identificado en las Figuras 7-14 puede ser sustituido por el bloque 652.

15 Tal como se describe más completamente a continuación, en algunas realizaciones, los ángulos de llegada de precisión mejorados se pueden utilizar en combinación con otros factores para generar los factores de probabilidad en el bloque 632 de la Figura 15.

20 Haciendo referencia ahora a la Figura 16A, en la que elementos similares de la Figura 15 se muestran designados de referencia similares, pero con un carácter "b" anexado, un proceso 670 muestra más detalles de un proceso que no incluye la conformación de haces. En el bloque 618b, la señal electrónica dl bloque 616 de la Figura 15 se correlaciona. Por ejemplo una señal electrónica proporcionada por un sensor de sonido que tiene un único patrón de haces, por ejemplo, un patrón de haces omnidireccionales, se puede autocorrelacionar. En otro ejemplo, dos  
25 señales electrónicas proporcionadas por dos sensores de sonido respectivos, cada uno con un solo respectivo patrón de haces, por ejemplo, el respectivo patrón de haces omnidireccionales, se pueden correlacionar de forma cruzada.

30 En el bloque 620b, en cualquier forma de correlación que se genere en el bloque 618b, se identifica una característica de correlación en la correlación. En el bloque 622b, se miden los parámetros de características de correlación, por ejemplo, un retardo de tiempo de la característica de correlación, una amplitud de la característica de correlación y/o fase de la característica de correlación.

35 Haciendo referencia ahora a la Figura 17, en la que los elementos similares de la Figura 15 se muestran designados con referencia similares, pero con un carácter "a" adjunto, un proceso 680 muestra más detalles de los bloques 626-628 de la Figura 15, en particular para un proceso que utiliza la conformación de haces para lograr los ángulos de llegada de sonido descritos junto con la Figura 16.

40 En el bloque 682, se selecciona un modelo de propagación. El modelo de propagación seleccionado puede ser cualquier forma de modelo de trazado de rayos o puede ser un alcance resuelto/profundidad asumida. En general, es ventajoso seleccionar un modelo de propagación de trazado de rayos en lugar de un modelo de propagación de isovelocidad, ambos de los cuales se han descrito anteriormente, ya que un modelo de trazado de rayos alcanzará en última instancia una localización más precisa de la diana bajo el agua en alcance y en profundidad.

45 En el bloque 684, que utiliza el modelo de propagación seleccionado, se identifica una primera trayectoria de propagación que tiene un primer ángulo de trayectoria (primera ángulo de llegada simulado) que podría dar como resultado un ángulo de llegada cerca del primer ángulo de llegada de precisión mejorado identificado en el bloque 652 de La Figura 16 (o, en otra realización, un ángulo de haz de un haz generado en la Figura 16), y que podría dar como resultado la profundidad asumida en el bloque 624 de la Figura 15. Como alternativa, un primer ángulo vertical  
50 identificado en relación con las Figuras 7-14 se podría utilizar.

55 En el bloque 686, que utiliza 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 cerca de un segundo ángulo de llegada de precisión mejorado identificado en el bloque 652 de La Figura 16 (o, en otra realización, un ángulo de haz de un haz generado en la Figura 16), y que podría dar como resultado la profundidad asumida en el bloque 624 de la Figura 15. Como alternativa, un segundo ángulo vertical identificado en relación con las Figuras 7-14 se podría utilizar.

60 Se debe reconocer que, cuando se utiliza la autocorrelación de un solo haz en el bloque 618a de la Figura 16, el primer y segundo ángulos de trayectoria pueden ser el mismo ángulo. Esta disposición se describe a continuación en relación con la Figura 22. Sin embargo, cuando se utiliza la correlación cruzada de dos haces en el bloque 618a de la Figura 16, el primer y segundo ángulos de trayectoria pueden ser ángulos diferentes. Esta disposición se describe a continuación en relación con la Figura 19.

65 En el bloque 688, que utiliza el modelo de propagación seleccionado y la primera trayectoria de propagación identificada, se calcula un primer alcance a la profundidad asumida en el bloque 624 de la Figura 15. Del mismo

modo, en el bloque 690, que utiliza el modelo de propagación seleccionado y la segunda trayectoria de propagación identificada, se calcula un segundo alcance a la profundidad asumida en el bloque 624 de la Figura 15. Por lo tanto, los bloques 688 y 690 dan como resultado dos alcances a la profundidad asumida.

- 5 En el bloque 628a, los dos alcances se combinan para proporcionar un único "alcance estimado/profundidad asumida", que puede servir como punto de partida para el cálculo posterior del alcance descrito anteriormente en relación con el bloque 628 de la Figura 15. En algunas realizaciones, un punto medio entre el primer y segundo alcances de los bloques 688 y 690 se puede calcular en el bloque 628a. En otras realizaciones, uno del primer y segundo alcances puede dar como resultado el cálculo del bloque 628a. Sin embargo, se pueden utilizar otros alcances de partida que estén relacionados con el primer y segundo alcances de los bloques 688 y 690.

15 Haciendo referencia ahora a la Figura 17A, en la que los elementos similares de la Figura 15 se muestran designados con referencia similares, pero con un carácter "b" anexo, un proceso 700 muestra más detalles de los bloques 626-628 de la Figura 15, en particular para un proceso que no utiliza la conformación de haces con el fin de lograr los ángulos de llegada de precisión mejorados descritos junto con el bloque 652 de la Figura 16. Esencialmente, los ángulos de llegada de las porciones de señal de sonido que llegan en diferentes trayectorias de propagación dentro de la señal de sonido recibida en el bloque 612 de la Figura 15 no se pueden medir directamente, sino que se estiman mediante las técnicas descritas a continuación.

20 En el bloque 702, se selecciona un modelo de propagación. Como se ha descrito anteriormente en relación con la Figura 17, el modelo de propagación seleccionado puede ser cualquier tipo 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 en lugar de un modelo de propagación de isovelocidad, ambos de los cuales se han descrito anteriormente, dado que un modelo de trazado de rayos proporcionará en última instancia una localización más precisa de la diana bajo el agua en alcance y profundidad.

30 Sin embargo, en el bloque 704, independientemente del modelo de propagación seleccionado en el bloque 702, de acuerdo con un modelo de propagación de isovelocidad, de seleccionan la primera y segunda trayectorias de propagación de isovelocidad (es decir, rectas), lo que podría dar como resultado la característica de correlación identificada del bloque 620 de la Figura 15, que tiene un retardo de tiempo medido como en el bloque 622 de la Figura 15, y la profundidad asumida del bloque 624 de la Figura 15. Utilizando el modelo de propagación de isovelocidad, las dos trayectorias de propagación se pueden calcular geoméricamente, utilizando las técnicas descritas a continuación en relación con la Figura 20, reconociendo que el retardo de tiempo medido es representativo de una diferencia del retardo de tiempo de las dos trayectorias de propagación de isovelocidad seleccionadas.

40 En el bloque 706, a partir de la primera y segunda trayectorias de propagación de isovelocidad seleccionadas, se calculan el primer y segundo ángulos de llegada de isovelocidad al sensor de sonido en el bloque 706. Estos ángulos de llegada serán reconocidos como meras estimaciones de los posibles ángulos de llegada de acuerdo con dos trayectorias de propagación de isovelocidad. Sin embargo, como se ha descrito anteriormente, se sabe que el sonido tiende a viajar en trayectorias de propagación no lineales a medida que viaja en el océano.

45 Por lo tanto, en el bloque 708, que utiliza el modelo de propagación seleccionado en el bloque 702, que puede ser un modelo de trazado de rayos, y que utiliza el primer ángulo de llegada de isovelocidad, se identifica una primera trayectoria de propagación (por ejemplo, no recta) que tiene un ángulo de llegada cerca del primer ángulo de llegada de isovelocidad. Del mismo modo, en el bloque 710, que utiliza el modelo de propagación seleccionado en el bloque 702, y que utiliza el segundo ángulo de llegada de isovelocidad, se identifica una segunda trayectoria de propagación (por ejemplo, no recta) que tiene un ángulo de llegada cerca del segundo ángulo de llegada de isovelocidad.

50 Se debe reconocer que, aunque el proceso de la Figura 17A está asociado con un sistema que no tiene conformación de haces, es decir, tiene generalmente un patrón de haces de recepción omnidireccionales, el ángulo de llegada de la primera y segunda trayectorias de propagación descritas anteriormente en relación con los bloques 708 y 710, proporcionan información del ángulo de llegada similar a la del bloque 652 de la Figura 16, pero para un sistema que no utiliza la conformación de haces, y por lo tanto, los bloques posteriores 712, 714, 628b son similares a los bloques 688, 690, 628a de la Figura 17.

60 En el bloque 712, que utiliza el modelo de propagación seleccionado y la primera trayectoria de propagación identificada, se calcula un primer alcance a la profundidad asumida en el bloque 624 de la Figura 15. Del mismo modo, en el bloque 714, que utiliza el modelo de propagación seleccionado y la segunda trayectoria de propagación identificada, se calcula un segundo alcance a la profundidad asumida en el bloque 624 de la Figura 15. Por lo tanto, los bloques 712 y 714 dan como resultado dos alcances a la profundidad asumida.

65 En el bloque 628b, los dos alcances se combinan para proporcionar un único "alcance estimado/profundidad asumida", que puede servir como punto de partida para el posterior cálculo del alcance. En algunas realizaciones, un punto medio entre el primer y segundo alcances de los bloques 712, 714 se puede calcular en el bloque 628b. En

otras realizaciones, uno del primer y segundo alcances puede dar como resultado el cálculo del bloque 628b. Sin embargo, se pueden utilizar otros alcances de partida, que están relacionados con el primer y segundo alcances de los bloques 712 y 714.

5 Haciendo referencia ahora a la Figura 17B, en la que los elementos similares de la Figura 15 se muestran designados con referencia similares, pero con un carácter "c" anexo, un proceso 720 muestra más detalles de los bloques 626-628 de la Figura 15, alternativo al proceso 700 de la Figura 17A, en particular para un proceso que no  
10 utiliza la conformación de haces para lograr los ángulos de llegada de precisión mejorados descritos junto con el bloque 652 de la Figura 16. Esencialmente, los ángulos de llegada de las porciones de señal de sonido que llegan en diferentes trayectorias de propagación dentro de la señal de sonido recibida en el bloque 612 de la Figura 15 no se pueden medir directamente, sino estimarse. Sin embargo, a diferencia del proceso 700 de la Figura 17A, sólo se utiliza un modelo de propagación de isovelocidad.

15 En el bloque 626C, similar al bloque 704 de la Figura 17A, de acuerdo con un modelo de propagación de isovelocidad, se seleccionan la primera y segunda trayectorias de propagación de isovelocidad (es decir, rectas), lo que podría dar como resultado la característica de correlación identificada del bloque 620 de la Figura 15, que tiene un retardo de tiempo medido como en el bloque 622 de la Figura 15, y la profundidad asumida del bloque 624 de la Figura 15. Como se ha descrito anteriormente, que utiliza el modelo de propagación de isovelocidad, las dos trayectorias de propagación se pueden calcular geoméricamente, utilizando las técnicas descritas a continuación en  
20 relación con la Figura 20, reconociendo que el retardo de tiempo medido es representativo de una diferencia de retardo de tiempo de las dos trayectorias de propagación de isovelocidad seleccionadas.

25 En el bloque 628c, un alcance estimado/profundidad asumida (punto de partida) se calcula en base a las trayectorias de propagación de isovelocidad. Cabe señalar que, a diferencia del proceso 700 de la Figura 17A, no se utilizan los ángulos de las trayectorias de propagación.

Haciendo referencia ahora a la Figura 18, un proceso 730 puede ser representativo del proceso del bloque 630 de la Figura 15, y puede dar como resultado un denominado "alcance resuelto" en la profundidad de diana asumido (alcance resuelto/profundidad asumida) del bloque 630 de la Figura 15. En esencia, el alcance resuelto/profundidad  
30 asumida puede ser más preciso que el alcance estimado/profundidad asumida proporcionado en el bloque 628 de la Figura 15, como se representa en los métodos alternativos 680, 700, 720 de las Figuras 17-17B, respectivamente.

35 El proceso 730 comienza en el bloque 732, donde se selecciona un modelo de propagación. Como se ha descrito anteriormente en relación con la Figura 17, el modelo de propagación seleccionado puede ser cualquier tipo 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 en lugar de un modelo de propagación de isovelocidad, ambos de los cuales se han descrito anteriormente, dado que un modelo de trazado de rayos proporcionará en última instancia una localización más precisa de la diana bajo el agua en alcance y en profundidad. El modelo de propagación seleccionado en el bloque 732 no tiene que ser el mismo modelo de propagación seleccionado en otros  
40 bloques descritos anteriormente.

45 En el bloque 734, que utiliza 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 asumida descrito en los bloques 628, 628a, 628b, 628c de las Figuras 15, 17, 17A, y 17B, respectivamente. Del mismo modo, en el bloque 736, que utiliza 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 asumida.

50 En el bloque 738, se calcula una diferencia de retardo de tiempo entre la primera y segunda trayectorias de propagación modificadas. En algunas realizaciones, la diferencia de retardo de tiempo se puede calcular de acuerdo con el modelo de propagación seleccionado en el bloque 732.

55 En el bloque 740, la diferencia de retardo de tiempo calculada en el bloque 738 se compara con el retardo de tiempo medido asociado con la característica de correlación identificada, que se mide en los bloques 622, 622a, 622b de las Figuras 15, 16 y 16A, respectivamente.

60 En el bloque 742, si los retardos de tiempo comparados no coinciden dentro de un umbral de coincidencia predeterminado, entonces el proceso continúa hacia el bloque 746, donde el punto correspondiente al alcance estimado/profundidad asumida se mueve a otro alcance, y por lo tanto, a un nuevo alcance estimado/profundidad asumida. Para este fin, el alcance se puede mover a un alcance más corto o a un mayor alcance a la profundidad asumida seleccionada en el bloque 624 de la Figura 15.

65 La dirección del movimiento de alcance del alcance estimado/profundidad asumida se puede determinar en una diversidad de maneras. En algunas realizaciones, la dirección se selecciona para que sea hacia los mayores alcances. En otras realizaciones, la dirección se selecciona para que sea hacia los alcances más cortos. En otras realizaciones, la dirección se selecciona de acuerdo con una reducción en la diferencia del retardo de tiempo resultante de otra comparación de retardo de tiempo como en el bloque 740.

El proceso se repite en el bloque 734, donde se procesa el nuevo alcance estimado/profundidad asumida, lo que da como resultado una nueva diferencia de retardo de tiempo en el bloque 740. El proceso crea un bucle a través del bloque de decisión 742 hasta que, en el bloque 742, los retardos de tiempo comparados no coincidan en el umbral de coincidencia predeterminado. Cuando se produce esta coincidencia, en el bloque 744, el alcance estimado/profundidad asumida que ha resultado en la coincidencia se considera que hay un alcance resuelto a la profundidad asumida (alcance resuelto/profundidad asumida), y la primera y segunda trayectorias de propagación asociadas se consideran como la primera y segunda trayectorias de propagación resueltas, con respectivos primer y segundo ángulos de trayectoria resueltos.

El alcance resuelto/profundidad asumida es un punto en el espacio en el que la diana bajo el agua puede estar presente. Sin embargo, por medio del proceso de bucles de la Figura 15, se puede generar una pluralidad de alcances resueltos en una pluralidad de profundidades asumidas, para uno o una pluralidad de características de correlación resultantes de uno o de una pluralidad de correlaciones. Finalmente, el proceso de la Figura 15, en el bloque 642, selecciona un alcance localizado y una profundidad localizada de la pluralidad de alcances resueltos y de profundidades asumidos correspondientes.

La selección de un alcance localizado/profundidad localizada se puede realizar en una diversidad 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 asumidas en el bloque 632 de la Figura 15.

Los factores de probabilidad se pueden generar en una diversidad de maneras. En una realización particular, los factores de probabilidad se generan comparando, para cada uno de los alcances resueltos/profundidades asumidas, al menos uno de un ángulo de llegada calculado de la primera trayectoria de propagación resuelta con el primer de ángulo de llegada de precisión mejorado medido en el bloque 652 de La Figura 16, o un ángulo de llegada calculado de la segunda trayectoria de propagación resuelta con el segunda ángulo de llegada de precisión mejorado medido en el bloque 652 de la Figura 16. Esta comparación de los ángulos de llegada se puede describir por la siguiente ecuación.

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

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

En otras realizaciones, y, en particular, en las realizaciones para las que no se mide un ángulo de llegada (es decir, disposiciones sin conformación de haces), se pueden utilizar otros parámetros para generar los factores de probabilidad utilizados para seleccionar el alcance localizado y la profundidad localizada. Por ejemplo, en algunas realizaciones, los factores de probabilidad asignados a cada alcance resuelto/profundidad asumida en el bloque 632 de la Figura 15 puede ser representativo de una magnitud (o una proporción señal a ruido) de la característica de correlación identificada en el bloque 620 de la Figura 15. En estas realizaciones, un alcance resuelto/profundidad asumida que tiene una característica de correlación con la mejor proporción señal a ruido se puede seleccionar como el alcance localizado/profundidad asumida.

En otras realizaciones, se pueden utilizar otros parámetros adicionales para generar los factores de probabilidad que se utilizan para seleccionar el alcance localizado y la profundidad localizada. Por ejemplo, múltiples características de correlación pueden soportar la generación de una multiplicidad de posibles pares de 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 asumida, se calcula un alcance resuelto/profundidad asumida. Estos alcances pueden utilizarse después para calcular un alcance medio y varianza. Un factor de probabilidad se puede desarrollar, por ejemplo, utilizando la inversa de la varianza. Se selecciona la combinación de trayectoria de alcance resuelto/profundidad asumida que tiene el factor de probabilidad más alto como la solución para el alcance localizado/profundidad localizada; o, como alternativa, se puede utilizar una media ponderada.

Haciendo ahora referencia a las Tablas 1 y 2, se proporciona un ejemplo que calcula los factores de probabilidad mediante el uso de la inversa de la varianza del alcance, como se ha descrito anteriormente. En este ejemplo, se utilizan las trayectorias de propagación de isovelocidad (rectas) para generar alcances y profundidades geoméricamente de acuerdo con cálculos similares a los descritos a continuación en relación con las Figuras 20 y 23. Sin embargo, las técnicas similares también se pueden utilizar cuando se asumen trayectorias de propagación sin isovelocidad, como se muestra a continuación en relación con la Figura 19.

En la Tabla 1, los alcances resueltos/profundidades asumidas se muestran de una fuente a 54,86 m (60 yardas) de profundidad y un alcance de 2.286 m (2.500 yardas) de un receptor situado a una profundidad de 155,45 m (170 yardas). Se asume una profundidad de agua de 182,88 m (200 yardas). Los tiempos de viaje calculados para las trayectorias directas (D1), reflejadas desde la superficie (S1), y reflejadas desde el fondo (B1) son 1,472, 1,476 y

1,474 segundos, respectivamente. Estos retardos dan como resultado un conjunto correspondiente de retardos de tiempo de autocorrelación de 2,0; 2,8; y 4,8 ms, respectivamente.

5 Para este ejemplo particular, las soluciones de alcance y profundidad se obtienen generalmente mediante el método de la Figura 15. Sin embargo, para un caso de isovelocidad, los alcances resueltos/profundidades asumidas del bloque 630 (Figura 15) son los mismos que los alcances estimados/profundidades asumidas del bloque 628 (Figura 15). La Tabla 1 muestra los alcances calculados para diferentes combinaciones de trayectorias que pueden atribuirse a las características de correlación medidas que tienen retardos de 2,0; 2,8; y 4,8 ms. Notaciones, 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 desde la superficie.

Tabla 1

RETARDO MED.	TRAYECTORIAS SUMIDAS	Profundidad asumida, 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
	<b>alc. medio</b>	<b>1704</b>	<b>1724</b>	<b>2236</b>	<b>2747</b>	<b>3259</b>	<b>3771</b>
	<b>desv. stand. alc.</b>	<b>1400</b>	<b>1561</b>	<b>1315</b>	<b>1411</b>	<b>1793</b>	<b>2326</b>
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
	<b>alc. medio</b>	<b>1730</b>	<b>1431</b>	<b>1969</b>	<b>2506</b>	<b>3044</b>	<b>3581</b>
	<b>desv. stand. alc.</b>	<b>1403</b>	<b>1528</b>	<b>763</b>	<b>2</b>	<b>767</b>	<b>1532</b>
4,8	D1: S1	627	1253	1880	2506	3133	3760
2,8	D1: B1	2320	2132	1944	1756	1568	1379
2,0	S1: B1	1789	0	1789	3577	5366	7155
	<b>alc. Medio</b>	<b>1578</b>	<b>1128</b>	<b>1871</b>	<b>2613</b>	<b>3356</b>	<b>4098</b>
	<b>desv. stand. alc.</b>	<b>866</b>	<b>1071</b>	<b>78</b>	<b>915</b>	<b>1909</b>	<b>2902</b>

15 Haciendo referencia ahora a la Tabla 2, los factores de probabilidad se calculan y se normalizan utilizando la inversa de los cuadrados de las desviaciones estándar del alcance (*desv. stand. alc.*) de la Tabla 1. Un alcance localizado y profundidad localizada se calcula utilizando los factores de probabilidad. En algunas realizaciones, los alcances ponderados y los factores de probabilidad pueden calcularse para cada una de las profundidades asumidas.

20

Tabla 2

	Profundidad asumida, yardas					
	15	30	45	60	75	90
<b>Alcance Pond.</b>	<b>1638</b>	<b>1347</b>	<b>1873</b>	<b>2506</b>	<b>3110</b>	<b>3713</b>
<b>Probabilidad</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,001</b>	<b>0,999</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>

25

La solución de varianza mínima (probabilidad máxima) un alcance localizado/profundidad asumida igual a un alcance de 2.291,49 m (2.506 yardas) y a una profundidad de 18,29 m (60 pies). En algunas realizaciones, se puede calcular un único alcance localizado/profundidad asumida ponderado, que, utilizando los datos de la tabla anterior, dé los mismos resultados. Hay que tener en cuenta que existe un error de 5,49 m (seis yardas) (0,24% de error), que se debe a una aproximación que se describe a continuación (en aplicaciones de sonares más pasivos este error es insignificante).

30

En algunas realizaciones, se selecciona un alcance resuelto/profundidad asumida que tiene un el mayor factor de probabilidad para ser el alcance localizado y la profundidad localizada. Sin embargo, debería ser evidente a partir de la descripción anterior, que en algunas otras realizaciones, los alcances resueltos/profundidades asumidas y los factores de probabilidad asociados se pueden seguir procesando (es decir, combinando, por ejemplo, por una media ponderada) para proporcionar el alcance localizado/profundidad localizada. Otro ejemplo de procesamiento adicional

de los alcances resueltos/profundidades asumidas se describe a continuación en relación con las Figuras 27-29.

Haciendo referencia ahora a la Figura 19, un escenario 750 es representativo de los procesos descritos anteriormente para los sistemas que utilizan la conformación de haces y la correlación cruzada entre las señales asociadas con dos haces de recepción diferentes. Una línea 752 es representativa de una superficie de una balsa de agua, por ejemplo, una superficie del océano. Una línea 754 es representativa de un fondo de la balsa de agua. Un sistema de sonar 756 se coloca generalmente en el fondo de la balsa de agua. El sistema de sonar 756 puede ser el mismo que o similar a la sistema de sonar autónomo 20a de la Figura 2A. Una línea discontinua 766 es representativa de una profundidad de diana asumido de acuerdo con el bloque 624 de la Figura 15.

El sistema de sonar 756 incluye un sensor de sonido 762 acoplado a un procesador 758. En algunas realizaciones, el sensor de sonido 760 incluye un único elemento de recepción, por ejemplo, elemento de recepción cilíndrico, adaptada para recibir sonido y para convertir el sonido recibido en una señal electrónica. En otras realizaciones, el sensor de sonido 760 puede incluir además un elemento de recepción, adaptado cada uno para recibir sonido y para convertir el sonido recibido en una señal electrónica respectiva.

Si el sensor de sonido 760 es un único elemento de recepción o más de un elemento de recepción, el sensor de sonido 760 es capaz de utilizarse para conformar al menos dos haces de recepción 762, 764. Las haces de recepción pueden apuntar hacia cualquier ángulo vertical. Aquí, el haz de recepción 762 apunta hacia arriba, con el fin de recibir el sonido que llega sobre una trayectoria reflejada desde la superficie, y el haz de recepción 764 apunta hacia abajo, con el fin de recibir un sonido que llega sobre una trayectoria reflejada desde el fondo.

Debe entenderse que las diversas trayectorias de propagación que se describen a continuación se muestran como líneas rectas en la Figura 19. Sin embargo, como se ha descrito anteriormente, la reproducción de sonido en el agua tiende a propagarse en trayectorias de propagación no rectas. Las trayectorias de propagación que se muestran en la Figura 19 están representadas por líneas rectas para mayor claridad, pero se entenderá que son curvadas, sobre todo cuando se calcula por un modelo de propagación de trazado de rayos, como se describe a continuación.

Una primera trayectoria de propagación 768 corresponde a una trayectoria reflejada desde la superficie seleccionada de acuerdo con el bloque 84 de la Figura 17. Como se ha descrito anteriormente en relación con la Figura 17, la primera trayectoria de propagación 768 se selecciona utilizando un modelo de propagación seleccionado de manera que un ángulo de llegada de la primera trayectoria de propagación 768 en el sistema de sonar 756 está cerca de un ángulo de llegada de precisión mejorado identificado, por ejemplo, en el bloque 652 de la Figura 16.

Una segunda trayectoria de propagación 770 corresponde a una trayectoria reflejada desde el fondo seleccionada de acuerdo con el bloque 86 de la Figura 17. Como se ha descrito anteriormente en relación con la Figura 17, la segunda trayectoria de propagación 770 se selecciona utilizando el modelo de propagación seleccionado de manera que un ángulo de llegada de la segunda trayectoria de propagación 770 en el sistema de sonar 756 está cerca de otro ángulo de llegada de precisión mejorado identificado, por ejemplo, en el bloque 652 de la Figura 16.

La primera y la segunda trayectorias de propagación 768, 770, una trayectoria reflejada desde la superficie y una trayectoria reflejada desde el fondo son aquellas trayectorias que se seleccionan primero de acuerdo con la Figura 17. La primera trayectoria de propagación 768 da como resultado un punto calculado 780 correspondiente a un primer alcance a la diana a la profundidad asumida 766, de acuerdo con el bloque 688 de la Figura 17. Del mismo modo, la segunda trayectoria de propagación 770 da como resultado un punto calculado 782 correspondiente a un segundo alcance a la diana a la profundidad asumida 766, de acuerdo con el bloque 690 de la Figura 17.

El primer y segundo puntos se utilizan para calcular un punto 784 que corresponde a un alcance estimado/profundidad asumida de acuerdo con el bloque 628a de la Figura 17. El punto 784 se puede seleccionar para ser un punto medio en el alcance entre los puntos 780, 782. Sin embargo, en otras realizaciones, el punto 784 puede seleccionarse para que sea uno de los puntos 780, 782. En otras realizaciones adicionales, el punto 784 se puede seleccionar en base a cualquier función de las posiciones de los puntos 780, 782. El punto 784 se corresponde con el "punto de partida" descrito anteriormente en el bloque 628a de la Figura 17.

Nuevamente, utilizando el modelo de propagación seleccionado, y utilizando el punto 784, que corresponde al alcance estimado/profundidad asumida calculado en el bloque 628a de la Figura 17, se pueden calcular las trayectorias de propagación 772, 774, que pasan a través del punto 784. Por otra parte, se puede calcular un retardo de tiempo entre las trayectorias de propagación 772, 774, por ejemplo, utilizando el modelo de propagación seleccionado.

El sonido que llega en los dos haces 762, 764 se puede correlacionar de forma cruzada por el sistema de sonar 756, lo que da como resultado una característica de correlación que tiene un retardo de tiempo, una amplitud y una fase, que se pueden medir, por ejemplo, en los bloques 622, 622a de las Figuras 15 y 16. Se entenderá que el retardo de tiempo medido de la característica de correlación puede corresponder a un retardo de tiempo entre una trayectoria de propagación reflejada desde la superficie real (no modelada) y una trayectoria de propagación reflejada desde el



fondo.

La diferencia de retardo de tiempo calculado descrito anteriormente entre las trayectorias de propagación 772, 774 se puede comparar con el retardo de tiempo medido descrito anteriormente asociado con la característica de correlación identificada, la cual, en este caso, es una característica de correlación en una correlación cruzada. Si la diferencia de retardo de tiempo es demasiado grande, el punto 784 se puede mover en el alcance a la profundidad asumida 766, por ejemplo a la derecha. En cada movimiento, de acuerdo con el bloque 742 de la Figura 18, la diferencia de retardo de tiempo se examina para identificar si la diferencia de retardo de tiempo es suficientemente pequeña, es decir, está por debajo de un umbral de diferencia de retardo de tiempo. Finalmente, después de uno o más movimientos del punto 784, se identifica el punto 786 en el que la diferencia de retardo de tiempo es suficientemente pequeña. El punto 786 se corresponde con el alcance resuelto/profundidad asumida identificado descrito anteriormente en el bloque 744 de la Figura 18.

El alcance resuelto/profundidad asumida 786 tiene una primera trayectoria de propagación resuelta 776 con un primer ángulo de trayectoria resuelto (no mostrado) en el sistema de sonar 756 y una segunda trayectoria de propagación resuelta 778 que tiene un segundo ángulo de trayectoria resuelto (no mostrado) en el sistema de sonar 756.

Se apreciará que el punto 786, puede corresponder a solo uno de una pluralidad de alcances resueltos/profundidades asumidas identificados por el proceso 600 de la Figura 15. Un ángulo localizado/profundidad localizada se selecciona de entre la pluralidad de alcances resueltos/profundidades asumidas por el proceso descrito anteriormente en relación con el bloque 642 de la Figura 15.

Haciendo referencia ahora a las Figuras 20 y 20A, los escenarios 800, 820 son representativos de los procesos descritos anteriormente del sistema que no utilizan la conformación de haces y que utilizan la autocorrelación de una señal asociada con un haz de recepción unidireccional. Como se describe a continuación, la autocorrelación puede dar como resultado una característica de correlación que tiene un retardo de tiempo medido asociado, por ejemplo, con una trayectoria de propagación directa y una trayectoria de propagación reflejada desde el fondo, trayectorias de propagación que se describen más completamente a continuación.

Haciendo referencia primero a la Figura 20, una línea 802 es representativa de una superficie de una balsa de agua, por ejemplo, una superficie del océano. Una línea 804 es representativa de un fondo de la balsa de agua. Un sistema de sonar 806 se coloca generalmente en el fondo de la balsa de agua. El sistema de sonar 806 puede ser el mismo que o similar al sistema de sonar autónomo 20a de la Figura 2A. Una línea discontinua 812 es representativa de una profundidad de diana asumida de acuerdo con el bloque 624 de la Figura 15.

El sistema de sonar 806 incluye un sensor de sonido 810 acoplado a un procesador 808. En algunas realizaciones, el sensor de sonido 810 incluye un único elemento de recepción, por ejemplo, un elemento de recepción cilíndrico, adaptado para recibir sonido y para convertir el sonido recibido en una señal electrónica. En otras realizaciones, el sensor de sonido 810 puede incluir más de un elemento de recepción, cada uno adaptado para recibir sonido y para convertir el sonido recibido en una señal electrónica respectiva.

Si el sensor de sonido 810 es un único elemento de recepción o más de un elemento de recepción, el sensor de sonido 810 proporciona un patrón de haces de recepción sustancialmente unidireccionales.

Debe entenderse que las diversas trayectorias de propagación que se describen a continuación se muestran como líneas rectas en las Figuras 20 y 20A. Las trayectorias de propagación que se muestran en la Figura 20 tienen por objeto asociarse con un modelo de propagación de isovelocidad, y por lo tanto, se suponen, de hecho, que son rectas. Aunque las trayectorias de propagación que se muestran en la Figura 20A están representadas por líneas rectas para mayor claridad, se entenderá que son curvas, en particular cuando se calculan por un modelo de propagación de trazado de rayos como se describe a continuación.

Una primera trayectoria de propagación 814 corresponde a una trayectoria de propagación reflejada desde el fondo de isovelocidad. Una segunda trayectoria de propagación 816 corresponde a una trayectoria de propagación directa de isovelocidad. La primera y segunda trayectorias de propagación de isovelocidad 814, 816 corresponden a la primera y segunda trayectorias de propagación de isovelocidad seleccionadas anteriormente en relación con el bloque 704 de la Figura 17A.

La primera y la segunda trayectorias de propagación de isovelocidad 814, 816 intersecan en un punto 818 a la profundidad asumida 812 (profundidad  $z_t$ ), lo que da como resultado ángulos de llegada etiquetados como A y B. Los ángulos de llegada etiquetados como A y B corresponden al primer y segundo ángulos de llegada de isovelocidad identificados anteriormente en relación con el bloque 106 de la Figura 17A.

La primera y la segunda trayectoria de propagación de isovelocidad 814, 818, el punto 818, y los ángulos etiquetados como A y B se pueden calcular geoméricamente, por ejemplo, mediante las siguientes ecuaciones.

Trayectoria Directa (D1):  $SR(D1)^2 = (za - zt)^2 + R^2$ ; y (2)

Trayectoria reflejada desde el fondo (B1):  $SR(B1)^2 = (za - zt + 2a)^2 + R^2$ , (3)

5 Donde: SR = alcance oblicua, y a = d-za y es la altura del sensor de sonido (por ejemplo, el sensor de sonido 810 de la Figura 20) por encima del fondo. Por conveniencia, sea h = za-zt. Expandiendo las ecuaciones anteriores y la diferencia se obtiene:

$SR(B1)^2 - SR(D1)^2 = 4ha + 4a^2$  (4)

10 A continuación, la expresión anterior puede factorizarse en:

$(SR(B1)-SR(D1))(SR(B1)+SR(D1)) = 4a(h + a)$  (5)

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

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

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

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

25 A menudo de mayor interés es una solución para un sistema de sonar cerca del fondo (por ejemplo, el sistema de sonar 806 de la Figura 20) y para una diana cercana a la superficie. Por lo tanto, ambos  $h^2 + R^2$  y  $(h + 2a)^2 + R^2$  se pueden aproximar por  $R^2 + d^2$ . Entonces:

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

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

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

35 La expresión anterior se puede resolver como una cuadrática. Sin embargo, la expresión anterior puede simplificarse aún más al ignorar el factor, d, cuando  $d^2/R^2 \ll 1$  (por ejemplo, aguas poco profundas). Esto conduce a la proporción aproximada entre el alcance, R, y la profundidad, zt:

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

40 Una forma ligeramente más conveniente del resultado anterior se obtiene haciendo notar 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:

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

45 Se debe reconocer que un alcance calculado, R, identifica el punto 818 a la profundidad asumida 812. Teniendo el alcance, R, se reconocerá que los ángulos etiquetados como A y B se pueden calcular geoméricamente. Los ángulos calculados geoméricamente se han descrito anteriormente en relación con el bloque 706 de la Figura 17A.

50 Aunque un cálculo geométrico que implica la trayectoria reflejada desde el fondo 814 y la trayectoria directa 816 se muestra más arriba, se reconocerá que cálculos similares que utilicen otras combinaciones de trayectorias de sonido de isovelocidad pueden producir un alcance de isovelocidad y otros ángulos de trayectoria de propagación de isovelocidad. Por ejemplo, se pueden utilizar una trayectoria reflejada desde la superficie y una trayectoria directa 816.

55 Los ángulos de trayectoria de propagación de isovelocidad etiquetados como A y B se pueden utilizar en otras estimaciones que se describen a continuación en relación con la Figura 20, con el fin de encontrar un punto de partida posterior, también mencionado como un alcance estimado/profundidad asumida, que se asocie con la profundidad asumida 812. Sin embargo, de acuerdo con el proceso descrito anteriormente en la Figura 17B, en algunas realizaciones, el alcance y la profundidad asumida representados directamente por el punto 818 puede

servir como punto de partida.

5 Haciendo referencia ahora a la Figura 20A, en la que los elementos similares de la Figura 20 se muestran teniendo las mismas designaciones de referencia, un escenario 820 muestra cómo los ángulos etiquetados como A y B en la Figura 20 se pueden utilizar para identificar un punto de partida, es decir, un alcance estimado/profundidad asumida, representado por el bloque 628b de la Figura 17A, y cómo el punto de partida se puede utilizar para identificar un alcance resuelto, representado por el bloque 744 de la Figura 18.

10 Una trayectoria reflejada desde el fondo 822 (primera trayectoria) y una trayectoria de propagación directa 824 (segunda trayectoria) se generan utilizando un modelo de propagación seleccionado, por ejemplo, un modelo de propagación de trazado de rayos, utilizando los ángulos de llegada etiquetados como A y B, que fueron identificados de las trayectorias de propagación de isovelocidad 814, 816 de la Figura 20. Como se ha descrito anteriormente, aunque las trayectorias de propagación 822, 824 están representadas por líneas rectas, se reconocerá que las trayectorias de propagación que utilizan el modelo de propagación seleccionado no tienen que ser rectas.

15 La trayectoria reflejada desde el fondo 822 da como resultado un punto 836 en la profundidad asumida 812. La trayectoria directa 824 da como resultado un punto 834 en la profundidad asumida 812. Los dos puntos 834, 836 (alcances) se pueden combinar primero con el fin de encontrar un punto de partida 838, es decir, un alcance estimado/profundidad asumida. El alcance estimado/profundidad asumida se describe anteriormente, por ejemplo, en relación con el bloque 628 de la Figura 15, el bloque 628a de la Figura 17, el bloque 628b de la Figura 17A, y el bloque 628c de la Figura 17B.

20 En una realización particular, el punto de partida 838 se selecciona para estar en el punto medio en el alcance entre los puntos 834, 836. En otras realizaciones, el punto 834 se selecciona para que sea el punto de partida. En otra realización, el punto 836 se selecciona para que sea el punto de partida. En otra realización, el punto de partida 838 se calcula como otra combinación de los puntos 834, 836.

25 El punto de partida 838 se puede utilizar junto con el modelo de propagación seleccionado, que se selecciona, por ejemplo, en el bloque 732 de la Figura 18, con el fin de identificar una primera trayectoria de propagación modificada 826 y una segunda trayectoria de propagación modificada 828, ambos que pasan a través del punto de partida de alcance estimado/profundidad asumida 838, como se describe, por ejemplo, junto con los bloques 734, 736 de la Figura 18. De acuerdo con el bloque 738 de la Figura 18, una diferencia de retardo de tiempo de la primera y segunda trayectorias de propagación modificadas 826, 828 se puede calcular. De acuerdo con el bloque 740 de la Figura 18, la diferencia de retardo de tiempo se puede comparar con un retardo de tiempo de una característica de correlación identificada, que en este caso, es una característica de correlación en una autocorrelación.

30 El sonido que llega al sensor de sonido 810 se puede autocorrelacionar por el sistema de sonar 806, lo que da como resultado una característica de correlación que tiene un retardo de tiempo, y una amplitud, y una fase, que se pueden medir, por ejemplo, en el bloque 622 de la Figura 15 y en el bloque 622b de la Figura 16A. Se entenderá que el retardo de tiempo medido de la característica de correlación puede corresponder a un retardo de tiempo entre una trayectoria de propagación reflejada desde el fondo real (no modelada) y una trayectoria de propagación directa real.

35 La diferencia de retardo de tiempo calculado descrito anteriormente entre las trayectorias de propagación 826, 828 se puede comparar con el retardo de tiempo medido descrito anteriormente asociado con la característica de correlación identificada. Si la diferencia de retardo de tiempo es demasiado grande, el punto 838 se puede mover en el alcance a la profundidad asumida 812, por ejemplo a la derecha. En cada movimiento, de acuerdo con el bloque 742 de la Figura 18, la diferencia de retardo de tiempo se examina para identificar si la diferencia de retardo de tiempo es suficientemente pequeña, es decir, está por debajo de un umbral de diferencia de retardo de tiempo. Finalmente, después de uno o más movimientos del punto 838, se identifica un punto 840 en el que la diferencia de retardo de tiempo es suficientemente pequeña. El punto 840 se corresponde con el alcance resuelto/profundidad asumida identificado descrito anteriormente en el bloque 744 de la Figura 18.

40 El alcance resuelto/profundidad asumida 840 tiene una primera trayectoria de propagación resuelta 830 con un primer ángulo de trayectoria resuelto (no etiquetado) en el sistema de sonar 806 y una segunda trayectoria de propagación resuelta 832 que tiene un segundo ángulo de trayectoria resuelto (no etiquetado) el sistema de sonar 806.

45 Se apreciará que el punto 840, se puede corresponder solamente a uno de una pluralidad de alcances de resueltos/profundidades asumidas identificados por el proceso 600 de la Figura 15. Un ángulo localizado/profundidad localizada se selecciona de entre la pluralidad de alcances resueltos/profundidades asumidas como los descritos anteriormente en relación con la Figura 18.

- Haciendo referencia ahora a las Figuras 21 y 21A, los escenarios 850, 880 representativos de los procesos descritos anteriormente para el sistema que no utiliza conformación de haces y que utiliza la autocorrelación de una señal asociada con un haz de recepción direccional. Como se describe a continuación, la autocorrelación puede dar como resultado una característica de correlación que tiene un retardo de tiempo medido asociado, por ejemplo, con una trayectoria de propagación directa y una trayectoria de propagación reflejada desde la superficie, trayectorias de propagación que se describen más completamente a continuación.
- Haciendo referencia primero a la Figura 21, una línea 852 es representativa de una superficie de una balsa de agua, por ejemplo, una superficie del océano. Una línea 854 es representativa de un fondo de la cuenca de agua. Un sistema de sonar 856 se coloca generalmente en el fondo de la balsa de agua. El sistema de sonar 856 puede ser el mismo que o similar al sistema de sonar autónomo 20a de la Figura 2A. Una línea discontinua 864 es representativa de una profundidad de diana asumida de acuerdo con el bloque 624 de la Figura 15.
- El sistema de sonar 856 incluye un sensor de sonido 860 acoplado a un procesador 858. En algunas realizaciones, el sensor de sonido 860 incluye un único elemento de recepción, por ejemplo, elemento de recepción cilíndrico, adaptado para recibir sonido y para convertir el sonido recibido en una señal electrónica. En otras realizaciones, el sensor de sonido 860 puede incluir más de un elemento de recepción, cada uno adaptado para recibir sonido y para convertir el sonido recibido en una señal electrónica respectiva.
- Si el sensor de sonido 860 es un único elemento de recepción o más de un elemento de recepción, el sensor de sonido 860 es capaz de utilizarse para conformar al menos un haz de recepción 862. El haz de recepción 862 puede apuntarse hacia cualquier ángulo vertical. Aquí, el haz 862 apunta hacia arriba, con el fin de recibir el sonido que llega sobre una trayectoria reflejada desde la superficie y sobre una trayectoria directa. Mientras se muestra el haz 862, el procesamiento que se describe a continuación es similar a los escenarios de las Figuras 20 y 20A, y el haz 862 no se utiliza para la información del ángulo de llegada.
- Debe entenderse que las diversas trayectorias de propagación que se describen a continuación se muestran como líneas rectas en las Figuras 21 y 21A. Las trayectorias de propagación que se muestra en la Figura 21 tienen por objeto asociarse con un modelo de propagación de isovelocidad, y se asumen por lo tanto que son, de hecho, rectas. Sin embargo, las trayectorias de propagación que se muestran en la Figura 21A están representadas por líneas rectas para mayor claridad, pero se entenderá que son curvas, en particular cuando se calculan por un modelo de propagación de trazado de rayos como se describe a continuación.
- Una primera trayectoria de propagación 866 corresponde a una trayectoria de propagación reflejada desde la superficie de isovelocidad. Una segunda trayectoria de propagación 868 corresponde a una trayectoria de propagación directa de isovelocidad. La primera y segunda trayectoria de propagación de isovelocidad 866, 868 corresponden a la primera y segunda trayectorias de propagación de isovelocidad seleccionadas anteriormente en relación con el bloque 704 de la Figura 17A.
- La primera y la segunda trayectoria de propagación de isovelocidad 866, 868 intersecan en un punto 870 a la profundidad asumida 864 (profundidad  $z_t$ ), lo que da como resultado ángulos de llegada etiquetados como C y D. Los ángulos de llegada etiquetados como C y D corresponden al primer y segundo ángulos de llegada de isovelocidad identificados anteriormente en relación con la Figura 17A.
- La primera y segunda trayectorias de propagación de isovelocidad 866, 870, el punto 870, y los ángulos etiquetados como C y D se pueden calcular geoméricamente, por ejemplo, mediante ecuaciones similares a las descritos anteriormente en relación con la Figura 20.
- Se debe reconocer que un alcance calculado, R, identifica el punto 870 a la profundidad asumida 864. Al tener el alcance, R, se reconocerá que los ángulos etiquetados como C y D se pueden calcular geoméricamente. Los ángulos calculados geoméricamente se han descrito anteriormente en relación con el bloque 706 de la Figura 17A.
- Aunque el cálculo geométrico que implica la trayectoria reflejada desde la superficie 866 y la trayectoria directa 868 se muestra anteriormente, se reconocerá que cálculos similares que utilizan otras combinaciones de trayectorias de sonido de isovelocidad pueden producir un alcance de isovelocidad y otros ángulos de trayectoria de propagación de isovelocidad. Por ejemplo, se pueden utilizar una trayectoria reflejada desde el fondo y la trayectoria directa 868.
- Los ángulos de trayectoria de propagación de isovelocidad etiquetados como C y D se pueden utilizar en otras estimaciones que se describen a continuación en relación con la Figura 21A, con el fin de encontrar un punto de partida posterior, también mencionado como un alcance estimado/profundidad asumida, que se asocia con la profundidad asumida 864. Sin embargo, de acuerdo con el proceso descrito anteriormente en la Figura 17B, en algunas realizaciones, el alcance estimado y la profundidad asumida, representados directamente por el punto 870, pueden servir como el punto de partida.
- Haciendo referencia ahora a la Figura 21A, en la que los elementos similares de la Figura 21 se muestran teniendo designaciones de referencia, un escenario 880 muestra cómo los ángulos etiquetados como C y D en la Figura 20 se

pueden utilizar para identificar un punto de partida, es decir, un alcance estimado/profundidad asumida, representado por el bloque 628a de la Figura 17, y cómo el punto de partida se puede utilizar para identificar un alcance resuelto, representado por el bloque 744 de la Figura 18.

5 Una trayectoria reflejada desde la superficie 882 (primer trayectoria) y una trayectoria de propagación directa 884 (segunda trayectoria) se generan utilizando un modelo de propagación seleccionado, por ejemplo, un modelo de propagación de trazado de rayos, con los ángulos de llegada etiquetados como C y D, que se identificaron a partir de las trayectorias de propagación de isovelocidad 866, 868 de la Figura 21. Como se ha descrito anteriormente, aunque las trayectorias de propagación 882, 884 están representadas por líneas rectas, se reconocerá que las trayectorias de propagación que utiliza el modelo de propagación seleccionado no tienen que ser rectas.

15 La trayectoria reflejada desde la superficie 882 da como resultado un punto 896 en la profundidad asumida 864. La trayectoria directa 884 da como resultado un punto 894 en la profundidad asumida 864. Los dos puntos 894, 896 (alcances) se pueden combinar primero con el fin de encontrar un punto de partida 898, es decir, un alcance estimado/profundidad asumida. El alcance estimado/profundidad asumida se describe anteriormente, por ejemplo, en relación con el bloque 628 de la Figura 15, con el bloque 628a de la Figura 17, con el bloque 628b de la Figura 17A, y con el bloque 628c de la Figura 17B.

20 En una realización particular, el punto de partida 898 se selecciona para estar en el punto medio en alcance entre los puntos 894, 896. En otras realizaciones, el punto 894 se selecciona para que sea el punto de partida. En otra realización, el punto 896 se selecciona para que sea el punto de partida. En otra realización, el punto de partida 898 se calcula como otra combinación de los puntos 894, 896.

25 El punto de partida 898 se puede utilizar junto con el modelo de propagación seleccionado, que se selecciona, por ejemplo, en el bloque 732 de la Figura 18, con el fin de identificar una primera trayectoria de propagación modificada 886 y una segunda trayectoria de propagación modificada 888, pasando ambas a través del punto de partida de alcance estimado/profundidad asumida 898, como se describe, por ejemplo, junto con los bloques 734, 736 de la Figura 18. De acuerdo con el bloque 738 de la Figura 18, una diferencia de retardo de tiempo de la primera y segunda trayectorias de propagación modificadas 886, 888 se puede calcular. De acuerdo con el bloque 740 de la Figura 18, la diferencia de retardo de tiempo se puede comparar con un retardo de tiempo de una característica de correlación identificada, que en este caso, es una característica de correlación en una autocorrelación.

35 El sonido que llega al sensor de sonido 860 se puede autocorrelacionar por el sistema de sonar 856, lo que da como resultado una característica de correlación que tiene un retardo de tiempo, una amplitud y una fase, que se pueden medir, por ejemplo, en el bloque 622 de la Figura 15 y el bloque 622b de la Figura 16A. Se entenderá que el retardo de tiempo medido de la característica de correlación puede corresponder a un retardo de tiempo entre una superficie trayectoria de propagación reflejada real (no modelada) y una trayectoria de propagación directa real.

40 La diferencia de retardo de tiempo calculado descrito anteriormente entre las trayectorias de propagación 886, 888 puede compararse con el retardo de tiempo medido descrito anteriormente asociado con la característica de correlación identificada. Si la diferencia de retardo de tiempo es demasiado grande, el punto 898 se puede mover en el alcance  $a <$  la profundidad asumida 864, por ejemplo a la derecha. En cada movimiento, de acuerdo con el bloque 742 de la Figura 18, la diferencia de retardo de tiempo se examina para identificar si la diferencia de retardo de tiempo es suficientemente pequeña, es decir, está por debajo de un umbral de diferencia de retardo de tiempo. Finalmente, después de uno o más movimientos del punto 898, se identifica un punto 900 en el que la diferencia de retardo de tiempo es suficientemente pequeña. El punto 900 se corresponde con el alcance resuelto/profundidad asumida identificado descrito anteriormente en el bloque 744 de la Figura 18.

50 El alcance resuelto/profundidad asumida 900 tiene una primera trayectoria de propagación resuelta 890 que tiene un primer ángulo de trayectoria resuelto (no etiquetado) en el sistema de sonar 856 y una segunda trayectoria de propagación resuelta 892 que tiene un segundo ángulo de trayectoria resuelto (no etiquetado) en el sistema de sonar 856.

55 Se apreciará que el punto 900, puede corresponder solamente a uno de una pluralidad de alcances resueltos/profundidades asumidas identificados por el proceso 600 de la Figura 15. Un ángulo localizado/profundidad localizada se selecciona de entre la pluralidad de alcances resueltos/profundidades asumidas que se han descritos anteriormente en relación con la Figura 18.

60 Haciendo referencia ahora a la Figura 22, otro escenario 910 es similar al de las Figuras 21 y 21A, excepto que en la descripción que sigue ninguna trayectoria de propagación de isovelocidad se definirá como que se ha hecho en la Figura 21. El escenario 910 es representativo de los procesos descritos anteriormente para los sistemas que utilizan la correlación de conformación de haces y de autocorrelación de una señal recibida en un haz acústico.

65 Una línea 912 es representativa de una superficie de una balsa de agua, por ejemplo, una superficie del océano. Una línea 914 es representativa de un fondo de la balsa de agua. Un sistema de sonar 916 se coloca generalmente en el fondo de la balsa de agua. El sistema de sonar 916 puede ser el mismo que o similar al sistema de sonar

autónomo 20a de la Figura 2A. Una línea discontinua 924 es representativa de una profundidad de diana asumida de acuerdo con el bloque 624 de la Figura 15.

5 El sistema de sonar 916 incluye un sensor de sonido 920 acoplado a un procesador 918. En algunas realizaciones, los sensores de sonido 920 incluyen un único elemento de recepción, por ejemplo, elemento de recepción cilíndrico, adaptado para recibir sonido y para convertir el sonido recibido en una señal electrónica. En otras realizaciones, los sensores 920 de sonido pueden incluir más de un elemento de recepción, cada uno adaptado para recibir sonido y para convertir el sonido recibido en una señal electrónica respectiva.

10 Si el sensor de sonido 920 es un elemento recepción o más de un elemento recepción, el sensor de sonido 920 es capaz de utilizarse para formar al menos un haz de recepción 922. El haz de recepción 922 puede apuntar hacia cualquier ángulo vertical. Aquí, el haz 922 apunta hacia arriba, con el fin de recibir el sonido que llega sobre una trayectoria reflejada desde la superficie, y sobre una trayectoria directa.

15 Debe entenderse que las diversas trayectorias de propagación que se describen a continuación se muestran como líneas rectas en la Figura 22. Sin embargo, las trayectorias de propagación que se muestran en la Figura 22 están representadas por líneas rectas para mayor claridad, pero se entenderá que son curvas, sobre todo cuando se calculan por un modelo de propagación de trazado de rayos, como se describe a continuación.

20 Una primera trayectoria de propagación 928 corresponde a una trayectoria reflejada desde la superficie seleccionada de acuerdo con el bloque 684 de la Figura 17. Como se ha descrito anteriormente en relación con la Figura 17, la primera trayectoria de propagación 928 se selecciona utilizando un modelo de propagación seleccionado de manera que un ángulo de llegada de la primera trayectoria de propagación 928 en el sistema de sonar 916 está cerca de un ángulo de llegada de precisión mejorado identificado, por ejemplo, en el bloque 652 de la  
25 Figura 16.

Una segunda trayectoria de propagación 922 corresponde a una trayectoria reflejada desde el fondo seleccionada de acuerdo con el bloque 686 de la Figura 17. Como se ha descrito anteriormente en relación con la Figura 17, la segunda trayectoria de propagación 922 se selecciona utilizando el modelo de propagación seleccionado de manera que un ángulo de llegada de la segunda trayectoria de propagación 922 en el sistema de sonar 916 está cerca de un  
30 ángulo de llegada de precisión mejorado identificado, por ejemplo, en el bloque 652 de la Figura 16, que es el mismo ángulo que el proporcionado por la primera trayectoria de propagación 928.

35 La primera y segunda trayectorias de propagación 928, 922, una trayectoria reflejada desde la superficie y una trayectoria directa, respectivamente, son las trayectorias que se seleccionan primero de acuerdo con la Figura 17. La primera trayectoria de propagación 928 da como resultado un punto 940 que corresponde a un primer alcance a la diana en la profundidad asumida 924 calculada, de acuerdo con el bloque 688 de la Figura 17. Del mismo modo, la segunda trayectoria de propagación 922 da como resultado un punto 938 calculado que corresponde a un segundo alcance a la diana en la profundidad asumida 924, de acuerdo con el bloque 690 de la Figura 17.

40 El primer y segundo puntos 940, 938 se utilizan para calcular un punto 942 que corresponde a un alcance estimado/profundidad asumida de acuerdo con el bloque 628a de la Figura 17. El punto 942 se puede seleccionar para ser un punto medio en el alcance entre los puntos 938, 940. Sin embargo, en otras realizaciones, el punto 942 puede seleccionarse para que sea uno de los puntos 938, 940. En otras realizaciones adicionales, el punto 942 se puede  
45 seleccionar en base a cualquier función de las posiciones de los puntos 938, 940. El punto 942 se corresponde con el "punto de partida" que se ha descrito anteriormente en el bloque 628a de la Figura 17.

Nuevamente utilizando el modelo de propagación seleccionado, y utilizando el punto 942, que corresponde al alcance estimado/profundidad asumida calculada en el bloque 628a de la Figura 17, se pueden calcular las trayectorias de propagación 930, 932 que pasan a través del punto 942. Por otra parte, se puede calcular un retardo de tiempo entre las trayectorias de propagación 930, 932, por ejemplo, utilizando el modelo de propagación  
50 seleccionado.

55 El sonido que llega en el haz 922 se puede autocorrelacionar por el sistema de sonar 916, lo que da como resultado una característica de correlación que tiene un retardo de tiempo, una amplitud y una fase, que se pueden medir, por ejemplo, en el bloque 622a de la Figura 16. Se entenderá que el retardo de tiempo medido de la característica de correlación puede corresponder a un retardo de tiempo entre una trayectoria de propagación reflejada desde la superficie real (no modelada) y una trayectoria de propagación reflejada desde el fondo.

60 La diferencia de retardo de tiempo calculado descrito anteriormente entre las trayectorias de propagación 930, 932 se puede comparar con el retardo de tiempo medido descrito anteriormente asociado con la característica de correlación identificada, la cual, en este caso, es una característica de correlación en una autocorrelación. Si la diferencia de retardo de tiempo es demasiado grande, el punto 942 se puede mover en el alcance a la profundidad asumida 924, por ejemplo a la derecha. En cada movimiento, de acuerdo con el bloque 742 de la Figura 18, la  
65 diferencia de retardo de tiempo se examina para identificar si la diferencia de retardo de tiempo es suficientemente pequeña, es decir, está por debajo de un umbral de diferencia de retardo de tiempo. Finalmente, después de uno o

más movimientos del punto 942, se identifica el punto 944 en el que la diferencia de retardo de tiempo es suficientemente pequeña. El punto 944 se corresponde con el alcance resuelto/profundidad asumida identificado descrito anteriormente en el bloque 744 de la Figura 18.

5 El alcance resuelto/profundidad asumida 944 tiene una primera trayectoria de propagación resuelta 934 que tiene un primer ángulo de trayectoria resuelto en el sistema de sonar 916 y una segunda trayectoria de propagación resuelta 936 que tiene un segundo ángulo de trayectoria resuelto en el sistema de sonar 916.

10 Se apreciará que el punto 944, puede corresponder solamente a uno de una pluralidad de alcances resueltos/profundidades asumidas identificados por el proceso 600 de la Figura 15. Un ángulo localizado/profundidad localizada se selecciona de entre la pluralidad de alcances resueltos/profundidades asumidas por el proceso descrito anteriormente en relación con la Figura 18.

15 Haciendo referencia ahora a las Figuras 23 y 23A, los escenarios 950, 980 son representativos de los procesos descritos anteriormente para un sistema que no utiliza la conformación de haces y que utiliza la correlación cruzada de las señales asociadas con dos haces de recepción omnidireccionales separados (no mostrado). La correlación cruzada puede dar como resultado una característica de correlación que tiene un retardo de tiempo medido asociado, por ejemplo, con una primera trayectoria de propagación directa y una segunda trayectoria de propagación directa, trayectorias de propagación que se describen más completamente a continuación.

20 Haciendo referencia primero a la Figura 23, una línea 952 es representativa de una superficie de una balsa de agua, por ejemplo, una superficie del océano. Una línea 954 es representativa de un fondo de la balsa de agua. Un sistema de sonar 956 se coloca generalmente en el fondo de la balsa de agua. El sistema de sonar 956 puede ser el mismo que o similar al sistema de sonar autónomo 20a de la Figura 2A. Una línea discontinua 964 es representativa de una profundidad de diana asumida de acuerdo con el bloque 624 de la Figura 15.

25 El sistema de sonar 956 incluye un primer sensor de sonido 960 y un segundo sensor de sonido 962, cada uno acoplado a un procesador 958. En algunas realizaciones, los sensores de sonido 960, 962 incluyen cada uno un solo elemento de recepción, por ejemplo, elemento de recepción cilíndrico, adaptado para recibir sonido y para convertir el sonido recibido en una señal electrónica respectiva.

30 Los sensores de sonido 960, 962 son cada uno capaz de recibir sonido omnidireccional, es decir, con los respectivos haces de recepción unidireccionales o casi omnidireccionales (no mostrados). Los sensores de sonido 960, 962 pueden recibir cada sonido que llega en cualquier trayectoria de propagación de los sensores de sonido 960, 962, incluyendo, pero sin limitarse a, una trayectoria reflejada desde la superficie, una trayectoria reflejada desde el fondo, y una trayectoria directa.

35 Debe entenderse que las diversas trayectorias de propagación que se describen a continuación se muestran como líneas rectas en las Figuras 23 y 23A. Las trayectorias de propagación que se muestra en la Figura 23 tienen por objeto asociarse con un modelo de propagación de isovelocidad, y por lo tanto, se asume que son, de hecho, rectas. Sin embargo, las trayectorias de propagación que se muestran en la Figura 23A están representados por líneas rectas para mayor claridad, pero se entenderá que son curvas, en particular cuando se calculan por un modelo de propagación de trazado de rayos como se describe a continuación.

40 Una primera trayectoria de propagación 966 corresponde a una primera trayectoria de propagación directa de isovelocidad. Una segunda trayectoria de propagación 968 corresponde a una segunda trayectoria de propagación directa de isovelocidad. Las primera y segunda trayectorias de propagación de isovelocidad 966, 968 corresponden a la primera y segunda trayectorias de propagación de isovelocidad seleccionadas anteriormente en relación con el bloque 704 de la Figura 17A.

45 La primera y la segunda trayectoria de propagación de isovelocidad 966, 968 intersecan en un punto 970 en la profundidad asumida 964 (profundidad  $z_t$ ), lo que da como resultado ángulos de llegada etiquetados como E y F. Los ángulos de llegada etiquetados como E y F corresponden al primer y segundo ángulos de llegada de isovelocidad identificados anteriormente en relación con la Figura 17.

50 La primera y segunda trayectorias de propagación de isovelocidad 966, 968, el punto 970, y los ángulos etiquetados como E y F se pueden calcular geoméricamente, utilizando técnicas similares a las descritas anteriormente en relación con la Figura 20.

55 Se debe reconocer que el alcance calculado, R, identifica el punto 970 en la profundidad asumida 964. Al tener el alcance, R, se reconocerá que los ángulos etiquetados como E y F se pueden calcular geoméricamente. Los ángulos calculados geoméricamente se han descrito anteriormente en relación con el bloque 706 de la Figura 17A.

60 Aunque un cálculo geométrico que implica las trayectorias directos 966, 968 puede utilizarse anteriormente, se reconocerá que cálculos similares que utilicen otras combinaciones de trayectorias de sonido de isovelocidad pueden producir un alcance de isovelocidad y otros ángulos de trayectoria de propagación de isovelocidad. Por

ejemplo, se pueden utilizar la trayectoria reflejada desde la superficie y la trayectoria directa.

Los ángulos de trayectoria de propagación de isovelocidad etiquetados como E y F que se pueden utilizar en otras estimaciones se describen a continuación en relación con la Figura 23A, con el fin de encontrar un punto de partida posterior, también mencionado como un alcance estimado/profundidad asumida, que se asocia con la profundidad asumida 964. Sin embargo, de acuerdo con el proceso descrito anteriormente en la Figura 17B, en algunas realizaciones, el alcance estimado y profundidad asumida directamente representado por el punto 970 puede servir como punto de partida.

Haciendo referencia ahora a la Figura 23A, en la que los elementos similares de la Figura 23 se muestran teniendo designaciones de referencia, un escenario 980 muestra cómo los ángulos etiquetados como E y F en la Figura 23 se puede utilizar para identificar un punto de partida, es decir, un alcance estimado/profundidad asumida, representado por el bloque 628b de la Figura 17A, y cómo el punto de partida se puede utilizar para identificar un alcance resuelto, representado por el bloque 744 de la Figura 18.

Una trayectoria de propagación directa 982 (primer trayectoria) y una trayectoria de propagación directa 984 (segunda trayectoria) se generan mediante un modelo de propagación seleccionado, por ejemplo, un modelo de propagación de trazado de rayos, con los ángulos de llegada etiquetados como E y F, que se identificaron a partir de las trayectorias de propagación de isovelocidad 966, 968 de la Figura 23. Como se ha descrito anteriormente, aunque las trayectorias de propagación 982, 984 están representadas por líneas rectas, se reconocerá que las trayectorias de propagación que utilizan el modelo de propagación seleccionado no tienen que ser rectas.

La trayectoria directa 982 da como resultado un punto 994 en la profundidad asumida 964. La trayectoria directa 984 da como resultado un punto 996 en la profundidad asumida 964. Los dos puntos 994, 996 (alcances) se pueden combinar primero con el fin de encontrar un punto de partida 998, es decir, un alcance estimado/profundidad asumida. El alcance estimado/profundidad asumida se describe anteriormente, por ejemplo, en relación con el bloque 628 de la Figura 15, con el bloque 628a de la Figura 17, con el bloque 628b de la Figura 17A, y con el bloque 628c de la Figura 17B.

El punto de partida 998 se puede seleccionar por las técnicas descritas anteriormente en relación con la Figura 19. El punto de partida 998 se puede utilizar junto con el modelo de propagación seleccionado, que se selecciona, por ejemplo, en el bloque 732 de la Figura 18, con el fin de identificar una primera trayectoria de propagación modificada 986 y una segunda trayectoria de propagación modificada 988, pasando ambas a través del punto de partida de alcance estimado/profundidad asumida 998, como se describe, por ejemplo, junto con los bloques 734, 736 de la Figura 18. De acuerdo con el bloque 738 de la Figura 18, se puede calcular una diferencia de retardo de tiempo de la primera y segunda trayectorias de propagación modificadas 986, 988. De acuerdo con el bloque 740 de la Figura 18, la diferencia de retardo de tiempo se puede comparar con un retardo de tiempo de una característica de correlación identificada.

El sonido que llega a los sensores de sonido 962, 960 se puede correlacionar de forma cruzada por el sistema de sonar 956, lo que da como resultado una característica de correlación que tiene un retardo de tiempo, una amplitud y una fase, que se pueden medir, por ejemplo, en el bloque 622 de la Figura 15 y en el bloque 622b de la Figura 2A. Se entenderá que el retardo de tiempo medido de la característica de correlación puede corresponder a un retardo de tiempo entre una trayectoria de propagación directa real (no modelada) y otra trayectoria de propagación directa real.

La diferencia de retardo de tiempo calculada descrito anteriormente entre las trayectorias de propagación 986, 988 se puede comparar con el retardo de tiempo medido descrito anteriormente asociado con la característica de correlación identificada, la cual, en este caso, es una característica de correlación en una autocorrelación. Si la diferencia de retardo de tiempo es demasiado grande, el punto 998 se puede mover en el alcance a la profundidad asumida 964, por ejemplo a la derecha. En cada movimiento, de acuerdo con el bloque 742 de la Figura 18, la diferencia de retardo de tiempo se examina para identificar si la diferencia de retardo de tiempo es suficientemente pequeña, es decir, está por debajo de un umbral de diferencia de retardo de tiempo. Finalmente, después de uno o más movimientos del punto 998, se identifica un punto 1000 en el que la diferencia de retardo de tiempo es suficientemente pequeña. El punto 1000 se corresponde con el alcance resuelto/profundidad asumida identificado descrito anteriormente en el bloque 744 de la Figura 18.

El alcance resuelto/profundidad asumida 1000 tiene una primera trayectoria de propagación resuelta 990 con un primer ángulo de trayectoria resuelto (no etiquetado) en el sistema de sonar 956 y una segunda trayectoria de propagación resuelta 992 que tiene un segundo ángulo de trayectoria resuelto (no etiquetado) en el sistema de sonar 956.

Se apreciará que el punto 1000, se puede corresponder solamente a uno de una pluralidad de alcances resueltos/profundidades asumidas identificados por el proceso 600 de la Figura 15. Un ángulo localizado/profundidad localizada se selecciona de entre la pluralidad de alcances resueltos/profundidades asumidas descritos anteriormente en relación con la Figura 18.



Haciendo referencia ahora a la Figura 24, un gráfico 1010 incluye una escala horizontal de unidades de tiempo en unidades arbitrarias y una escala vertical de unidades de magnitud en unidades arbitrarias. Las características etiquetadas como D1, S1:B1, S1:D1, y B1:D1 corresponden a la característica de correlación en una salida de una autocorrelación, donde S se refiere a una trayectoria de propagación reflejada desde la superficie, D se refiere a una trayectoria de propagación directa, y B se refiere a una trayectoria de propagación reflejada desde 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 desde la superficie y a una trayectoria de propagación reflejada desde el fondo.

Aunque se muestran tres características de correlación, se debe entender que puede haber otras características de correlación correspondientes a otras combinaciones de trayectorias de propagación.

[Haciendo referencia ahora a la Figura 25, un gráfico 1020 incluye una escala horizontal de unidades de tiempo en unidades arbitrarias y una escala vertical de unidades de magnitud en unidades arbitrarias. Las características etiquetadas como B1:B2, B2:S1, B1:S1, y S1:S1 corresponden a la característica de correlación en una salida 1010 de una correlación cruzada, donde S se refiere a una trayectoria de propagación reflejada desde la superficie, D se refiere a una trayectoria de propagación directa, B se refiere a una trayectoria de propagación reflejada desde el fondo, 1 se refiere a una trayectoria de acceso a un primer sensor de sonido o matriz, y 2 se refiere a una trayectoria de acceso a un segundo sensor de sonido o matriz. Por lo tanto, por ejemplo B1:B2 hace referencia a una característica de correlación asociada con un par trayectoria de propagación correspondiente a una trayectoria de propagación reflejada desde el fondo a un primer sensor de sonido y una trayectoria de propagación reflejada desde el fondo a un segundo sensor de sonido.

Aunque se muestran cuatro características de correlación, se debe entender que puede haber otras características de correlación correspondientes a otras combinaciones de trayectorias de propagación.

Haciendo referencia ahora a la Figura 26, un sistema de sonar 1030 puede ser el mismo que o similar a cualquiera de los sistema de sonar 756, 806, 856, 916, 956 de las Figuras 19-23A. El sistema de sonar 1030 puede ser también el mismo que o similar a los módulos 92, 136 de la Figura 3, en combinación con los módulos de formación de haces 60, 70, 128 y con la matriz de recepción 52 que se muestra en la Figura 3. El sistema de sonar 1030 puede incluir uno o más sensores de sonido 1032 adaptados para generar señales electrónicas 1034, 1046 en respuesta a una señal de sonido recibida.

El sistema de sonar puede incluir un conformador de haces 1036 acoplado al uno o más sensores de sonido 1032 y adaptado para generar una señal de conformación de haces 1038. Un procesador de autocorrelación 1040 se adapta para generar una señal de correlación 1042 en respuesta a la señal de conformación de haces 1038. Un procesador de identificación de la característica de correlación 1044 se adapta para identificar una característica de correlación 1056 en la señal de correlación 1042. Un procesador de medición de parámetros de la característica de correlación 1058 se adapta para medir un parámetro de la característica de correlación identificada 1.056 y para generar valores de la característica de correlación medidos 1060. Un procesador de identificación del par de trayectorias 1062 se adapta para asumir una profundidad de diana y se adapta para seleccionar un par de trayectorias de propagación 1064 asociadas con la característica de correlación identificada 1056 y con la profundidad asumida. Un procesador de alcance estimado/profundidad asumida 1066 se adapta para estimar un alcance de la diana 1068 en la profundidad asumida utilizando el par de trayectorias de propagación identificadas 1064. Un procesador de resolución de alcance 1070 se adapta para procesar el alcance estimado 1068 de la diana a la profundidad asumida para proporcionar un alcance resuelto 1072 de la diana a la profundidad asumida y un primer par de trayectorias de propagación resueltas asociadas 1072. Un procesador de estimación de probabilidad 1074 se adapta para asignar un factor de probabilidad 1.076 al alcance resuelto 1072 de la diana a la profundidad asumida. Un procesador de localización 1078 se adapta para procesar el factor de probabilidad 1078 y para generar una señal de localización 1080, que localiza la diana en profundidad y en alcance en base al factor de probabilidad 1078.

En algunas realizaciones, el sistema de sonar 1030 incluye también otro conformador de haces 1048 acoplado al uno o más sensores de sonido 1032 y adaptado para generar otra señal de conformación de haces 1038. Un procesador de correlación cruzada 1052 se adapta para generar una señal de correlación 1054 asociada con las señales de conformación de haces 1050, 1038. El procesador de identificación de la característica de correlación 1044 se adapta para identificar otra característica de correlación 1056 en la señal de correlación 1054.

Las Figuras 27-29 presentan los resultados de un caso ilustrativo. Sin embargo, antes de pasar a las Figuras 27-29, se presenta una descripción de contexto general.

El factor de probabilidad descrito anteriormente es una medida de la calidad de una solución para el alcance y profundidad. En algunas realizaciones, el factor de probabilidad está formado por una cadena multiplicativa de factores de probabilidad (también denominado a continuación como factores de calidad). Los factores de calidad pueden estar asociados con un sistema, medición, o restricción 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, a un ángulo calculado, y a una incertidumbre asociada con la medición y/o cálculo. En otra disposición descrita anteriormente, un factor de calidad se puede determinar en combinación con un conjunto de pares de trayectorias de llegada asumidas que se hacen coincidir con un conjunto de medidas de retardo de tiempo de correlación. En esta disposición, el factor de calidad está relacionado con la varianza de las múltiples estimaciones de alcance de la fuente. Otro factor de probabilidad puede ser una combinación, por ejemplo, un producto, de los factores de probabilidad anteriores.

Haciendo referencia ahora a la Figura 27, un gráfico 1082 incluye una escala horizontal en unidades de profundidad de diana en pies y una escala vertical en unidades del factor de probabilidad descrito anteriormente. Una curva 1084 muestra (una simulación de) una probabilidad normalizada para las profundidades asumidas descritas anteriormente, calculada sumando los factores de probabilidad para todas las combinaciones de pares de trayectoria de alcance resueltas para cada profundidad asumida, cada alcance resuelto calculado por el proceso de la Figura 15, y cada uno de los factores de probabilidad normalizado representado frente a su profundidad de diana asociada. La curva de 1084 no es simétrica y tiene a una profundidad de diana de trescientos pies, tipificado por un punto 1084A. Un media ponderada de la curva 1084 se produce a aproximadamente trescientos catorce pies, tipificado por un punto 1084B.

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

Haciendo referencia ahora a la Figura 28, un gráfico 1086 incluye una escala horizontal en unidades de alcance de diana en kiloyardas (Kyds) y una escala vertical en unidades del factor de probabilidad descrito anteriormente. Una curva 1088 muestra (una simulación de) un factor de probabilidad del alcance de diana normalizado en función del alcance de diana. Este factor de probabilidad del alcance normalizado se calcula a partir de la distribución de los factores de probabilidad de los alcances resueltos/profundidades asumidas descritos anteriormente calculados por el proceso 600 de la Figura 15. La curva 1088 es no simétrica y tiene un pico en un alcance de diana de una kiloyarda. Un media ponderada de la curva 1088 se produce a aproximadamente 1.027 kiloyardas.

En algunas realizaciones, el alcance de pico en una kiloyarda se puede utilizar como el alcance localizado. Sin embargo, en otras realizaciones, el alcance de 1.027 kiloyardas se puede utilizar como el alcance de diana localizada.

Haciendo referencia ahora a la Figura 29, un gráfico 1090 incluye una escala horizontal en unidades de profundidad de diana en pies y una escala vertical en unidades de alcance de diana en millas náuticas (Nm) y una escala vertical en unidades del factor de probabilidad descrito anteriormente. Una curva 1092 muestra (una simulación de) la variación conjunta de los alcances resueltos/profundidades asumidas descritos anteriormente calculada por el proceso de la Figura 15, representada en alcance y en profundidad.

La curva 1092 muestra (una simulación de) el alcance de diana resuelto medio, calculado por una media ponderada del factor de probabilidad sobre todas las combinaciones de pares de trayectorias para cada una de las profundidades asumidas descritas anteriormente calculadas por el proceso 600 de la Figura 15. Una curva 1094 muestra (una simulación de) el factor de probabilidad de la profundidad no normalizada de cada una de las profundidades de diana representada frente a su profundidad asumida asociada, de acuerdo con la curva 1084 (en escala) de la Figura 27. Como se ha descrito anteriormente en relación con la Figura 27, la curva 1094 es no simétrica y tiene un pico a trescientos pies de profundidad de diana, tipificado por un punto 1094a. Una media ponderada de la curva 1094 se produce en aproximadamente trescientos catorce pies, tipificado por un punto 1094b.

El punto 1094a sea alineado en la curva 1092 con un punto 1092a en un alcance de diana de 0,494 millas náuticas (1.000 yardas). El punto 1094b se alinea en la curva 1092 con un punto 1092b en un alcance de diana de 0,507 millas náuticas (1.027 yardas).

En algunas realizaciones, el pico a trescientos pies se puede utilizar como la profundidad localizada y el alcance correspondiente de 0,497 millas náuticas se puede utilizar como el alcance de diana localizada. Sin embargo, en otras realizaciones, la profundidad de trescientos catorce pies se puede utilizar como la profundidad de diana localizada y el alcance correspondiente de 0,507 millas náuticas se puede utilizar como el alcance de diana localizada, que son generados por las medias ponderadas descritas anteriormente.

Los gráficos 1082, 1086, 1090 de las Figuras 27, 28, 29, respectivamente, son indicativos solamente de una manera en la que los alcances resueltos/profundidades asumidas y los factores de probabilidad asociados con los mismos generados por el proceso 600 de la Figura 15 se pueden combinar para lograr un alcance localizado y profundidad localizada de la diana. Otras técnicas también se pueden utilizar sin alejarse de la presente invención.

La detección proporcionada por los módulos de detección de modulación de envolvente de ruido 86, 146 de la FIGURA 3 se describen más completamente a continuación en relación con las Figuras 30-33.

Haciendo referencia a la Figura 30, un sistema "detección de modulación de envolvente de ruido" convencional 1100 incluye un hidrófono 1114 adaptado para recibir sonido bajo el agua 1112. El hidrófono 11 14 puede ser un hidrófono omnidireccional, que tiene sustancialmente la misma sensibilidad al sonido recibido en todas las direcciones espaciales. El hidrófono 1114 genera una señal en respuesta a la señal de sonido 1112. La señal se procesa  
 5 previamente, por ejemplo, por un amplificador 1116. El amplificador 1116 se acopla a un convertidor analógico a digital (A/D) 1118, que genera una señal  $x(t)$ , que se compone de muestras de tiempo digitales de la señal pre-procesada.

La señal  $x(t)$  se puede procesar para identificar la modulación de amplitud descrita anteriormente del sonido recibido  
 10 1112. Un experto en la materia reconocerá una diversidad de circuitos que se pueden utilizar para identificar la modulación de amplitud del sonido recibido 1112. En una disposición convencional, la señal  $x(t)$  se puede procesar por un detector de "ley del cuadrado", que incluye un módulo de cuadratura 1120 y un módulo de filtro de paso bajo (LPF) 1122. Una señal de salida generada por el filtro de paso bajo 1122 es representativa de la envolvente de (es decir, la modulación de amplitud de) la señal de sonido recibido 1112.

La señal de salida generada por el módulo de filtro de paso bajo 1122 se puede analizar por un analizador de  
 15 espectro 1124, por ejemplo, un transformador de Fourier discreto (DFT). Se entenderá que el analizador de espectro 1124 proporciona una señal de dominio de la frecuencia (por ejemplo, uno o más espectros de frecuencia) representativa del contenido de frecuencia de la envolvente de la señal de sonido recibido 1112. Los espectros de frecuencia generados por el analizador de espectro 1124 se pueden procesar y mostrarse adicionalmente por un  
 20 módulo detector/pantalla 1126. Por ejemplo, el módulo detector/pantalla 1126 puede visualizar los espectros de frecuencia en una pantalla de tipo cascada (no mostrada). El módulo detector/pantalla 1126 también puede detectar y analizar las líneas espectrales presentes en los espectros de frecuencia. El módulo detector/pantalla 1126 puede ser el mismo o similar al módulo de procesamiento de datos 112 de la Figura 3.

Es posible determinar una velocidad de eje de la hélice (revoluciones por segundo (rps)) y un número de palas de la  
 25 hélice de una embarcación detectado mediante el análisis de los espectros de frecuencia. A partir de la velocidad del eje y el número de palas de la hélice es posible identificar a menudo el tipo de embarcación y si la embarcación es una embarcación de superficie o un submarino.

En general, una frecuencia fundamental de la señal de dominio de la frecuencia (espectro de frecuencias) generada  
 30 por el analizador de espectro 1124 en Hz corresponde a la velocidad del eje de la hélice de la embarcación desconocida en revoluciones por segundo. Por otra parte, el número de palas de la hélice puede determinarse a partir de las frecuencias y amplitudes relativas de las componentes de señales armónicas en el dominio de la frecuencia generada por el analizador de espectro de 1124.

El sistema de "detección de modulación de envolvente de ruido" y los métodos descritos anteriormente son a  
 35 menudo capaces de detectar y clasificar a una embarcación. Sin embargo, en general, es siempre deseable mejorar el rendimiento de detección, el rendimiento de localización, y/o el rendimiento de clasificación de un sistema de sonar.

Haciendo referencia ahora a la Figura 31, un sistema ejemplar 1150 incluye el primer y segundo sensores de sonido  
 45 1152a, 1152b, respectivamente. El primer y segundo sensores de sonido 1152a, 1152b pueden ser hidrófonos omnidireccionales, cada uno de los cuales tiene sustancialmente la misma sensibilidad al sonido recibido en todas las direcciones espaciales. El primer y segundo sensores de sonido 1152a, 1152b pueden estar separados físicamente por al menos una distancia de correlación, que se entiende por un experto en la materia. Sin embargo, en otras disposiciones, los sensores de sonido 1152a, 1152b pueden estar separados por menos de una distancia de correlación.

El primer sensor de sonido 1152a genera una señal 1154a, que es recibida por un amplificador 1156a. El  
 50 amplificador 1156a genera una señal amplificada 1158a, que es recibida por un convertidor analógico a digital (A/D) 1160a. El convertidor A/D 1160a genera una primera señal digital 1162a, que se compone de muestras de tiempo digitales  $x_1(t)$  (denominadas en el presente documento como una primera señal eléctrica) representativas de una señal de sonido recibida por el primer sensor de sonido 1152a.

El segundo sensor de sonido 1152b genera una señal 1154b, que es recibida por un amplificador 1156b. El  
 55 amplificador 1156b genera una señal amplificada 1158b, que es recibida por un convertidor analógico a digital (A/D) 1160b. El convertidor A/D 1160b genera una segunda señal digital 1162b, que se compone de muestras de tiempo digitales  $x_2(t)$  (denominadas en el presente documento como una segunda señal eléctrica) representativas de una señal de sonido recibido por el segundo sensor de sonido 1152b.

La primera y la segunda señales eléctricas 1162a, 1162b, respectivamente, se reciben por un módulo de correlación  
 60 cruzada 1164. El módulo de correlación cruzada 1164 correlaciona en forma de cruz las dos señales 1162a, 1162b resultantes en una señal de correlación 1166.

La correlación cruzada de la señal de muestras de tiempo  $x(t)$  e  $y(t)$  se puede describir mediante la siguiente relación:

$$X\text{Corr}(\tau) = 1/N |\Sigma(x(t)*y(t-\tau))|$$

5  
donde:

$t = t_1 \dots t_N =$  veces de muestras de tiempo

$\tau = \tau_1 \dots \tau_N =$  tiempos de la característica de correlación (retardos de tiempo de correlación)

10  $N =$  número de muestras de tiempo

A partir de la expresión anterior, se debe entender que el tiempo de las muestras 1 a N de las señales  $x(t)$  e  $y(t)$  se multiplican entre sí y se suma en cada tiempo de correlación,  $\tau$ , lo que da como resultado un valor de correlación para cada tiempo de correlación,  $\tau$ . El tiempo de correlación se cambia después, y la multiplicación y la suma se repiten. Por tanto, se obtiene una pluralidad de valores de correlación, cada valor de correlación asociado con un tiempo de correlación correspondiente.

Se entenderá que la señal de correlación 1166 tiene una escala de retardo de tiempo y una escala de amplitud, cuando se representa esquemáticamente. En particular, para ciertos retardos de tiempo relativos aplicados entre las señales  $x_1(t)$  y  $x_2(t)$ , la señal de correlación 1166 puede tener magnitudes de correlación relativamente altas, también denominadas en el presente documento como picos de correlación.

La señal de correlación 1166 es recibida por un módulo detector de picos 1168, que es operable para identificar los picos de correlación. En algunas disposiciones, el módulo detector de picos 1168 utiliza un umbral, y las porciones de la señal de correlación 1166 que están por encima del umbral se consideran como picos de correlación.

El detector de picos 1168 genera una señal de salida de retardo de tiempo 1170 representativa de un retardo de tiempo utilizado por el módulo de correlación cruzada 1164 que produce el pico de correlación de magnitud más elevada en la señal de correlación 1166. La señal de salida de retardo de tiempo 1170 es recibida por un módulo de retardo de tiempo 1172, que aplica un retardo de tiempo a la primera señal eléctrica  $x_1(t)$  correspondiente a la señal de retardo de tiempo 1170, con el fin de generar una primera señal eléctrica con retardo de tiempo 1174,  $x_1(t-T)$ .

La primera señal eléctrica con retardo de tiempo 1174 y la segunda señal eléctrica 1162b se reciben por un módulo de correlación cruzada 1176. El módulo de correlación cruzada 76 opera con un solo retardo de tiempo de correlación mediante la siguiente expresión:

$$X\text{Corr}(T) = 1/N |\Sigma(x(t)*y(t-T))|$$

40  
donde:

$t = t_1 \dots t_N =$  veces de muestras de tiempo

$T =$  único retardo de tiempo T

$N =$  número de muestras de tiempo

45 Por lo tanto, el módulo de correlación cruzada 1176 opera como un módulo de multiplicación y suma (multiplicación/suma) 1176, que multiplica las dos señales 1174, 1162b, (por ejemplo, muestras de tiempo 1 a N), lo que da como resultado una pluralidad de valores de producto, y que suma la pluralidad de valores de productos, lo que da como resultado en un valor sumado-producto. El módulo de multiplicación/suma 1176 repite la multiplicación y la suma de otras porciones (por ejemplo, muestras de tiempo de 10 a N+10, etc) de las dos señales 1174, 1162b, lo que da como resultado una señal sumada-producto 1178 que tiene una pluralidad de valores sumados-producto.

55 La señal sumada-producto 1178 se puede recibir por un módulo de filtro de paso bajo opcional 1180, que puede generar una señal filtrada 1182. La señal filtrada 1182, o en otras disposiciones, la señal sumada-producto 1178, se puede recibir por un analizador de espectro 1184. El analizador de espectro 1184 puede generar una señal de dominio de la frecuencia 1186 (o espectro de frecuencias). Un detector/pantalla 1188 puede recibir la señal de dominio de la frecuencia 1186, y puede presentar la señal de dominio de la frecuencia en una pantalla, por ejemplo, en una pantalla de cascada. Sin embargo, el módulo detector/pantalla 1188 puede ser el mismo o similar al módulo de procesamiento de datos 112 de la Figura 3.

60 Se apreciará que el retardo de tiempo, T, puede ser un retardo de tiempo positivo o un negativo con respecto a la segunda señal eléctrica 1162b. También se apreciará que un retardo de tiempo negativo, T, aplicado a la primera señal eléctrica 1162a es equivalente a un retardo de tiempo positivo aplicado a la segunda señal eléctrica 1162b. Se muestra que El retardo de tiempo, T, se aplicará sólo a la primera señal eléctrica 1162a para mayor claridad.

65

Haciendo referencia ahora a la Figura 31A, en la que los elementos similares de la Figura 31 se muestran teniendo designaciones de referencia, un sistema 1200 incluye una primera matriz 1202a y una segunda matriz 1202b, cuyos centros de matriz están separados físicamente por al menos una distancia de correlación, lo que se entenderá por un experto en la materia.

5 Las matrices 1202a, 1202b pueden ser cualquier forma de matrices formada por una pluralidad de elementos de matriz. Por ejemplo, las matrices 1202a, 1202b pueden ser matrices lineales, matrices planas, o matrices volumétricas, cada uno de las cuales es capaz de generar haces de recepción espaciales. Las matrices 1202a, 1202b no tienen que tener la misma forma de matriz. Las matrices 1202a, 1202b tampoco tienen que tener el mismo número de elementos de la matriz acústica.

15 Las señales 1204aa-1204aN de los elementos acústicos de la primera matriz 1202a se reciben y amplifican por los amplificadores 1206aa-1206aN, respectivamente, lo que da como resultado las señales amplificadas 1208aa-1208aN. Las señales amplificadas 1208aa-1208aN se reciben por convertidores A/D 1210aa-1210aN, respectivamente, lo que da como resultado las señales intermedias 1212aa-1212aN, respectivamente. Las señales intermedias 1212aa-1212aN se reciben por un primer conformador de haces 1214a. El primer conformador de haces 1214a combina las señales intermedias 1212aa-1212aN a fin de generar una primera señal de conformación de haces 1216a, que se compone de las muestras de tiempo digitales  $x_1(t)$  (denominada en el presente documento como una primera señal eléctrica) representativas de una señal de sonido recibido por la primera matriz 1202a desde una primera dirección espacial (de conformación de haces).

25 De forma similar, las señales 1204ba-1204bM de los elementos acústicos de la segunda matriz 1202b se reciben y amplifican por los amplificadores 1206ba-1206bM, respectivamente, lo que da como resultado las señales amplificadas 1208ba-1208bM. Las señales amplificadas 1208ba-1208bM se reciben por convertidores A/D 1210ba-1210bM, respectivamente, lo que da como resultado las señales intermedias 1212ba-1212bM, respectivamente. Las señales intermedias 1212ba-1212bM se reciben por un segundo conformador de haces 1214b. El segundo conformador de haces 1214b combina las señales intermedias 1212ba-1212bM a fin de generar una segunda señal de conformación de haces 1216b, que se compone de las muestras de tiempo digital  $x_2(t)$  (denominada en el presente documento como una segunda señal eléctrica) representativas de una señal de sonido recibido por la segunda matriz 1202b desde una segunda dirección espacial (de conformación de haces).

30 La primera y segunda direcciones espaciales pueden ser las mismas direcciones espaciales, o pueden ser diferentes direcciones espaciales. En algunas disposiciones, las primera y segunda direcciones espaciales se cambian de vez en cuando, por ejemplo, durante los ciclos de procesamiento secuenciales, de modo que el sistema 1200 procesa las señales de un primer par de direcciones espaciales, después, a partir de otro par de direcciones espaciales, y así sucesivamente.

35 Será evidente que la primera y segunda señales eléctricas 1216A, 1216b ( $x_1(t)$  y  $x_2(t)$ ), respectivamente, se procesan por los mismos elementos 1164-1188 que se han descrito anteriormente en relación con la Figura 31, y por lo tanto, estos elementos no se describen de nuevo.

45 Se debe apreciar a partir de la descripción de las Figuras 31 y 31A que se puede construir un sistema, que tiene un sensor de sonido omnidireccional, por ejemplo, 1152a o 1152b de la Figura 31, en combinación con una matriz, por ejemplo, 1202a, o 1202b. Por lo tanto, en una disposición, la matriz 1202a, los amplificadores 1206aa-1206aN, los convertidores A/D 1208aa-1208aN y los conformadores de haces 1214a se pueden sustituir por el sensor de sonido 1152a, el amplificador 1156a, y el convertidor A/D 1160a de la Figura 31. En otra disposición, la matriz 1202b, los amplificadores 1206ba-1206bM, los convertidores A/D 1208ba-1208bM y los conformadores de haces 1214b se pueden sustituir por un sensor de sonido 1152b, el amplificador 1156b y el convertidor A/D 1160b de la Figura 31.

50 Haciendo referencia ahora a la Figura 31B, en la que los elementos similares de la Figura 31 se muestran teniendo designaciones de referencia, un sistema 1250 incluye una matriz 1252. La matriz 1252 puede tener cualquier forma de matriz formada por una pluralidad de elementos de matriz. Por ejemplo, la matriz 1252a puede ser una matriz lineal, una matriz plana, o una matriz volumétrica, cada una de las cuales es capaz de generar haces de recepción espaciales.

55 Las señales 1254a-1254N de los elementos acústicos de la primera matriz 1252 se reciben y amplifican por los amplificadores 1256a-1256N, respectivamente, lo que da como resultado las señales amplificadas 1258A-1258N. Las señales amplificadas 1258A-1258N se reciben por convertidores A/D 1260a-1260N, respectivamente, lo que da como resultado las señales intermedias 1262a-1262N, respectivamente. Las señales intermedias 1262a-1262N se reciben por un primer conformador de haces 1264a. El primer conformador de haces 1264a combina las señales intermedias 1262a-1262N a fin de generar una primera señal de conformación de haces 1266a, que se compone de muestras de tiempo digitales  $x_1(t)$  (denominada en el presente documento como una primera señal eléctrica) representativas de una señal de sonido recibido por la matriz 1252 desde una primera dirección espacial (de conformación de haces). Las señales intermedias 1262a-1262N se reciben también por un segundo conformador de haces 1264b. El segundo conformador de haces 1264b combina las señales intermedias 1262a-1262N a fin de generar una segunda señal de conformación de haces 1266b, que se compone de las muestras de tiempo digitales

$x_2(t)$  (denominadas en el presente documento como una segunda señal eléctrica) representativas de una señal de sonido recibido por la matriz 1252 desde una segunda dirección espacial (de conformación de haces).

5 La primera y la segunda direcciones espaciales pueden ser la misma dirección espacial o diferentes direcciones espaciales. En algunas disposiciones, las primera y segunda direcciones espaciales se cambian de vez en cuando, por ejemplo, durante los ciclos de procesamiento secuenciales, de modo que el sistema 1250 procesa las señales de un primer par de direcciones espaciales, después, de otro par de direcciones espaciales, y así sucesivamente.

10 Será evidente que la primera y segunda señales eléctricas 1266a, 1266b ( $x_1(t)$  y  $x_2(t)$ ), respectivamente, se procesan por los mismos elementos 1164-1188 que se han descrito anteriormente en relación con la Figura 31, y por lo tanto, estos elementos no se describen de nuevo.

15 Haciendo referencia ahora a la Figura 32, la primera y segunda señales eléctricas,  $x_1(t)$  y  $x_2(t)$  de cualquiera de los sistemas descritos anteriormente 1150, 1200, 1250 de las Figuras 31, 31A, y 31B, respectivamente, se puede procesar por la porción del sistema 1300, en lugar de o además de las porciones del sistema que se muestran en estas Figuras. Las señales  $x_1(t)$  y  $x_2(t)$  se pueden recibir por un módulo de correlación cruzada 1304, el mismo que o similar al módulo de correlación cruzada 1164 de las Figuras 31-31B. El módulo de correlación cruzada 1304 genera una señal de correlación 1306 en consecuencia. La señal de correlación 1306 se recibe por un módulo detector de picos 1308. El módulo detector de picos 1308 se adapta para identificar dos o más picos en la señal de correlación 1306, a diferencia del módulo detector de picos 1168 de las Figuras 31-31B, que, en algunas realizaciones, sólo identifica un pico de correlación mayor. En algunas disposiciones, el módulo detector de picos 1308 utiliza un umbral, y las porciones de la señal de correlación 1306 que están por encima del umbral se consideran como picos de correlación.

25 Como se comprenderá, cada pico de correlación identificado está asociado con un retardo de tiempo, aquí  $T_1, T_2, \dots, T_N$ . Las señales de retardo de tiempo 1311A-1311N generadas por el módulo detector de picos 1308 se aplican a los módulos de retardo de tiempo 1310a-1310N, respectivamente, y los módulos de retardo de tiempo 1310a-1310N aplican retardos de tiempo  $T_1-T_N$ , respectivamente, a las primera señal eléctrica 1302a, lo que da como resultado las primeras señales eléctricas con retardo de tiempo 1312a-1312N, respectivamente.

30 Las primeras señales eléctricas con 1312a-1312N y las segundas señales eléctricas 1302b se reciben por los respectivos módulos de correlación cruzada 1314a-1314N. Cada uno de los módulos de correlación cruzada 1314a, 1314N funcionan con un solo retardo de tiempo de correlación. Por lo tanto, los módulos de correlación cruzada 1314a, 1314N funcionan como los módulos de multiplicación y suma (multiplicación/suma) 1314a-1314N, respectivamente, cada uno de los que multiplica y suma los valores respectivos en un proceso igual o similar al descrito anteriormente para el módulo de multiplicación/suma 1176 de la Figura 31, lo que da como resultado las señales sumadas-productos 1316a-1316N, respectivamente, teniendo cada uno una pluralidad de respectivos valores sumados-productos.

40 Las señales sumadas-productos 1316a-1316N se pueden recibir por los módulos de filtro de paso bajo 1318a-1318N opcionales, respectivamente, que pueden generar las señales filtradas 1320a-1320N, respectivamente. Las señales filtradas 1320a-1320N, o en otras disposiciones, las señales sumadas-productos 1316a-1316N, pueden recibir los analizadores de espectro 1322a-1322N, respectivamente. El espectro analizadores 1322a-1322N puede generar señales de dominio de la frecuencia 1324a-1324N (o espectros de frecuencia), respectivamente. Las señales de dominio de la frecuencia 1324a-1324N se pueden recibir por los detectores de características 1326a-1326N, respectivamente. Cada uno de los detectores de características 1326a-1326N puede identificar una o más características (por ejemplo, líneas espectrales) en una respectiva señal de dominio de la frecuencia 1324a-1324N, lo que da como resultado las señales características 1328a-1328N, respectivamente. Un procesador de asociación de retardos de multitrayectorias 1330 puede recibir dos o más señales características 1328a-1328N.

50 El procesador de asociación de retardos de multitrayectorias 1330 se entenderá mejor a partir de la siguiente descripción en relación con la Figura 33. Sin embargo, baste aquí decir que el procesador de asociación de retardo 1330 puede identificar similitudes entre la señal característica 1328a-1328N, y por lo tanto, puede identificar cuál de los espectros de frecuencia 1324a-1324N es probable que se haya originado en la misma embarcación. El procesador de asociación de retardos de multitrayectoria puede generar una señal de asociación 1332 en consecuencia, que puede utilizarse por procesamiento adicional (no mostrado) con el fin de detectar, localizar, y clasificar la embarcación. La señal de asociación 1332 se puede proporcionar al módulo de procesamiento de datos 112 de la Figura 3.

60 El procesador de asociación de retardos de multitrayectorias 1330 puede aplicar también correcciones Doppler a las señales características 1328a-1328N. Las correcciones Doppler se describen más completamente a continuación en relación con la Figura 33.

65 Haciendo referencia ahora a la Figura 32A, un detector de características 1334 puede ser el mismo que o similar a uno de los detectores de características 1326a-1326N de la Figura 32. El detector de características 1334 puede incluir un generador de umbrales de 1338 acoplado para recibir una señal de dominio de la frecuencia 1336, que

puede ser la mismo que o similar a una de las señales de dominio de la frecuencia 1324a-1324N de la Figura 32. El generador de umbrales 1338 puede generar una señal de umbral 1340. Un módulo de comparación de umbrales 1340 puede recibir la señal de umbral 1340 y la señal de dominio de la frecuencia 1336 y puede comparar la señal de dominio de la frecuencia de 1336 con la señal de umbral 1340, lo que da como resultado una señal característica 1344, que puede ser la mismo que o similar a una de las señales características 1328a-1328N de la Figura 32.

El generador de umbrales 1338 puede seleccionar un umbral en una diversidad de maneras. Por ejemplo, el generador de umbrales 1338 puede seleccionar un nivel de umbral de señal en base a una media de la señal de dominio de la frecuencia 1336. En otras disposiciones, el generador de umbrales 1338 elegirá un umbral que es un número predeterminado de decibelios por encima de la señal en el dominio de la frecuencia (excluyendo la línea o características espectrales) a través de una banda de frecuencias. En otras disposiciones adicionales, el generador de umbrales 1338 puede seleccionar un umbral que sea un número predeterminado de decibelios por encima de la señal de dominio de la frecuencia (excluyendo la línea o características espectrales) a través de una banda de frecuencia (por ejemplo, de nueve a diez Hz) y otro número predeterminado de decibelios por encima de la señal de dominio de la frecuencia en otra banda de frecuencia (por ejemplo, de diez a veinte Hz). En algunas disposiciones, los números predeterminados descritos anteriormente de decibelios se definen estáticamente y en otras disposiciones, los números predeterminados de decibelios se definen dinámicamente. Por ejemplo, los números predeterminados de decibelios pueden estar relacionados con una variación a través de una banda de la señal de dominio de la frecuencia 1336, de tal manera una mayor varianza da como resultado un mayor número predeterminado de decibelios.

Haciendo referencia ahora a la Figura 33, los gráficos de 1350, 1360, 1370 incluyen escalas horizontales de unidades de frecuencia en Hz y escalas verticales de unidades de amplitud en unidades arbitrarias. Una curva 1352 es indicativa de una señal de dominio de la frecuencia, por ejemplo, la señal de dominio de la frecuencia 1324a de la Figura 32. Una curva 1364 es indicativa de un umbral generado por y utilizado por el detector de características 1326a de la Figura 32. Las líneas espectrales 1352A, 1352B, 1352C son indicativas de las características detectadas por el detector de características 1326a, que están por encima del umbral 1354.

Una curva 1362 es indicativa de otra señal de dominio de la frecuencia, por ejemplo, la señal de dominio de la frecuencia 1324b de la Figura 32. Una curva 1364 es indicativa de otro umbral generado por y utilizado por el detector de características 1326b de la Figura 32. Las líneas espectrales 1362a, 1362b, 1362C son indicativas de las características detectadas por el detector de características 1326b, que están por encima del umbral 1364.

Una curva 1372 es indicativa de otra señal de dominio de la frecuencia, por ejemplo, la señal de dominio de la frecuencia 1324N de la Figura 32. Una curva 1374 es indicativa de otro umbral generado por y utilizado por el detector de características 1326N de la Figura 32. Las líneas espectrales 1372a, 1372b, 1372c son indicativas de las características detectadas por el detector de características 1326N, que están por encima del umbral 1374.

Será evidente que las características 1352A, 1352B, 1352C, que se producen en las frecuencias  $f_1$ ,  $f_2$ ,  $f_3$ , y que tienen similitud con las características 1372a, 1372b, 1372c, pueden ocurrir también en (o cerca de) la frecuencias  $f_1$ ,  $f_2$ , y  $f_3$ . Por lo tanto, el procesador de asociación de retardos de multitrayectorias 1330 de la Figura 32 puede identificar que los dos espectros 1352 y 1372 se originaron probablemente desde la misma embarcación, mientras que el espectro 1362, que tiene líneas espectrales a diferentes frecuencias, no lo hizo.

Las frecuencias de las características 1352a, 1352b, 1352c no tienen que ser exactamente la misma frecuencia que las características 1372a, 1372b, 1372c, a fin de identificar la señal de sonido asociado con las características 1352a, 1352b, 1352c originada en la misma embarcación que las características 1372a, 1372b, 1372c. Por ejemplo, en algunas disposiciones, se utiliza un umbral de proporción de frecuencia calculada o predeterminada, por lo que se considera que las características 1352a, 1352b, 1352c han llegado desde la misma embarcación que las características 1372a, 1372b, 1372c, si las proporciones de frecuencias entre las características correspondientes (1352a y 1372a, y 1372b 1352b, 1352c y 1372c) son menores que el umbral de proporción de la frecuencia calculada o predeterminada. En algunas disposiciones, se utiliza más de un umbral de proporción de frecuencia calculada o predeterminada, de modo que las proporciones de frecuencia entre las características 1352a y 1372a, 1352b y 1352c, 1372b y 1372c deben cumplir con diferentes criterios de umbral con el fin de considerar que los espectros 1352 y 1372 fueron originados desde la misma embarcación. El uso de umbrales de proporción de frecuencia calculadas o predeterminadas es particularmente útil en vista los cambios y correcciones Doppler de los mismos descritos más completamente a continuación.

Se apreciará que cada uno de los espectros 1352, 1362, 1372 puede estar asociado con un respectivo retardo de tiempo particular. Por ejemplo, el espectro 1352 puede estar asociado con el retardo de tiempo  $T_1$  de la Figura 32, el espectro 1362 puede estar asociado con el retardo de tiempo  $T_2$ , y el espectro 1372 puede estar asociado con el retardo de tiempo  $T_N$ . Se entenderá, además, que cada uno de los retardos de tiempo  $T_1$ - $T_N$  de la Figura 32 se asocia con una trayectoria de propagación de sonido particular a medida que atraviesa desde una embarcación a uno de los sistemas 1150, 1200, 1250, 1300 de las Figuras 2, 2A, 2B, o 3.

Como se sabe, el sonido viaja en una diversidad de trayectorias a medida que pasa a través del agua. Por ejemplo,

5 en una trayectoria directa, D, el sonido viaja directamente desde una fuente a un receptor. En una trayectoria reflejada desde la superficie (SR), el sonido viaja desde la fuente hasta la superficie del océano, donde se refleja generalmente, viajando hacia abajo hasta el receptor de sonido. En una trayectoria reflejada desde el fondo, BR, el sonido se desplaza desde la fuente hasta el fondo del océano, donde se refleja generalmente, viajando hacia arriba hasta el receptor de sonido. En cada trayectoria, el sonido experimenta un retardo de tiempo diferente y, posiblemente, un cambio de fase. El conocimiento de los retardos de tiempo relativos también puede ser utilizado para identificar una profundidad de la fuente de sonido, es decir, y la embarcación. Por lo tanto, el conocimiento de los retardos de tiempo, las trayectorias de propagación asociadas, y los ángulos de recepción de sonido asociados que se propagan desde la embarcación hasta el receptor de sonido, pueden utilizarse no sólo para distinguir un submarino de una embarcación de superficie, sino también para localizar una profundidad, y en algunos casos, un alcance de la embarcación.

10 Como se ha mencionado anteriormente, algunos de los métodos y sistemas que se pueden utilizar para localizar la embarcación en alcance y/o en profundidad se describen, por ejemplo, en la patente de Estados Unidos número 7.315.488, titulada Métodos y sistemas para la localización en alcance y profundidad, emitida el 1 de enero de 2008.

15 Aunque se muestra que las líneas espectrales en la frecuencias  $f_1$ ,  $f_2$ ,  $f_3$  y en el espectro 1352 están a las mismas frecuencias  $f_1$ ,  $f_2$ ,  $f_3$  y en el espectro 1372, se debe reconocer que las frecuencias, que llegan en diferentes trayectorias de sonido y, por tanto, a diferentes ángulos, se pueden ver afectadas de manera diferente por el cambio Doppler resultante de una velocidad relativa entre la embarcación detectada y la plataforma en la que se disponen los sistemas 1150, 1200, 1250, o 1300. También se entenderá que un cambio de frecuencia absoluta debido al efecto Doppler es proporcional a la frecuencia de una característica. Sin embargo, debido a que el procesador de asociación de retardos de multitr trayectorias 1330 de la Figura 32 tiene conocimiento de las características espectrales de los retardos de tiempo, las trayectorias de propagación de sonido asociadas y, por lo tanto, el ángulo de llegada del sonido en las trayectorias de sonido, en algunas disposiciones, el procesador de asociación de retardos de multitr trayectorias 1330 opera para ajustar las señales características 1328a-1328N de acuerdo con una o más velocidades relativas estimadas entre la embarcación detectada y la plataforma en la que se dispone el sistema de sonar. Para cada velocidad relativa estimada, la frecuencia de las características espectrales ajustadas se puede comparar.

20 Habiendo descrito las realizaciones preferidas de la invención, ahora se hará evidente para un experto en la materia que se pueden utilizar otras realizaciones que incorporen sus conceptos. Se considera, por tanto, que estas realizaciones no deberían limitarse a las realizaciones divulgadas, sino que más bien deben limitarse solamente por el alcance de las reivindicaciones adjuntas.

25 Adicionalmente, el software incluido como parte de la invención se puede realizar en un producto de programa informático que incluye un medio de almacenamiento legible por ordenador. Por ejemplo, un medio de almacenamiento legible por ordenador de este tipo puede incluir un dispositivo de memoria legible, tal como un dispositivo de disco duro, un CD-ROM, un DVD-ROM o un disquete de ordenador, con segmentos de código legibles por ordenador almacenados en el mismo programa. Un medio de transmisión legible por ordenador puede incluir un enlace de comunicaciones, ya sea óptico, por cable, o inalámbrico, con segmentos de código de programa portados en los mismos como señales digitales o analógicas. En consecuencia, se afirma que la invención no debe limitarse a las realizaciones descritas, sino más bien debe limitarse solamente por el alcance de las reivindicaciones adjuntas.



**REIVINDICACIONES**

1. Un sistema autónomo de procesamiento de señales acústicas (50), que comprende:

5 un conformador de haces verticales (60) acoplado para recibir una pluralidad de señales de hidrófonos a partir de una pluralidad correspondiente de hidrófonos sensibles al sonido en el agua, donde el conformador de haces verticales (60) está configurado para conformar una pluralidad de haces de recepción verticales, siendo la pluralidad de haces de recepción verticales representativa de una pluralidad respectiva de haces de recepción acústicos no direccionales en acimut y direccionales en elevación;

10 un conformador de haces acimutales (70) acoplado para recibir la pluralidad de haces de recepción verticales y configurado para conformar una pluralidad de haces de recepción direccionales, siendo la pluralidad de haces de recepción direccionales representativa de una respectiva pluralidad de haces de recepción acústicos direccionales en acimut y direccionales en elevación;

15 un módulo de detección de diana ruidosa (78) acoplado para recibir la pluralidad de haces de recepción direccionales y configurado para generar detecciones y para determinar las direcciones de una o más dianas ruidosas asociadas con la pluralidad de haces de recepción direccionales; y

20 un módulo de matriz (84) acoplado para recibir la pluralidad de haces de recepción verticales, acoplado para recibir las detecciones de la una o más dianas ruidosas, acoplado para recibir las direcciones de la una o más dianas ruidosas, configurado para generar una matriz de covarianza de acuerdo con la pluralidad de señales de haces de recepción verticales, **caracterizado por que** dicho módulo de matriz está configurado además para generar una matriz de covarianza modificada colocando dos fuentes ruidosas sintéticas en o cerca de una dirección angular de una diana ruidosa detectada de acuerdo con las detecciones y direcciones de las dianas ruidosas, por lo que la anchura de nulo de una señal de recepción de haces direccionales dirigida hacia la diana ruidosa es ajustable.

25 2. El sistema autónomo de la reivindicación 1, que comprende además:

un conformador de haces acimutales adaptativo (128) acoplado para recibir la matriz de covarianza modificada, acoplado para recibir la pluralidad de haces de recepción verticales, y configurado para conformar

30 una pluralidad de haces de recepción adaptativamente direccionales de acuerdo con la matriz de covarianza modificada, donde la pluralidad de haces de recepción adaptativamente direccionales son representativas de una pluralidad respectiva de haces de recepción adaptativamente direccionales acústicos direccionales en acimut y direccionales en elevación con una pluralidad respectiva de nulos adaptativamente direccionales, donde la pluralidad de nulos adaptativamente direccionales son adaptativamente dirigidos hacia las direcciones de la una o más dianas ruidosas; y

35 un módulo de detección de diana silenciosa (132) acoplado para recibir la pluralidad de haces de recepción adaptativamente direccionales y configurado para generar detecciones de y direcciones de una o más dianas silenciosas asociadas con la pluralidad de haces de recepción adaptativamente direccionales.

40 3. El sistema de la reivindicación 2, que comprende además al menos un módulo de estimación de ángulos de llegada verticales (88, 144) acoplado para recibir la pluralidad de haces de recepción direccionales o la pluralidad de haces de recepción adaptativamente direccionales, y configurado para generar estimaciones de los ángulos de llegada verticales del sonido recibido desde la una o más dianas ruidosas o desde la o más dianas silenciosas.

4. El sistema de la reivindicación 3, que comprende además al menos un módulo de estimación de rumbo/alcance/profundidad (92, 136) acoplado para recibir la pluralidad de haces de recepción direccionales o la pluralidad de haces de recepción adaptativamente direccionales, acoplado para recibir

50 las estimaciones de los ángulos de llegada verticales del sonido recibido, y configurado para generar alcances estimados, profundidades estimadas, y rumbos estimados de la una o más dianas ruidosas o de la una o más dianas silenciosas.

5. El sistema de la reivindicación 4, que comprende además un módulo de detección bidimensional (104) acoplado para recibir los alcances estimados y los rumbos estimados de la una o más dianas ruidosas o de la una o más dianas silenciosas, configurado para generar seguimientos bidimensionales de la una o más dianas ruidosas o de la una o más dianas silenciosas en rumbo y en alcance, configurado para procesar los seguimientos bidimensionales, y configurado para generar detecciones de la una o más dianas ruidosas o de la una o más dianas silenciosas de acuerdo con una característica de los seguimientos bidimensionales.

60 6. El sistema de la reivindicación 5, que comprende además un módulo de seguimiento tridimensional (108) acoplado para recibir seguimientos bidimensionales, acoplado para recibir las detecciones desde el módulo de detección bidimensional, acoplado para recibir las profundidades estimadas de la una o más dianas ruidosas o las profundidades estimadas de la una o más dianas silenciosas, y configurado para generar seguimientos tridimensionales de la una o más dianas ruidosas o de la una o más dianas silenciosas en rumbo acimutal, en alcance, y en profundidad.

7. El sistema de la reivindicación 6, que comprende además un módulo de procesamiento de datos (112) acoplado para recibir los seguimientos tridimensionales, donde el módulo de procesamiento de datos está configurado para procesar seguimientos tridimensionales y para asignar una clasificación respectiva a uno de los seguimientos tridimensionales de acuerdo con el procesamiento.

- 5
8. El sistema de la reivindicación 7, que comprende además al menos uno de:
- (a) un módulo de modelo de propagación (114) configurado para convertir los niveles de señal recibidos dentro de la pluralidad de señales de haces de recepción direccionales o dentro de la pluralidad de señales de haces de recepción adaptativamente direccionales asociadas con los seguimientos tridimensionales correspondientes en niveles de la fuente respectivos, donde el módulo de procesamiento de datos está configurado para combinar los niveles de la fuente con las clasificaciones; o
- 10
- (b) un módulo DEMON (148) acoplado para recibir la pluralidad de señales de haces de recepción direccionales o la pluralidad de señales de haces de recepción adaptativamente direccionales, y configurado para identificar las frecuencias de una o más líneas espectrales acústicas indicativas de una hélice asociada con la uno o más dianas ruidosas o con la una o más dianas silenciosas, donde el módulo de procesamiento de datos está acoplado además para recibir las frecuencias de una o más líneas espectrales acústicas asociados con la hélice, y donde el módulo de procesamiento de datos está configurado además para calcular la probabilidad de que uno de los seguimientos tridimensionales esté asociado con un submarino en base a las frecuencias identificadas de la una o más líneas espectrales acústicas asociadas con la hélice; o
- 15
- (c) un módulo de clasificación y presentación de informes (118) acoplado para recibir la clasificación y para generar un informe de clasificación, y un módulo de comunicaciones (122) acoplado para recibir el uno o más informes de clasificación y configurado para comunicar el informe de clasificación a una estación de recepción.
- 20

25 9. Un método implementado por ordenador de procesamiento autónomo de señales acústicas, que comprende:

formar una pluralidad de señales de haces de recepción verticales utilizando una pluralidad de señales de hidrófonos, siendo la pluralidad de señales de haces de recepción verticales representativa de una pluralidad respectiva de haces de recepción acústicos no direccionales en acimut y direccionales en elevación;

30 formar una pluralidad de señales de haces de recepción direccionales utilizando la pluralidad de señales de haces de recepción verticales, siendo la pluralidad de señales de haces de recepción direccionales representativa de una pluralidad respectiva de haces de recepción acústicos direccionales en acimut y direccionales en elevación;

35 generar detecciones de y direcciones de una o más dianas ruidosas asociadas con la pluralidad de señales de haces de recepción direccionales;

generar una matriz de covarianza de acuerdo con la pluralidad de señales de haces de recepción verticales; **caracterizado por**

generar una matriz de covarianza modificada colocando dos fuentes ruidosas sintéticas en o cerca de una dirección angular de una diana ruidosa detectada de acuerdo con las detecciones de y las direcciones de las dianas ruidosas, por lo que la anchura de un nulo de una señal de haz de recepción direccional dirigida hacia la diana ruidosa es ajustable.

40

10. El método de la reivindicación 9, que comprende además:

45 formar una pluralidad de señales de haces de recepción adaptativamente direccionales de acuerdo con la matriz de covarianza modificada, donde la pluralidad de señales de haces de recepción adaptativamente direccionales es representativa de una pluralidad respectiva de haces de recepción adaptativamente direccionales que son direccionales en acimut y direccionales en elevación con una pluralidad respectiva de nulos adaptativamente direccionales, donde la pluralidad de nulos adaptativamente direccionales es adaptativamente dirigida hacia las direcciones de la una o más dianas ruidosas; y

50 generar las detecciones de y las direcciones de la una o más dianas silenciosas asociadas con la pluralidad de señales de haces de recepción adaptativamente direccionales.

11. El método de la reivindicación 10, que comprende además generar estimaciones de ángulos de llegada verticales del sonido recibido de la una o más dianas ruidosas o de la una o más dianas silenciosas.

55

12. El método de la reivindicación 11, que comprende además generar alcances estimados, profundidades estimadas, y rumbos estimados de la una o más dianas ruidosas o de la una o más dianas silenciosas.

60 13. El método de la reivindicación 12, que comprende además:

generar seguimientos bidimensionales de la una o más dianas ruidosas o de la una o más dianas silenciosas en rumbo y en alcance;

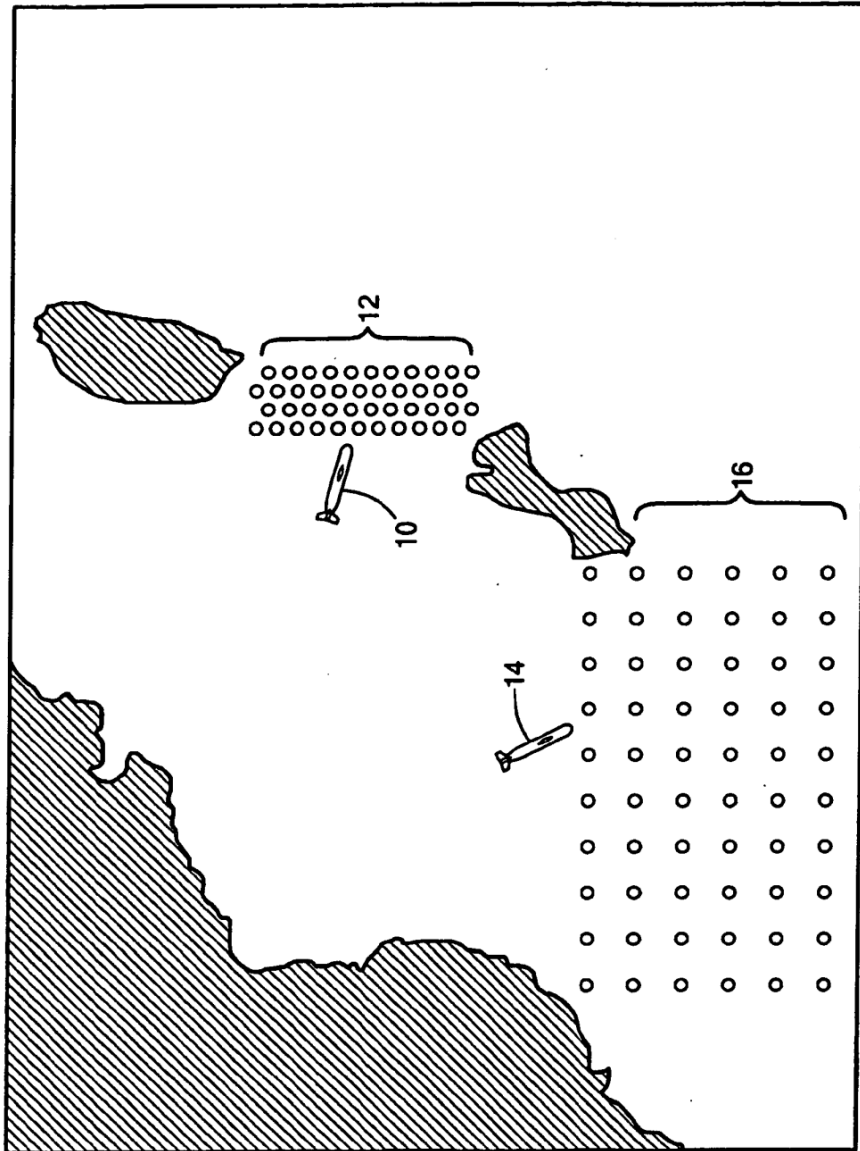
procesar los seguimientos bidimensionales; y

65 detectar la una o más dianas ruidosas o la una o más dianas silenciosas de acuerdo con una característica de los seguimientos bidimensionales.

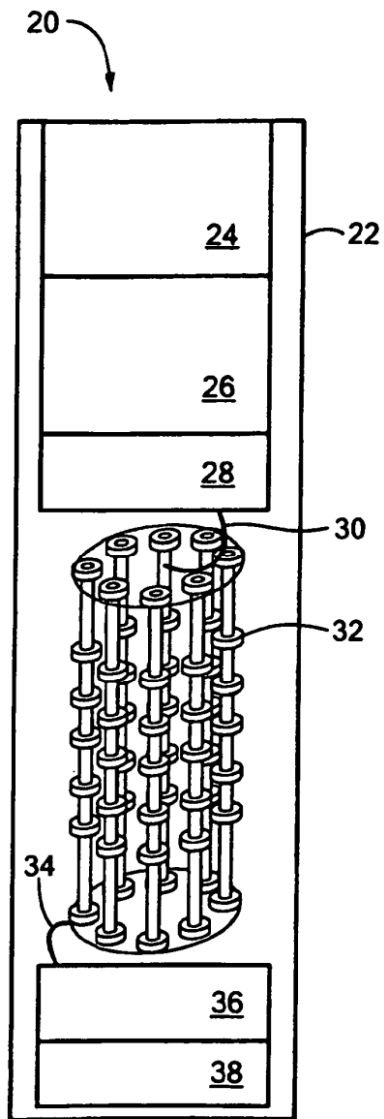
14. El método de la reivindicación 13, que comprende además generar seguimientos tridimensionales de la una o más dianas ruidosas o de la una o más dianas silenciosas en rumbo, en alcance, y en profundidad.

15. El método de la reivindicación 14, que comprende además:

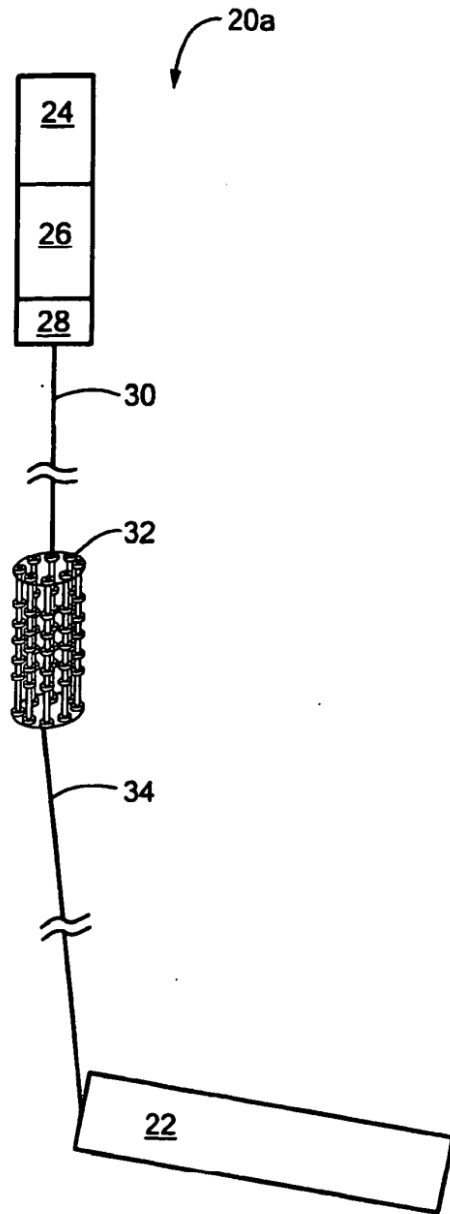
- 5
- (a) procesar los seguimientos tridimensionales; y  
asignar una clasificación respectiva a uno de los seguimientos tridimensionales de acuerdo con el  
procesamiento, y al menos uno de:
- 10
- (b) medir los niveles de señales recibidos dentro de la pluralidad de señales de haces de recepción  
direccionales o dentro de la pluralidad de señales de haces de recepción adaptativamente direccionales  
asociadas con los seguimientos tridimensionales;  
convertir los niveles de señales recibidos medidos en niveles de la fuente correspondientes; y  
utilizar los niveles de la fuente, junto con la velocidad de diana medida, para generar la clasificación; o
- 15
- (c) identificar las frecuencias de una o más líneas espectrales acústicas indicativas de una hélice asociada con  
la una o más dianas ruidosas o asociada con la una o más dianas silenciosas; y  
utilizar las frecuencias de la una o más líneas espectrales para generar la clasificación; o
- (d) generar un informe de clasificación de acuerdo con la clasificación y comunicar el informe de clasificaciones  
a una estación de recepción.



**FIG. 1**

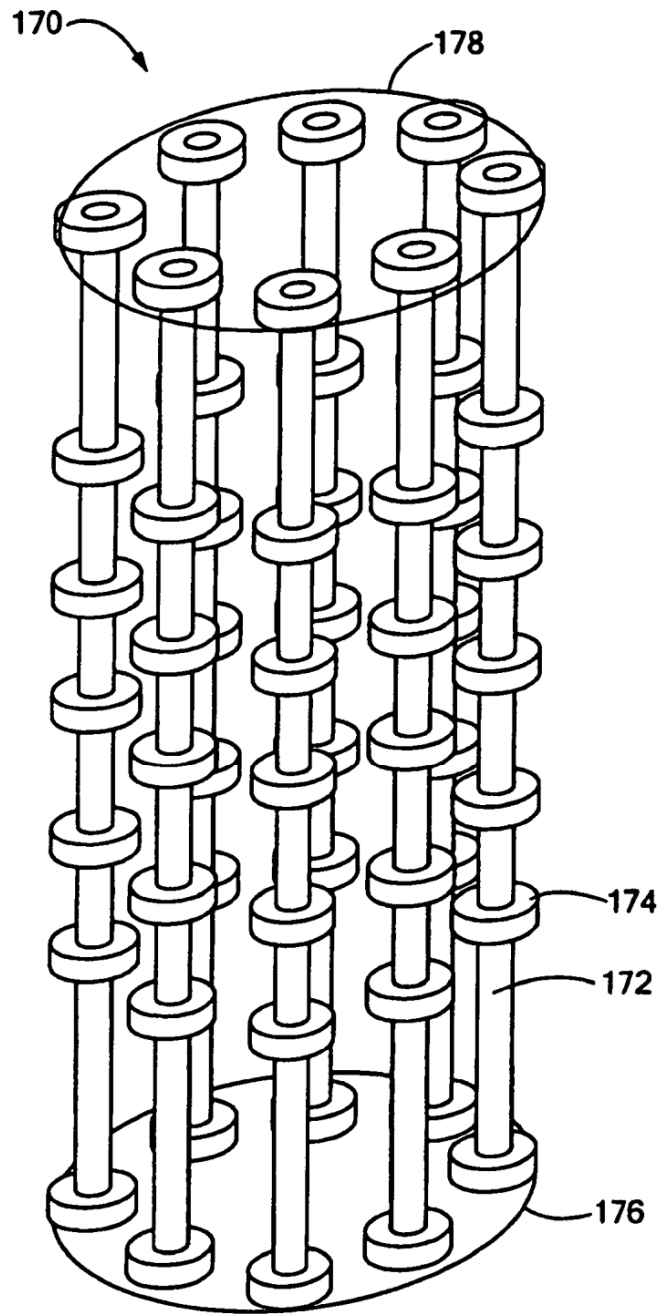


**FIG. 2**

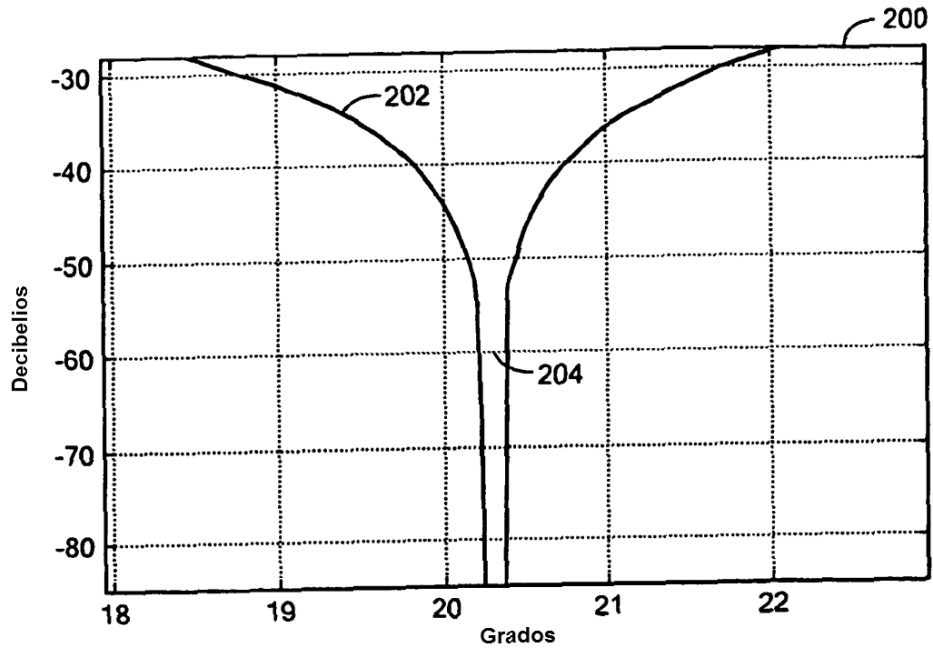


**FIG. 2A**

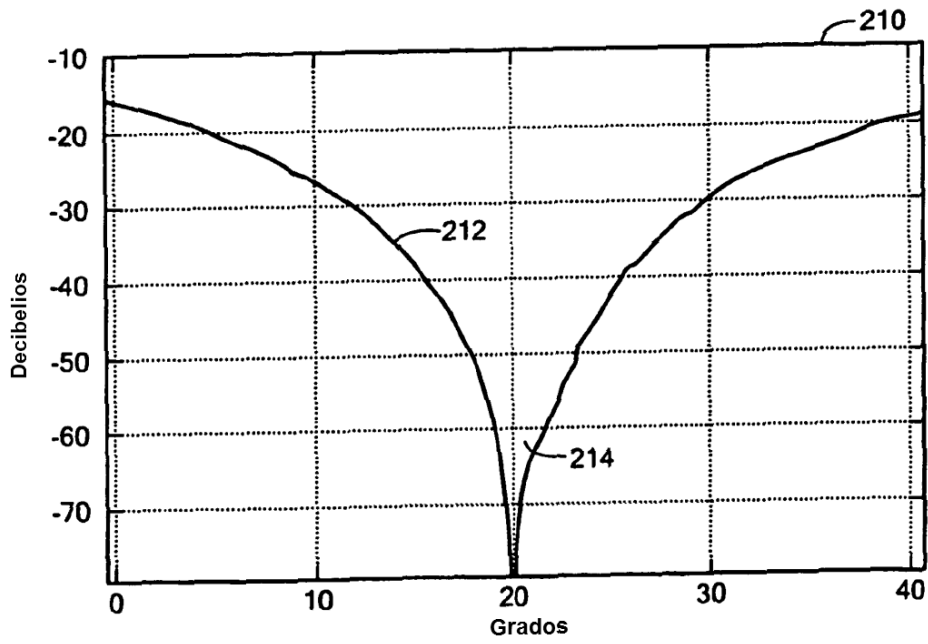




**FIG. 4**

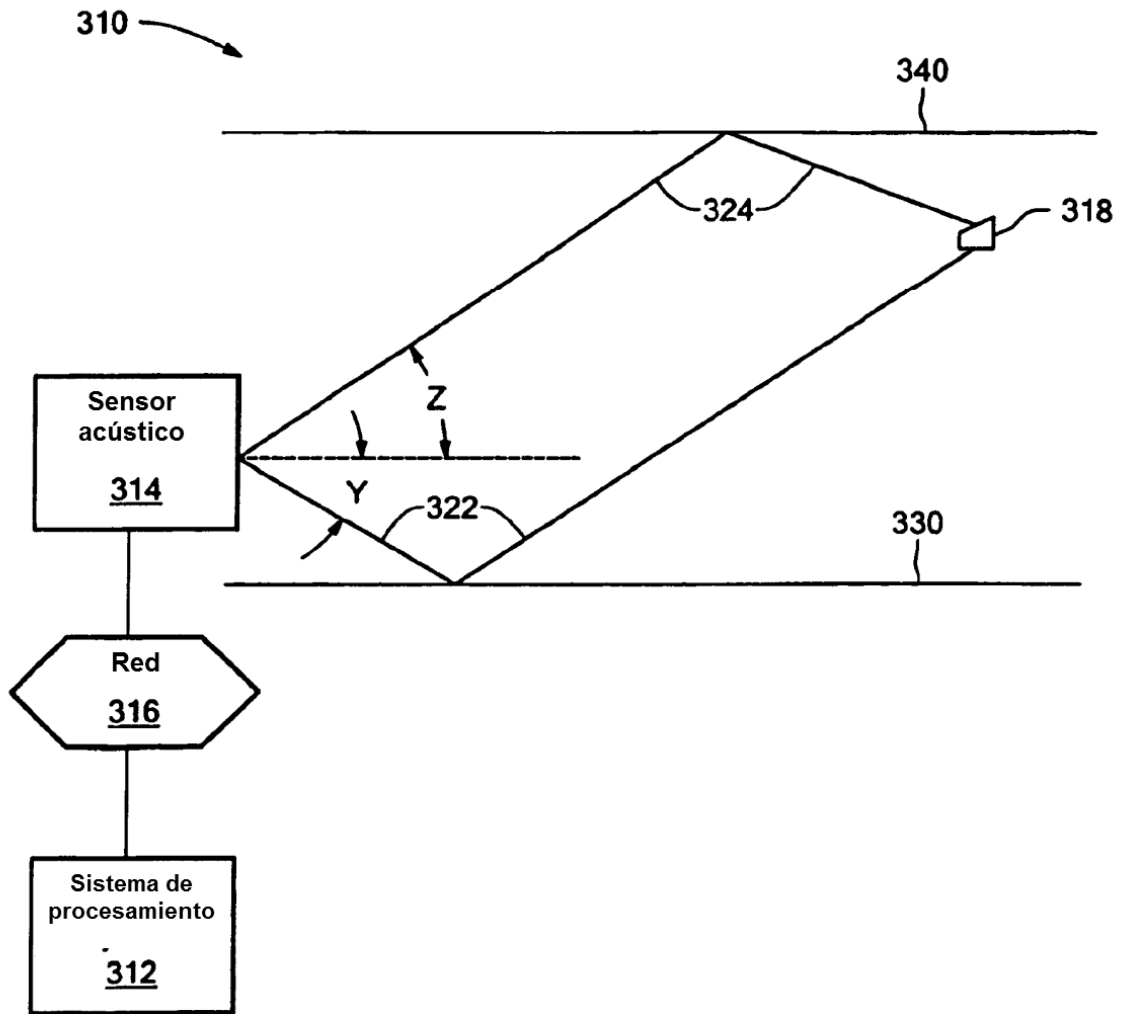


**FIG. 5**

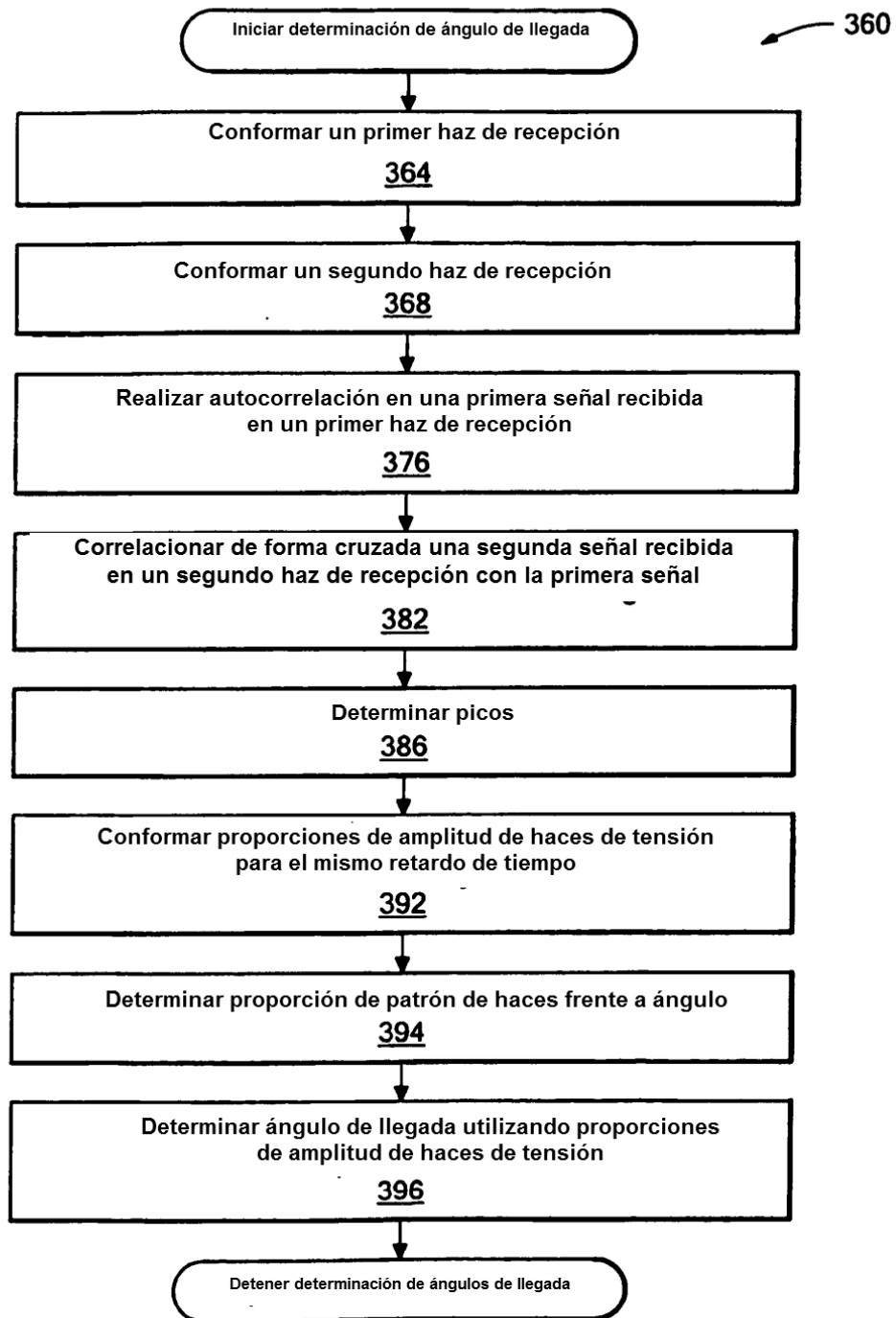


**FIG. 6**

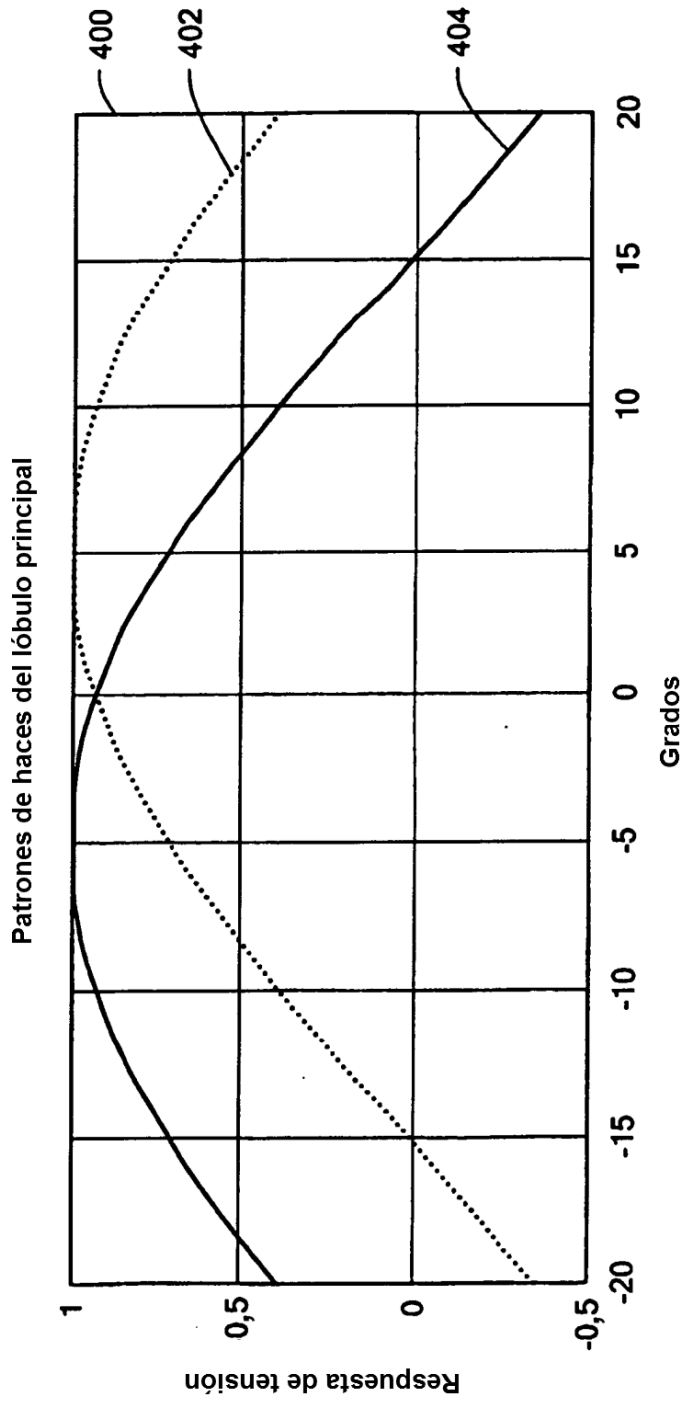




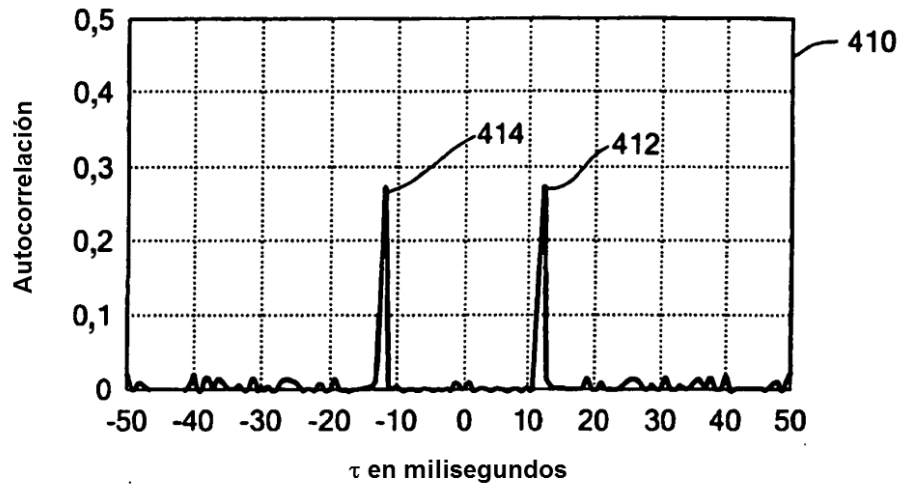
**FIG. 7**



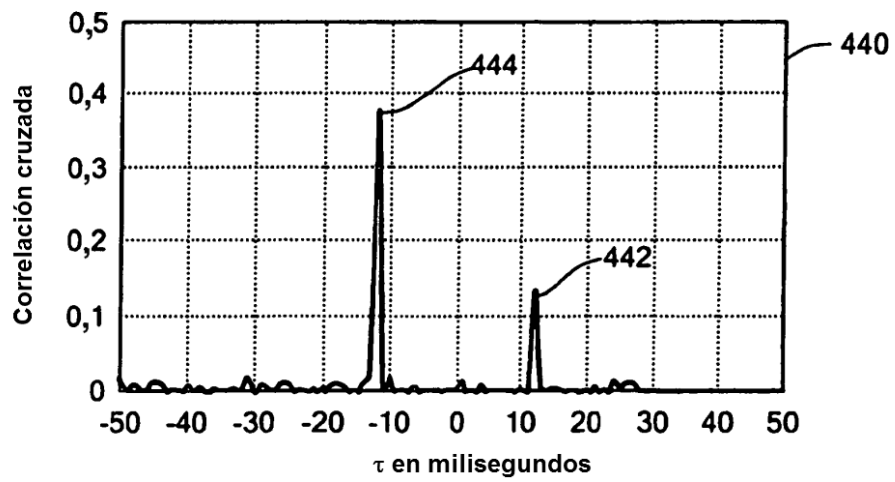
**FIG. 8**



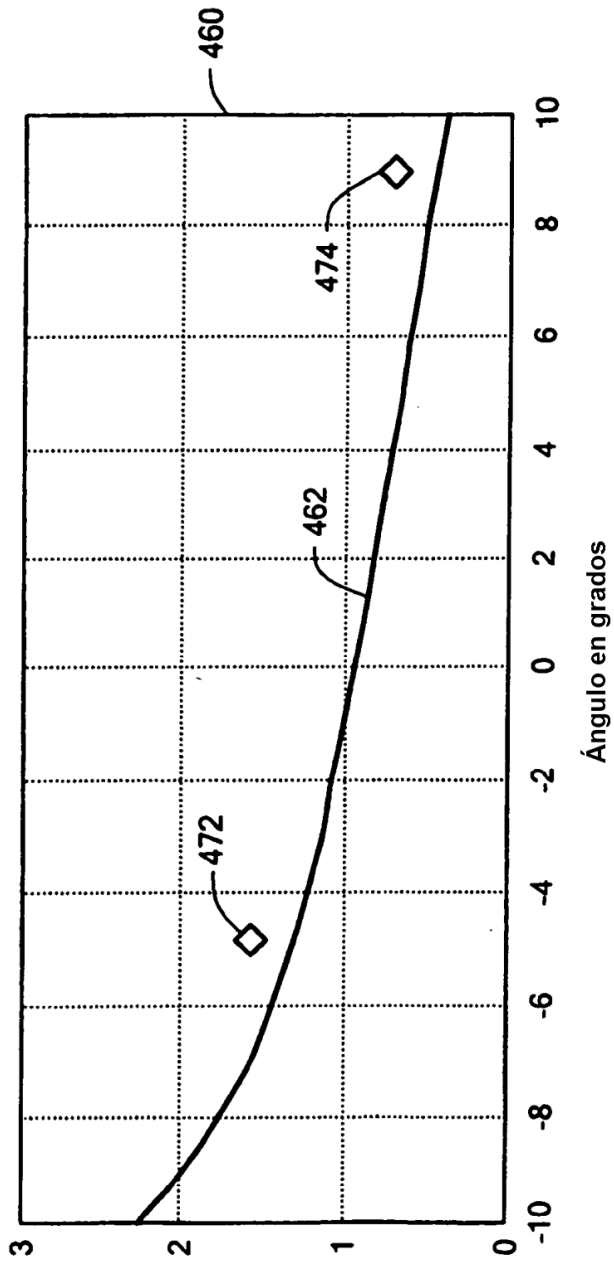
**FIG. 9**



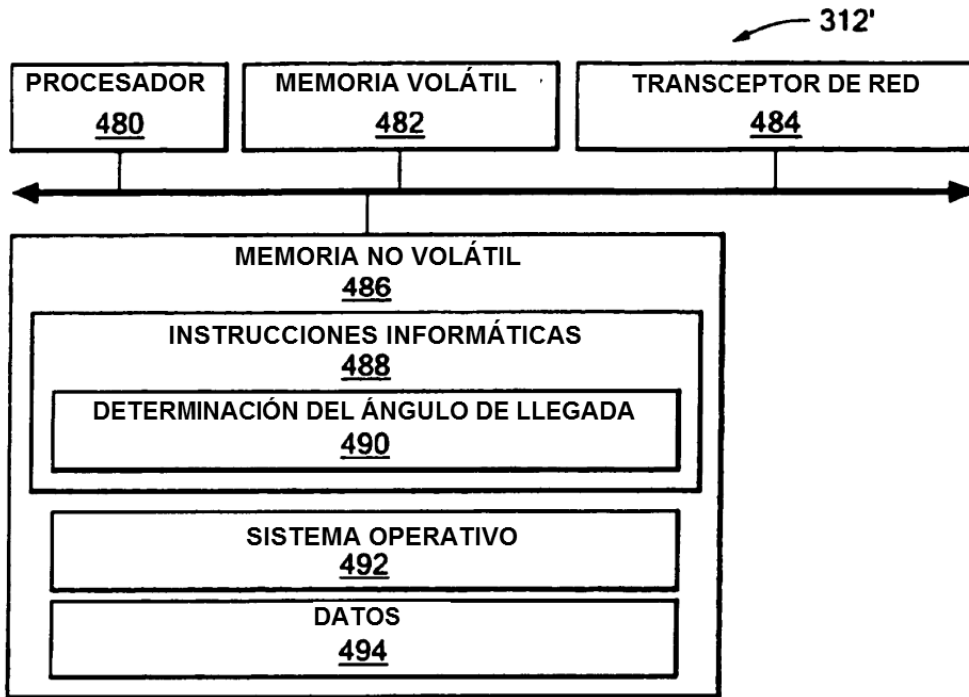
**FIG. 10**



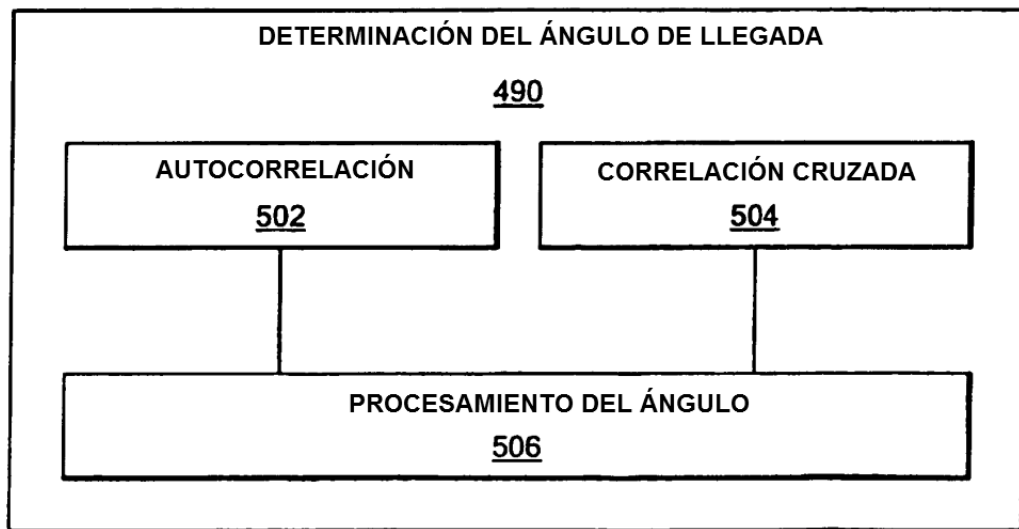
**FIG. 11**



**FIG. 12**



**FIG. 13**



**FIG. 14**

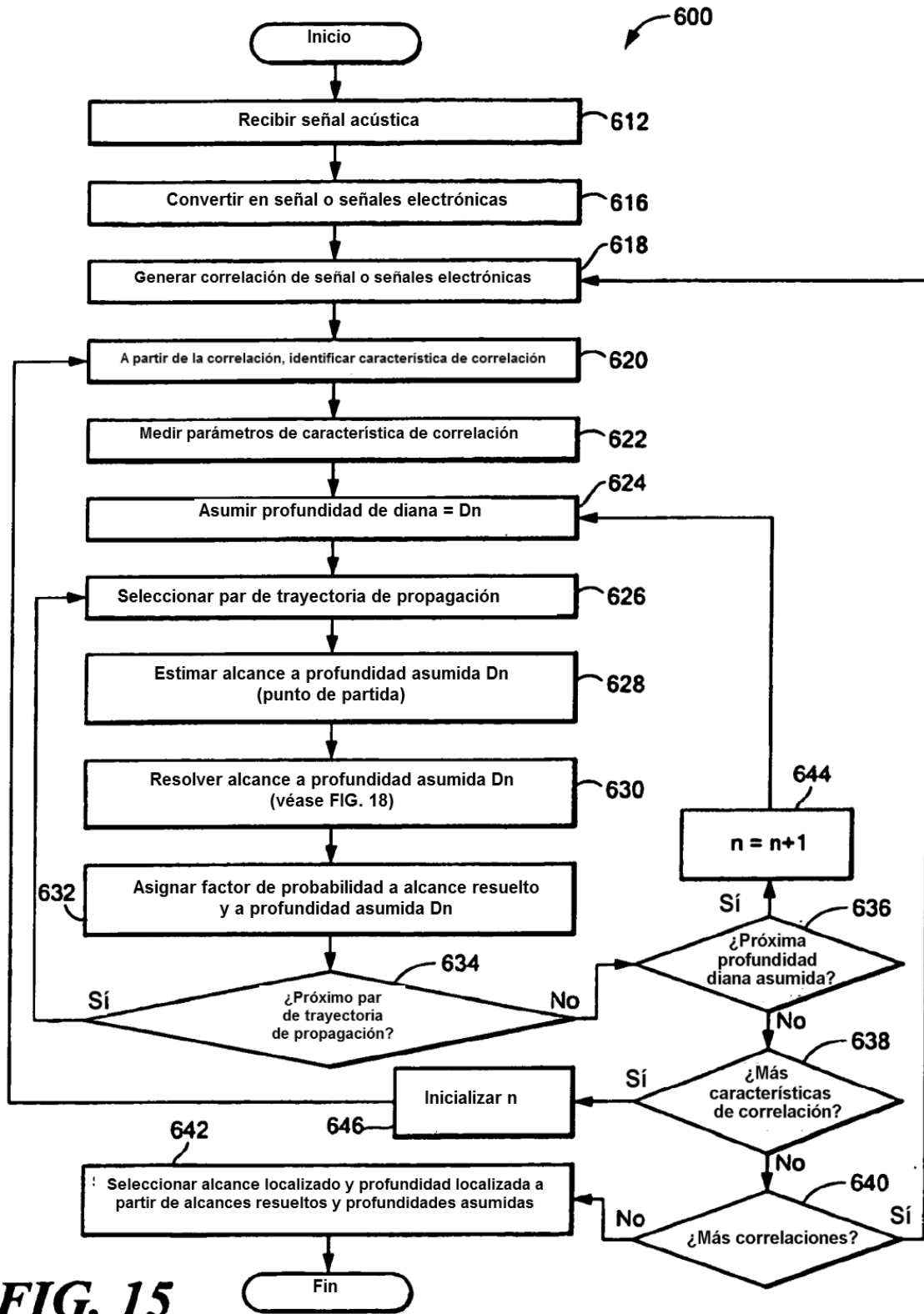
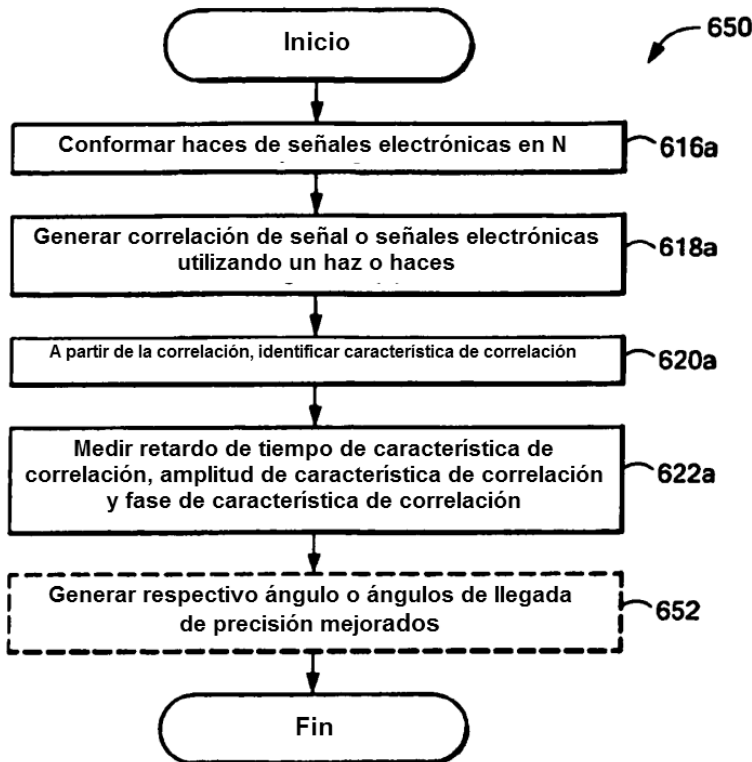
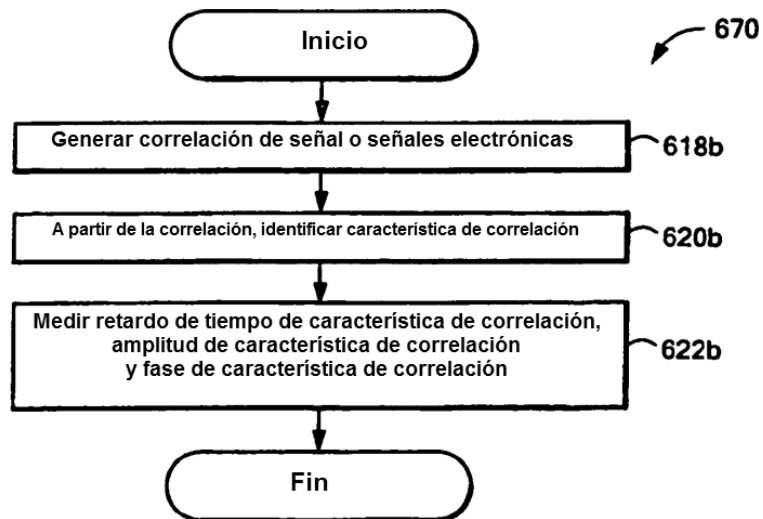


FIG. 15

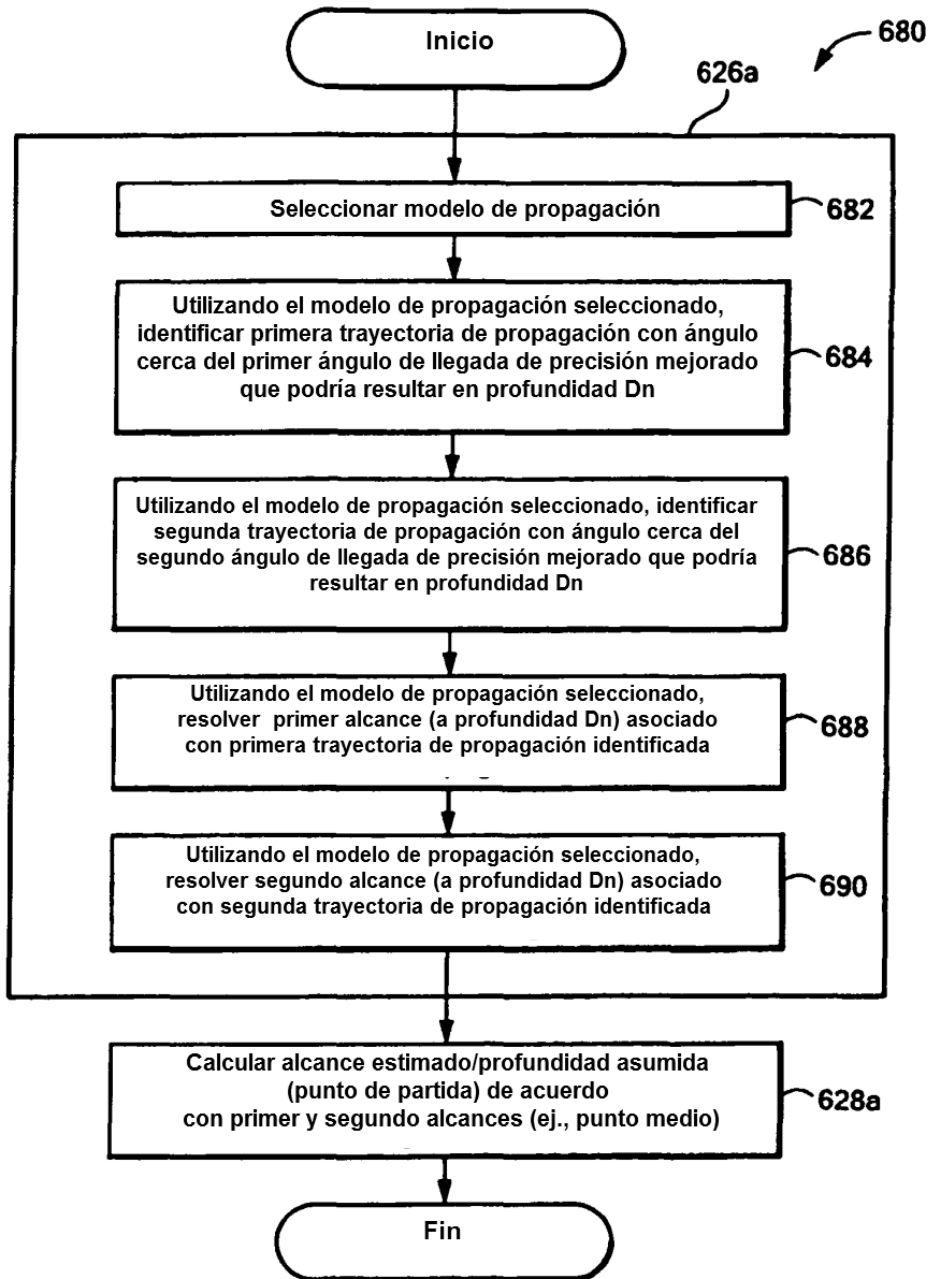


**FIG. 16**

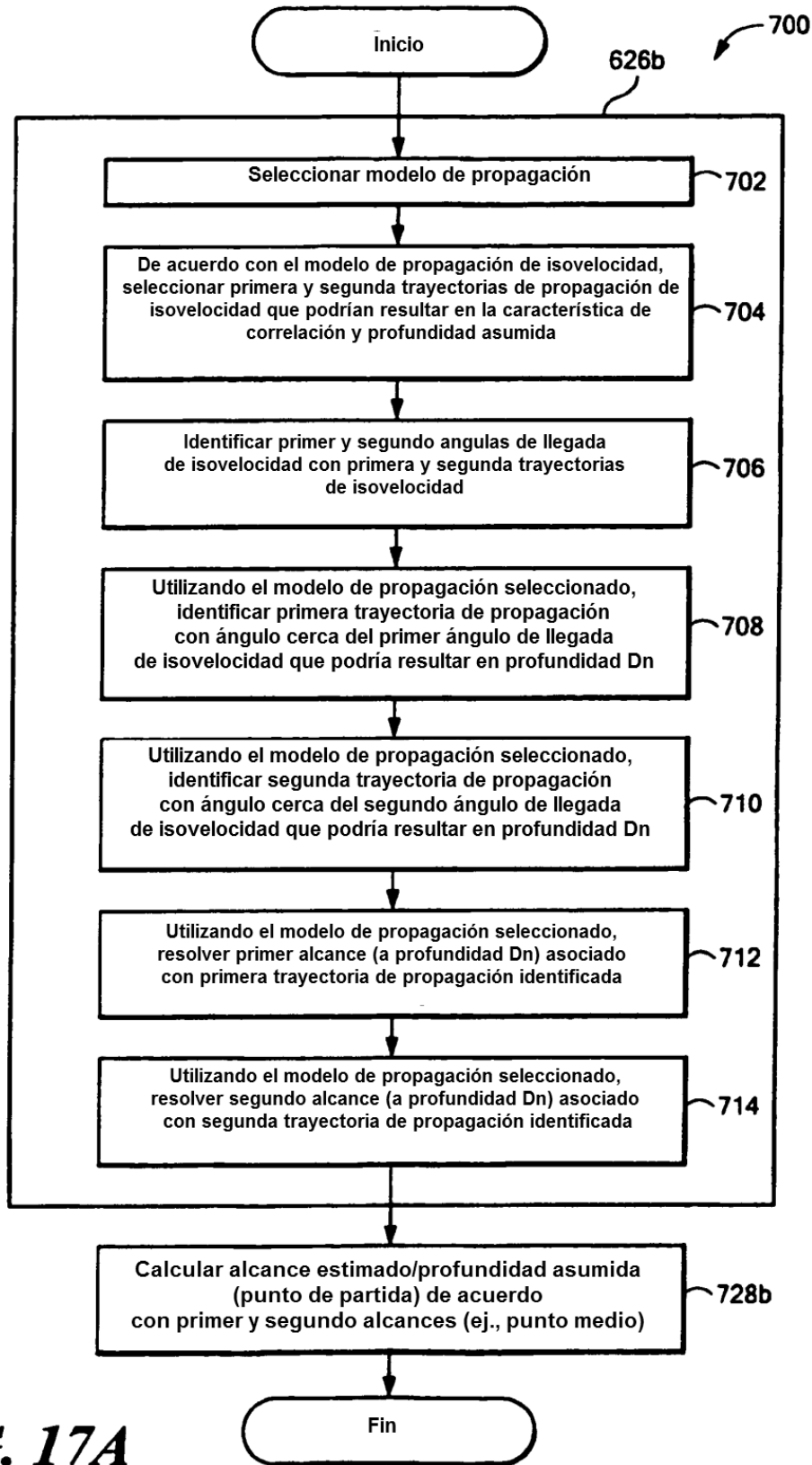


**FIG. 16A**

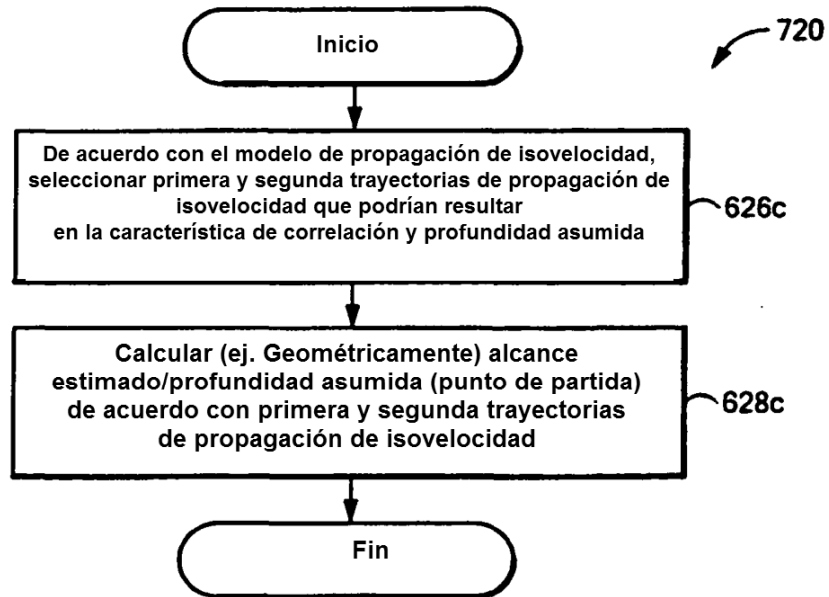




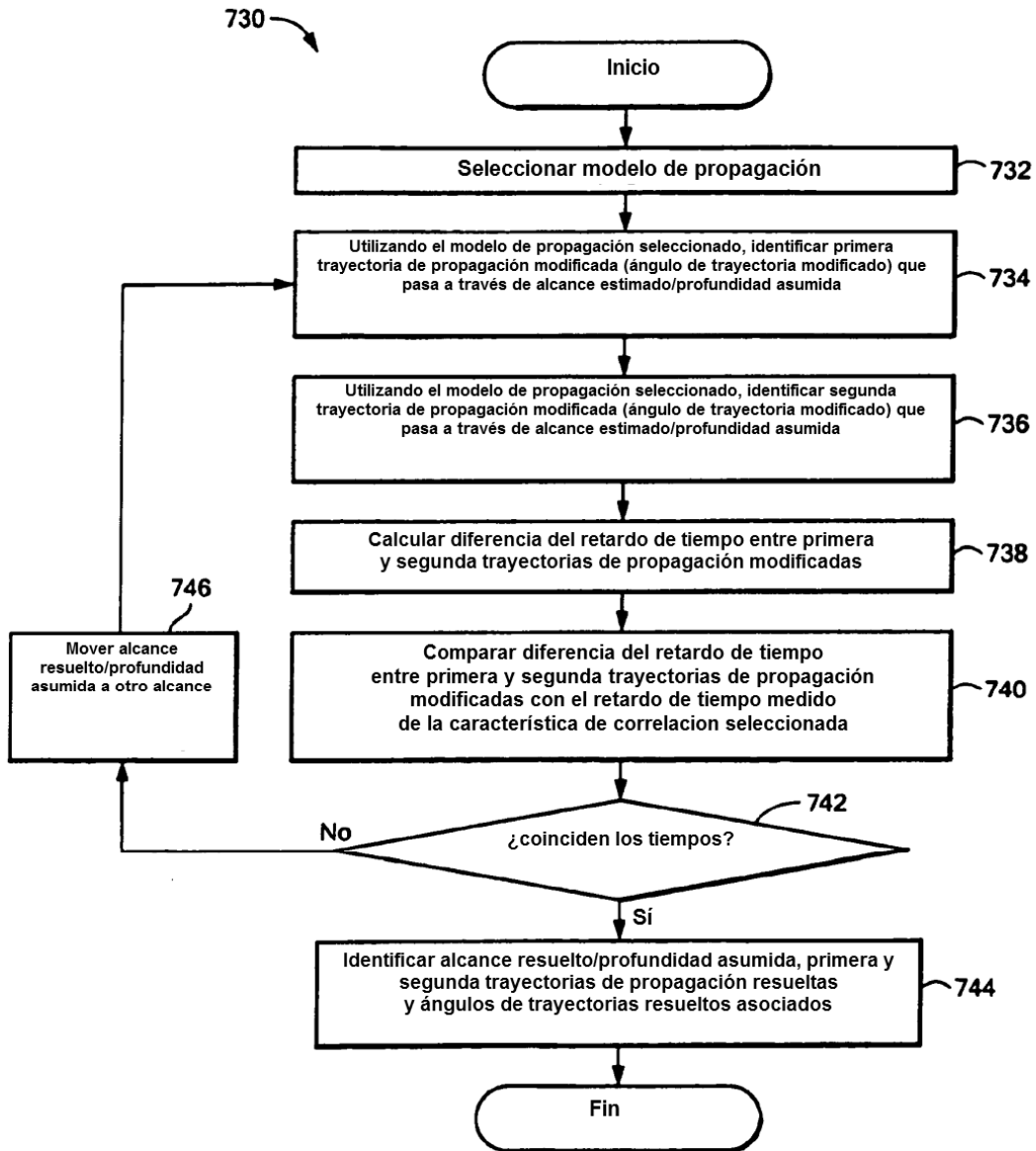
**FIG. 17**



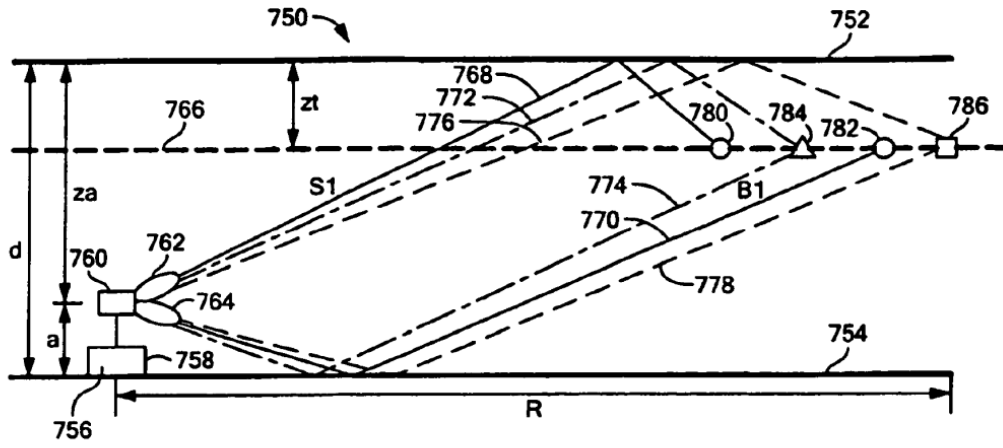
**FIG. 17A**



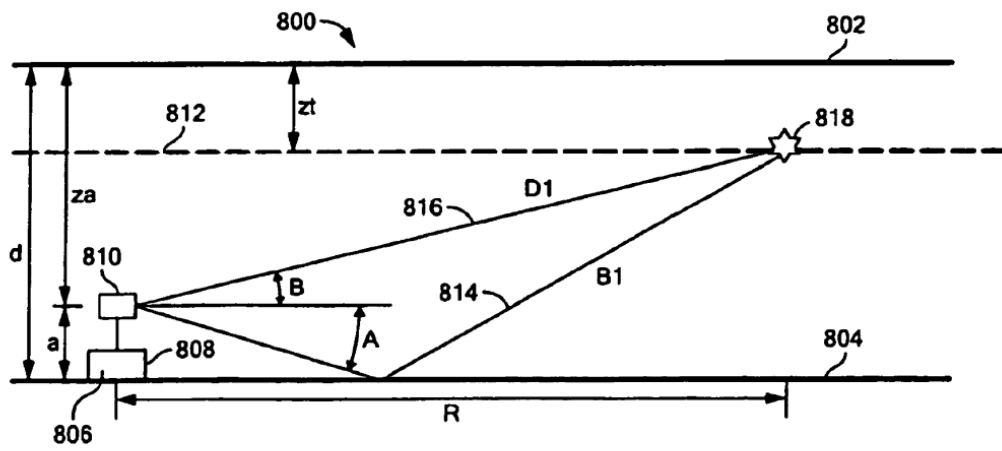
**FIG. 17B**



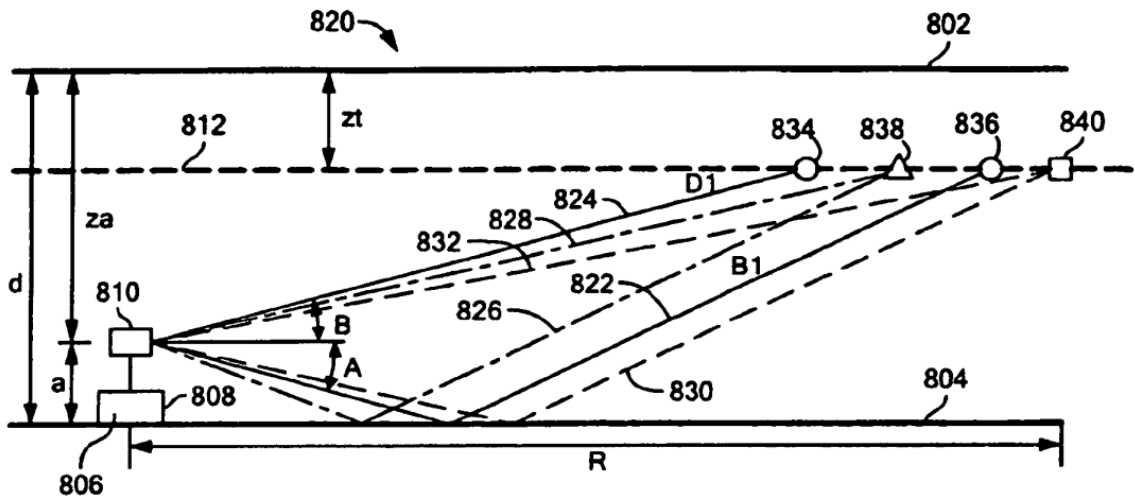
**FIG. 18**



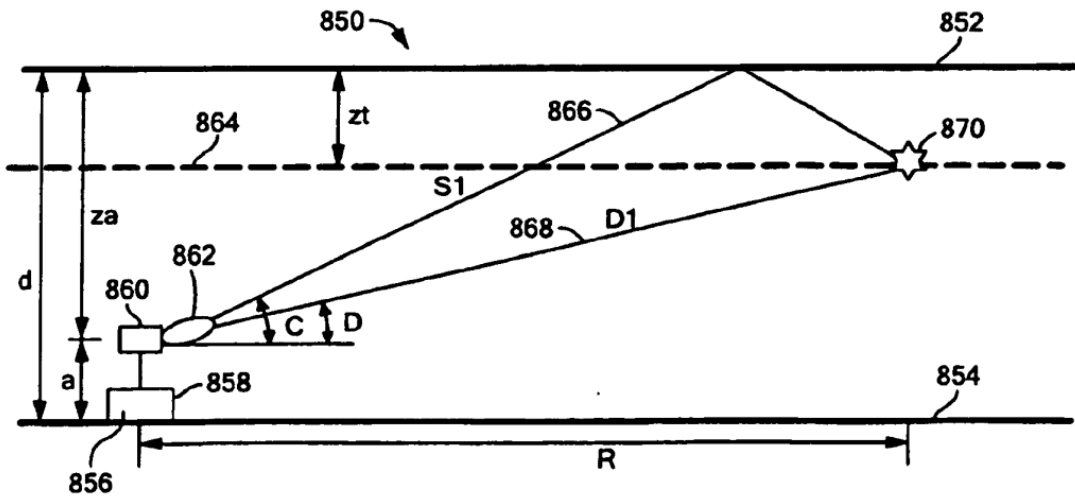
**FIG. 19**



**FIG. 20**



**FIG. 20A**

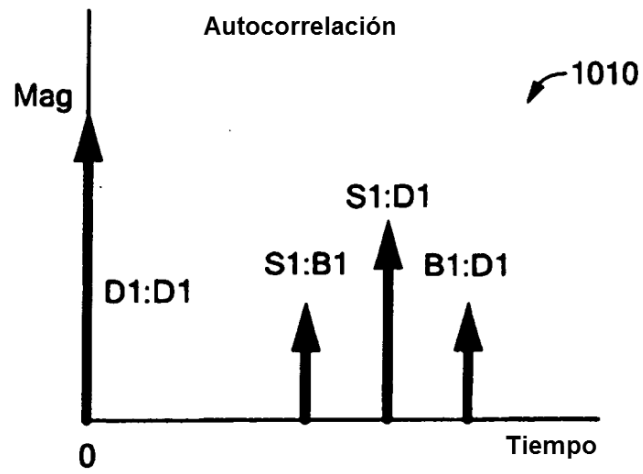


**FIG. 21**

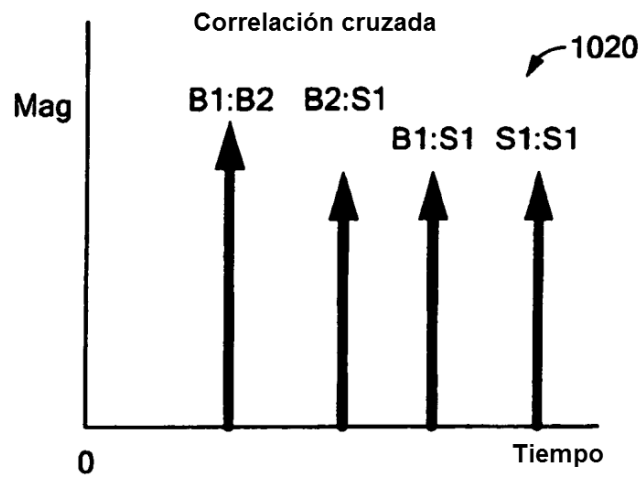




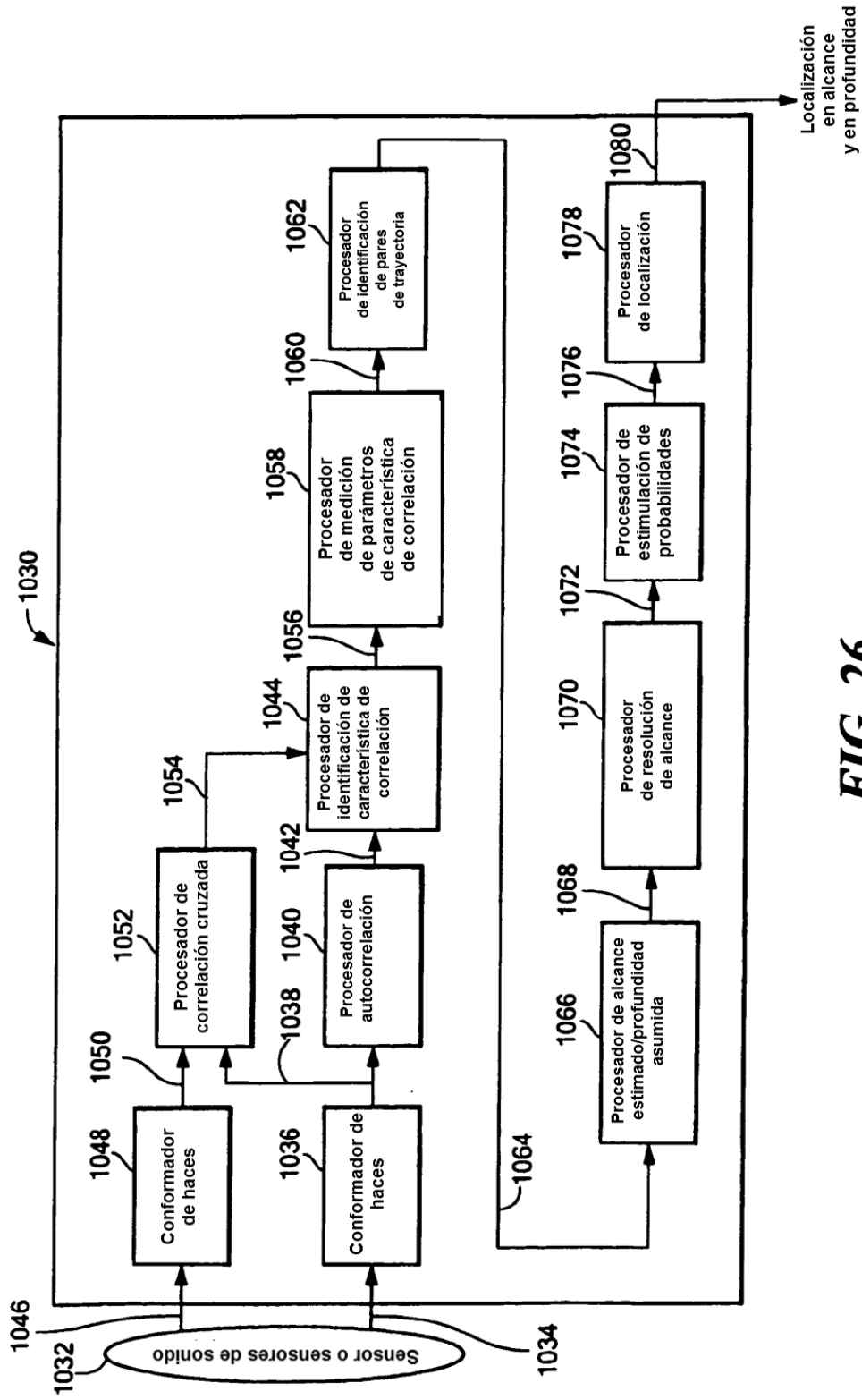




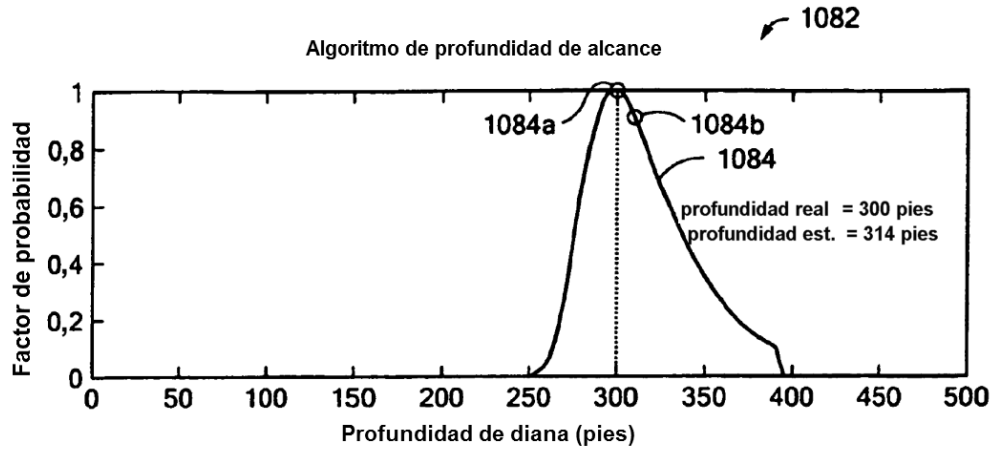
**FIG. 24**



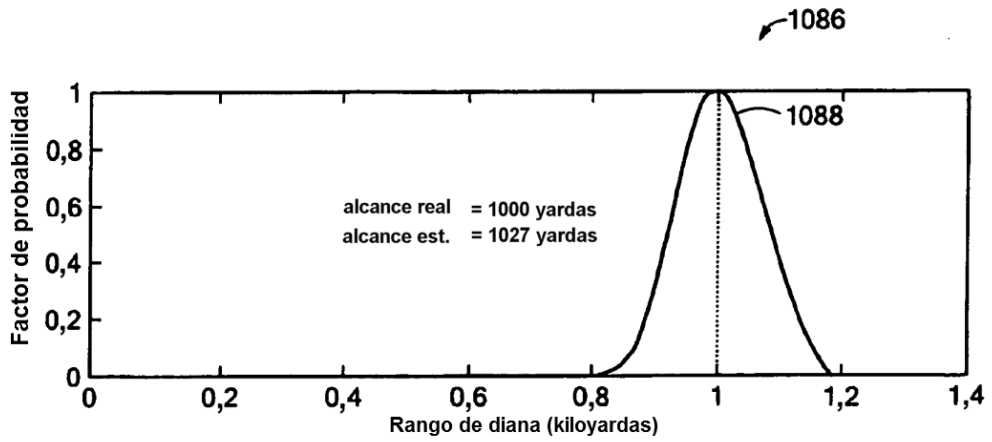
**FIG. 25**



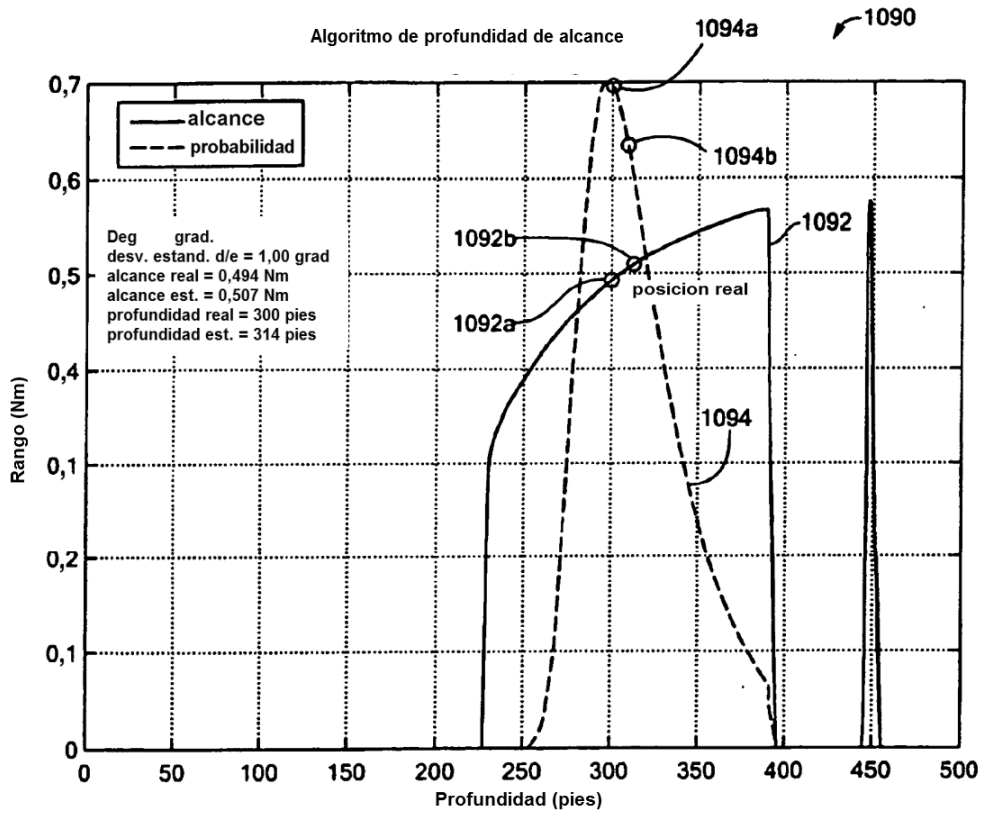
**FIG. 26**



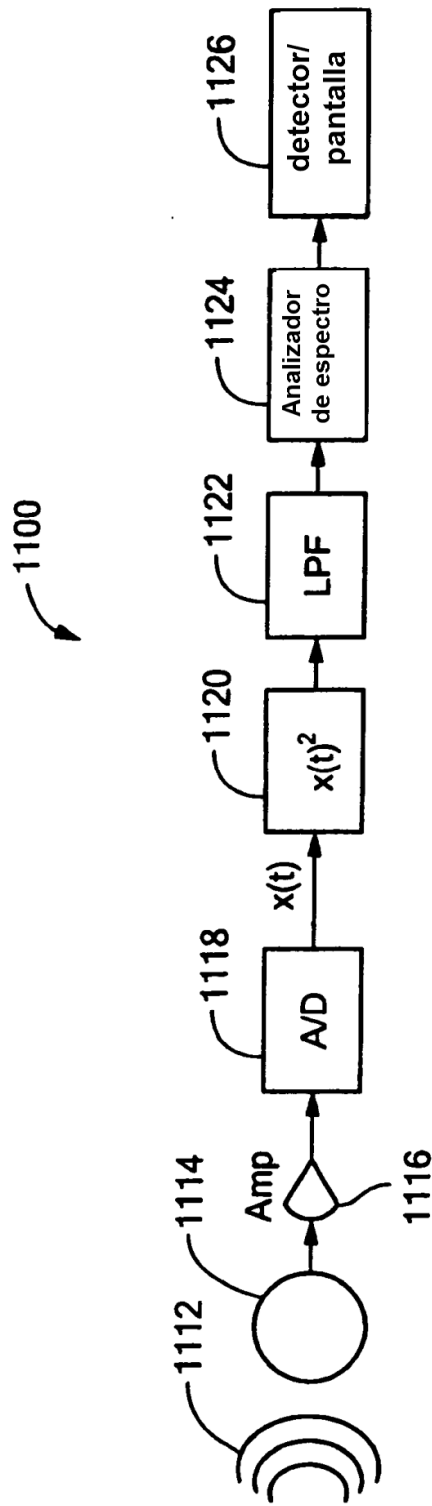
**FIG. 27**



**FIG. 28**



**FIG. 29**



**FIG. 30**

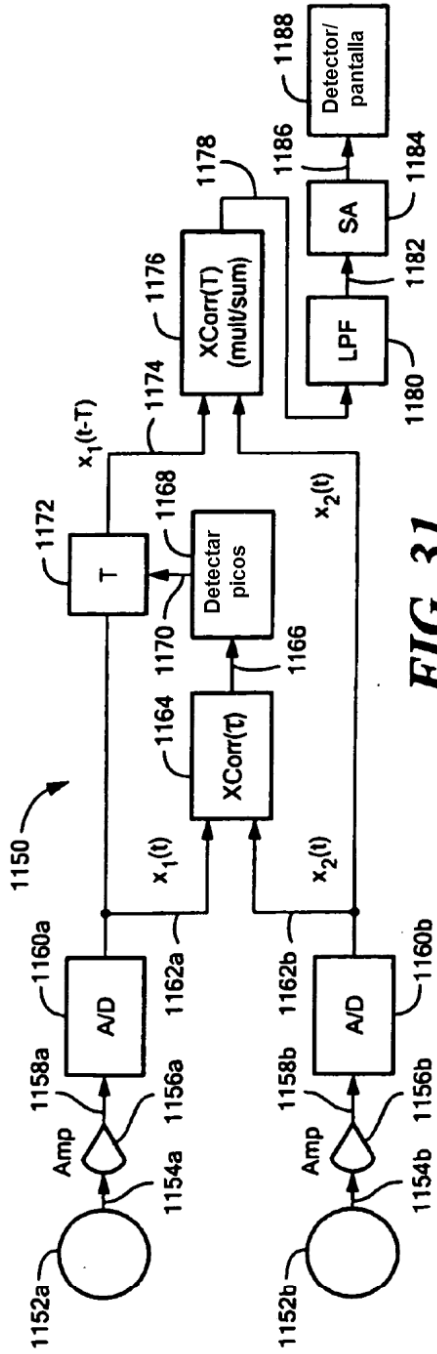


FIG. 31

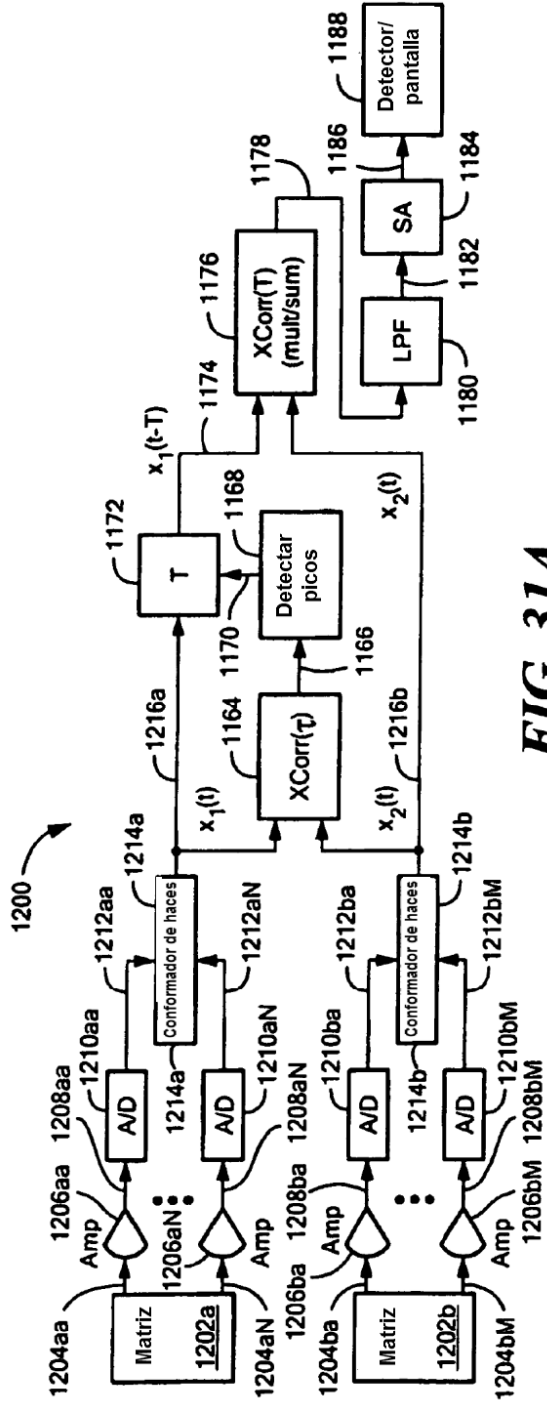
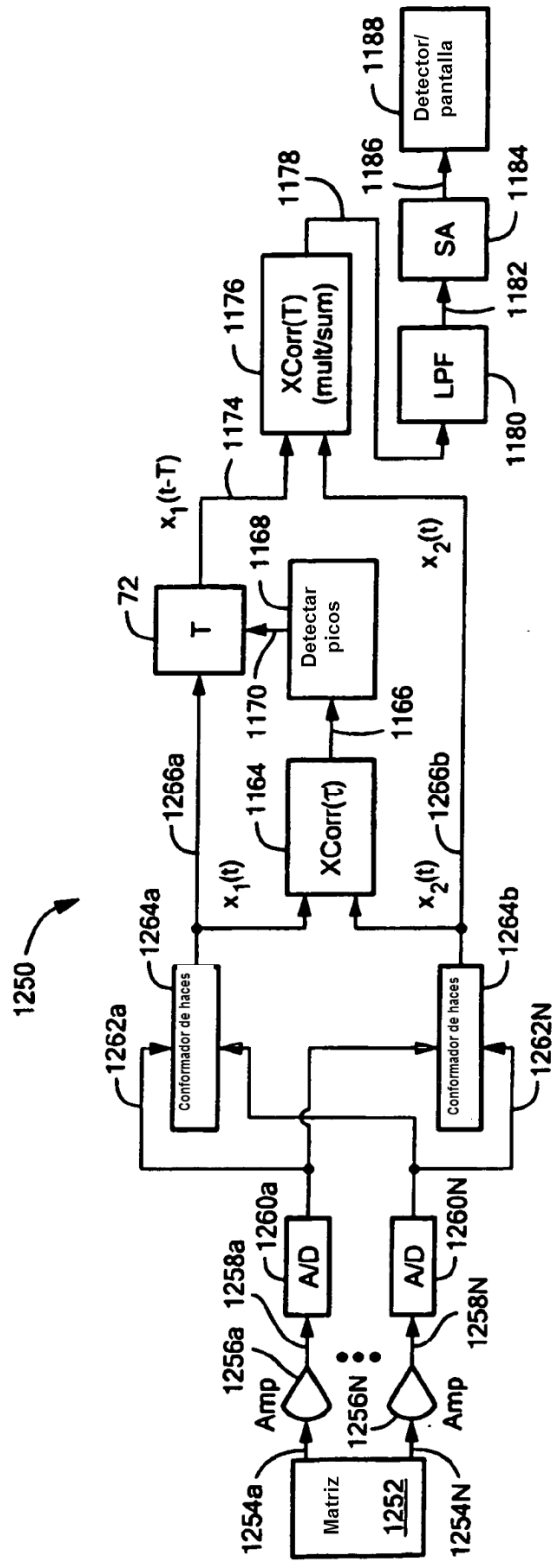


FIG. 31A



**FIG. 31B**

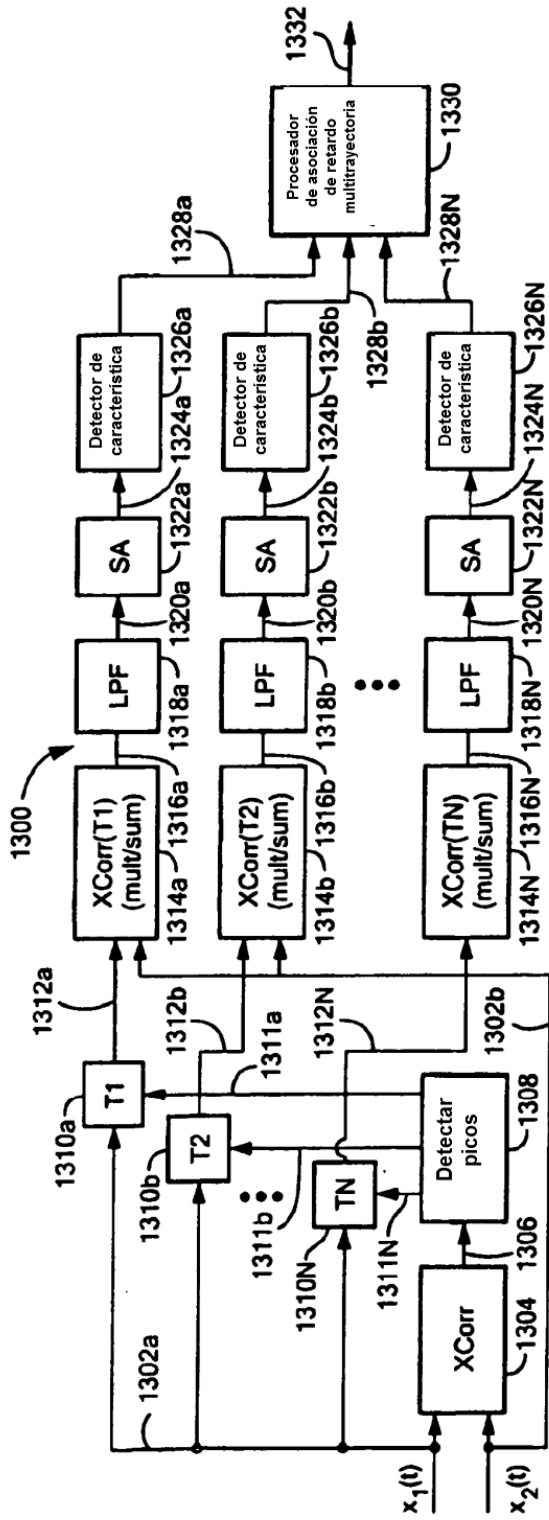


FIG. 32

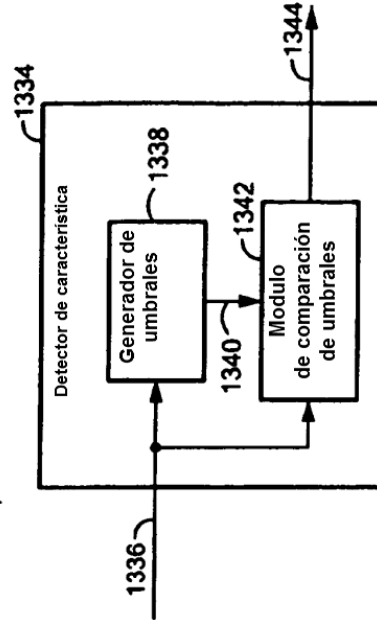
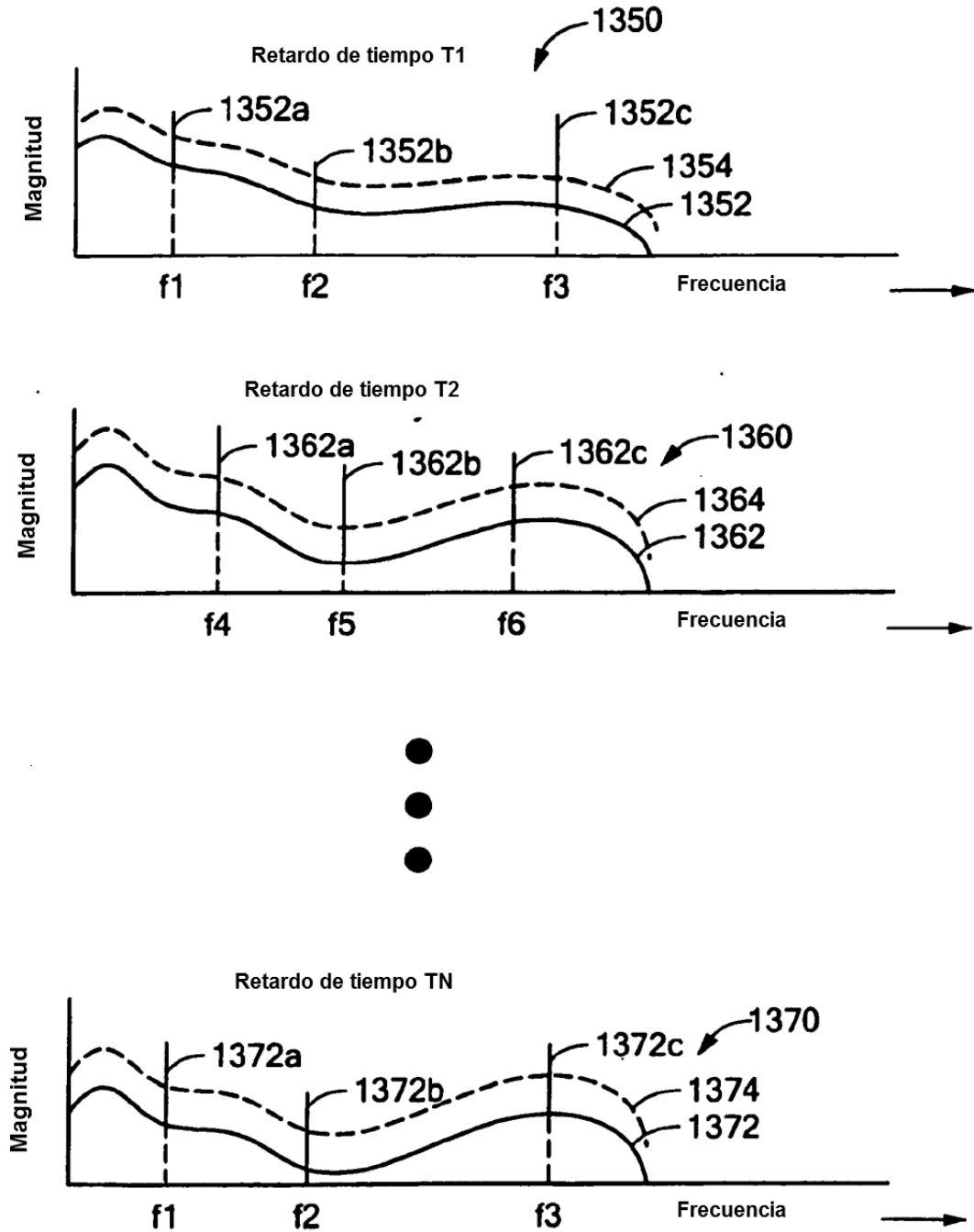


FIG. 32A





**FIG. 33**