

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 438 983**

51 Int. Cl.:

**G01S 13/42** (2006.01)

**G01S 13/72** (2006.01)

**G01S 13/93** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.10.2007 E 07875003 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.11.2013 EP 2082259**

54 Título: **Métodos y aparato para proporcionar estimación de altitud de blanco en un sistema de radar bidimensional**

30 Prioridad:

**30.10.2006 US 554064**

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

**21.01.2014**

73 Titular/es:

**RAYTHEON COMPANY (100.0%)  
870 WINTER STREET  
WALTHAM, MA 02451-1449, US**

72 Inventor/es:

**WOOD, THOMAS E.;  
AGER, ROBERT S.;  
FLEURY, RICHARD B. y  
HEUER, GREGORY D.**

74 Agente/Representante:

**UNGRÍA LÓPEZ, Javier**

**ES 2 438 983 T3**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Métodos y aparato para proporcionar estimación de altitud de blanco en un sistema de radar bidimensional

### 5 Antecedentes

10 Como es conocido en la técnica, los radares marítimos convencionales para la navegación de barcos y para vigilancia costera (por ejemplo, los sistemas terrestres de seguimiento de barcos (VTS)) detectan y miden la posición de barcos y otros contactos discretos en un espacio bidimensional. Este espacio es idealizado típicamente como un plano (tangente) a nivel local a tierra coordinado en coordenadas polares radáricas naturales de rango R y azimut verdadero A o en coordenadas cartesianas (x, y) apuntando x positivo en una dirección Este y apuntando y positivo al Norte. Cuando estos radares también están configurados con ayuda de punteo de radar automática (ARPA), la posición de un contacto es rastreada en el tiempo, y se deriva un vector de velocidad.

15 Se usan radares ARPA para barcos para alertar automáticamente a la vigilancia del barco de posibles colisiones detectando y siguiendo automáticamente otros barcos y generando una alerta en determinadas condiciones que implican el movimiento relativo del propio barco y del contacto seguidos por el radar. Suponiendo que tanto el propio barco como el contacto bajo seguimiento mantendrán sus velocidades constantes, es posible calcular un punto de aproximación más cercano (CPA) y un tiempo hasta el punto de aproximación más cercano (TCPA). Si tanto CPA como TCPA son inferiores a límites seleccionados, entonces se da una alerta de posibilidad de colisión.

25 El artículo "Use of an Adapted Marine Radar for the Short-Range Detection and Tracking of Small Birds in Flight" de R. L. Millikin y J. R. Buckley, IEEE 2001 Internacional Geoscience and Remote Sensing Symposium, Sydney, Australia, Julio 2001, describe la estimación de posición 3-d para un radar 2-d, como también lo hace la solicitud relacionada US2004/0233098.

### Resumen

30 La presente invención se define en las reivindicaciones a las que se hace referencia. Proporciona métodos y aparato para sistemas de radar bidimensional, tales como sistemas de radar de navegación de barcos, para estimar altitudes de blancos aéreos, tales como un avión. Con esta disposición, se puede determinar si los contactos de radar presentan una amenaza potencial en base a criterios seleccionados. Aunque las realizaciones ejemplares se muestran y describen primariamente en unión con sistemas de radar bidimensional para barco, por ejemplo, sistemas de radar navegacional, se entiende que la invención es aplicable a sistemas de radar bidimensional en general en los que sea deseable estimar la altitud de un contacto de radar.

### Breve descripción de los dibujos

40 Las características anteriores de esta invención, así como la invención propiamente dicha, se pueden entender más plenamente a partir de la descripción siguiente de los dibujos, en los que:

La figura 1 representa un sistema de radar bidimensional que puede estimar la altitud de un contacto de radar según una realización ejemplar de la invención.

45 La figura 2 es una ilustración gráfica que representa una trayectoria con altitud cero y una trayectoria con altitud relativamente grande.

La figura 3 es un diagrama de flujo que representa una secuencia ejemplar de pasos para estimar la altitud en un sistema de radar bidimensional.

50 La figura 4 es una ilustración tridimensional de la historia de movimiento de un contacto aéreo y un radar abordo de un barco de superficie, manteniendo ambos constante su velocidad durante todo el período de la simulación.

La figura 5 es la presentación de la figura 4 proyectando la coordenada z en el plano x, y.

55 La figura 6 representa cómo cambia con el tiempo el rango desde el radar al contacto aéreo durante el escenario ilustrado en la figura 4 y la figura 5 y también representa el tiempo (TCPA) en que el rango es un mínimo y el rango mínimo (CPA).

60 La figura 7 representa cómo el azimut verdadero (o rumbo) desde el radar al contacto aéreo parecerá variar en el escenario de la figura 4, la figura 5 y la figura 6, donde este cambio de azimut en función del tiempo es diferente de la misma función para un contacto de superficie que sigue la misma trayectoria proyectada en el plano x, y.

65 La figura 8 ilustra la diferencia en la vista proyectada del recorrido medido del radar del contacto aéreo desde el recorrido en línea recta verdadera, donde la curvatura aparente es debida a falsas aceleraciones medidas por el radar 2D desde la altitud del contacto aéreo.

La figura 9 es similar a la figura 6 con respecto a un avión más bajo.

La figura 10 es similar a la figura 8 con respecto a un avión más bajo.

5

**Descripción detallada**

En general, la presente invención proporciona métodos y aparato para identificar amenazas aéreas en un sistema de radar bidimensional (2D), tal como sistemas de radar de navegación de barcos. En realizaciones ejemplares, se facilitan estimaciones de altitud para contactos de radar, tal como un avión. En vista de la amenaza del terrorismo contra barcos, es deseable usar radares marítimos 2D como sensores de vigilancia de zona ancha y sistemas de aviso precoz contra una clase más amplia de amenazas. Los radares navegacionales 2D son adecuados para esta función, por ejemplo porque están licenciados para uso en puertos internacionales y vías navegables mediante el tratado para la Seguridad de la Vida en el Mar (SOLAS) y la especificación de la Organización Marítima Internacional (IMO). Para contrarrestar una amenaza terrorista en superficie, tal como un barco, en una realización la información de la trayectoria atacante es enviada a un sistema de mando y control o combate del que un operador humano puede determinar la necesidad de hacer frente a la amenaza.

10

15

20

Como parte de la decisión de intervención, en una realización ejemplar, el operador de un sistema de combate puede optar por “observar” la amenaza usando sensores adicionales tales como cámaras electroópticas o de infrarrojos (EOIR). Para acortar el tiempo que se tarda en responder a una amenaza, es deseable hacer que el sistema de combate utilice automáticamente la trayectoria ARPA para dirigir la cámara EOIR a la amenaza de superficie.

25

30

Se entiende que, en los sistemas convencionales cuando la amenaza es un avión bajo lento, los radares marítimos estándar todavía pueden detectar y seguir el contacto, pero el sistema de combate supondrá que la posición de trayectoria estará en la superficie del mar cuando, de hecho, el avión puede estar a una milla de altura. En esa condición, cuando el sistema de combate intente dirigir la cámara EOIR, la cámara puede no hallar la amenaza porque tiene un campo de visión (FOV) demasiado estrecho. Una analogía es que el FOV de la cámara EOIR se asemeja a mirar a través de una paja. En tal caso, el operador humano asume que el radar tiene una trayectoria falsa e ignora la amenaza porque nada del rumbo referido aparece en la superficie del mar en el FOV de la cámara. Aunque el operador pueda localizar la amenaza, se pierde un tiempo valioso mientras el operador dirige manualmente las cámaras en busca de la amenaza.

35

40

45

Proporcionando estimaciones de altitud de posibles amenazas, los métodos y aparato de la invención proporcionan un mecanismo para localizar blancos en tres dimensiones en un sistema de radar 2D. Realizaciones ejemplares de la invención son adecuadas para radares navegacionales que pueden estar abordo de un barco o tener una posición estática.

La figura 1 representa un vehículo de superficie 100, representado como un barco, que tiene un radar navegacional bidimensional (2D) 102 para proporcionar una estimación de altitud de un blanco 104, representado como un avión, según realizaciones ejemplares de la invención. En general, el sistema de radar 102 estima la altitud del avión 104 identificando una desviación de una trayectoria de un blanco de superficie. La figura 2 representa la historia de seguimiento de un primer blanco que tiene una primera trayectoria 150 que tiene la misma altitud que un radar 2D en forma de una línea recta. Un segundo blanco que tiene una segunda trayectoria 152 se desvía de la primera trayectoria 150 de modo que se genere un 'abombamiento' 154. Aunque el recorrido de los blancos primero y segundo es similar, el segundo blanco tiene una altitud con respecto al radar 2D que genera, y corresponde a, el abombamiento 154 de la segunda trayectoria 152. Las características del abombamiento 154 pueden ser usadas para la estimación de la altura del segundo blanco.

50

55

De forma similar a los supuestos para calcular CPA y TCPA, se puede asumir que un sensor de seguimiento bidimensional (por ejemplo, un radar ARPA) y un contacto discreto (por ejemplo, un avión bajo lento) se mueven a velocidades constantes. Si el movimiento es tal que el avión vuela eventualmente directamente sobre el sensor de seguimiento, el CPA es la altitud de contacto. La estimación de altitud se determina por una corrección de CPA en situaciones generales cuando el movimiento relativo no ponga el contacto directamente sobre el radar.

60

En una realización ejemplar, el término corrección implica lo que se denomina “Distancia de línea de visión transversal recorrida durante TCPA”. Indicando esta distancia con X, se puede estimar la altitud de contacto h mediante el Teorema de Pitágoras como:

$$h = \sqrt{CPA^2 - X^2}$$

La distancia X se puede estimar entonces de varias formas, como se describe más adelante. Obsérvese que si el contacto se está alejando del sensor, entonces la fórmula matemática para TCPA da lugar a un tiempo negativo, a efectos de prevención de colisión. En tales casos, el sistema indica generalmente que CPA es igual al rango

presente (distancia) y reposiciona TCPA a cero. Si se sigue esta convención, se consideraría que los barcos que se alejan están volando por el aire. Así, en una realización ejemplar, se usa un TCPA negativo como un criterio para seleccionar las trayectorias para las que se deberá determinar una estimación de altitud.

5 Aunque las realizaciones ejemplares de la invención se muestran y describen primariamente en unión con radares navegacionales 2D, se entiende que la invención es aplicable a los radares 2D en general en los que es deseable obtener información de un blanco en una tercera dimensión. La figura 1 representa un radar navegacional ejemplar para barcos 102 que tiene una antena 110 para recibir señales de retorno de radar para procesado por un módulo de procesado de señal 112. Como observarán fácilmente los expertos en la técnica, el número, el tipo y la posición de las antenas de transmisión, recepción y transceptor pueden variar para satisfacer las necesidades de una aplicación concreta.

15 La figura 3 representa una secuencia ejemplar de los pasos para proporcionar estimaciones de altitud de trayectorias en un radar 2D según una realización ejemplar de la invención. En el paso 300, un sensor detecta y sigue un contacto en el espacio 2D, y en el paso 302 se determina el CPA y el TCPA para las trayectorias, lo que se puede llevar a cabo de manera convencional. En el paso 304, se determina si se dan determinadas condiciones que indiquen que hay una amenaza aérea. Las condiciones ejemplares incluyen velocidad del contacto, CPA, TCPA, si el cuadrado de la distancia de línea de visión transversal recorrida durante TCPA es mayor que el cuadrado del CPA en más de una cantidad predeterminada.

20 Si se determina que no hay una amenaza aérea, entonces se ignora la trayectoria en el paso 306. Si puede haber una amenaza aérea, en el paso 308 se estima la altitud de la trayectoria. En el paso 310, se determina si el contacto es aéreo o no en base a la estimación de altitud. Si el contacto es aéreo, se puede generar una alerta en el paso opcional 312.

25 Se entiende que el cálculo de TCPA y CPA es conocido por los expertos en la técnica. Brevemente, un sensor tiene un vector de posición  $P_0$  (en el espacio 2D) en algún tiempo (ahora) y su vector de velocidad (constante asumida) es  $V$ . En cualquier tiempo en el futuro (o pasado), la posición del sensor en el espacio 2D es  $P(t) = P_0 + tV$ . Igualmente, hay un vector de posición inicial del contacto  $P_0^T$  y un vector de velocidad constante del contacto  $V^T$ . Entonces, en cualquier tiempo, la posición del contacto es  $P^T(t) = P_0^T + tV^T$ . El vector  $D(t) = P^T(t) - P(t)$  es el vector de línea de visión desde el sensor al contacto. El rango del contacto  $R(t)$  puede ser hallado como  $R^2(t) = D(t) \cdot D(t)$ , donde “ $\cdot$ ” denota el producto vectorial escalar estándar o producto “punto”.

35 Dado que las funciones diferenciables lograrán un mínimo cuando su derivada se desvanece, se puede hallar el tiempo  $t = \text{TCPA}$  en el que el rango de contacto será un mínimo poniendo  $R'(t) = 0$  y resolviendo para  $t$ . Usando la regla de cadena y la regla de producto para productos de punto vectorial, queremos resolver

$$0 = 2 R(\text{TCPA}) R'(\text{TCPA}) = 2 D(t) \cdot D'(t) = 2 D(\text{TCPA}) \cdot (V^T - V)$$

40 Se puede cancelar trivialmente el factor de 2, y obtener

$$0 = D(\text{TCPA}) \cdot (V^T - V) = ((P_0^T - P_0) + \text{TCPA} (V^T - V)) \cdot (V^T - V),$$

45 Así

$$\text{TCPA} = \frac{(P_0^T - P_0) \cdot (V - V^T)}{\|V - V^T\|^2}$$

50 Se deduce entonces que CPA es el valor  $R(\text{TCPA})$ . Obsérvese que TCPA no se define si la velocidad relativa es cero. En ese caso, el sensor y el contacto son estacionarios o se mueven en paralelo a la misma velocidad. En ninguno de estos casos, el contacto presenta una amenaza de choque con el sensor.

Antes de estimar una altitud para un contacto, se puede hacer algunas comprobaciones para determinar si es apropiado determinar una estimación. Por ejemplo, si  $\text{TCPA} > 0$ , entonces el contacto se está aproximando al sensor y es de interés adicional para la evaluación de altitud. Sin embargo, si TCPA es grande, por ejemplo está horas lejos, no hay amenaza de colisión inminente, de modo que a la evaluación de altitud de dicho contacto se le puede dar una prioridad baja.

55 Si CPA es relativamente grande, puede no ser necesario estimar la altitud de contacto. Dicho contacto está lejos y permanecerá lejos a no ser que maniobre. En una realización, el término “grande” tiene un valor seleccionado para

proporcionar un parámetro configurable en base a la aversión de riesgo y/u otros factores. Sin embargo, cualquier límite en CPA deberá ser suficientemente grande de manera que incluya altitudes comúnmente usadas por aviones que vuelan lentamente a baja altura, por ejemplo, alrededor de 10.000 pies. En una realización, el término "lejos" significa aproximadamente más de dos millas.

Se entiende que se puede hacer varias comprobaciones usando muchos tipos de criterios para determinar los límites de errores en el proceso de estimación de altitud. En particular, la relación de CPA al rango presente (CPA/R) deberá ser relativamente pequeña para que la estimación de altitud sea exacta. En los casos en que CPA/R es algo mayor, y la estimación puede ser pobre, todavía puede ser posible declarar fiablemente que el contacto es aéreo. Se apreciará que una clasificación fiable de un contacto como aéreo puede ser importante en algunas aplicaciones.

Como otra comprobación, el valor (descrito más adelante) de la distancia de línea de visión transversal calculada durante TCPA puede ser verificado para evitar que la estimación de altitud implique una raíz cuadrada de un número negativo. En general, se puede comprobar que CPA es mucho mayor que la estimación de X.

Como se ha descrito anteriormente, los métodos de estimación de altitud de la invención se basan en el CPA:

$$h = \sqrt{CPA^2 - X^2}$$

Esto se puede reducir a estimar el valor de X = la distancia de línea de visión transversal durante TCPA.

El valor X puede ser estimado a partir de las coordenadas de sensor disponibles usando varias técnicas, como se describe más adelante. Obsérvese que se deberá tomar en cuenta el movimiento a través de la línea de visión debido tanto a movimiento del blanco como a movimiento del sensor (cuando está en una plataforma móvil). En las realizaciones descritas más adelante, es útil entender cómo calcular el vector de línea de visión transversal. En sistemas de coordenadas cartesianas, el filtro de seguimiento produce una estimación de la posición del contacto  $P^T = (x, y)$  y la velocidad  $V^T = (x', y')$ . El vector de línea de visión es  $L = (P^T - P)$ , donde P es la posición del sensor en este espacio.

El vector de línea de visión unitario U es L normalizado por su propia longitud:

$$U = \frac{L}{\|L\|} = \frac{(P^T - P)}{\sqrt{(P^T - P) \cdot (P^T - P)}}$$

Cuando el sensor está en una plataforma móvil, durante el intervalo de tiempo de TCPA, la distancia de línea de visión transversal inducida  $X^S$  del sensor es  $X^S = (velocidad\ del\ sensor - V \cdot U)TCPA$ , donde V es el vector de velocidad del sensor. Restando el componente de velocidad del sensor en la dirección de la línea de visión y restándolo de la velocidad total del sensor, se tiene el componente de velocidad del sensor en la dirección de la línea de visión transversal. La multiplicación por TCPA da la distancia recorrida.

En los casos en cuestión, el sensor es estacionario de modo que  $X^S$  es 0, o la plataforma del sensor tiene un sistema de navegación con mediciones suficientemente exactas para permitir la determinación de  $X^S$  con confianza adecuada. El mal tiempo puede contribuir a fluctuaciones de error en los datos de navegación de modo que la lógica de estimación de altitud deberá comprobar si hay condiciones suficientemente suaves.

En una realización, si el filtro de seguimiento del sistema de radar opera en las coordenadas naturales (polares o de radar) R (rango) y A (azimut), generará estimaciones de las tasas de cambio en R y A denotadas R' (tasa de cambio de rango) y A' (tasa de cambio de azimut). En este caso, el componente de velocidad de la línea de visión transversal debido a movimiento del contacto es:  $C = R A'$ .

Obsérvese que hay una opción de signos que es irrelevante para la presente aplicación. Entonces se puede definir una distancia de línea de visión transversal del contacto durante TCPA como  $X^T$ :

$$X^T = C TCPA = R|A'| TCPA$$

Esta realización puede ser preferible en algunas aplicaciones dado que, para muchos sistemas de sensor, los ruidos en la medición de rango y la medición de azimut son independientes. En particular, en una plataforma móvil, los sensores de navegación corrigen el azimut A para el movimiento del propio barco, pero no influyen en el valor de rango R. Entonces  $X = X^T + X^S$ .

En otra realización, se obtiene  $X = X^T + X^S$ , pero A' no está disponible mientras que  $V^T = (x', y')$  está disponible. En este caso, se conoce el vector unitario de línea de visión  $U = (u_1, u_2)$ , de modo que se puede calcular el vector

unitario de línea de visión transversal  $Y = \pm (u_2, -u_1)$ . Obsérvese que hay una opción de signos que es irrelevante, pero se deberá hacer sistemáticamente. Entonces  $X^T = C \text{ TCPA}$ , donde  $C = |V^T \cdot Y|$ .

5 Como se ha indicado previamente, en esta implementación se deberá tomar en cuenta algunas limitaciones a la vista de varios componentes de error y ruido que se mezclan entre las mediciones de rango, azimut verdadero, sensores de navegación,  $x$ ,  $y$ ,  $x'$  e  $y'$ .

**Ejemplo**

10 La estimación de una altitud para un contacto detectado en un sistema de radar 2D se puede simular como se describe más adelante. Los parámetros ejemplares para un primer escenario, que se puede denominar 'alto y rápido', se exponen más adelante. Las posiciones para propio barco y blanco se especifican en coordenadas  $x$  e  $y$  para un tiempo representado de 180 segundos.

15	xOwnship	= 3000	Posición x del barco
	yOwnship	= 2700	Posición y del barco
	shipSpeed	= 10	Velocidad del barco
20	shipCourse	= 45 grados	Curso del barco
	xTarget0	= 11500	Posición x del blanco
25	yTarget0	= 11200	Posición y del blanco
	a	= 1500	Altitud del blanco
	targetSpeed	= 100	Velocidad del blanco
30	targetCourse	= -145 grados	Curso del blanco

Las posiciones para el blanco y el radar se pueden especificar en formato vectorial como se expone más adelante:

	Vradar	= {shipSpeedSin[shipCourse], shipSpeedCos[shipCourse], 0.};
	Vtarget	= {targetSpeedSin[targetCourse], targetSpeedCos[targetCourse], 0};
	Pradar0	= {xOwnship0, yOwnship0, 0.};
	Ptarget0	= {xTarget0, yTarget0, a};
	Plos0	= Ptarget0 - Pradar0;
	Pradar [t]	= Pradar0 + tVradar;
35	Ptarget [t]	= Ptarget0 + tVtarget;

El rango inicial del blanco del radar puede ser especificado como:

$$\text{Rango inicial} = r_0 = \sqrt{P_{los0} \bullet P_{los0}} = 12,114m$$

40 Dependiendo del rango deseado, un blanco a dicha distancia puede no ser considerado una amenaza.

La figura 4 representa una representación 3D ejemplar de una trayectoria de blanco simulado (avión) 400 junto con el movimiento de sensor 402 en base a los parámetros expuestos anteriormente. La posición se representa en el espacio de coordenadas  $x$ ,  $y$ ,  $z$ . La figura 5 representa un radar 2D/historia de seguimiento para el avión 410 y el sensor 412. La figura 6 representa gráficamente el rango en función del tiempo para el blanco del que se puede ver CPA y TCPA. Como se ha indicado anteriormente, el CPA está en un mínimo local para el seguimiento de rango/tiempo. La figura 7 representa el azimut verdadero en grados en función del tiempo para el blanco. Obsérvese que el azimut verdadero cambia drásticamente cerca del TCPA.

50 La figura 8 representa una historia de seguimiento de radar 2D para la simulación incluyendo una trayectoria de sensor 440, una trayectoria de blanco 442, y una trayectoria de blanco 444 para el blanco si la altitud fuese la misma que la del sensor. Como se puede ver, hay un abombamiento 446 correspondiente a la distancia de línea de visión transversal para el blanco debido a la altitud del blanco.

La distancia de línea de visión transversal calculada es 8,31461 metros y la altitud estimada es 1501,29 metros. La distancia de línea de visión transversal es igual al TCPA por la velocidad del barco menos el componente de velocidad de la línea de visión del radar, como se expone más adelante:

$$xLOS_{motion} = TCPA(shipSpeed - V_{radar} \cdot P_{los0} / \sqrt{P_{los0} \cdot P_{los0}})$$

5 donde

$$P_{los0} / \sqrt{P_{los0} \cdot P_{los0}}$$

10 proporciona un vector unitario para la posición de línea de visión (posición del blanco menos la posición del radar)

La estimación de altitud se calcula como:

$$\text{Altitud estimada del blanco} = \sqrt{CPA^2 - (TCPA \cdot |\alpha_{RateTrue}[0.]| r_0 + xLOS_{motion})^2}$$

15 donde  $\alpha_{RateTrue}[t] = \alpha'[t]$ , y  $\alpha[t] = \text{ArcTan}[P_{los}[t][[2]], P_{los}[t][[1]]]$ , donde  $[1]$  y  $[2]$  corresponden a las coordenadas x – e y-, respectivamente, del vector de línea de visión.

### Ejemplo 2

20 En un segundo escenario expuesto a continuación, el blanco se aproxima más al barco. Los parámetros para la simulación se exponen a continuación.

xOwnship0 = 3000;

25 yOwnship0 = 2700;

shipSpeed = 10;

30 shipCourse = 45 grados

xTarget0 = 11500;

yTarget0 = 11200;

35 a = 500;

targetSpeed = 100;

40 targetCourse = -138 grados;

tiempo representado :: 180

Las posiciones del blanco y del radar se pueden exponer en formato vectorial como se expone más adelante:

Vradar := {shipSpeed Sin [shipCourse], shipSpeed Cos [shipCourse], 0.};

Vtarget := {targetSpeed Sin [targetCourse], targetSpeed Cos [targetCourse], 0};

Pradar0 := {xOwnship0, yOwnship0, 0.};

Ptarget0 := {xTarget0, yTarget0, a};

Plos0 = Ptarget0 - Pradar0;

Pradar[t\_] := Pradar0 + tVrada;

Ptarget[t\_] := Ptarget0 + tVtarget;

$$\text{Rango inicial} = r_0 = \sqrt{P_{los0} \cdot P_{los0}} = 12031.2 \text{ m}$$

45 Como se puede ver en la figura 9, el TCPA es aproximadamente 109 segundos, que es menos de dos minutos, y el CPA es aproximadamente 761 metros. Este blanco puede ser considerado una amenaza dependiendo de los parámetros seleccionados y las comprobaciones que definen qué blancos se consideran amenazas y cuáles no.

El movimiento de línea de visión transversal es 0,943 metros que da lugar a una altitud estimada de aproximadamente 499,1 metros.

- 5 La figura 10 representa una historia de seguimiento de radar blanco donde el abombamiento 500 es menor que el abombamiento para el primer ejemplo dado que la altitud es menor.

10 Se entiende que las realizaciones de la invención descritas anteriormente pueden ser usadas en un sistema en el que hayan tenido lugar otras conversiones de coordenadas. Sin embargo, tales realizaciones deberán tomar en cuenta las conversiones de coordenadas que impliquen fluctuaciones de error adicionales (por ejemplo, ruidos) y la mezcla de tales ruidos. Aunque dichas otras coordenadas pueden ser transformadas a los esquemas de coordenadas descritos anteriormente, la estimación de altitud todavía será útil, pero tal vez en un conjunto más limitado de geometrías dinámicas entre el sensor y el contacto. Por ejemplo, un sistema son los sistemas mencionados en los que las posiciones se dan en coordenadas geodésicas de latitud, longitud y altitud.

15 Se entiende que las realizaciones ejemplares aquí expuestas se muestran y describen primariamente en unión con radares marítimos y las amenazas para barcos que representan aviones que vuelan lentos a baja altura. Sin embargo, los expertos en la técnica reconocerán que las técnicas de la invención son aplicables a cualquier sistema de seguimiento bidimensional para el que sería deseable obtener una posición tridimensional en un contacto que se aproxima. Por ejemplo, las aplicaciones de sonar pueden beneficiarse de las realizaciones ejemplares teniendo en cuenta las limitaciones debidas a la difracción de las ondas sonoras en el agua con temperaturas variables con la profundidad. Otras aplicaciones incluyen sistemas de Medidas de Soporte Electrónico (ESM) y sistemas de Interrogación de Amigo o Enemigo (IFF).

20 Habiendo descrito realizaciones ejemplares de la invención, ahora será evidente a los expertos en la técnica que también se puede usar otras realizaciones que incorporen sus conceptos. Las realizaciones aquí contenidas no se deberán limitar a las realizaciones descritas, sino que se deberán limitar más bien solamente por el alcance de las reivindicaciones anexas.



**REIVINDICACIONES**

1. Un método, incluyendo:

5 seguir un contacto usando un sensor en un sistema de radar bidimensional (300) para determinar una posición relativa y una velocidad relativa del contacto con respecto al sensor;

determinar un tiempo estimado al punto de aproximación más cercano, TCPA, para el contacto (302) usando la posición relativa y la velocidad relativa;

10 determinar un punto de aproximación más cercano estimado, CPA, para el contacto (302) a partir del TCPA estimado;

15 determinar una distancia de línea de visión transversal estimada en el CPA estimado en base al TCPA estimado y los datos de seguimiento de posición relativa y velocidad relativa; y

estimar una altitud para el contacto a partir del punto de aproximación más cercano estimado, CPA, y la distancia de línea de visión transversal estimada (308).

20 2. El método según la reivindicación 1, incluyendo además determinar si el contacto es aéreo.

3. El método según la reivindicación 1, donde la altitud de contacto estimada es igual al CPA cuando el contacto está siguiendo una velocidad constante que conduce directamente sobre el sensor de sistema de radar.

25 4. El método según la reivindicación 1, incluyendo además usar un TCPA negativo como un criterio para determinar cuándo una altitud deberá ser estimada para el contacto.

30 5. El método según la reivindicación 1, incluyendo además hacer una serie de comprobaciones antes de estimar la altitud de contacto.

6. El método según la reivindicación 5, donde las comprobaciones incluyen uno o más de determinar si el contacto es un contacto que se aproxima, determinar si el TCPA es menor que un valor seleccionado, determinar si el CPA es menor que un valor seleccionado, y examinar una relación de CPA a rango para el contacto.

35 7. El método según la reivindicación 1, donde la distancia de línea de visión transversal estimada se determina a partir del TCPA, un rango de contacto, R, y una tasa de cambio en azimut, A'.

40 8. El método según la reivindicación 1, donde la distancia de línea de visión transversal estimada se determina a partir del TCPA, un vector unitario de línea de visión transversal para el contacto, Y, y una velocidad del contacto, VT.

9. Un sistema, incluyendo:

45 un sistema de radar bidimensional (102) que tiene un sensor para detectar contactos (104); y

50 un módulo de procesado para hacer el seguimiento de un contacto usando un sensor en un sistema de radar bidimensional para determinar una posición relativa y una velocidad relativa de un contacto con respecto al sensor, determinar un tiempo estimado al punto de aproximación más cercano, TCPA, para el contacto (302) usando la posición relativa y la velocidad relativa; determinar un punto de aproximación más cercano estimado, CPA, para el contacto (302) a partir del TCPA estimado, determinar una distancia de línea de visión transversal estimada en el CPA estimado en base al TCPA estimado y los datos de seguimiento de posición relativa y velocidad relativa; y estimar una altitud para el contacto a partir del punto de aproximación más cercano estimado, CPA, y la distancia de línea de visión transversal estimada (308).

55 10. El sistema según la reivindicación 9, donde el sistema incluye un barco.

11. Un artículo incluyendo:

60 un medio de almacenamiento que almacena instrucciones que, cuando son ejecutadas por una máquina, dan lugar a lo siguiente:

seguir un contacto usando un sensor en un sistema de radar bidimensional para determinar una posición relativa y una velocidad relativa del contacto con respecto al sensor;

65 determinar un tiempo estimado al punto de aproximación más cercano, TCPA, para el contacto (302) usando la posición relativa y la velocidad relativa;

determinar un punto de aproximación más cercano estimado, CPA, para el contacto (302) a partir del TCPA estimado; determinar una distancia de línea de visión transversal estimada en el CPA estimado en base al TCPA estimado y los datos de seguimiento de posición relativa y velocidad relativa; y

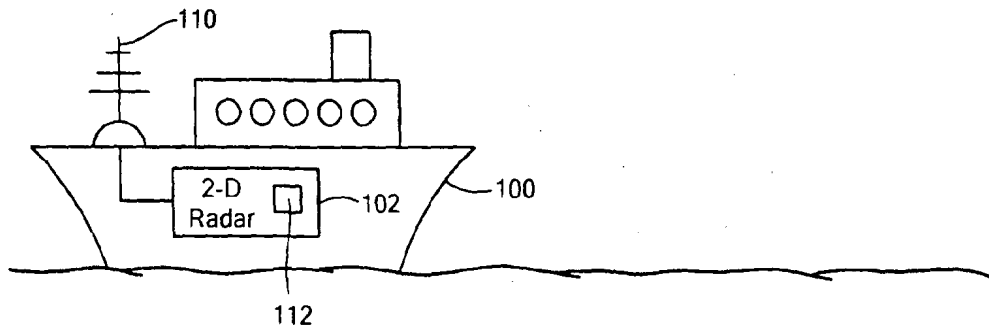
5 estimar una altitud para el contacto a partir del CPA estimado y la distancia de línea de visión transversal estimada.

12. El artículo según la reivindicación 11, donde la altitud de contacto estimada es igual al CPA cuando el contacto está directamente sobre el sensor de sistema de radar.

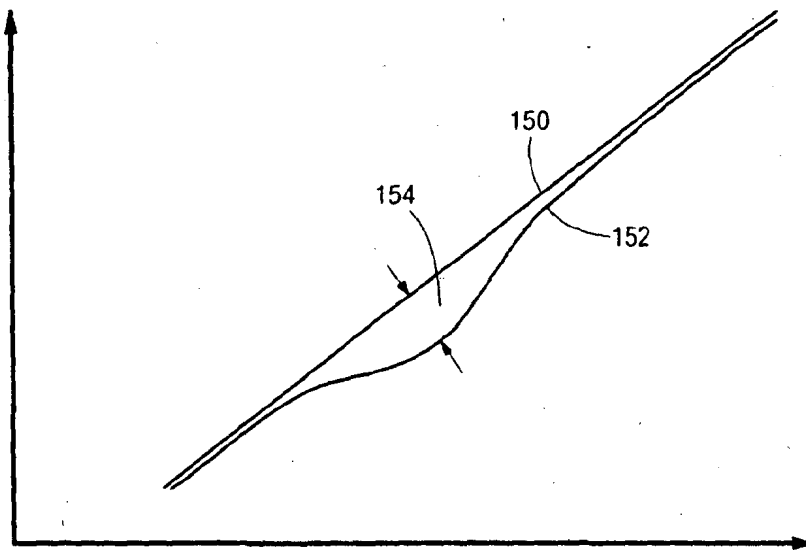
10 13. El artículo según la reivindicación 11, incluyendo además instrucciones para usar un TCPA negativo como un criterio para determinar cuándo una altitud deberá ser estimada para el contacto.

15 14. El artículo según la reivindicación 11, incluyendo además instrucciones para hacer una serie de comprobaciones antes de estimar la altitud de contacto (304), donde las comprobaciones incluyen uno o más de determinar si el contacto es un contacto que se aproxima, determinar si el TCPA es menor que un valor seleccionado, determinar si el CPA es menor que un valor seleccionado, y examinar una relación de CPA a rango para el contacto.

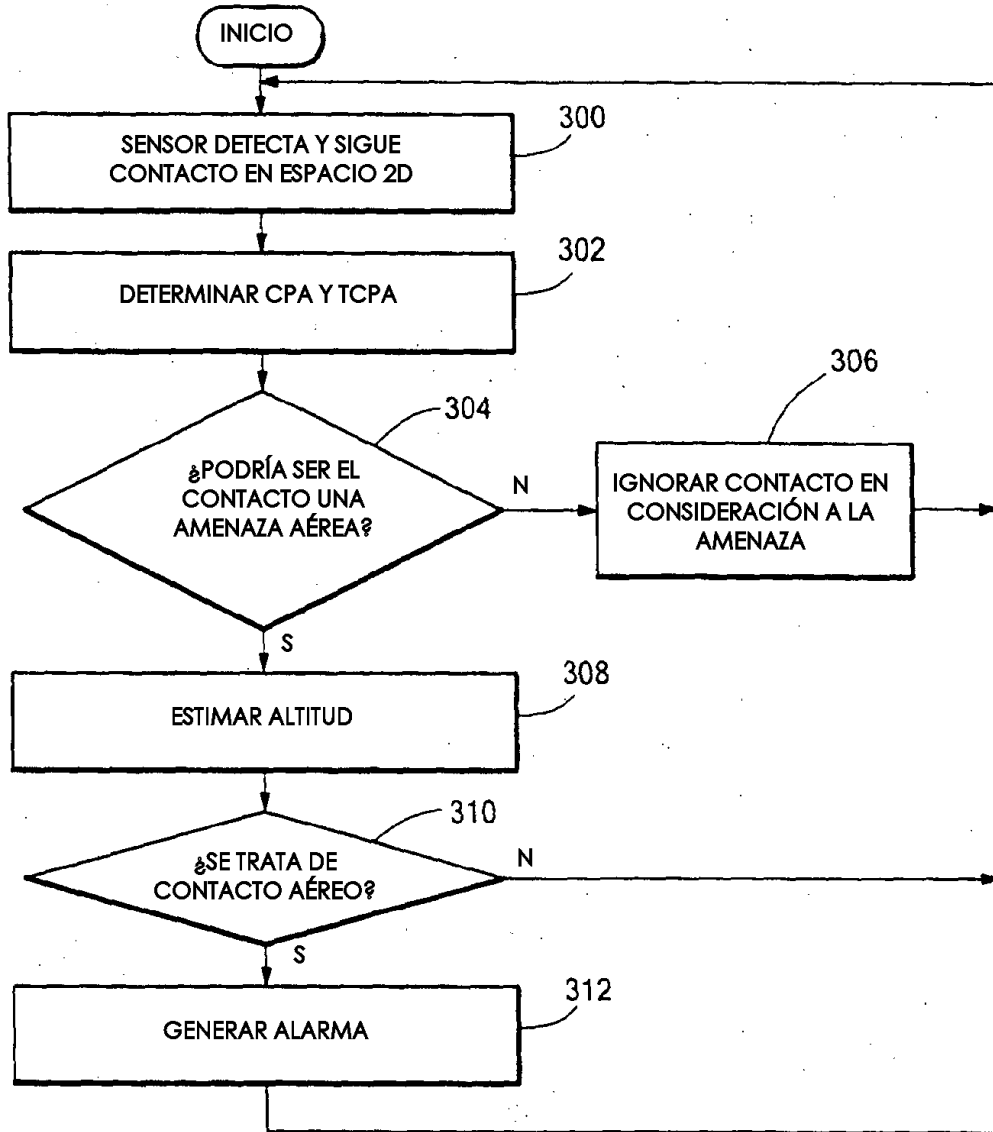
20 15. El artículo según la reivindicación 11, donde la distancia de línea de visión transversal estimada se determina a partir del TCPA, un rango de contacto, R, y una tasa de cambio en azimut, A', y/o el TCPA, un vector unitario de línea de visión transversal para el contacto, Y, y una velocidad del contacto, VT.



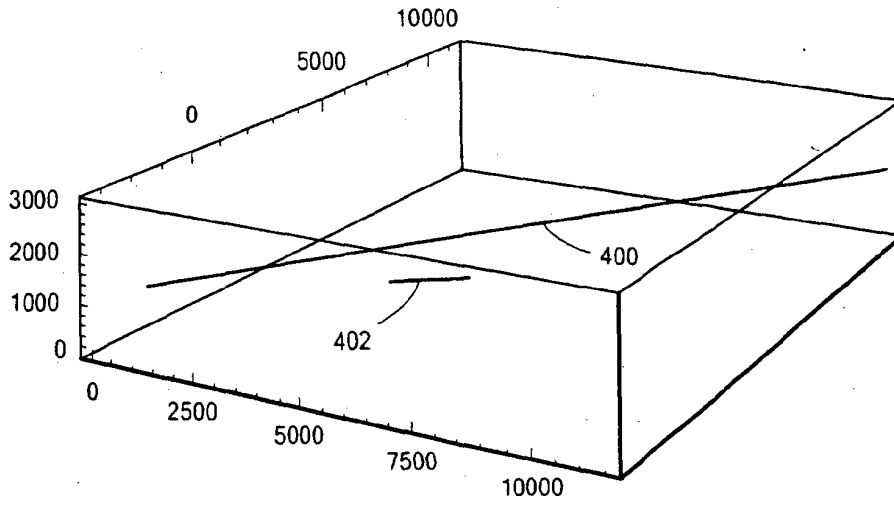
**FIG. 1**



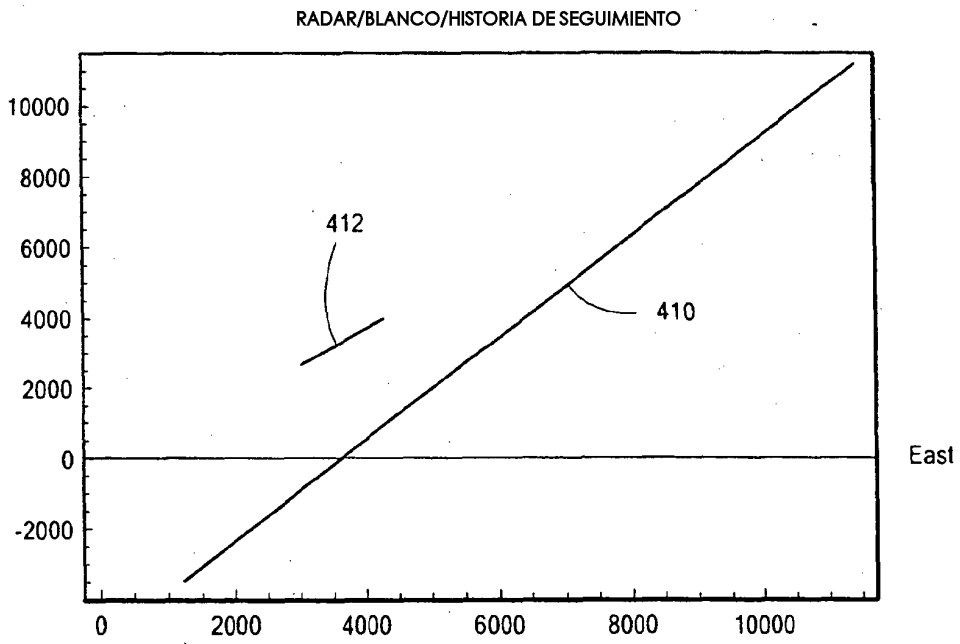
**FIG. 2**



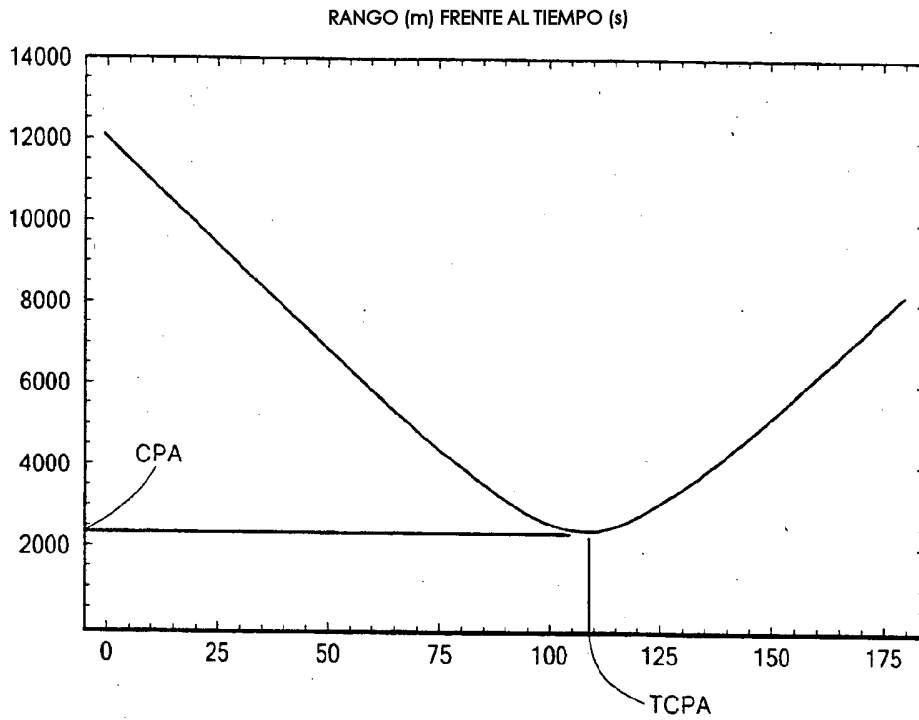
**FIG. 3**



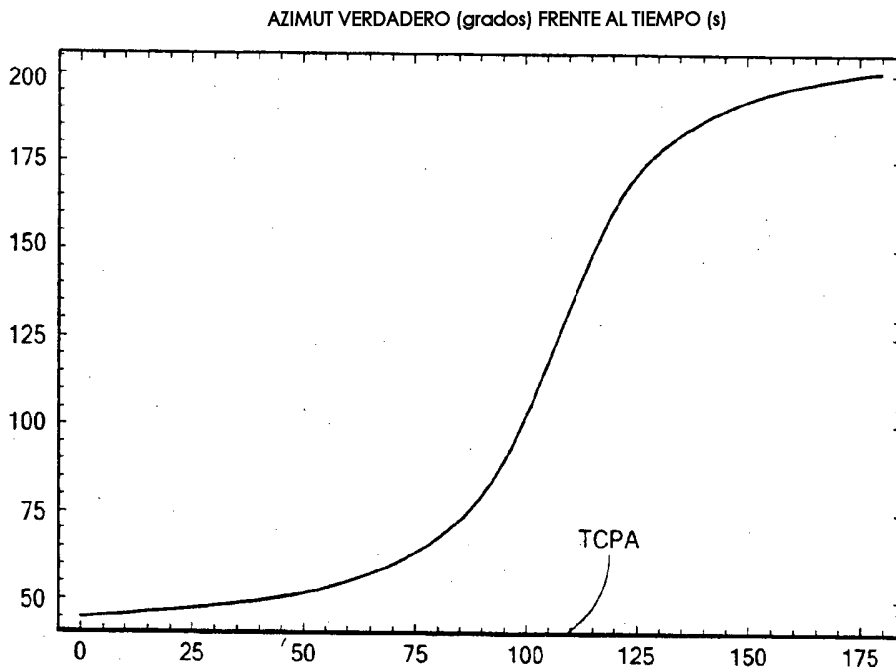
**FIG. 4**



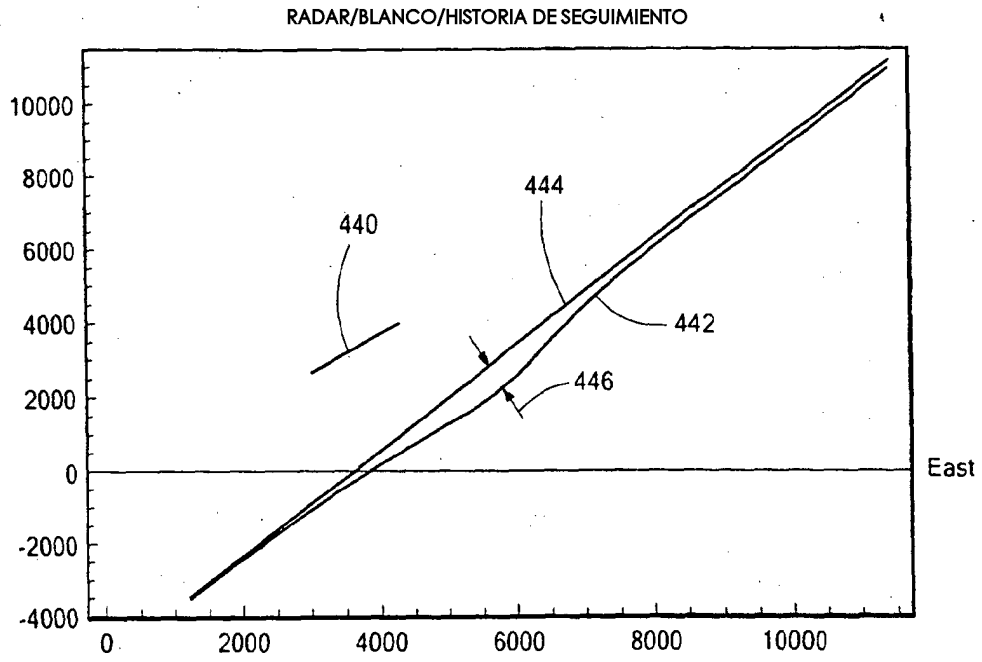
**FIG. 5**



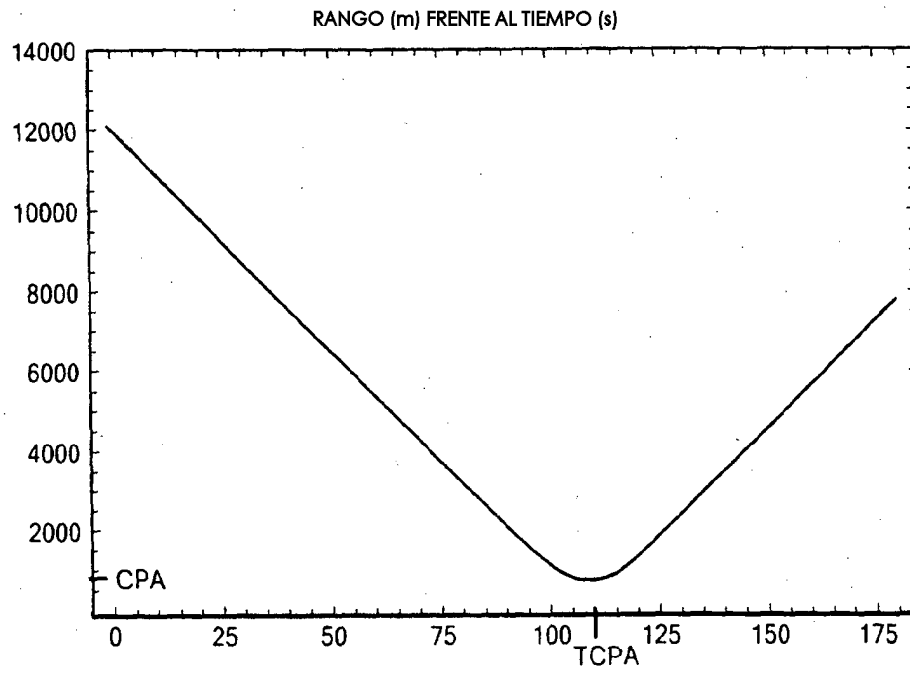
**FIG. 6**



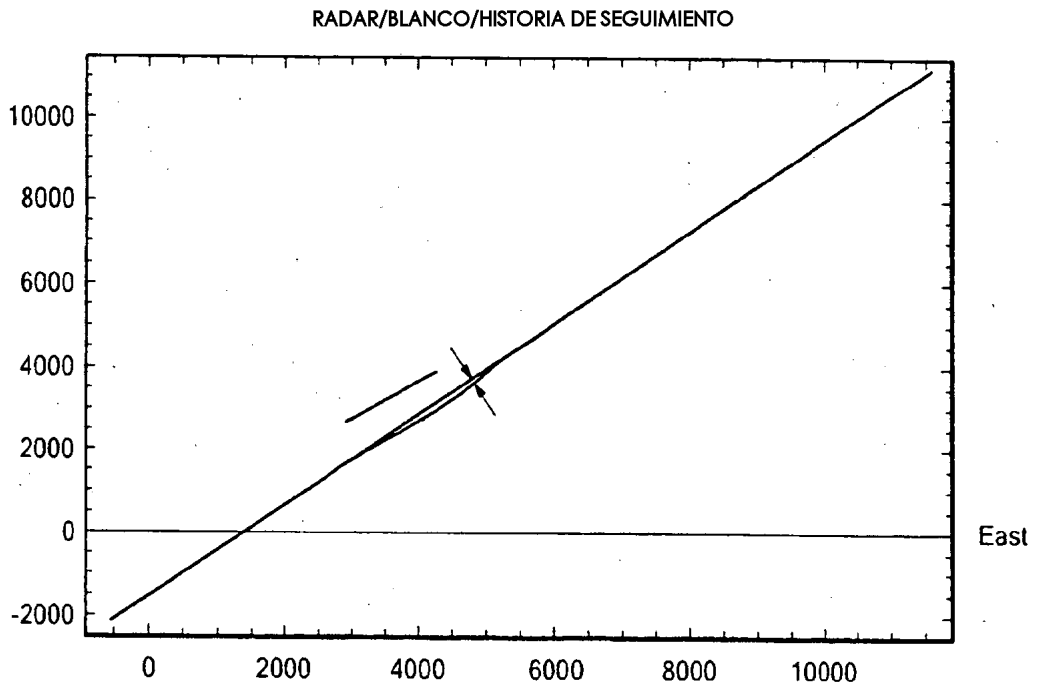
**FIG. 7**



**FIG. 8**



**FIG. 9**



**FIG. 10**