

(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA



(11) Número de publicación: **2 395 659**

(21) Número de solicitud: 201131113

(51) Int. Cl.:

G05B 13/02 (2006.01)

G05B 13/04 (2006.01)

(12)

PATENTE DE INVENCIÓN

B1

(22) Fecha de presentación:

30.06.2011

(43) Fecha de publicación de la solicitud:

14.02.2013

Fecha de la concesión:

10.05.2013

(45) Fecha de publicación de la concesión:

23.05.2013

(73) Titular/es:

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN A DISTANCIA (100.0%)
BRAVO MURILLO 38, 8^a
28015 MADRID (Madrid) ES**

(72) Inventor/es:

**VIUDEZ MOREIRAS , Daniel ;
NEVADO REVIRIEGO, Antonio y
MÁRTIN SÁNCHEZ , Juan Manuel**

(74) Agente/Representante:

ALESCI NARANJO, Paola

(54) Título: **MÉTODO Y SISTEMA DE GUIADO MEDIANTE CONTROL POR DERIVADA.**

(57) Resumen:

Método y sistema de guiado de aplicación al control de variables de procesos monovariables o multivariables, con parámetros conocidos o desconocidos y variables con el tiempo. El sistema de guiado de la presente invención genera una trayectoria deseada para una variable de salida del proceso y, a partir de dicha trayectoria deseada, calcula una consigna para la variable derivada de dicha variable de salida del proceso. Dicha consigna es entonces aplicada a un controlador avanzado basado en modelo de dicha variable derivada y la acción de control generada por dicho controlador avanzado basado en modelo es aplicada al proceso y guía su evolución de forma que dicha variable de salida del proceso converge hacia dicha trayectoria deseada.

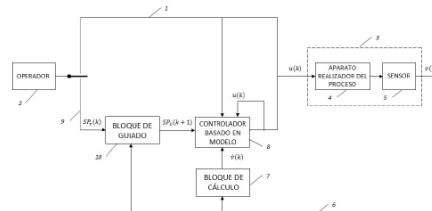


Fig. 1

DESCRIPCIÓN

Método y sistema de guiado mediante control por derivada

La presente invención recae en un método y sistema de guiado mediante control por derivada y será de utilidad en áreas tales como la aeronáutica, la naval, la nuclear, la de automoción y, en general, en las diversas áreas industriales.

5 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

La presente invención está relacionada con un método y sistema de guiado para controlar variables de procesos mono o multivariados por medio del control de sus variables derivadas de tal forma que el rendimiento de control obtenido para dichas variables de proceso mejora significativamente para el rango de frecuencias de control altas o, equivalentemente, para el rango de períodos de control pequeños con respecto a la dinámica del proceso.

10 Este sistema de guiado será de utilidad en áreas tales como la aeronáutica, la naval, la nuclear, la de automoción y, en general, en las diversas áreas industriales. Ejemplos de procesos en los que el sistema de guiado puede ser aplicado son el del control del ángulo de cabeceo de un avión actuando sobre la posición del elevador, y el del control del ángulo de balanceo de un buque actuando sobre las correspondientes aletas estabilizadoras.

15 Es conocido que los *Controladores Avanzados Basados en Modelo* utilizan una relación causa-efecto o modelo predictivo del proceso para predecir la evolución de las variables de salida del mismo. La fiabilidad de dicha predicción depende del valor de los parámetros de dicho modelo predictivo. Algunas soluciones requieren obtener el modelo predictivo previamente a su utilización en el sistema de control, este es el caso de las denominadas técnicas de *Control Predictivo Basado en Modelo*.

20 Para tener en cuenta la naturaleza variable con el tiempo de los procesos, otras soluciones denominadas *Adaptativas* generan el modelo predictivo en tiempo real al mismo tiempo que dicho modelo es utilizado para controlar el proceso en cuestión, de tal manera que los cambios experimentados en la dinámica del proceso pueden ser rápidamente incorporados al modelo predictivo por medio de un mecanismo de adaptación o por un cambio en el dominio de operación. Este es el caso de los *Controladores Adaptativos Predictivos* (Patentes USA Nos. 4,197,576 y 4,358,822) y de los *Controladores Adaptativos Expertos* (patente USA No. US 6,662,058 B1).

25 En ambos casos, el valor de los parámetros del modelo predictivo depende del período de control. Por ello la elección del período de control debe de ser la adecuada para que el rango en el que pueden variar los parámetros del modelo predictivo permita predecir satisfactoriamente la evolución de la variable de proceso bajo control. Es sabido que la elección del período de control por debajo de un cierto límite, que denominaremos "umbral de modelización", cuyo valor es relativamente pequeño con respecto al tiempo de la respuesta natural de la variable del proceso bajo control, hace que algunos valores de los parámetros del modelo predictivo, que sopesan el efecto de las acciones de control al proceso sobre sus variables de salida, se acerquen a cero excesivamente. Ello hace que dichos parámetros aumenten su sensibilidad a cualquier pequeño error de identificación en los mismos y, en consecuencia, el utilizar el valor de dichos parámetros en la predicción de la evolución de la salida del proceso bajo control y en el cálculo de la señal de control, puede deteriorar significativamente el rendimiento del controlador.

35 Sin embargo, la aplicación práctica de un sistema de control para una cierta variable de un proceso puede en muchos casos requerir la utilización de períodos de control inferiores al mencionado umbral de modelización y, en consecuencia, el rendimiento de controladores avanzados basados en modelo, adaptativos o no, puede deteriorarse significativamente en el rango de dichos períodos de control. Por ejemplo, el período de control adecuado en la aplicación de un controlador avanzado basado en modelo para el ángulo de cabeceo de un avión, actuando sobre la posición del elevador, no debería ser inferior a la décima de segundo y, sin embargo, el período de control requerido tiene que ser inferior a las 5 centésimas de segundo para asegurar la integridad del piloto humano.

40 El sistema de guiado de la presente invención permite el uso de períodos de control por debajo del mencionado umbral de modelización mejorando para dichos períodos de control el rendimiento del sistema de control obtenido por la aplicación directa de controladores avanzados basados en modelo.

45 BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

El sistema de guiado de la presente invención utiliza un calculador digital, un bloque de guiado y un controlador avanzado basado en modelo, para guiar la evolución de una variable de salida de un proceso a través de su variable derivada, de forma que el bloque de guiado genera una trayectoria deseada para dicha variable de salida y asimismo, a partir de dicha trayectoria deseada, calcula una consigna para dicho controlador avanzado basado en modelo, cuya acción de control guía dicha variable derivada hacia dicha consigna y, como consecuencia, dicha variable de salida converge hacia la mencionada trayectoria deseada, todo ello ejecutando un número de operaciones simples y específicas en cada instante de control.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

La aplicación de la invención será descrita primero de manera general y, posteriormente, los resultados de una aplicación particular serán mostrados, todo ello con la ayuda de las siguientes figuras:

La FIG.1 muestra un esquema de la estructura general y conceptual del sistema de guiado.

- 5 La FIG. 2 ilustra por medio de un ejemplo conceptual la evolución de una variable de salida del proceso que sigue la trayectoria de salida generada por un bloque de guiado y el cálculo, por el mismo bloque de guiado, del valor de consigna para la correspondiente variable derivada.

- 10 La FIG.3a muestra los resultados de un experimento en el que el sistema de guiado se aplicó al control del ángulo de cabeceo de una simulación de un avión. En esta aplicación particular el bloque de guiado, cuya operación se ha ilustrado en la FIG. 2, ha sido utilizado conjuntamente con un controlador adaptativo predictivo por el sistema de guiado.

La FIG. 3b muestra los resultados de un experimento similar al de la FIG. 3a, pero en el que el mismo controlador adaptativo predictivo utilizado por el sistema de guiado fue directamente aplicado al ángulo de cabeceo de la misma simulación de un avión en el mismo contexto considerado en la FIG. 3a, con el fin de evaluar comparativamente el rendimiento del sistema de guiado.

15 DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

En cada instante de control k , el operador puede optar por aplicar control manual al proceso o por aplicar control automático, ambos modos de actuación están representados en la FIG. 1 y se describen a continuación.

1. Control manual: Bajo control manual, el operador (2) aplica directamente la acción de control $u(k)$ al aparato (4) que realiza el proceso que se desea controlar y al controlador avanzado basado en modelo (8) a través del camino (1). Un sensor (5) asociado al aparato (4) mide la variable de salida del proceso $v(k)$ que se desea controlar. Esta variable de salida del proceso $v(k)$ es aplicada, como se muestra a través del camino (6), a un bloque de cálculo (7) y al bloque de guiado (10). El bloque (7) calcula el incremento entre dos instantes de control consecutivos, $k-1$ y k , de la variable $v(k)$ y a partir de este incremento genera la denominada variable derivada $\dot{v}(k)$ que se aplica como variable de proceso a controlar en el controlador avanzado basado en modelo (8). De esta forma, bajo control manual, el controlador avanzado basado en modelo (8) puede operar en el modo de identificación descrito para este tipo de controlador en las patentes USA Nos. 4,197,576, 4,358,822 y US 6,662,058 B1.
 2. Control automático: Bajo control automático, el operador (2) aplica al bloque de guiado (10) el valor deseado de consigna $SP_v(k)$ para la variable de salida $v(k)$, como muestra el camino (9). Asimismo, el bloque de guiado (10) recibirá la medida de la variable $v(k)$ desde el sensor (5) como muestra el camino (6). A partir del valor de la variable de proceso $v(k)$ y su valor de consigna $SP_v(k)$, el bloque de guiado (10) genera el valor de consigna $SP_{\dot{v}}(k+1)$ para la variable derivada $\dot{v}(k)$. A partir del valor de consigna para la variable derivada $SP_{\dot{v}}(k+1)$ y la variable derivada $\dot{v}(k)$, el controlador avanzado basado en modelo (8), operando en modo automático, calcula la acción de control $u(k)$ a aplicar al aparato (4) que realiza el proceso.
- 35 Las operaciones específicas que el sistema de guiado de la presente invención ejecutará en cada instante de control k para automáticamente controlar la variable de salida del proceso $v(k)$ se describen a continuación:
- (a) Medida (por el sensor (5)) y, si se considera conveniente, filtrado de la variable de salida del proceso que realiza el aparato (4) para obtener la variable de salida del proceso $v(k)$ que se desea controlar.
 - (b) Cálculo de la variable derivada $\dot{v}(k)$ (en el bloque de cálculo (7)) por medio de:

$$\Delta v(k) = v(k) - v(k-1) \quad (\text{Ec.1})$$

$$\dot{v}(k) = F(\Delta v(k)) \quad (\text{Ec.2})$$

donde $\Delta v(k)$ es el incremento de $v(k)$ entre los instantes $k-1$ y k , y F es una función convenientemente elegida de $\Delta v(k)$ que genera la variable derivada $\dot{v}(k)$. Una elección particular de la función F , que será utilizada en el ejemplo de aplicación de esta patente, sería la función identidad, lo que haría $\dot{v}(k)$ igual a $\Delta v(k)$.

5

- (c) Cálculo (por el bloque de guiado (10)) del valor de consigna, $SP_v(k+1)$, que se aplica en el instante k al controlador basado en modelo de la variable derivada $v(k)$, siendo dicho valor de consigna calculado y actualizado periódicamente en instantes de actualización t que son un subconjunto de instantes de control caracterizados por el hecho de que dos instantes de actualización consecutivos están separados por un período de actualización igual a q períodos de control, con $q \geq 1$. Dicho cálculo realizado en un instante de actualización t de acuerdo con los dos pasos siguientes:

10

- Cálculo del valor en $t+1$, $v_d(t+1)$, de una trayectoria deseada para guiar la variable $v(t)$ hasta su consigna, $SP_v(t)$, en los sucesivos instantes de actualización. Este cálculo puede ejecutarse como se indica a continuación:

15

- (A) Una forma de generar dicha trayectoria deseada sería mediante:

$$v_d(t+j) = \sum_{i=1}^r \alpha_i v_d(t+j-i) + \sum_{i=1}^s \beta_i SP_v(t+j-i)$$

para $\forall j \geq 1$ (Ec.3)

donde

15

$$v_d(t+1-i) = v(t+1-i), \quad i = 1, r$$

20

Así pues, la ecuación (Ec.3) puede permitir el cálculo en el instante t de los valores de dicha trayectoria de salida deseada $v_d(t+j)$, $j \geq 1$, partiendo de los valores medidos de la variable v , en el intervalo $[t, t+1-r]$, y de los parámetros α_i ($i = 1, r$) y β_i ($i = 1, s$). Estos parámetros, así como los enteros r y s , pueden ser elegidos por el operador con el objetivo de hacer converger dicha trayectoria de salida deseada en la forma deseada hacia los valores de consigna $SP_v(t+j-1)$ generados directamente por el operador. En general, $SP_v(t+j-1) = SP_v(t)$, para todo $j \geq 1$, y así será considerado en lo que sigue. En este caso, el valor de $v_d(t+1)$ vendría dado por el valor calculado para $j=1$ en la ecuación (Ec.3), es decir, vendría dado por:

$$v_d(t+1) = \sum_{i=1}^r \alpha_i v_d(t+1-i) + \sum_{i=1}^s \beta_i SP_v(t+1-i)$$

(Ec.4)

25

- (B) Otra alternativa para generar dicha trayectoria de salida deseada podría ser la de elegirla igual a una recta que, en el plano de evolución de la variable $v(t)$ en el tiempo discreto mostrado en la FIG.2, uniera el valor en el instante t de la variable de salida del proceso, $v(t)$, con dicho valor de consigna, $SP_v(t)$, de forma que dicha recta tuviera una pendiente determinada por un incremento $Vc(t+1)$ de acercamiento a la consigna, en un período de actualización, es decir, entre los instantes t y $t+1$. Este incremento $Vc(t+1)$ puede ser calculado de la siguiente manera:

30

- El incremento de acercamiento $Vc(t+1)$ deberá ser igual a un valor máximo Vs , siempre que la variable $v(t)$ se halle a una distancia de la consigna $SP_v(t)$ superior al producto de Vs por un número Tf , es decir, siempre que dicha línea recta, con un incremento por período de actualización igual a Vs , llegara a dicha consigna en más de Tf períodos de actualización.
- En caso de que la distancia de la variable $v(t)$ a la consigna $SP_v(t)$ sea inferior al producto $Vs \times Tf$, el incremento de acercamiento $Vc(t+1)$ se calculará por medio de:

$$Vc(t+1) = |SP_v(t) - v(t)| / Tf \quad (\text{Ec.5})$$

donde T_i es un número de períodos de actualización. El cálculo de $Vc(t+1)$ por (Ec.5) significa que la trayectoria deseada de salida del proceso alcanzaría la consigna $SP_v(t)$ en T_i períodos de actualización.

Una vez calculado $Vc(t+1)$, el valor de $v_d(t+1)$ se obtiene mediante:

5

$$v_d(t+1) = v(t) + Vc(t+1) \quad (\text{Ec.6})$$

Los parámetros del bloque de guiado Vs , Tf y Ti pueden ser elegidos por el diseñador del bloque de guiado con el objetivo de que la evolución de la variable $v(t)$ converja de manera deseada hacia los valores de consigna $SP_v(t)$ generados directamente por el operador.

10

La FIG. 2 ilustra la evolución de la variable v en su aproximación a la consigna SP_v al seguir en los diferentes instantes de actualización los valores de $v_d(t+1)$ generados por el bloque de guiado según la ecuación (6). Esta alternativa de diseño del bloque de guiado es la utilizada en el ejemplo ilustrativo que se presenta en este documento.

2. Cálculo del valor de consigna, $SP_v(k+1)$, para la variable derivada por medio de:

15

$$\Delta v_d(t) = v_d(t+1) - v(t) \quad (\text{Ec.7})$$

$$SP_v(k+1) = F(\Delta v_d(t)) \quad (\text{Ec.8})$$

Donde la función F es la misma considerada previamente en la ecuación (Ec.2).

(d) Cálculo de la señal de control $u(k)$ por el controlador basado en modelo (7). Este controlador calcula la señal de control $u(k)$ a partir del valor de la variable derivada a controlar, $v(k)$, y de su consigna para el siguiente instante $k+1$, $SP_v(k+1)$. ejecutando una secuencia de operaciones bien conocida tal como las descritas en las patentes de EE.UU. Nos. 4,197,576 y 4,358,822 para los controladores adaptativos predictivos o la descrita en la patente de EE.UU. No. US 6,662,058 B1 para los controladores adaptativos predictivos expertos.

En su implementación el sistema de guiado de esta invención puede ser aplicado a una variable de salida del proceso

25

escalar, $v(k)$, como se ha descrito previamente, o a un vector de variables de salida del proceso, $v(k)$, las componentes del cual son n variables de salida del proceso escalares. En este caso, el sistema de guiado puede ser aplicado a cada una de dichas n variables escalares, como se ha descrito previamente, pero teniendo en cuenta que en este caso multivariable, dicho controlador avanzado basado en modelo será un controlador avanzado basado en modelo para el vector de variables derivadas, $v(k)$, cuyos componentes son las derivadas de cada una de dichas n variables de salida del proceso escalares, y que dicho controlador avanzado basado en modelo multivariable calculará un vector de señales de control, $u(k)$, para ser aplicado al proceso, teniendo en cuenta este cálculo las interacciones entre las componentes de dicho vector de variables derivadas y dicho vector de señales de control.

30

Asimismo, el sistema de guiado de la presente invención puede implementarse utilizando controladores adaptativos predictivos o controladores adaptativos predictivos expertos, como se ha descrito previamente, pero también puede utilizar otros tipos de controladores avanzados basados en modelo que han sido descritos ampliamente en la literatura en numerosos libros y publicaciones.

Por otra parte, el sistema de guiado de la presente invención puede implementarse como parte de un sistema ampliado implementando estrategias en cascada. Cuando la consigna del bloque de guiado $SP_v(t)$ sea generada por un controlador maestro del sistema ampliado, será el caso de una estrategia en cascada con sistema de guiado esclavo.

40

Otra posibilidad sería que la acción de control $u(k)$ generada por el controlador basado en modelo del sistema de guiado, se utilice como consigna de otro controlador o bloque de guiado esclavo, siendo este el caso de un sistema ampliado implementando una estrategia en cascada con sistema de guiado maestro.

EJEMPLO EXPERIMENTAL: Sistema de guiado para el control del ángulo de cabeceo de un avión simulado.

45

Para ilustrar el sistema de guiado de la presente invención, este se ha aplicado al control del ángulo de cabeceo de un avión simulado en el JSBSim Flight Dynamics Model, que es un conocido simulador de avión que se ejecuta en el

entorno del simulador genérico FlightGear. La señal de control generada por el sistema de guiado es la posición del timón de profundidad del avión simulado. Asimismo, en el mismo entorno de simulación, se ha aplicado el mismo controlador adaptativo predictivo utilizado en el sistema de guiado, al control del mismo ángulo de cabeceo, con la intención de hacer un análisis comparativo de los resultados.

- 5 El avión simulado corresponde a un “*Unmanned Aerial Vehicle*” (UAV) de 340kg de masa, 8m de envergadura, 4,6m de longitud y 1,26m de altura. La distancia longitudinal desde el 25% de la cuerda media aerodinámica al centro de gravedad es de 42,4 mm; el centro de gravedad se encuentra en el plano de simetría de la aeronave, y la distancia vertical desde la línea de referencia del fuselaje al centro de gravedad es de 22,5 mm. Los momentos y productos de inercia son los siguientes: $I_{xx}=248.76 \text{ kgm}^2$; $I_{yy}=331.587 \text{ kgm}^2$; $I_{zz}=548.627 \text{ kgm}^2$; $P_{xz}=21.8044 \text{ kgm}^2$, y $P_{xy}=P_{yz}=0 \text{ kgm}^2$.

10 El experimento cuyos resultados se muestran en la FIG.3a, se desarrolló en unas condiciones de vuelo definidas por una altitud de 3.048m y una velocidad aerodinámica de 128km/h. Partiendo de condiciones de vuelo estable, el experimento consiste en un cambio del ángulo de cabeceo bajo control del sistema de guiado que varía desde la posición de estabilidad para dichas condiciones de vuelo de 1° hasta 10° , manteniéndose la consigna de cabeceo durante 3 segundos en dicha posición. Posteriormente se retorna dicha consigna a su valor original. El rango de actuación del timón de profundidad, es decir de la señal de control generada por el sistema de guiado, se limita al intervalo [-20,20] grados de deflexión.

15 20 De acuerdo con la descripción detallada de la invención, el sistema de guiado ha utilizado un bloque de guiado y un controlador adaptativo predictivo descrito en la patente de EE.UU. No. 4,358,822. Dicho bloque de guiado realiza el cálculo de la trayectoria deseada para el ángulo de cabeceo y la consigna para su derivada, de acuerdo con la alternativa (B) considerada en la descripción detallada del proyecto, siendo el periodo de actualización de 120 ms y el valor de los tres parámetros que determinan la aproximación a la consigna de la trayectoria deseada, V_s , T_f y T_i , iguales a 0,6 grados por periodo de actualización, 2 y 3 períodos de actualización, respectivamente. Este incremento V_s de 0,6 grados por periodo de actualización corresponde a una pendiente de $5^\circ/\text{s}$.

25 30 Por su parte, el controlador adaptativo predictivo responde a la secuencia de operaciones descrita en la patente de EE.UU. No. 4,358,822, estando definido por la siguiente configuración: (i) el periodo de control de 40 ms, es decir, la tercera parte que el periodo de actualización del bloque de guiado, coincidiendo pues cada tres periodos de control sus instantes de actualización y de control; (ii) el horizonte de predicción igual a 1 periodo de control; (iii) los parámetros de su bloque conductor corresponden a un modelo de segundo orden con un factor de amortiguamiento igual a 1 y una constante de tiempo igual a un periodo de control, y (iv) el modelo adaptativo predictivo era monovariable con 2 parámetros a_i y tres parámetros b_i .

35 El experimento cuyos resultados se muestran en la FIG. 3b, es prácticamente equivalente al de la FIG. 3a y se desarrolló en las mismas condiciones de vuelo. El control del ángulo de cabeceo fue realizado, no por el sistema de guiado descrito previamente, sino por un controlador adaptativo predictivo equivalente en su configuración al utilizado en dicho sistema de guiado para controlar la derivada del ángulo de cabeceo, estando la trayectoria deseada para el ángulo de cabeceo, generada por el bloque conductor del controlador adaptativo predictivo limitada en su pendiente a $5^\circ/\text{s}$. Esta limitación coincide pues con la pendiente de aproximación a su consigna de la trayectoria deseada para el ángulo de cabeceo en el bloque de guiado previamente mencionado.

Resultados obtenidos y conclusiones

40 Las FIG 3a y 3b están cada una de ellas divididas en 5 gráficas, donde se muestra en orden descendente la evolución frente al tiempo de la altitud, velocidad de ascenso, cabeceo, velocidad de cabeceo y deflexión del timón de profundidad.

45 Como se puede observar, el rendimiento de control del sistema de guiado mostrado en la FIG. 3a es excelente, manteniendo el control del cabeceo con la pendiente deseada en todo momento, sin aceleraciones angulares que provoquen vibraciones en el eje longitudinal del avión. Por otra parte, las actuaciones sobre el timón de profundidad son suaves, conllevando un desgaste mínimo del mismo.

50 50 Este rendimiento es significativamente superior al del controlador adaptativo predictivo mostrado en la FIG. 3b, donde el ángulo de cabeceo sobreoscila para alcanzar sus consignas, se producen sobreoscilaciones en la velocidad angular que provocan vibraciones en el eje longitudinal del avión y las actuaciones sobre el timón de profundidad son demasiado drásticas.

En consecuencia, los experimentos previos demuestran que aunque el controlador adaptativo predictivo por sí mismo puede alcanzar rendimientos de control excelentes para períodos de control mayores, con períodos de control en el rango utilizado para estos experimentos su rendimiento es significativamente superado por el sistema de guiado de la presente invención.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un método de guiado mediante control por derivada para generar una variable de control en cada uno de una pluralidad de instantes de control k , dicha variable de control será aplicada a un aparato que realiza un proceso con al menos una variable de entrada y al menos una variable de salida, dicho aparato variando una de dichas al menos una variable de entrada de acuerdo con el valor de dicha variable de control, dicho método guiando la variable de salida hacia una consigna de salida, dicho método caracterizado por incluir las siguientes etapas:
- 10 (A) Generar una variable derivada a partir de dicha variable de salida;
- 10 (B) Generar una trayectoria deseada futura para conducir dicha variable de salida hacia dicha consigna de salida con una dinámica deseada;
- 15 (C) Calcular a partir de dicha trayectoria deseada una consigna derivada para dicha variable derivada;
- 15 (D) Utilizar un controlador avanzado basado en modelo de dicha variable derivada para calcular dicha variable de control que conducirá dicha variable derivada a su consigna derivada y, como consecuencia, dicha variable de salida hacia dicha trayectoria deseada.
- 20 (E) Aplicar dicha variable de control de forma que dicho aparato varíe una de dichas al menos una variable de entrada de manera acorde.
- 25 2. Método de guiado mediante control por derivada según la reivindicación 1, caracterizado porque al menos una variable de entrada define un vector de entrada, al menos una variable de salida define un vector de salida, la variable de control es sustituida por un vector de control, la consigna de salida es sustituida por un vector de consigna de salida, la variable derivada es sustituida por un vector derivado y el controlador avanzado basado en modelo es sustituido por un controlador avanzado multivariable basado en modelo, generando cada una de las componentes del vector derivado a partir de cada una de las correspondientes componentes de dicho vector de salida de acuerdo con la etapa (A), calculándose para cada una de las componentes de dicho vector de salida una futura trayectoria deseada y para cada una de las componentes de dicho vector derivado una consigna derivada de acuerdo con las etapas (B) y (C), utilizando dicho controlador avanzado multivariable basado en modelo para calcular, a partir de las componentes del vector derivado y de sus correspondientes consignas derivadas, el vector de control de acuerdo con la etapa (D) y variando dicho aparato el vector de entrada teniendo en cuenta dicho vector de control de acuerdo con la etapa (E).
- 30 3. Método de guiado mediante control por derivada según la reivindicación 2, caracterizado porque las etapas (B) y (C) actualizan la trayectoria deseada para cada una de las componentes del vector de salida y la consigna derivada para cada una de las componentes del vector derivado en instantes de control separados por un período de actualización que es un múltiplo del período de control.
- 35 4. Método de guiado mediante control por derivada según la reivindicación 3, caracterizado porque la trayectoria deseada, para cada una de las componentes del vector de salida, queda determinada por un incremento de aproximación a la correspondiente consigna en el siguiente período de actualización cuando dicha componente del vector de salida se encuentra fuera de un entorno de su correspondiente componente del vector de consigna de salida, y el incremento de aproximación se reduce progresivamente cuando la componente del vector de salida se aproxima a su correspondiente componente del vector de consigna de salida dentro de dicho entorno.
- 40 5. Un sistema de guiado mediante control por derivada para controlar durante una pluralidad de instantes de control k un proceso que tiene al menos una variable de entrada y al menos una variable de salida, al menos una de dichas variable de entrada definiendo un vector de entrada, al menos una de dichas variable de salida definiendo un vector de salida, dicho sistema de guiado generando un vector de control para conducir dicho vector de salida hacia un vector de consigna de salida, caracterizado por comprender:
- 45 a. Un bloque de cálculo que responde al vector de salida generando un vector derivado.
- 45 b. Un bloque de guiado que responde: (i) a dicho vector de salida y a dicha vector de consigna de salida generando una trayectoria deseada para cada una de las componentes de dicho vector de salida, dicho conjunto de salidas deseadas conduciendo dicho vector de control hacia dicho vector de consigna de salida con la dinámica deseada, y (ii) a cada una de dichas trayectorias deseadas generando un valor de consigna para cada una de las correspondientes componentes de dicho vector derivado.
- 50 c. Un controlador avanzado multivariable basado en modelo que responde a dichas componentes del vector derivado y a sus correspondientes valores de consigna generando un vector de control que debe aplicarse en cada instante de control k variando dicho vector de entrada para conducir dichas componentes del vector derivado a sus respectivos valores de consigna y, como consecuencia, dichos componentes del vector de salida hacia sus correspondientes salidas deseadas.

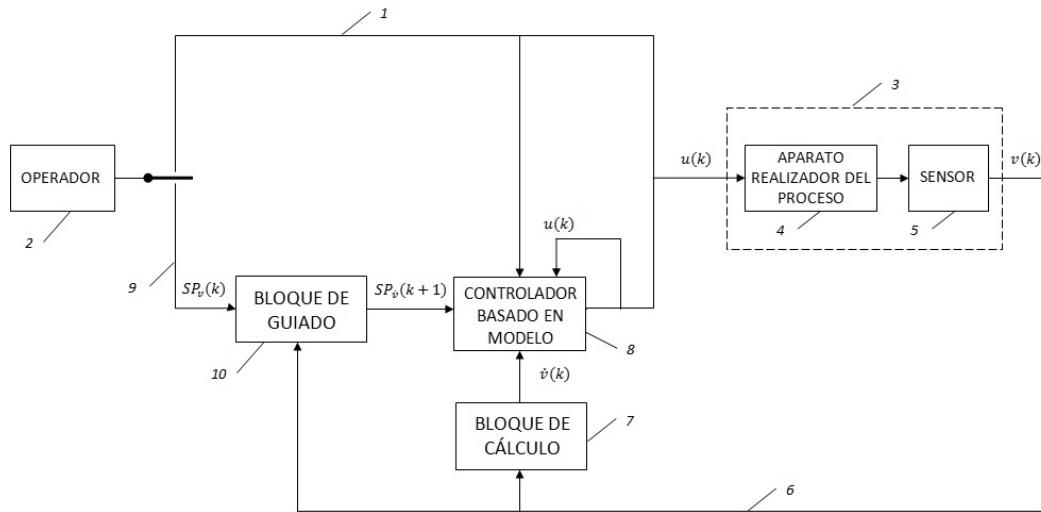


Fig. 1

ES 2 395 659 B1

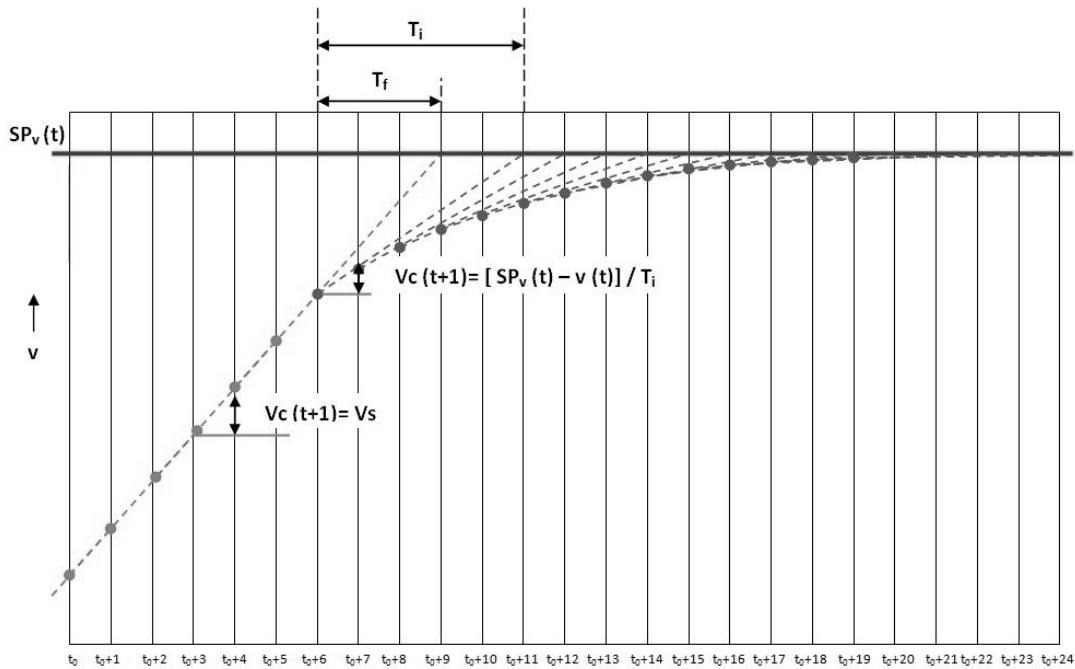
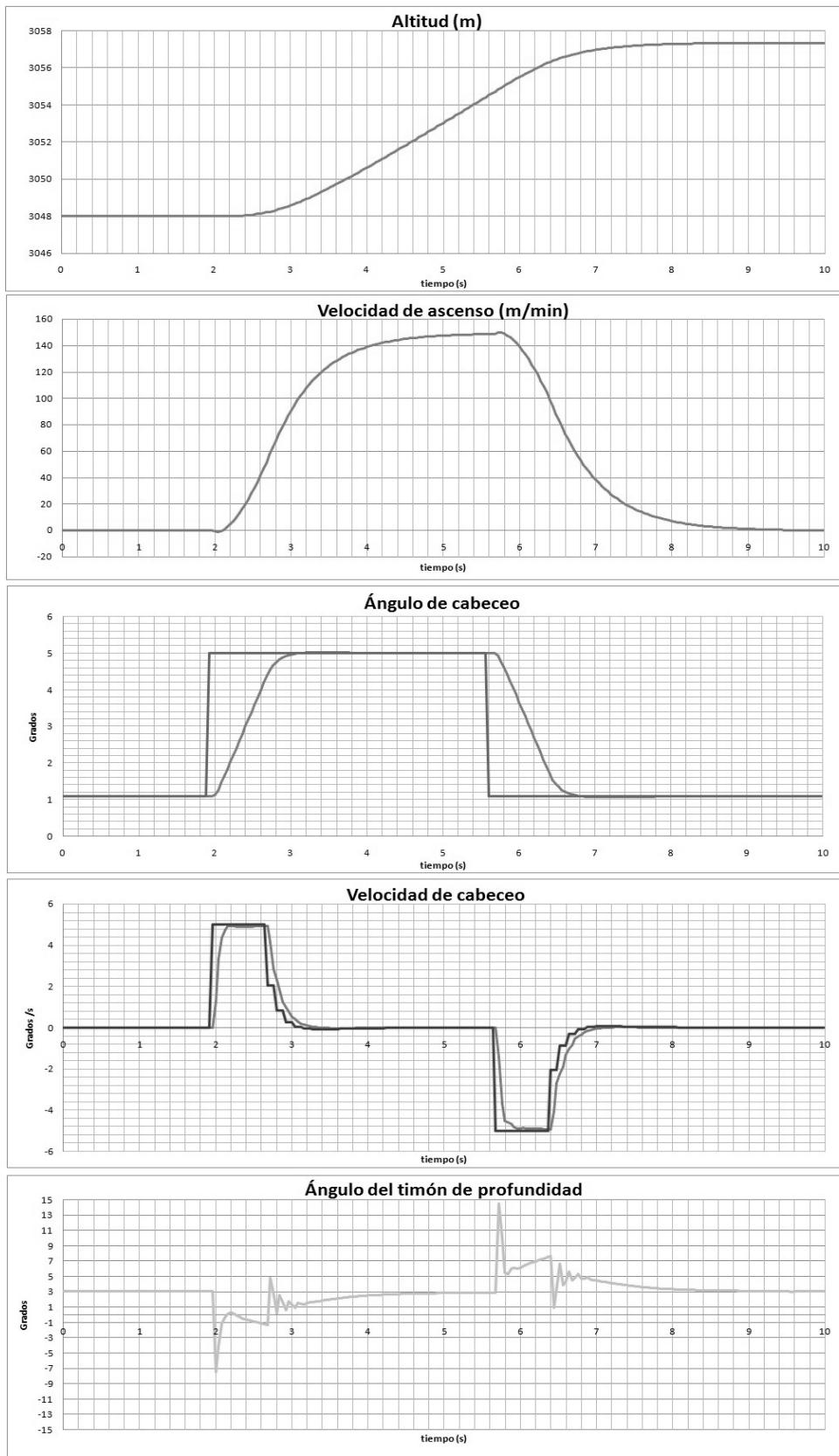
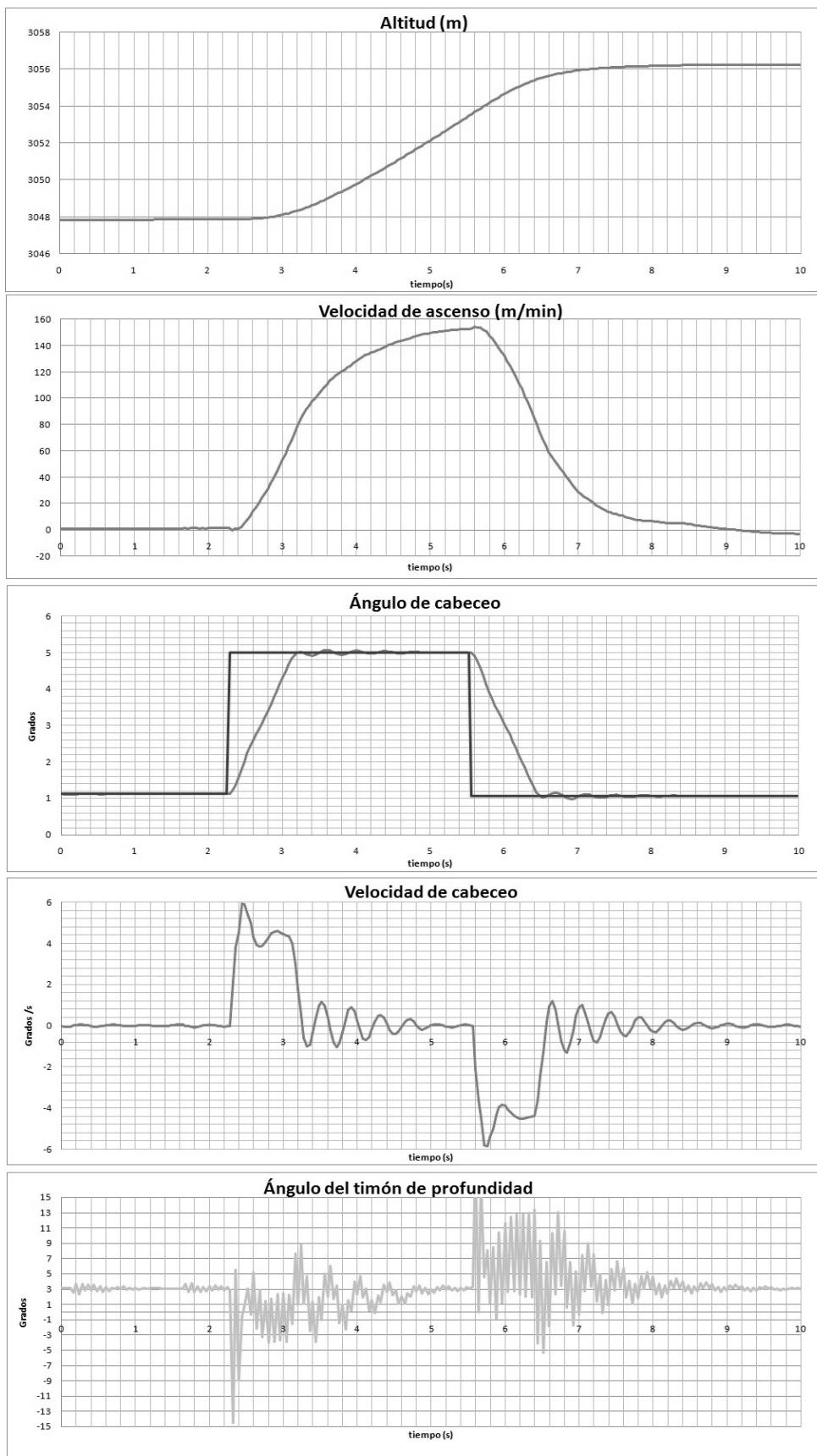


Fig. 2

ES 2 395 659 B1



ES 2 395 659 B1





OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA

(21) N.º solicitud: 201131113

(22) Fecha de presentación de la solicitud: 30.06.2011

(32) Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

(51) Int. Cl.: **G05B13/02** (2006.01)
G05B13/04 (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	56	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	MARTÍN SÁNCHEZ, J.M.; Implementation of an adaptive autopilot scheme for the F-8 aircraft using the adaptive-predictive control system; Conference Record of the Thirteenth Asilomar Conference on Circuits, Systems & Computers, 1979, páginas 606-609.		1,2,5
A	MARTÍNEZ, I.G.; HEMERLY, E.M.; Adaptive predictive control applied to a flight control system; XVIII Congreso Brasileño de Automática, 2010. [recuperado el 01.10.2012]. Recuperado de Internet: <URL: http://www.labplan.ufsc.br/congressos/CBA2010/Artigos/66159_1.pdf >		1,2,5
A	ES 460649 A1 (MARTIN SANCHEZ JUAN) 16.05.1978, página 2, línea 1 – página 3, línea 25; página 4, línea 11 – página 11, línea 16; figura 1.		1,2,5
A	ES 2206315 T3 (MARTIN SANCHEZ JUAN) 16.05.2004, página 5, línea 3 – página 12, línea 45; figuras.		1,2,5

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe 03.10.2012	Examinador M. J. Lloris Meseguer	Página 1/4
--	-------------------------------------	---------------

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

G05B

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI, INSPEC, INTERNET

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 03.10.2012

Declaración**Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)**

Reivindicaciones 1-5
Reivindicaciones

SI
NO

Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)

Reivindicaciones 1-5
Reivindicaciones

SI
NO

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

Base de la Opinión..-

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

1. Documentos considerados.-

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	MARTÍN SÁNCHEZ, J.M.; Implementation of an adaptive autopilot scheme for the F-8 aircraft using the adaptive-predictive control system; Conference Record of the Thirteenth Asilomar Conference on Circuits, Systems & Computers, 1979, páginas 606-609.	
D02	MARTÍNEZ, I.G.; HEMERLY, E.M.; Adaptive predictive control applied to a flight control system; XVIII Congreso Brasileño de Automática, 2010. [recuperado el 01.10.2012]. Recuperado de Internet: <URL: http://www.labplan.ufsc.br/congressos/CBA2010/Artigos/66159_1.pdf >	
D03	ES 460649 A1 (MARTIN SANCHEZ JUAN)	16.05.1978
D04	ES 2206315 T3 (MARTIN SANCHEZ JUAN)	16.05.2004

2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración

De todos los documentos recuperados del estado de la técnica, se considera que el documento D01 es uno de los más próximos a la solicitud que se analiza. A continuación se comparan las reivindicaciones de la solicitud con el documento D01.

Reivindicaciones independientes 1 y 5

El documento D01 describe un método y un sistema de control adaptativo predictivo para el control del ángulo de elevación de un avión mediante la posición del elevador.

Los sistemas de control adaptativos predictivos permiten aproximar el control de un sistema real, definido por un conjunto de variables, a una situación deseada, que es predicha para ese conjunto de variables. La parte predictiva emplea un modelo matemático del comportamiento del sistema real. La parte adaptativa trata de aproximarse mejor a la predicción del modelo predictivo mediante la lectura del conjunto de variables anteriores del sistema real, introduciéndolas como datos en el modelo matemático del modelo predictivo.

El documento D01 plantea el uso de un sistema de control adaptativo predictivo en condiciones de pequeñas perturbaciones del conjunto de variables a predecir. Sin embargo, no está adaptado a situaciones de mayor variabilidad en las perturbaciones, como son las turbulencias en el caso del documento D01.

Las reivindicaciones independientes 1 y 5 de la solicitud se diferencian del documento D01 en que indican que no se emplean únicamente los valores del sistema real en el momento actual para ser realimentados, sino que además, se realiza el cálculo sobre un conjunto de variables adicionales que son las derivadas matemáticas sobre el conjunto de variables del sistema real.

Una derivada matemática calcula las diferencias en las variaciones de una determinada magnitud, esas diferencias son menores que los valores obtenidos de esa magnitud.

La invención emplea las variables derivadas para calcular unas variables objetivo, en el espacio de las variables derivadas, que sufren menos perturbaciones que las magnitudes originales del sistema. De esta forma se trasladan las órdenes de control del sistema real a partir del valor de las variables derivadas y no de las variables físicas originales, dando lugar a unos comportamientos que se adaptan mejor en situaciones de mayor variabilidad de las magnitudes originales, dado que las variables derivadas tienen inherentemente menos oscilaciones que las magnitudes originales. Ninguno de los documentos citados en el Informe sobre el Estado de la Técnica, o cualquier combinación relevante de ellos, contempla esta posibilidad. Por lo tanto, las reivindicaciones 1 y 5 presentan novedad y actividad inventiva tal y como se establece en los Artículos 6.1 y 8.1 LP.

Reivindicaciones 2-4

Las reivindicaciones 2-4 dependen de la reivindicación 1 y, en consecuencia, también presentan novedad y actividad inventiva tal y como se establece en los Artículos 6.1 y 8.1 LP.