



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 331 818**

51 Int. Cl.:
G01S 7/292 (2006.01)
G01S 13/93 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **07728551 .8**
96 Fecha de presentación : **26.04.2007**
97 Número de publicación de la solicitud: **2016441**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **21.01.2009**

54 Título: **Un método para filtrar ecos parásitos marinos en un eco de radar utilizando un modelo hidrográfico.**

30 Prioridad: **08.05.2006 NL 1031761**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
15.01.2010

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
15.01.2010

73 Titular/es: **THALES NEDERLAND B.V.**
Zuidelijke Havenweg 40
7550 GD Hengelo, NL

72 Inventor/es: **Erkocevic-Pribic, Radmila;**
Karelse, Jan y
Langeraar, Hubert

74 Agente: **Lehmann Novo, María Isabel**

ES 2 331 818 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

Un método para filtrar ecos parásitos marinos en un eco de radar utilizando un modelo hidrográfico.

5 El presente invento se refiere a un método para filtrar ecos parásitos marinos en un eco de radar, utilizando un modelo hidrográfico. Por ejemplo, encuentra aplicación en la detección de blancos en un entorno de ecos parásitos marinos.

10 Los ecos parásitos marinos son la suma de retornos de señal no deseados que son devueltos por las olas de la superficie marina cuando éstas son iluminadas por un radar de búsqueda destinado a detectar blancos como buques o aviones. La detección de pequeños blancos en superficie en un entorno de ecos parásitos marinos constituye un reto difícil. Desde luego, la amplitud de los ecos de radar procedentes de tales blancos es débil y comparable con la amplitud de los ecos de radar devueltos por el mar. Las frecuencias Doppler de los blancos y los ecos parásitos marinos, con frecuencia, se superponen. Además, la distribución estadística de los ecos parásitos marinos es difícil de predecir desde un punto de vista estocástico. En el pasado se ha utilizado una solución basada en un umbral de amplitud en un intento de discriminar blancos los blancos entre los ecos parásitos marinos. Sin embargo, en condiciones de fuerte oleaje, la amplitud de los ecos marinos puede ser más intensa que la amplitud de los ecos debidos a blancos pequeños que, por ello, no son detectados.

20 En un intento de discriminar los blancos de los ecos parásitos marinos se ha ensayado, también, una solución basada en la frecuencia Doppler. Desafortunadamente, los picos de frecuencia esperados asociados la velocidad uniforme de los blancos con frecuencia son ahogados en un ancho de banda más amplio asociado con la velocidad variable del mar.

25 Se ha considerado, también, un enfoque estocástico. Este enfoque pretendía generar modelos de los ecos parásitos marinos midiendo sus características estadísticas para filtrar posteriormente los ecos parásitos marinos reales. Pero los ecos parásitos marinos constituyen un caso especial debido a sus muy específicas leyes de correlación y de distribución. En particular, la aproximación de su distribución estadística mediante la bien conocida distribución de Rayleigh, daba como resultado una alta tasa de falsas alarmas o que no se detectasen gran número de blancos, dependiendo de la superficie real del mar. En consecuencia, esta solución no ha probado ser muy fiable.

30 La publicación "Análisis en el dominio del tiempo de los ecos parásitos oceánicos en el radar de alta frecuencia" (IEEE, 24-09-1990) describe un método de supresión de los ecos parásitos utilizando un modelo formado por una suma de componentes sinusoidales.

35 El presente invento pretende proporcionar un método que pueda ser utilizado para solucionar, al menos, algunos de los problemas técnicos anteriormente descritos, considerando la continua evolución, en el tiempo y en la escala, de la superficie del mar, en lugar de considerar por separado las características instantáneas de los ecos individuales como la amplitud o la frecuencia Doppler. Desde luego, los ecos parásitos marinos y los blancos pueden mezclarse fácilmente al basarse en la amplitud o la frecuencia Doppler de sus ecos. Sin embargo, los ecos parásitos marinos y los blancos no pueden mezclarse al basarse en sus movimientos reales. En su aspecto más general, el invento propone combinar la generación de modelos de ecos parásitos marinos basándose en un modelo hidrográfico con posterior filtración de los ecos parásitos reales, describiendo el modelo hidrográfico a utilizar, con precisión, la evolución en el tiempo y en la escala, de la superficie del mar. La superficie del mar modelizada permite estimar los ecos parásitos marinos asociados. Finalmente, los ecos parásitos marinos estimados se eliminan de la señal realmente medida. Tras la eliminación de los ecos parásitos marinos estimados, los ecos restantes pertenecen, probablemente, a blancos.

45 De acuerdo con su aspecto principal, el presente invento puede proporcionar un método para filtrar ecos parásitos marinos en un eco de radar utilizando un modelo hidrográfico. El método comprende una operación de determinación de valores de parámetros del modelo hidrográfico utilizando el eco de radar. El método incluye una operación de estimación de los ecos parásitos marinos correspondientes a la superficie del mar, deducidos a partir del modelo hidrográfico. El método comprende, también, una operación de eliminación de los ecos parásitos marinos estimados por filtrado del eco de radar.

55 Preferiblemente, el modelo hidrográfico describe sólo olas largas, que pueden ser la suma de componentes sinusoidales. Estas componentes sinusoidales pueden describirse mediante una relación de dispersión que relaciona su número de olas y su frecuencia de olas con la dirección de éstas, la profundidad del mar, la corriente marina y la velocidad de la plataforma del radar. En una realización práctica, la dirección de las olas puede considerarse sustancialmente idéntica a la dirección del viento. Las parejas número de olas-frecuencia de las olas que pertenecen a la relación de dispersión, pueden determinarse utilizando una transformada de Fourier en el espacio y una transformada de Fourier en el tiempo de la medición del eco del radar. Dependiendo de la medición del radar, la transformada de Fourier en el espacio puede ser una transformada de Fourier 1D (unidimensional) sobre la distancia o una transformada de Fourier 2D (bidimensional) sobre la superficie.

65 Así, una ventaja proporcionada por el presente invento, en cualquiera de sus realizaciones, es que funciona a partir de datos que ya deben estar disponibles con otros fines en sistemas actualmente en funcionamiento. Por ejemplo, en el marco del concepto REA (Evaluación Ambiental Rápida), las funciones en ejecución ya trabajan a partir de datos hidrográficos o son alegados para aprovecharlos en un próximo futuro. Además, para liberar tiempo de cálculo, la re-estimación de la superficie del mar y de los ecos parásitos marinos puede realizarse a muy bajo régimen, por

ES 2 331 818 T3

ejemplo una estimación cada 10 filtrados, teniendo en cuenta que el mar de fondo no cambia mucho eso. Por tanto, en muchas de las ejecuciones prácticas, el uso de datos hidrográficos para filtrar ecos parásitos marinos puede suponer una actualización, no importante, de los sistemas actualmente en funcionamiento, ni a nivel de equipos ni a nivel de software. Esto hace del invento un solución que conlleva un fuerte recorte de costes. Finalmente, cualquier realización del invento permite observar una tasa más baja de falsas alarmas en comparación con los métodos previos basados en umbrales, cualquiera que sea la configuración de la superficie del mar, se incluyan o no puntas batimétricas anómalas. Esto hace del invento una solución altamente fiable.

En lo que sigue se describen ejemplos no limitativos del invento, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- la figura 1 ilustra una posible secuencia de operaciones como una realización del invento,
- la figura 2 ilustra esquemáticamente la forma típica de una ola en la superficie el mar,
- las figuras 3a y 3b ilustran gráficamente la amplitud de olas largas.

En las figuras, se han asignado signos de referencia similares a elementos similares.

La figura 1 ilustra una posible secuencia de operaciones como una realización del invento.

Comprende una operación 1 de determinación de los valores de los parámetros del modelo hidrográfico utilizando el eco de radar.

La figura 2 ilustra esquemáticamente la forma típica de una ola lineal 10 dominante en la superficie del mar. Una ola de esta clase se denomina, usualmente, ola de escala larga, ola larga u mar de fondo. Esta es una ola hipotética o ideal que, realmente, no existe. Efectivamente, la figura 2 ilustra también esquemáticamente una ola real 11 constituida por la combinación de la ola larga 10 con una ola secundaria llevada por la ola larga 10. La ola secundaria se denomina, usualmente, ola de escala corta u ola corta. Puede provocar puntas batimétricas anómalas en los ecos del radar. De preferencia, el modelo hidrográfico que puede utilizarse describe con precisión la evolución, en el tiempo y en la escala, de las olas largas en la superficie del mar. Desde luego, en la presente realización del invento, las olas cortas se desprecian.

Una antena de radar 12 emite un haz electromagnético 13 hacia la superficie del mar. La antena 12 recibe un eco tras la reflexión del haz 13 en la ola real 11. En el eco de un haz de radar emitido hacia la superficie del mar en un ángulo más o menos agudo, es decir, un haz que roce la superficie del mar antes de ser reflejado realmente su eco, se reconocen usualmente tres componentes.

La primera componente es la dispersión resonante debida a pequeños rizos (u olas cortas) que se forman en la parte superior de olas más largas. Así, esta componente contiene el mar de fondo, es decir, las olas más largas cuando inclinan los pequeños rizos. Esta componente se denomina, también, componente de Bragg. Durante muchos años, los modelos físicos para los ecos parásitos marinos se han basado en la componente de Bragg. En la presente realización del invento, el modelo hidrográfico se enfoca, exclusivamente, sobre este fenómeno marino particular y dominante, es decir, el mar de fondo.

La segunda componente es la dispersión debida a la espuma blanca, muy desigual, de las olas que han roto y la tercera componente es la dispersión especular debida a la cresta de la ola, justo antes de romper. Estas dos componentes describen puntas batimétricas anómalas que son más difíciles de modelizar. En la presente realización del invento, el modelo hidrográfico pasa por alto este fenómeno marino secundario.

Las figuras 3a y 3b ilustran gráficamente la suposición que se hace en la presente realización del invento acerca de que la amplitud de las olas largas puede variar como la suma de L funciones sinusoidales de distancia y tiempo.

La figura 3a ilustra la suposición en el dominio de la distancia. El eje X representa una distancia horizontal, en metros, en la superficie del mar. El eje Y representa la amplitud de las olas, es decir, su altura sobre el nivel del mar. La curva 20 representa la variación de la altura de una ola hipotética que sería la componente sinusoidal de orden l ($l \in \{1, \dots, L\}$). La curva 20 varía de acuerdo con una función sinusoidal caracterizada por una longitud de onda λl de, aproximadamente, 60 metros.

La figura 3b ilustra la suposición en el dominio del número de olas. El eje X representa el número de olas, que es el recíproco de la longitud de onda. El eje Y representa la amplitud de las olas. El pico 30 representa la misma ola hipotética que constituiría la componente sinusoidal de orden l , que en la figura 3a se representa mediante la curva 20. Los picos 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40 y 41 representan otras componentes sinusoidales de las olas largas. Suponiendo que las olas largas sean solamente sinusoidales, es decir, que tengan un pequeño número de componentes espectrales 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40 y 41 que pueden reconocerse fácilmente, simplemente se aplicaría un filtro para aislar estas componentes.

Similarmente, el período T/l de las olas asociado con la ola esquematizada por la curva 20, se resaltaría en una gráfica en la que el eje X representaría el tiempo y el eje Y representaría la amplitud de las olas en un sitio fijo. El

ES 2 331 818 T3

número de olas k_1 y la frecuencia de las olas, f_1 , son valores recíprocos de la longitud de onda λ_1 y el período de las olas, T_1 , respectivamente.

5 Considerando en la presente realización del invento que la corriente marina y la velocidad de la plataforma del radar no pueden despreciarse, la olas largas están descritas por aquellas olas que responden a la siguiente relación de dispersión (1), que relaciona el número de olas k_1 con frecuencia de las olas f_1 :

$$10 \quad f_1 = b_1 \sqrt{k_1 g \operatorname{tgh}(2\pi k_1 D) / 2\pi} + (\vec{u} + \vec{v}) \vec{k}_1 \quad (1)$$

donde:

15 f_1 = frecuencia de las olas,

b_1 = $\cos(\phi - \theta_1)$, donde $\phi - \theta_1$ representa el ángulo comprendido entre la dirección ϕ del haz de la antena y la dirección θ_1 de las olas (por ejemplo, ángulos de 0 , $\pi/2$ y π corresponden a olas en dirección contraria, en dirección transversal y en la misma dirección, respectivamente),

20 k_1 = número de olas ($k_1 = |\vec{k}_1|$),

g = aceleración de la gravedad,

D = profundidad del mar,

25 \vec{u} = corriente marina,

\vec{v} = velocidad de la plataforma del radar.

30 Así, los valores de la dirección θ_1 de las olas y de la profundidad D del mar han de ser conocidos para calcular k_1 y f_1 . La corriente marina \vec{u} y la velocidad \vec{v} de la plataforma del radar son, también, necesarias pero, si no están disponibles, pueden ser estimadas fácilmente por cuanto se trata de parámetros lineales del modelo. Preferiblemente, la dirección θ_1 de las olas puede considerarse idéntica a la dirección del viento, θ_{viento} . Desde luego, el mar de fondo es creado por el movimiento de la superficie del mar provocado por el viento que, posteriormente, es equilibrado por la fuerza de la gravedad. Hay que hacer notar que la dirección θ_1 de las olas y la dirección del viento, θ_{viento} , no siempre son idénticas, ya que el viento puede cambiar mientras las olas mantienen la dirección de un viento previo.

35 En consecuencia, un eco de radar $s_\phi(r, t)$ en el instante t , a la distancia r y con un azimut ϕ debe ser investigado en el dominio del número de olas-frecuencia de olas para estimar las parejas de número de olas-frecuencia de olas (k_1 , f_1), que pueden conseguirse utilizando la bien conocida transformada de Fourier en dos o tres dimensiones. Basándose en los datos de radar fijo (2D), es decir, a partir de mediciones del eco de radar en distancia y tiempo con azimut constante, pueden ejecutarse una transformada de Fourier 1D en la distancia seguida por una transformada de Fourier 1D en el tiempo. Basándose en datos de radar móvil (3D), es decir, a partir de mediciones del eco de radar en distancia, azimut y tiempo, pueden ejecutarse una transformada de Fourier 2D sobre la superficie seguida por una transformada de Fourier 1D en el tiempo. Si el eco de radar $s_\phi(r, t)$ contiene solamente mar de fondo junto con blancos, aparecen claramente picos de mar de fondo por parejas (k_1 , f_1) que pertenecen a la relación de dispersión (1).

La secuencia de operaciones comprende, también, una operación 2 de estimación de los ecos parásitos marinos correspondientes a la superficie del mar, como se deduce a partir del modelo hidrográfico.

50 Las olas largas esperadas se calculan a partir del comportamiento del mar, por ejemplo a partir de parámetros del mar tales como dirección del viento/de las olas y profundidad del mar, que deben poder haberse medido antes de que pueda aplicarse en la práctica la presente realización del invento. En el caso de que la velocidad de la plataforma del radar no se considere como despreciable, puede corregirse también el comportamiento del mar con el movimiento del buque, que debe incluir, rumbo, cabeceo y balanceo.

La señal del radar en el dominio de número de olas-frecuencia de olas se compara con el mar de fondo esperado. Esta comparación revela los ecos parásitos marinos que pueden pertenecer al mar de fondo esperado. El resultado contiene varias olas largas dominantes descritas, cada una, por su número de olas y frecuencia de olas estimados, más adelante denominados parámetros del mar de fondo y, opcionalmente, también por su fase y su amplitud estimadas.

También puede ocurrir un caso extremo cuando en las mediciones del radar no se pueda reconocer el mar de fondo.

65 La secuencia de operaciones comprende, también, una operación 3 de filtrado de los ecos parásitos marinos estimados para eliminarlos del eco de radar. Tan pronto como se conocen los parámetros del mar de fondo, pueden filtrarse las mediciones de radar entrantes en el dominio inicial de tiempo-distancia-azimut restando las componentes de mar de fondo dominante estimadas. Por ejemplo, el filtrado puede llevarse a cabo en la retícula polar original cuyo origen es el radar. Alternativamente, el filtrado también puede ejecutarse en una retícula rectangular.

ES 2 331 818 T3

En la figura 3a, un blanco está representado por el pico 21 y por una curva constante 42 en la figura 3b. Como se esquematiza en la figura 3b, el eco del blanco debe ser débil porque las olas del mar dominan su contenido espectral. El blanco, también, podría ser lento, es decir, sus velocidades Doppler pueden caer dentro del espectro Doppler de los ecos parásitos marinos. Por ejemplo, las figuras 3a y 3b pueden corresponder a un escenario que combine un mar fuerte, por ejemplo, con un estado mayor que 3, con un blanco pequeño y, posiblemente, lento. Este es uno de los escenarios más difíciles y todavía no resuelto, con que se tropieza en el funcionamiento del radar.

La suposición hidrográfica en la que se establece que la amplitud de las olas largas varía como una suma de funciones sinusoidales de distancia, solamente es válida para el comportamiento particular del mar. Además, las olas largas son muy importantes entre todos los fenómenos relacionados con el mar. Por tanto, tras el filtrado hidrográfico solamente quedan disponibles ecos del blanco. El filtro hidrográfico parece constituir un filtro eficaz de los ecos parásitos marinos.

En el caso extremo de que no se hayan reconocido olas largas, no puede aplicarse el filtro hidrográfico.

Una ventaja clave del método de acuerdo con el invento es que funciona en escenarios de radar difíciles que combinan un mar fuerte con blancos débiles y lentos, no que todavía no ha sido resuelto en los radares existentes.

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

5 1. Un método de filtrar ecos parásitos marinos en un eco de radar utilizando un modelo hidrográfico que describe olas largas (10) solamente, siendo las olas largas la suma de componentes sinusoidales (20, 30), describiéndose las componentes sinusoidales de las olas largas a través de una relación de dispersión que asocia su número de olas y su frecuencia de olas con la dirección de las olas, la profundidad del mar, la corriente marina y la velocidad de la plataforma del radar, cuyo método comprende las operaciones siguientes:

10 - determinación (1) de los valores de parámetros del modelo hidrográfico utilizando el eco del radar;
- estimación (2) de los ecos parásitos marinos correspondientes a la superficie del mar deducidos a partir del modelo hidrográfico; y

15 - filtrado de los ecos parásitos marinos estimados del eco (3) del radar.

2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la dirección de las olas se considera sustancialmente idéntica a la dirección del viento.

20 3. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que las parejas de número de olas-frecuencia de olas que pertenecen a la relación de dispersión, se determinan utilizando una transformada de Fourier en el espacio y una transformada de Fourier en el tiempo de la medición del eco de radar.

25 4. Un método de acuerdo con la reivindicación 3, en el que la transformada de Fourier en el espacio es una transformada de Fourier 1D sobre la distancia, midiéndose el eco de radar en distancia y tiempo con azimut constante.

5. Un método de acuerdo con la reivindicación 3, en el que la transformada de Fourier en el espacio es una transformada de Fourier 2D sobre la superficie, midiéndose el eco de radar en distancia, azimut y tiempo.

30

35

40

45

50

55

60

65

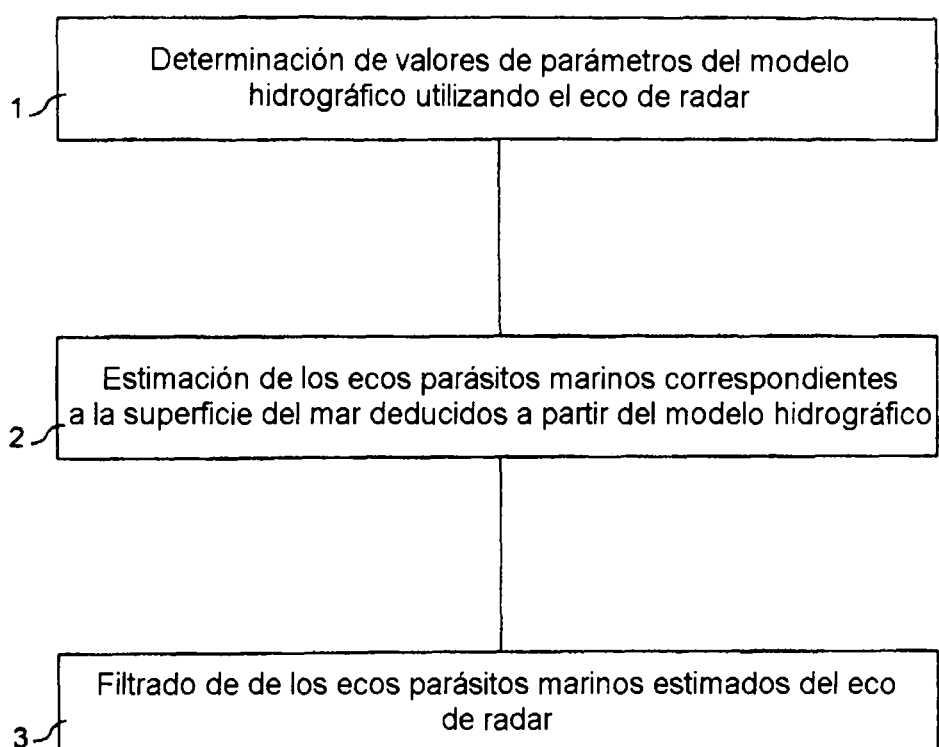


FIG.1

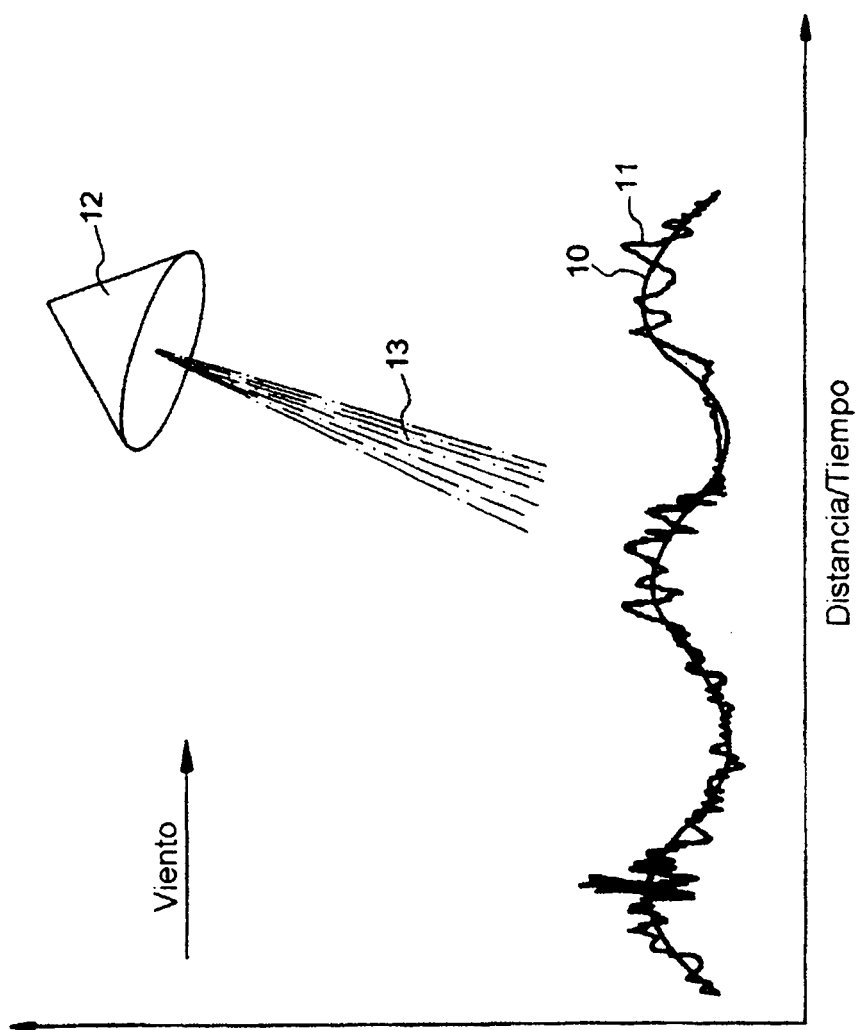


FIG.2

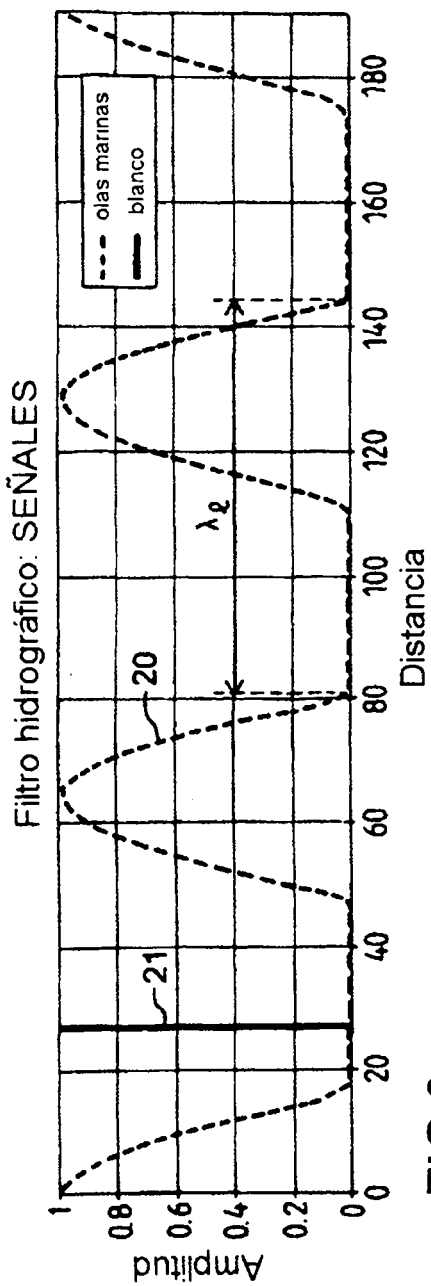


FIG.3a

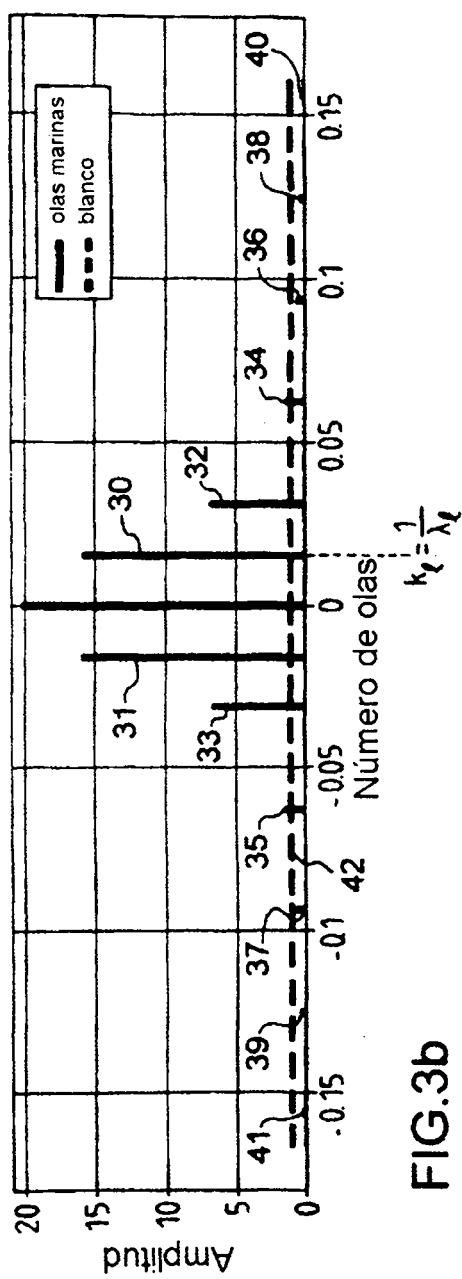


FIG.3b