



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 270 357**

51 Int. Cl.:  
**F41G 3/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **04717333 .1**

86 Fecha de presentación : **04.03.2004**

87 Número de publicación de la solicitud: **1604167**

87 Fecha de publicación de la solicitud: **14.12.2005**

54 Título: **Método para hacer que un proyectil actúe en un punto deseado dentro de una trayectoria en un punto en el tiempo calculado.**

30 Prioridad: **04.03.2003 SE 0300560**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**01.04.2007**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**01.04.2007**

73 Titular/es:  
**TOTALFÖRSVARETS FORSKNINGSSINSTITUT  
164 90 Stockholm, SE**

72 Inventor/es: **Strand, Patrik**

74 Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 270 357 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).

# ES 2 270 357 T3

## DESCRIPCIÓN

Método para hacer que un proyectil actúe en un punto deseado dentro de una trayectoria en un punto en el tiempo calculado.

5 La presente invención se refiere a un método para hacer que un proyectil, en tiempo casi real, actúe en un punto dentro de una trayectoria, conocido por su distancia y altura, por medio de un ángulo de elevación y tiempo de vuelo calculados. El método puede ser utilizado, bien como un soporte de pc (computadora personal) o como un componente de un sistema integrado para el suministro de proyectiles.

10 La alineación lateral (azimut) no se explicará aquí, pero se supone que se produce de alguna forma de acuerdo con la técnica anterior, por ejemplo, mediante la medición directa de la dirección hacia un objetivo.

15 El método de optimización consiste esencialmente en dos partes, una parte de cálculo, que, regulada en tiempos discretos, calcula las posiciones y los puntos asociados de tiempo a lo largo de una trayectoria, y una parte lógica, que establece una primera dirección de elevación, supervisa los cálculos de la parte de cálculo y los interrumpe cuando una posición calculada cae fuera de unos valores límite predeterminados, y, tras ello, ajusta una segunda dirección de elevación, etc. La parte lógica determina y establece dos soluciones en la forma de dirección de elevación y tiempo de vuelo.

20 El método de optimización está destinado a sistemas de trayectoria que han sido sometidos a ensayos de lanzamiento en tal medida que es posible identificar las propiedades específicas de los parámetros de arrastre o aspiración de aire del proyectil/granada. El método puede utilizarse también para la identificación efectiva de los parámetros de arrastre de aire. Para los proyectiles con una velocidad inicial más alta, es posible, mediante ensayos de lanzamiento, llevar a cabo la identificación de la posible dependencia del arrastre del aire con la temperatura, la presión atmosférica y la humedad del aire. Basándose en una relación establecida de este tipo, el arrastre del aire, variable en consecuencia, puede ser utilizado en los cálculos en una variante de la invención, lo que será posible puesto que se dispone de la altura correspondiente en ese instante, para cada intervalo o salto de tiempo.

30 Basándose en la posición medida de un objetivo, el método puede ser utilizado para obtener, rápidamente y con una precisión seleccionada, una respuesta acerca de cuánto se ha de elevar el dispositivo de lanzamiento para alcanzar el objetivo. El método proporciona también datos de salida correspondientes al tiempo de vuelo requerido que será necesario en la trayectoria, desde el disparo hasta que el proyectil/granada alcanza el objetivo.

35 Cuando se desea desviar misiles enemigos utilizando munición de contramedida, se tiene una idea táctica que es causa de una configuración de trayectoria específica deseada. A fin de poder conseguir esta configuración, es necesario saber cuánto ha de elevarse el dispositivo de lanzamiento, así como también el tiempo que transcurre hasta el efecto de la contramedida pretendida. Resulta sencillo describir las posiciones de objetivo en términos de la distancia, la altura y el azimut basándose en la concepción táctica, pero no es sencillo alanzarlas utilizando los métodos anteriormente conocidos. En tales sistemas de contramedidas, el tiempo que transcurre desde que se descubre una amenaza hasta el instante en el que se desea que se produzca el efecto en unas posiciones predeterminadas de objetivo en torno a la propia posición, es corto -en muchos casos, muy corto. Esto requiere una extrema rapidez de un sistema para calcular la alineación del dispositivo de lanzamiento y para ajustar el tiempo de detonación de granadas. Es tal sistema el que ha constituido el incentivo de la concepción de la invención. Sin embargo, la invención puede ser utilizada también en otros sistemas con trayectorias dadas, tales como en lanzagranadas y morteros, así como para proporcionar soporte a algoritmos de predicción para luchar contra objetivos en movimiento mediante el uso de cañones automáticos y similares. El Solicitante tiene la marcada opinión de que la invención ha de referirse a todas las aplicaciones del método inventivo.

50 La presente invención implica, concretamente, que la distancia y la altura pueden ser reemplazadas por un ángulo de elevación que puede controlar directamente una lanzadera o dispositivo de lanzamiento. Si se utilizan granadas con ajuste de tiempo de detonación variable, será entonces posible alcanzar la posición correcta en el instante de tiempo deseado. En el ejemplo que comprende dispositivos de lanzamiento navales, es posible hacer desplegarse cintas metálicas antirradar, o bien puede iniciarse una carga pirotécnica.

55 La invención reemplaza el uso de diagramas de fuego poco fiables que a menudo son de lo más impreciso, y resuelve el problema de hacer, en tiempo casi real, que un proyectil actúe en un punto de una trayectoria, conocido por su distancia y altura, en un instante de tiempo deseado. Esto se produce al estar diseñada la invención como se evidenciará a partir de la reivindicación independiente. Realizaciones adecuadas de la invención se pondrán de manifiesto a partir de las restantes reivindicaciones.

60 La invención se describirá a continuación con más detalle con referencia a los dibujos que se acompañan, en los cuales:

65 la Figura 1 muestra la división básica de la invención en una parte de cálculo y una parte lógica,

la Figura 2 muestra, en un nivel fundamental, la constitución de la parte de cálculo y de la parte lógica de la Figura 1,

## ES 2 270 357 T3

la Figura 3 muestra un diagrama de flujo completo de la invención; y

la Figura 4 muestra un proyectil en una trayectoria contenida en el plano x, z, así como también su aceleración y su velocidad con los vectores asociados al proyectil en dos instantes de tiempo próximos.

5

La invención consiste esencialmente en dos partes, una parte de cálculo y una parte lógica; véase la Figura 1. Las partes están estrechamente asociadas, y delimitan una a la otra y son delimitadas una por la otra, aunque, sin embargo, sus propiedades pueden describirse en cierta medida, de forma independiente para cada una de ellas.

10

Para que las dos partes sean capaces de iniciarse y funcionar de forma continua y de manera correcta, han de recoger inicialmente los 8 parámetros iniciales, a saber:

	Denominación	Nombre de la variable
15	diámetro del proyectil	d [m]
	masa	m [kg]
	velocidad de lanzamiento	$V_{\text{launch}}$ [m/s]
20	coeficiente de arrastre de aire o aerodinámico	$C_d$
	límite inferior de la altura deseada (límite inferior de la altura de objetivo concebible)	lh [m]
25	máxima imprecisión de los datos de salida	acc [m]
	distancia horizontal al objetivo	$X_p$ [m]
	altura relativa con respecto al objetivo	$Z_p$ [m]

En primer lugar se calcula el salto de tiempo,  $t_{\text{tick}}$ , que se emplea en la fase dinámica. El salto de tiempo se dimensiona de tal manera que coincida con el uso de la imprecisión máxima, acc, en la parte lógica. De esta forma, independientemente de la combinación que se seleccione entre la velocidad de lanzamiento,  $V_{\text{launch}}$ , y la imprecisión máxima, acc, la parte lógica puede operar siempre en el intervalo correcto de funcionamiento en el que las comparaciones se hacen basándose en el tamaño de la acc.

La parte de cálculo calcula todo el tiempo la siguiente posición de un proyectil a lo largo de una trayectoria con un cierto ángulo de elevación. La parte lógica controla la parte de cálculo y evita, por ejemplo, que ésta realice cálculos innecesarios. La parte lógica interrumpe, de esta forma, los cálculos de la parte de cálculo cuando no se puede tener éxito con un cierto ángulo de elevación, y, en lugar de ello, inicia una nueva serie de cálculos en un nuevo ángulo de elevación seleccionado. También controla de cuál de las varias formas seleccionables diferentes ha de incrementarse un nuevo ángulo de elevación. Las conexiones entre la parte de cálculo y la parte lógica se resumen fundamentalmente en la Figura 2.

Haciendo referencia a la Figura 3, se presentará en lo que sigue la carta lógica completa, de manera que la invención se describe a través de doce condiciones o circunstancias diferentes, a las que se hace referencia en la Figura como estados. En los respectivos párrafos que siguen, se presentará el código de programa en paralelo con el texto explicativo.

Estado 1

50	$X_v = 0,0$	Puesta a cero de la distancia horizontal antes de la validación de la primera trayectoria [m].
55	$Z_v = 0,0$	Puesta a cero del valor inicial de la altura con respecto al objetivo antes de la validación de la primera trayectoria [m].
60	$t_{\text{tic}} = \text{acc}/(4 \cdot V_{\text{launch}})$	Salto de tiempo para el cálculo discreto de las trayectorias [s].
65	$\text{deg2rad} = \pi/180$	Factor de conversión (grados respecto a radianes).
	$\text{rad2deg} = 180/\pi$	Factor de conversión (radianes respecto a grados).
	$\rho = 1,2$	Densidad del aire [ $\text{g}/\text{m}^3$ ].
	$g = 9,81$	Aceleración de la gravedad [ $\text{m}/\text{s}^2$ ].

## ES 2 270 357 T3

área =  $\pi \cdot d^2 / 4$  Área en sección transversal de un proyectil [m<sup>2</sup>].  
kf =  $C_d \cdot \rho \cdot \text{área} / 2$  Factor de arrastre de aire resultante.

5 findsecsol (encontrar segunda solución) = 0 0: encontrando una primera  
solución. 1: encontrando una segunda solución.  
10 passfirsthit (pasar primer impacto) = 0 Indicación para evitar una detección  
falsa de la solución número dos (1: función  
activada).  
15 ninetydegreesdetected (detectados noventa grados) = 0 Indicación que señala  
cuando se ha realizado una detección de 90°  
(puesta a cero inicial).  
20  $\alpha_1 = 0,0$  Ángulo de elevación de la primera solución  
(puesta a cero inicial) [°].  
timeofflight<sub>1</sub> (tiempo de vuelo<sub>1</sub>) = 0,0 Tiempo de vuelo de la primera solución  
(puesta a cero inicial) [s].  
25  $\alpha_2 = 0,0$  Ángulo de elevación de la segunda solución  
(puesta a cero inicial) [°].  
30 timeofflight<sub>2</sub> (tiempo de vuelo<sub>2</sub>) = 0,0 Tiempo de vuelo de la segunda solución  
(puesta a cero inicial) [s].  
levelflag30 (nivel indicación 30) = 0 Véase el estado 7  
35 levelflag60 (nivel indicación 60) = 0 Véase el estado 7  
levelflag70 (nivel indicación 70) = 0 Véase el estado 7  
levelflag89 (nivel indicación 89) = 0 Véase el estado 7

40

### Estado 2

45

El estado garantiza que la primera trayectoria se ha iniciado correctamente.

50

$\alpha_{\text{tick}} = 1$  Ajuste inicial de la variable de salto para el  
ángulo de elevación.

55

$\alpha_{\text{launch}}$  Valor inicial para el ángulo de elevación  $\alpha_{\text{launch}}$ .  
estado = 3 Siguiendo estado = 3

60

65

## ES 2 270 357 T3

### Estado 3

Después de cada nuevo ajuste de  $\alpha_{\text{launch}}$ , han de adoptarse las siguientes etapas. El estado es activado a partir de uno de los estado 2, 7 u 11.

5

10	$t = 0,0$	Puesta a cero del tiempo antes de cada nueva trayectoria.
	$X_v = 0,0$	Puesta a cero de la variable de distancia horizontal antes de la siguiente trayectoria.
15	$Z_v = 0,0$	Puesta a cero de la variable de altura (respecto al objetivo) antes de la siguiente trayectoria.
20	estado = 4	Siguiente estado = 4

### Estado 4

25 El estado es activado a partir de uno de los estados 3, 5 ó 12. En el instante  $t = 0,0$ ,  $\alpha$  y  $V$  han de ser valores iniciales dados para la trayectoria correspondiente a ese momento.

30

Si ( $t == 0,0$ )

{

35

$\alpha = \alpha_{\text{launch}}$  El valor inicial de  $\alpha$  (variable de altitud) viene dado a partir de  $\alpha_{\text{launch}}$ .

40

$V = V_{\text{launch}}$  El valor inicial de  $V$  (variable de velocidad de la trayectoria) viene dado a partir de  $V_{\text{launch}}$ .

45

}

A continuación se calcula la siguiente posición de la presente trayectoria.

50

$$V_x = V \cdot \cos(\alpha \cdot \text{deg2rad}) - t_{\text{tick}} \cdot (k_f \cdot V^2 \cdot \cos(\alpha \cdot \text{deg2rad})/m)$$

$$V_z = V \cdot \text{sen}(\alpha \cdot \text{deg2rad}) - t_{\text{tick}} \cdot (g + k_f \cdot V^2 \cdot \text{sen}(\alpha \cdot \text{deg2rad})/m)$$

55

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_z^2}$$

$$\alpha = \text{atan}(V_z/(V_x + 1 \cdot 10^{-20})) \cdot \text{rad2deg}$$

60

$$X_v = X_v + V_x \cdot t_{\text{tick}}$$

$$Z_v = Z_v + V_z \cdot t_{\text{tick}}$$

65

$$t = t + t_{\text{tick}}$$

donde deg2rad significa la conversión de grados a radianes, y rad2deg la inversa.

## ES 2 270 357 T3

5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65	<pre> si (ninetydegreesdetected == 0) {     si (z<sub>v</sub>&gt;z<sub>p</sub>)     {         si ((x<sub>p</sub>==0) &amp;&amp;(α<sub>launch</sub>&gt;89,9)         {             α<sub>1</sub> = 90,0             timeofflight<sub>1</sub> = t             ninetydegreesdetected = 1             estado = 12         }     } } si no {     si (z<sub>v</sub>&lt;z<sub>p</sub>)     {         si ((x<sub>p</sub>==0) &amp;&amp;(α<sub>launch</sub>&gt;89,9)         {             α<sub>2</sub> = 90,0             timeofflight<sub>2</sub> = t             estado = 12         }     } } si (z<sub>v</sub>&lt;(lh - (2·acc))) {                 </pre>	<p>Si no se ha detectado todavía una elevación de 90° y z<sub>v</sub> se acaba de hacer mayor que z<sub>p</sub>, se realiza un ensayo para descubrir si el lanzamiento se ha hecho recto hacia arriba. Se ha encontrado una primera solución con una elevación de 90°. Se recoge el tiempo en ese momento.</p> <p>Se realiza la detección de la elevación de 90°.</p> <p>Si se ha realizado una detección de 90° en un bucle previo, es un hecho que el proyectil está situado recto por encima de z<sub>p</sub>. Cuando z<sub>v</sub>&lt;z<sub>p</sub>, se hace una comprobación adicional para tener la completa seguridad.</p> <p>Se ha encontrado una segunda solución con una elevación de 90°. Se recoge el tiempo en ese momento.</p> <p>Una comprobación para decidir si, y cuándo, el proyectil pasa por el límite de altura mínima. “-(2·acc)” está</p>
---	---	---

## ES 2 270 357 T3

5	estado = 7		destinado para el caso de que $z_p = lh$ .
	}		Se ha pasado por el límite de altura inferior.
	}		Siguiente estado = 7.
10	si no		
	{		
	estado = 5		Siguiente estado = 5.
15	}		
	}		
Estado 5			
20	El estado encuentra las soluciones que no tienen la elevación de 90°.		
	si (findsecsol == 0)		Selección, dependido de si se busca la primera o la segunda solución.
25	{		Buscar la primera solución.
	si (( $x_v > x_p$ ) && ( $x_p \neq 0,0$ ))		
30	{		
	estado = 6		El proyectil ha pasado por $x_p$ . No son 90°.
35	}		Siguiente estado = 6.
	si no		
40	{		
	estado = 4		No hay datos de decisión global.
45	}		Continuar hasta validar trayectoria.
	}		Siguiente estado = 4.
50	si no		
	{		Buscar la segunda solución.
55	si (( $\alpha < 0,0$ ) && ( $z_v < z_p$ ) && ( $x_p < 0,0$ ))		¿Tiene el proyectil una altitud negativa, no a 90° y ha pasado también por $z_p$ ?
	{		
60	si ( $x_v < x_p$ )		¿Pasó por $z_p$ en un movimiento de caída mientras
65	}		

## ES 2 270 357 T3

que, al mismo tiempo, esto ocurría antes que  $x_p$ ?

5	{		
		estado = 9	Sí, investigar cuánto de cerca está el proyectil de la
	}		posición buscada ( $x_p, z_p$ ).
10		si no	Siguiendo estado = 9.
	{		
15		estado = 7	No, el paso por $z_p$ en movimiento de caída ocurrió más allá de $x_p$ .
	}		Siguiendo estado = 7.
20		si no	
	{		
25		estado = 4	No hay datos de decisión global.
	}		Continuar hasta validar trayectoria.
30			Siguiendo estado = 4.
	}		

### 35 Estado 6

El estado puede ser activado únicamente desde el estado 5.

40			Acaba de pasar el proyectil justamente por $x_p$ y, al mismo tiempo, por encima de $z_p$ ?
	si ( $z_v > z_p$ )		
45		{	
		estado = 9	Sí, investigar cuánto de cerca está el proyectil de la
50		}	posición buscada ( $x_p, z_p$ ).
		si no	Siguiendo estado = 9.
55		{	
		estado = 7	La trayectoria se fue muy por debajo de la posición buscada en la búsqueda de una primera solución.
60		}	Siguiendo estado = 7.
65			

## ES 2 270 357 T3

### Estado 7

Cada valor de  $\alpha_{\text{launch}}$  que no conduce a una solución da lugar a que se active este estado. El estado incrementa  $\alpha_{\text{launch}}$  de tal manera que es posible ejecutar una vez más una nueva trayectoria adecuada. Dependiendo de cuán grande sea el valor que tiene  $\alpha_{\text{launch}}$ , el incremento se realiza de una manera adecuada. Un valor excesivamente alto de  $\alpha_{\text{tick}}$  no conduciría en absoluto a la obtención de ninguna solución final. La trayectoria del proyectil sencillamente fallaría las etapas decisivas de esta lógica de estados. Un valor excesivamente bajo incrementaría drásticamente el gasto de tiempo requerido para resolver la tarea. Cuanto mayor sea  $\alpha_{\text{launch}}$ , menor tendrá que ser  $\alpha_{\text{tick}}$ , de tal modo que pueda eliminarse por completo el riesgo de sucesos erróneos.

Si ( $\alpha_{\text{launch}} > 30$ )

Levelflag30 (indicación de nivel 30) = 1

Si ( $\alpha_{\text{launch}} > 60$ )

Levelflag60 = 1

Si ( $\alpha_{\text{launch}} > 70$ )

Levelflag70 = 1

Si ( $\alpha_{\text{launch}} > 89$ )

Levelflag89 = 1

$\alpha_{\text{tick}} = 10 - \text{levelflag30} \cdot 7 - \text{levelflag60} \cdot 2 - \text{levelflag70} \cdot 0,6 - \text{levelflag89} \cdot 0,3$

$\alpha_{\text{launch}} = \alpha_{\text{launch}} + \alpha_{\text{tick}}$

si ( $\alpha_{\text{launch}} > 90,0$ )

{

estado = 8

}

La posición buscada ( $x_p, z_p$ )  
cae fuera del alcance de  
lanzamiento.

si no

{

estado = 3

}

Siguiente estado = 8.

Ejecución de nueva  
trayectoria.

Siguiente estado = 3.

### Estado 8

La posición buscada cae fuera del alcance de lanzamiento. Los ángulos y los tiempos de vuelo vienen dados, adecuadamente, por el valor 0,0. Una vez que se ha activado este estado, todo el proceso de estados se finaliza con los siguientes resultados finales:

$\alpha_1 = 0,0$

$\text{timeofflight}_1$  (tiempo de vuelo<sub>1</sub>) = 0,0

$\alpha_2 = 0,0$

$\text{timeofflight}_2$  (tiempo de vuelo<sub>2</sub>) = 0,0

## ES 2 270 357 T3

### Estado 9

El estado está activo, bien cuando se ha determinado que se ha de dar inicio a una aproximación sucesiva para encontrar una solución (véase 5), o bien cuando debe evitarse un resultado falso de la solución N° 2. Se determina también aquí cuándo se ha encontrado una solución (véase 4).

En primer lugar, se calcula el error radial entre la posición buscada y la posición correspondiente a ese momento (véase 1, más abajo). En el estado 12, la indicación “passfirsthit” (“pasar primer impacto”) se envía a 1 cuando se ha encontrado una primera solución. Inmediatamente después de calcular la siguiente posición de la trayectoria, es altamente probable que el estado 9 esté activo y que “diff” sea, también en este caso, más pequeña que “acc/2”. Con el fin de evitar que se detecte por error una segunda solución, el estado se interrumpe al objeto de proseguir, en su lugar, hasta el estado 7 (véase 3).

Cuando se dispone, finalmente, de una segunda solución más probable para que sea valorada para su posible aceptación, 2. decide con respecto a ella que la detención que ha constituido hasta ese momento “passfirsthit” sea liberada.

```

20  diff = sqrt((x_v - x_p)^2 + (z_v - z_p)^2)
25  si (diff > (acc/2) && passfirsthit == 1) 1.
    passfirsthit = 0 2.
30  si (diff > (acc/2) && passfirsthit == 1) 3.
    {
        estado = 7
    }
35  si no
    {
40      si (diff < (acc/2))
        {
            estado = 10 4.
        }
        si no
        {
50          estado = 11 5.
        }
    }
55  }

```

### Estado 10

El estado puede ser activado únicamente desde el estado 9. Se ha encontrado entonces una solución que no es de 90°. Si “findsecsol” (“encontrar segunda solución”) = 0 (es decir, antes de que se haya encontrado la primera solución), entonces a  $\alpha_1$  y al tiempo de vuelo<sub>1</sub> se les dan, respectivamente, los valores instantáneos  $\alpha_{1\text{launch}}$  y t. A  $\alpha_2$  y al tiempo de vuelo<sub>2</sub> se les dan valores correspondientes si “findsecsol” = 1.

Es evidente a partir del diagrama de flujo de la Figura 3 que, cuando “findsecsol” = 1, el estado 10 proporciona los valores de la solución directamente a la solución 2, en la que se pone fin a toda la ejecución. Al mismo tiempo, es evidente a partir del código que se da más adelante, que el estado 10 siempre prosigue directamente al estado

## ES 2 270 357 T3

12, independientemente de si se ha enviado la 1ª solución o la 2ª solución. En este caso, esta diferencia no tiene importancia de cualquier forma. Las líneas de código que se han presentado para cada estado 1-12 son, de hecho, extractos directos de una aplicación escrita en C++. Al mismo tiempo que debe ser posible finalizar un programa de una manera funcional, un diagrama de flujo ha de ser capaz de describir la función de una forma suficientemente clara.

```

5
Si (findsecsol == 0)
10   {
         $\alpha_1 = \alpha_{\text{launch}}$ 
        timeofflight1 = t
15   }
    si no
20   {
         $\alpha_2 = \alpha_{\text{launch}}$ 
        timeofflight2 = t
25   }
    estado = 12

```

Estado 11

Este estado puede ser activado únicamente desde el estado 9.

35 El estado 9 ha establecido justamente antes que se ha pasado por el punto buscado ( $x_p, z_p$ ) en términos de elevación. En consecuencia, la búsqueda ha de ser invertida en una etapa (véase 1., más abajo). Así pues,  $\alpha_{\text{tick}}$  se reduce en su escala en un factor de 10 (véase 2.). De esta forma, tan solo se lleva a cabo 1/10 del incremento inicial (véase 3.). Dependiendo de si la elevación se encuentra por encima o por debajo del punto ( $x_p, z_p$ ) en términos de elevación de la siguiente trayectoria, existirá una cooperación alterna entre el  $\alpha_{\text{tick}}$  ordinario procedente del estado 7 y la regulación de escala descendente o reductora que se realizará aquí. De esta forma, siempre se proporcionará un tipo de aproximación sucesiva que nunca yerra una solución correcta.

```

45    $\alpha_{\text{launch}} = \alpha_{\text{launch}} - \alpha_{\text{tick}}$            1.
         $\alpha_{\text{tick}} = \alpha_{\text{tick}}/10$                  2.
50    $\alpha_{\text{launch}} = \alpha_{\text{launch}} + \alpha_{\text{tick}}$        3.
    estado = 3

```

Estado 12

55 Si findsecsol sigue aún siendo 0 cuando se introduce este estado, es que únicamente se ha encontrado la primera solución. Findsecsol y passfirshit se establecen, en primer lugar, en 1. A continuación, se comprueba si se ha realizado una detección de 90°. Si éste es el caso, el procedimiento se traslada hasta el estado 4, de tal modo que es posible calcular la siguiente posición de la trayectoria en vertical.

60 Si ninetydegreesdetected = 0, entonces el procedimiento se traslada al estado 7, de tal manera que puede comenzar a validarse la siguiente elevación. Si findsecsol = 1 cuando se ha introducido el estado 12, entonces se finaliza todo el procedimiento. Todas las posibles soluciones de las que se dispone en relación con la posición y los parámetros de propiedades del objetivo, ya han sido, en esa etapa, resueltas en el estado 4, 8 ó 10.

65

```

si (findsecsol == 1)
    interrumpir
5 findsecsol = 1
  passfirsthit = 1
  si (ninetydegreesdetected == 1)
10 {
    estado = 4
  }
15 si no
  {
20 estado = 7
  }

```

25 Habiendo descrito una realización de la invención con referencia a la Figura 3, se expondrán en lo que sigue algunas aclaraciones y reflexiones en relación con la Figura 4, la cual muestra una proyectil en dos posiciones de una trayectoria contenida en un plano x, z. Se han indicado las aceleraciones y sus velocidades en las posiciones del proyectil.

30 Antes del cálculo de la primera posición, se dan valores iniciales a  $\alpha$  ( $\alpha = \alpha_{\text{launch}}$ ) y a V ( $V = V_{\text{launch}}$ ). En el cálculo de  $V_x$  y  $V_z$ , véase el estado 4, se realiza una aproximación mediante el uso de los valores precedentes de  $\alpha$  y de V. Se calculan entonces nuevos valores de  $\alpha$  y de V en relación con  $V_x$  y  $V_z$ . A continuación, se realiza una simple actualización de  $X_v$  y  $Z_v$ . Finalmente, t se ajusta por arriba.

35 La aceleración a del proyectil de la Figura 4 puede escribirse como  $a = f/m$ , donde f es, en este caso, una fuerza opositora provocada por el arrastre o aspiración de aire  $f = -k_f \cdot V^2$ . Así pues, la aceleración opositora puede escribirse como  $a = -k_f \cdot V^2/m$ , que proporciona la componente horizontal de la aceleración,  $a_x = -k_f \cdot V^2 \cdot \cos(\alpha \cdot \text{deg}2\text{rad})/m$ , y la vertical,  $a_z = -k_f \cdot V^2 \cdot \text{sen}(\alpha \cdot \text{deg}2\text{rad})/m$ .

40 El salto de tiempo  $t_{\text{tick}}$  se calcula inicialmente y se optimiza con respecto a acc y a  $V_{\text{launch}}$ . Dimensionando  $t_{\text{tick}}$  de tal manera que  $t_{\text{tick}} = \text{acc}/(4 \cdot V_{\text{launch}})$ , la distancia radial entre dos posiciones vecinas no puede ser mayor que acc. Así pues, acc puede determinar completamente la máxima imprecisión de los resultados finales para cada una de las dos soluciones. Esto requiere que este método de cálculo discreto sea lo suficientemente preciso por sí mismo, es decir, cuando se compara con la ecuación diferencial clásica de un cuerpo en una trayectoria, con respecto al efecto del arrastre o aspiración de aire y con un salto de tiempo muy pequeño.

45 El hecho de que, en el cálculo de  $t_{\text{tick}}$ , el denominador contiene un 4 y no un 2 se debe al hecho de que existen dos fuentes diferentes de errores que han de ser consideradas con el fin de garantizar que las soluciones para el ángulo de elevación y para el tiempo de vuelo sean bastante correctas. Una tiene su origen en el error de cálculo entre la ecuación diferencial clásica y el método discreto que aquí se describe, un error que no puede ser mayor que  $\text{acc}/2$  (véanse los siguientes párrafos). Utilizando un  $t_{\text{tick}}$ , que permite que el recorrido de vuelo en la trayectoria durante el tiempo  $t_{\text{tick}}$  sea, como mucho, de  $1/4$  de acc en lugar de  $1/2$ , el error de cálculo máximo puede ser reducido a  $\text{acc}/2$ .

50 La segunda fuente de errores tiene un error máximo garantizado que es  $\text{acc}/2$ , al haberse hecho todas las comparaciones del estado 9 con respecto a este valor. Con esto quiere decirse que, cuando cada solución es validada con su ángulo de elevación y su tiempo de vuelo, la trayectoria ciertamente finaliza dentro de un círculo imaginario en el que el radio = acc y cuyo centro se encuentra situado precisamente en la posición que se indicó como dato de entrada, es decir  $(x_p, z_p)$ .

60 La presente invención puede ser desarrollada teniendo en consideración, de diversas maneras, diferentes factores adicionales, tales como la fuerza del viento y la dirección del viento, así como la densidad del aire, que varía con la altura. Básicamente, también se utiliza en estos casos el diagrama de flujo de la Figura 3. Tan solo se requerirán correcciones menores.

65 Con el fin de comprobar la precisión de la invención, en la forma básica que se ha presentado aquí, se ha examinado por medio de dos métodos creados para la tarea. El primer método es un modelo de simulación, confeccionado en el programa ACSL (Lenguaje de Simulación Continuo Avanzado -“Advanced Continuous Simulating Language”), que ofrece la posibilidad de simular funciones continuas en el tiempo en las que pueden proporcionarse bloques

## ES 2 270 357 T3

iniciales, discretos y derivados con el respectivo código de programa para el propósito pretendido. El segundo método comprende la invención programada en Visual C++ 6.0, de MFC Wisard.

5 Se han llevado a cabo un número muy grande de simulaciones y ejecuciones o puestas en marcha. Se ha realizado entonces una comparación entre los resultados obtenidos por los dos métodos y la ecuación diferencial clásica de la trayectoria, validada en el programa Mathcad 2000. En cada comparación, todas las posiciones finales se han encontrado dentro de un círculo con el radio  $\text{acc}$  y que tiene la posición de su centro en  $(X_p, Z_p)$ .

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

# ES 2 270 357 T3

## REIVINDICACIONES

5 1. Un método para calcular en tiempo casi real dos posibles ángulos de elevación de un proyectil y sus tiempos de vuelo asociados, de tal manera que pueda hacerse que éste actúe en un punto deseado,

**caracterizado** porque

10 el ángulo de azimut de un plano vertical, el plano XZ, en el que se encuentra contenida la dirección de lanzamiento del proyectil, se determina de una manera de acuerdo con la técnica anterior, por ejemplo, por la medición directa de la dirección hasta un objetivo en el que ha de actuar el proyectil, el origen se fija en el punto de partida del proyectil y el eje X se fija de manera que sea paralelo al plano horizontal, el ángulo de elevación y el tiempo de vuelo se calculan en un procedimiento que se divide en dos partes principales, una parte de cálculo y una parte lógica,

15 de tal manera que la parte de cálculo, que comienza partiendo del diámetro (d), de la masa (m), el coeficiente de arrastre de aire o aerodinámico ( $C_d$ ) y de la velocidad de lanzamiento ( $V_{\text{launch}}$ ) del proyectil, calcula en tiempos discretos las posiciones del proyectil y los tiempos asociados de vuelo dentro de una trayectoria, y

20 de tal modo que la parte lógica, que comienza partiendo de una imprecisión máxima en la parte lógica (acc), de un límite inferior para la altura deseada ( $lh$ ), de la distancia horizontal al objetivo ( $x_p$ ) y de la altura relativa con respecto al objetivo ( $z_p$ ),

establece una primera dirección de elevación ( $\alpha_{\text{launch}}$ ),

25 supervisa el cálculo de las posiciones del proyectil y de su tiempo de vuelo, e interrumpe el cálculo,

cuando el proyectil se encuentra dentro de un círculo de aceptación que tiene el punto deseado en el centro y que tiene el radio igual a la mitad del valor de la imprecisión (acc) de la parte lógica, y determina como solución los valores correspondientes a ese momento de la dirección de elevación y del tiempo de vuelo, o bien

30 cuando una posición calculada para el proyectil se encuentra fuera de una condición de contorno predeterminada, y tras ello, hasta que se hayan encontrado dos soluciones,

35 establece una segunda dirección de elevación.

2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado** por calcular, en primer lugar, un intervalo o salto de tiempo ( $t_{\text{tick}}$ ), que se utiliza en la parte de cálculo, como dicha imprecisión máxima (acc) dividida por al menos 4 veces la velocidad de lanzamiento ( $V_{\text{launch}}$ ).

40 3. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 ó la reivindicación 2, **caracterizado** por fijar como primer ángulo de elevación uno que sea con certeza menor o igual que el más pequeño de los ángulos de elevación de la solución, fijando, por ejemplo,  $-90^\circ$ .

45 4. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-3, **caracterizado** por iterar las posiciones de una trayectoria como sigue:

$$V_x = V \cdot \cos(\alpha \cdot \text{deg2rad}) - t_{\text{tick}} \cdot (k_f \cdot V^2 \cdot \cos(\alpha \cdot \text{deg2rad})/m)$$

50 
$$V_z = V \cdot \sin(\alpha \cdot \text{deg2rad}) - t_{\text{tick}} \cdot (g + k_f \cdot V^2 \cdot \sin(\alpha \cdot \text{deg2rad})/m)$$

dados:

55 
$$X_v = X_v + V_x \cdot t_{\text{tick}}$$

$$Z_v = Z_v + V_z \cdot t_{\text{tick}}$$

60 
$$t = t + t_{\text{tick}}$$

donde

65  $X_v$  es la posición más recientemente calculada en la dirección X y  $Z_v$  es la misma pero en la dirección Z,

$V_x$  es la velocidad más recientemente calculada en la dirección X y  $V_z$  es la misma pero en la dirección Z,

## ES 2 270 357 T3

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_z^2}$$

es la velocidad resultante más recientemente calculada en el plano X,Z,

5

$$\alpha = \text{atan}(V_z/(V_x + 1 \cdot 10^{-20})) \cdot \text{rad2deg}$$

deg2rad significa la conversión de grados a radianes, y rad2deg la inversa,

10

$k_f = C_d \cdot \rho \cdot \text{área}/2$  es el coeficiente de arrastre de aire resultante, donde  $\rho$  es la densidad del aire, m es la masa y g es la aceleración de la gravedad,

y donde  $\alpha$  se fija en  $\alpha_{\text{launch}}$ , y V se fija en  $V_{\text{launch}}$ , en el instante de partida  $t = 0$ .

15

5. Un método de acuerdo con la reivindicación 4, **caracterizado** porque la iteración prosigue hasta que la posición más recientemente calculada en la dirección X,  $x_v$ , sea mayor que la distancia al objetivo en la dirección X,  $x_p$ , y la distancia entre la posición de partida y la posición de objetivo en la dirección X sea diferente de cero, y, tras ello, se determina si la trayectoria se encuentra dentro de dicho círculo de aceptación, lo que significa que se establecerá que se ha encontrado una primera solución en ángulo de elevación y en tiempo de vuelo para una trayectoria, o, en caso contrario, si la trayectoria se encuentra por encima o por debajo del objetivo.

20

6. Un método de acuerdo con la reivindicación 5, **caracterizado** por seleccionar un nuevo ángulo de elevación, mayor, si la trayectoria se encuentra por debajo del objetivo.

25

7. Un método de acuerdo con la reivindicación 5, **caracterizado** por retornar, si la trayectoria se encuentra por debajo del objetivo, al ángulo de elevación inmediatamente precedente que proporcionó una trayectoria por debajo del objetivo, y comenzar una nueva serie de cálculos de posiciones y tiempos a lo largo de trayectorias mediante un salto de incremento en la dirección de elevación que es una fracción, por ejemplo, un décimo, del salto de incremento previo.

30

8. Un método de acuerdo con la reivindicación 5, **caracterizado** por comenzar, si la solución es una primera solución, el cálculo de una segunda solución, al que se da inicio mediante la selección de otro ángulo de elevación, excepto en el caso de que el primer ángulo de elevación sea  $90^\circ$ , es decir, recto hacia arriba, en el cual se selecciona el mismo ángulo de elevación.

35

9. Un método de acuerdo con la reivindicación 8, **caracterizado** porque la iteración prosigue hasta que la posición más recientemente calculada en la dirección Z,  $z_v$ , sea más pequeña que la distancia al objetivo en la dirección Z,  $z_p$ , y que tanto  $\alpha$  sea menor que cero, como la distancia entre la posición de partida y la posición de objetivo en la dirección X sea diferente de cero, y, tras ello, se determina si la trayectoria se encuentra dentro de dicho círculo de aceptación, lo que significa que se ha encontrado una segunda solución en términos de ángulo de elevación y tiempo de vuelo para una trayectoria, o, en caso contrario, si ésta se encuentra a este lado de la posición del objetivo o más allá de ella, según se observa desde la posición de partida.

40

10. Un método de acuerdo con la reivindicación 9, **caracterizado** por seleccionar un nuevo ángulo de elevación, mayor, si la trayectoria se encuentra más allá del objetivo según la dirección X.

45

11. Un método de acuerdo con la reivindicación 9, **caracterizado** por retornar, si la trayectoria se encuentra a este lado del objetivo según la dirección X, al ángulo de elevación inmediatamente precedente que proporcionó una trayectoria más allá del objetivo, y comenzar una nueva serie de cálculos de posiciones y tiempos a lo largo de trayectorias mediante un salto de incremento en la dirección de elevación que es una fracción, por ejemplo, un décimo, del salto de incremento previo.

50

12. Un método de acuerdo con la reivindicación 6 ó la reivindicación 10, **caracterizado** porque la selección de un incremento del ángulo de elevación disminuye con un ángulo creciente de elevación.

55

13. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** por utilizar en los cálculos un coeficiente de arrastre de aire o aerodinámico ( $C_d$ ) que varía dependiendo de la temperatura, de la presión atmosférica y de la humedad del aire.

60

65

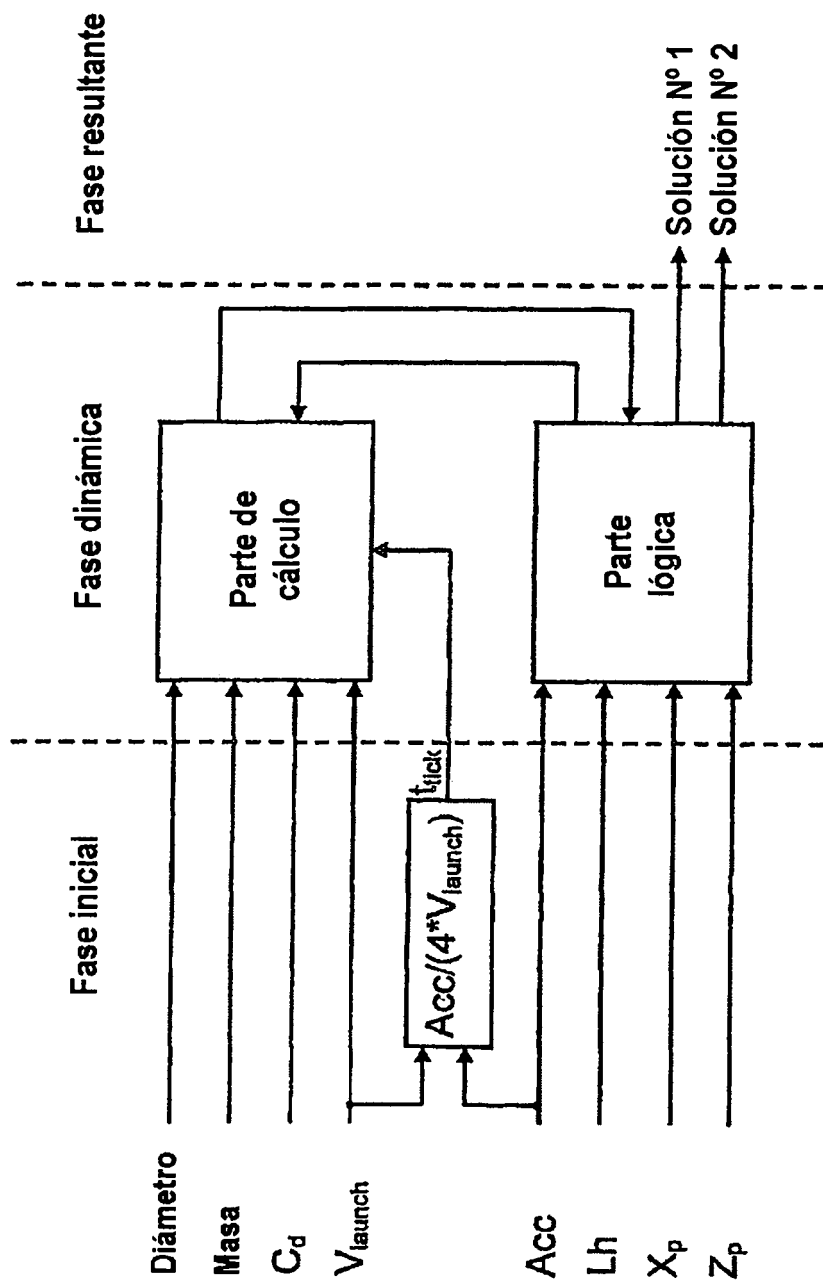


Fig. 1

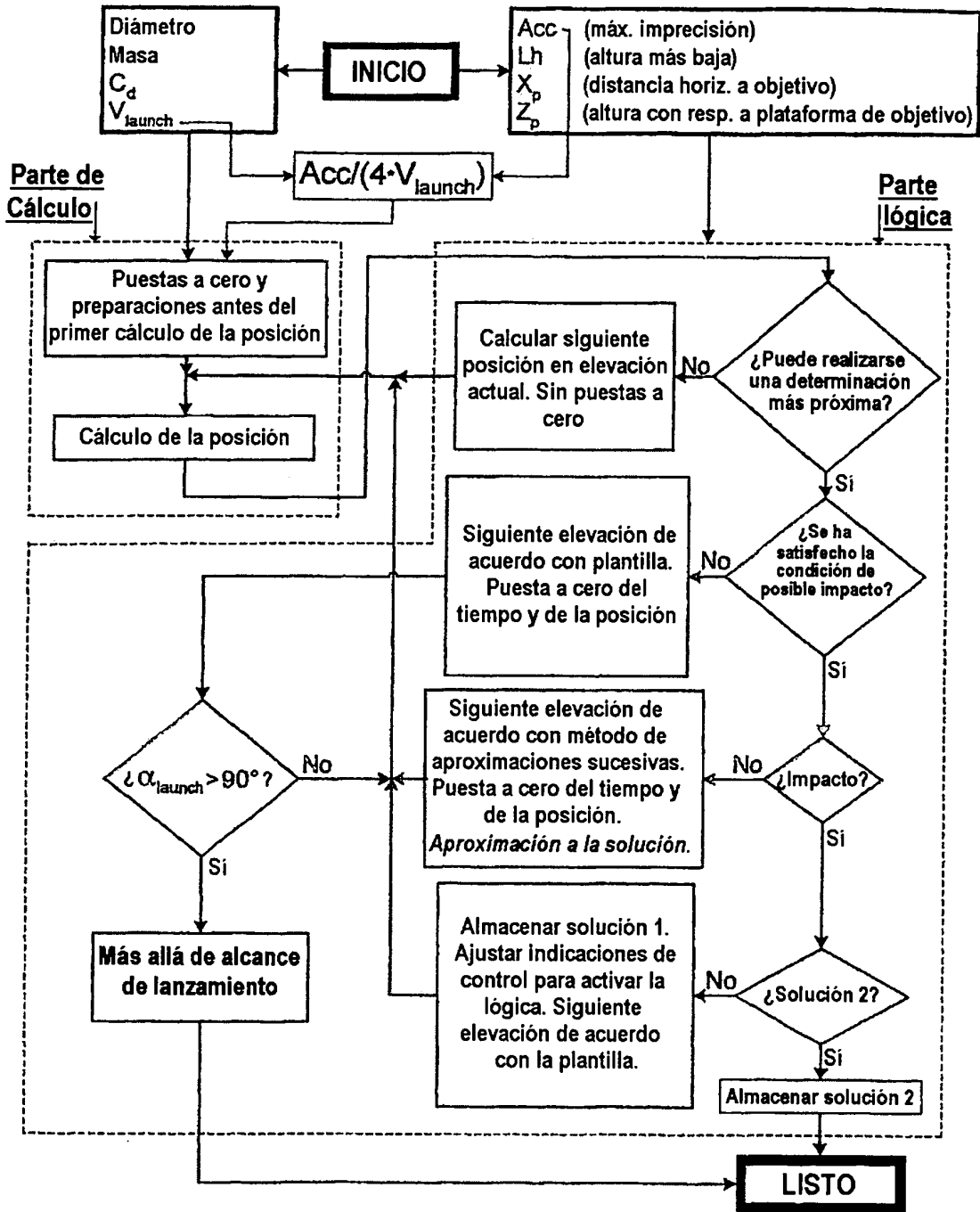


Fig. 2

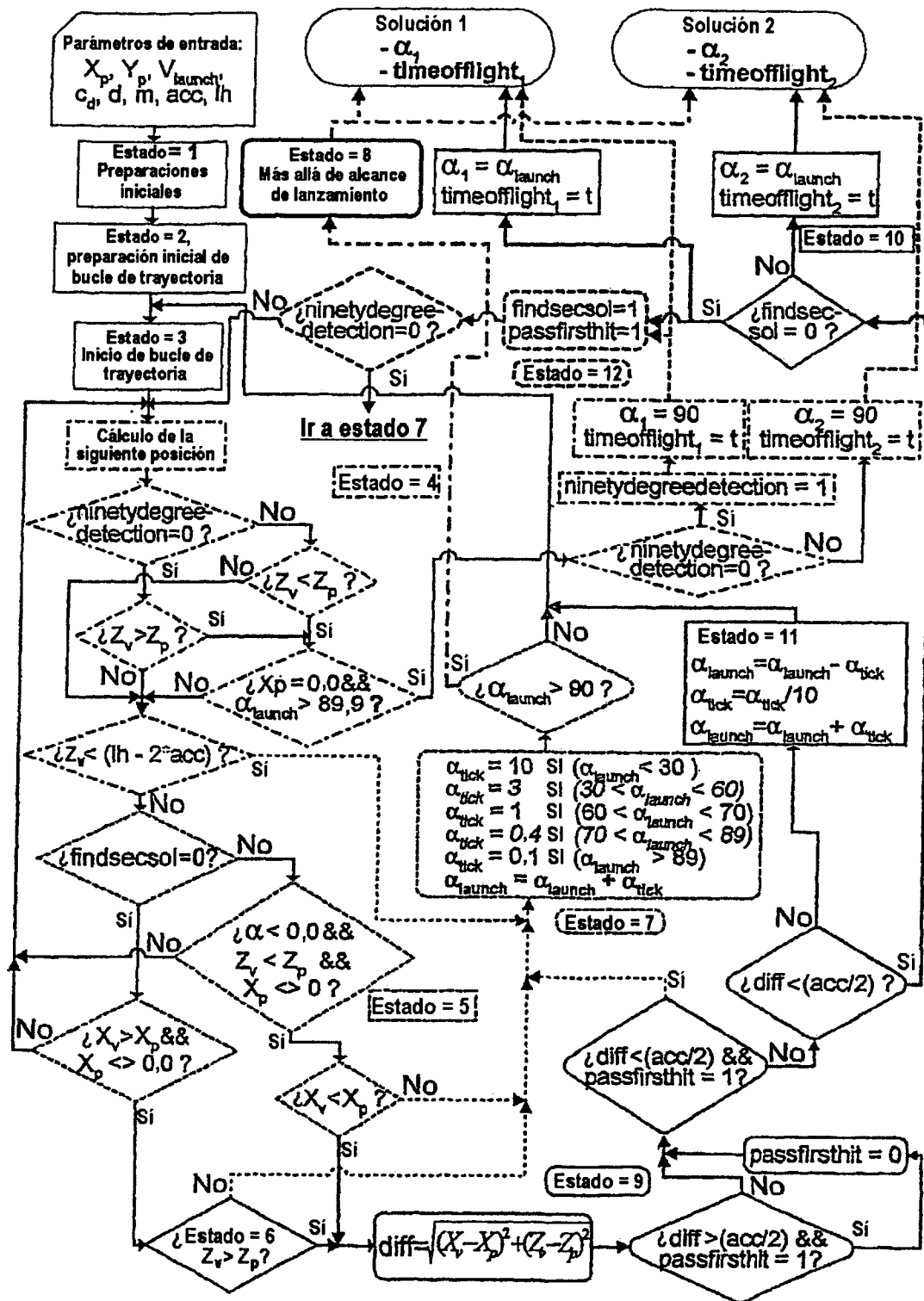


Fig. 3

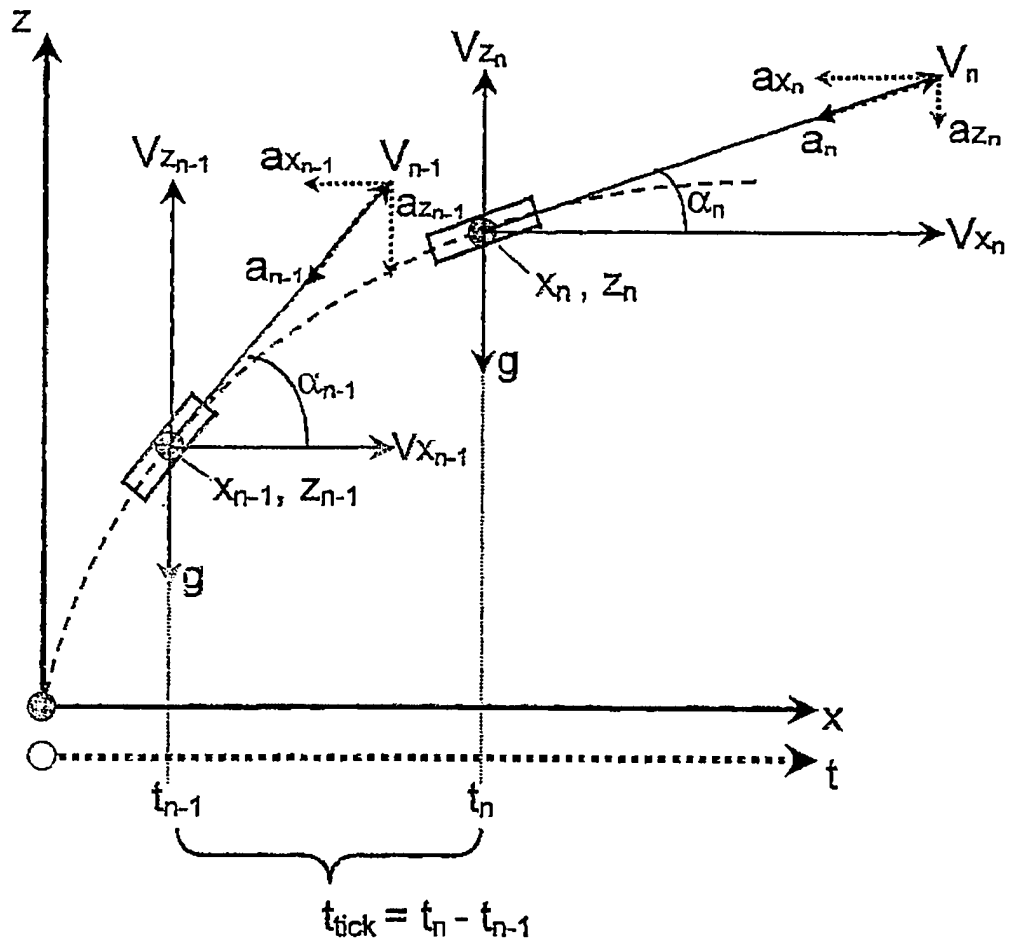


Fig. 4