



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 360 912**

51 Int. Cl.:  
**B25J 9/16** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **08749382 .1**

96 Fecha de presentación : **07.05.2008**

97 Número de publicación de la solicitud: **2146825**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **27.01.2010**

54 Título: **Control de movimiento para estructuras de robots elásticas.**

30 Prioridad: **24.05.2007 DE 10 2007 024 143**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**10.06.2011**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**10.06.2011**

73 Titular/es: **DÜRR SYSTEMS GmbH**  
**Carl-Benz-Str. 34**  
**74321 Bietigheim-Bissingen, DE**

72 Inventor/es: **Häcker, Jens;**  
**Schoell, Björn y**  
**Meissner, Alexander**

74 Agente: **Curell Aguilá, Marcelino**

ES 2 360 912 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

Control de movimiento para estructuras de robots elásticas.

5 La presente invención se refiere a un procedimiento de control para un robot de varios ejes, en particular para un robot de pintado, según la reivindicación principal.

10 El documento DE 103 42 417 A1 da a conocer un control de robot para un robot de pintado de varios ejes que mueve un Tool Center Point (TCP) a lo largo de un recorrido de robot predeterminado. Este control de robot conocido puede tener en cuenta y compensar elasticidades mecánicas de los ejes de robot individuales, con el fin de mejorar la precisión de posicionamiento del robot de pintado. Para ello, se controlan los ejes de robot individuales del robot de pintado en cada caso mediante un regulador de eje, teniéndose en cuenta la elasticidad mecánica del robot de pintado gracias a que la desviación de regulación del regulador de eje de un eje de robot que cede relativamente actúa, en el marco de un acoplamiento que solapa los ejes, sobre un regulador de eje de un eje relativamente rígido.

15 Este control de robot conocido se ha demostrado ya como ventajoso, si bien es deseable, en especial en movimientos de robot altamente dinámicos, tener en cuenta aún mejor y compensar elasticidades mecánicas para aumentar la precisión de posicionamiento.

20 El documento US 2004/0093119 A1 da a conocer un control de robot que corrige errores de posicionamiento del robot condicionados por la fricción durante la regulación de accionamiento en los ejes de robot individuales, no siendo sin embargo modificado el recorrido de robot predeterminado. Esta precisión de posicionamiento del robot no es mejorada por ello en una medida suficiente mediante este control de robot, lo cual es válido en especial para un funcionamiento altamente dinámico del robot.

25 Cabe remitir además en el estado de la técnica al documento DE 10 2004 056 861 A1; "Proceedings of the 2005 IEEE Conference on Control Algorithms", Agosto 28-31, 2005, pp. 1170-1175; "Proceedings of IFAC Symposium on Robot Control", Septiembre 19-21, 1994, pp. 485-490; DE 698 29 559 T2; DE 10 2004 008 406 A1; "Proceedings of the 1992 IEEE Conference on Robotics and Automation", Mayo de 1992, pp. 1429-1435, "IEEE Transactions on Control Systems Technology", Vol. 12, Nº. 6; Noviembre de 2004, pp. 904-919, y EP 1 173 801 B1. También en este estado de la técnica la precisión de posicionamiento es también insatisfactoria.

30 Finalmente, se conoce por la publicación de Robert Lindsay Wells: "A Study of Path Errors Due to Servo Dynamics and Link Flexibilities in a Two-Coordinate Robotic Manipulator", Proceedings of the 1993 international conference on systems, man and cybernetics, Nueva York, IEEE, US, Tomo 17, páginas 705-709, un procedimiento de control para un robot según el preámbulo de la reivindicación principal. Este procedimiento de control conocido no tiene en cuenta, sin embargo, valores de momento de giro interiores ni exteriores.

35 La invención se plantea, por ello, el problema de proponer un sistema de control para un robot de varios ejes, el cual compensa de la mejor manera posible las elasticidades del robot para mejorar la precisión de posicionamiento del robot.

40 Este problema se resuelve mediante un procedimiento de control según la invención de acuerdo con la reivindicación principal.

45 La invención comprende la enseñanza técnica general de calcular valores de corrección de recorrido durante el control de un robot de varios brazos a lo largo de un recorrido de robot predeterminado, a tener en cuenta la elasticidad, la fricción y/o la inercia del robot, de manera que el control del robot corrija, con un recorrido de robot correspondientemente corregido, los errores de posición dinámicos (por ejemplo, sobreoscilación, deformación elástica de los brazos de robot).

50 En el marco del procedimiento de control según la invención, se predetermina para un punto de referencia del robot, como, por ejemplo, el denominado "Tool Center Point (TCP)", un recorrido de robot mediante varios puntos de recorrido, los cuales deben ser recorridos por el punto de referencia. Los puntos de recorrido individuales sobre el recorrido del robot son definidos en la presente memoria, preferentemente, mediante coordenadas espaciales, las cuales fijan la posición de los puntos de recorrido individuales en las tres direcciones del espacio. Por ejemplo, para el punto de recorrido se puede predeterminar un juego de coordenadas o un vector de posición con tres coordenadas, que indican la posición del punto de recorrido correspondiente en un sistema de coordenadas cartesiano tridimensional.

55 Las coordenadas espaciales de los puntos de recorrido individuales del recorrido de robot predeterminado son convertidas entonces, en el marco del procedimiento de control según la invención, de manera convencional según una cinemática de robot inversa, en coordenadas axiales correspondientes, reproduciendo las coordenadas axiales la posición de los ejes de robot individuales en los puntos de recorrido correspondientes. La conversión de las coordenadas espaciales según la cinemática de robot inversa en las coordenadas axiales correspondientes se

conoce en sí por el estado de la técnica y no tiene que ser por ello descrita con mayor detalle. Las coordenadas axiales convertidas de los puntos de recorrido individuales existen entonces preferentemente como vector de posición en el sistema de coordenadas axiales.

5 Las coordenadas axiales convertidas de los puntos de recorrido individuales sirven entonces para el control de reguladores referidos a los ejes para los ejes de robot individuales, lo cual es en sí conocido asimismo por el estado de la técnica como, por ejemplo, gracias a la solicitud de patente DE 103 42 471 A1 citada ya al principio.

10 Los reguladores referidos a los ejes para los ejes de robot individuales controlan entonces los motores de accionamiento en los ejes de robot individuales de tal manera que el punto de referencia (por ejemplo, el Tool Center Point) recorre, uno tras otro, los puntos de recorrido individuales en el recorrido de robot predeterminado.

15 La invención prevé, de manera adicional a las etapas del procedimiento convencionales descritos con anterioridad, que para los puntos de recorrido individuales sobre el recorrido de robot se calculen valores de corrección de recorrido según un modelo dinámico de robot, teniendo en cuenta los valores de corrección de recorrido la elasticidad, la fricción y/o la inercia del robot y haciendo posible con ello una compensación de los errores de posicionamiento dinámicos.

20 Los valores de corrección de recorrido sirven para el cálculo de coordenadas axiales corregidas para los puntos de recorrido individuales del recorrido de robot predeterminado. Preferentemente, los valores de corrección de recorrido se suman, para el cálculo de las coordenadas de eje corregidas, simplemente a las coordenadas axiales sin corregir de los puntos de recorrido correspondientes, de manera que los valores de corrección de recorrido forman un Offset.

25 Finalmente, se controlan entonces los reguladores referidos a los ejes individuales con las coordenadas axiales corregidas, con lo cual se compensan los errores de posicionamiento dinámicos.

30 En un ejemplo de forma de realización preferido de la invención, está previsto un modelo dinámico de robot para calcular las llamadas fuerzas interiores y momentos de giro interiores para las masas en movimiento del robot, teniendo lugar el cálculo preferentemente en tiempo real ("Online") según un modelo de cuerpo rígido.

35 En este caso, el procedimiento de control según la invención prevé preferentemente que a partir de las coordenadas axiales sin corregir de los puntos de recorrido individuales se calculen, según un modelo dinámico de robot, valores de momento de giro interiores, reproduciendo los valores de momento de giro interiores el momento de giro interior de los motores de accionamiento y de los ejes de robot correspondientes. Por ejemplo, los valores de momento de giro interiores calculados de esta manera pueden tener en cuenta una porción de fricción estática, una porción de fricción viscosas y/o una inercia de masas del tramo de accionamiento de los ejes de robot individuales, tal como se describirá todavía de forma detallada.

40 En este ejemplo de forma de realización de la invención, se calculan los valores de corrección de recorrido preferentemente a partir de los momentos de giro interiores y de los momentos de giro exteriores conocidos, teniéndose en cuenta preferentemente la elasticidad de los ejes de robot individuales, siendo considerados los ejes de robot individuales, en el caso más sencillo, como resortes de torsión elásticos de orden cero. Los valores de corrección de recorrido resultan entonces, en correspondencia con la relación lineal de una consta de resorte de torsión predeterminada y los momentos totales, como suma de los momentos de giro interiores y de los momentos de giro exteriores.

45 En el marco de la invención, los valores de momento de giro interiores puede contener un término de fricción  $M_{fric, stat}$  estático, el cual reproduce un fricción independiente de la velocidad, que actúa en la dirección de giro del motor de accionamiento correspondiente y que, por ejemplo, se puede calcular a partir del signo de la primera derivada temporal de las coordenadas axiales sin corregir de los puntos de recorrido y una constante de fricción estática predeterminada. El término de fricción  $M_{fric, stat}$  estático se puede calcular al mismo tiempo a partir de la siguiente fórmula a partir de la constante de fricción  $f_i^{sta}$  estática y de las coordenadas axiales  $q_i$  sin corregir, indicando el índice  $i$  el eje de robot correspondiente:

55 
$$M_{fric, stat, i} = f_i^{sta} \cdot sgn(\dot{q}_i).$$

60 Los valores de momento de giro interiores calculados en el marco del modelo dinámico de robot comprenden además preferentemente un término de fricción  $M_{fric, dyn}$  dinámico tratándose de un término dinámico, que actúa proporcionalmente a la velocidad de giro del motor de accionamiento correspondiente. Por ejemplo, el término de fricción dinámico se puede calcular de acuerdo con la fórmula siguiente a partir de una consta de fricción  $f_i^{vis}$  dinámica y de la primera derivada temporal  $\dot{q}_i$  de las coordenadas axiales sin corregir de los puntos de recorrido:

$$M_{fric, dyn, i} = f_i^{vis} \cdot \dot{q}_i$$

Finalmente, los valores de momento de giro interiores calculados en el marco del modelo dinámico de robot comprenden preferentemente también un término de inercia  $M_{inert}$ , el cual reproduce la inercia mecánica del tramo de accionamiento del eje de robot correspondiente y que es proporcional a la aceleración angular del motor de accionamiento correspondiente. El término de inercia  $M_{inert}$  se puede calcular, en este caso, a partir de la segunda derivada temporal  $\ddot{q}_i$  de las coordenadas axiales sin corregir de los puntos de recorrido y de una constante de inercia  $J_i$ , se acuerdo con la fórmula siguiente:

$$M_{inert} = J_i \cdot \ddot{q}_i .$$

En un ejemplo de forma de realización preferido de la invención, se tiene en cuenta la dependencia de la temperatura de los términos de fricción mencionados con anterioridad. Para ello se mide, en el marco del procedimiento de control según la invención, la temperatura del entorno, leyéndose los parámetros de modelo (por ejemplo, la constante de fricción estática, la constante de fricción dinámica y la constante de inercia) entonces, dependiendo de la temperatura medida, de una memoria de parámetros. Los valores de corrección de recorrido se calculan con los parámetros de modelo leídos del modelo dinámico de robot, es decir, teniendo en cuenta la temperatura actual. Esta adaptación a la temperatura de los parámetros de modelo del modelo dinámico de robot ofrece la ventaja de que se pueden tener en cuenta dependencias de la temperatura del comportamiento dinámico del robot en el marco del procedimiento de control según la invención.

Los parámetros "interiores"  $f_i^{sta}$ ,  $f_i^{vis}$  y  $J_i$  se determinan preferentemente de manera experimental para cada eje mediante un programa de desplazamiento especial del robot y mediante un procedimiento de optimización. Durante este desplazamiento, se leen al mismo tiempo los momentos del motor de los accionamientos que aparecen y, al mismo tiempo, se calculan los momentos del motor, los cuales resultan puramente a causa de las masas del robot. De la diferencia de momento resultante en cada caso se calculan, mediante un procedimiento "Least Squares", los parámetros interiores. El juego de parámetros determinado es válido para la temperatura actual del tramo motor/engranaje del eje correspondiente. La temperatura de funcionamiento del robot es subdividida en etapas discretas. El robot es calentado de forma sucesiva mediante el desplazamiento. Para alcanzar el nivel de temperatura en cada caso siguiente se lleva a cabo el procedimiento de identificación mencionado más arriba para la determinación de los parámetros  $f_i^{sta}$ ,  $f_i^{vis}$  y  $J_i$  y, al mismo tiempo, se almacena la temperatura correspondiente. De este modo se obtiene para cada eje, para cada etapa de temperatura, el juego de parámetros correspondiente. Durante el funcionamiento posterior se lee de manera cíclica para cada eje el valor de la temperatura actual y, a continuación, se ajusta online el juego de parámetros correspondiente.

De acuerdo con un cálculo de los momentos de giro interiores en correspondencia con el modelo dinámico de robot, descrito con anterioridad, se calculan los valores de corrección de recorrido entonces, como ya se ha mencionado anteriormente, a partir de valores de momentos de giro interiores y de los valores de momentos de giro exteriores conocidos, pudiendo tener lugar este cálculo, en el caso más sencillo, en correspondencia con una relación sencilla entre el momento de giro y el ángulo de giro, cuando se toma como base en cada caso un resorte de torsión elástico de orden cero como modelo para los ejes de robot individuales. Preferentemente se calculan los valores de corrección de recorrido sin embargo mediante un elemento P, un elemento PT1 y/o un elemento PT2 a partir de los valores de momento de giro interiores, lo que hace posible una modelización óptima.

En un ejemplo de forma de realización preferido de la invención, se filtran las coordenadas axiales, corregidas con los valores de corrección de recorrido, de los puntos de recorrido individuales antes del control del regulador referido al eje, con el fin de suavizar las coordenadas axiales. Durante este filtrado se puede formar por ejemplo un valor medio o un valor medio ponderado. Además, el filtrado puede tener lugar mediante un filtro que aumenta la fase o mediante un filtro FIR (FIR: Finite Impulse Response). Otros posibles tipos de filtro el filtrado de las coordenadas de eje corregidas antes del control del regulador referido al eje son filtros pasabanda y filtros pasa bajo.

Además, cabe mencionar que la invención no está limitada al procedimiento de control descrito anteriormente, sino que comprende en referencia al hardware también el control de robot, que es adecuado para la realización de este procedimiento de control y que está dispuesto correspondientemente.

Finalmente, la invención comprende también un robot de varios ejes, en particular un robot de pintado, el cual es controlado por un control de robot de este tipo en correspondencia con el procedimiento de control según la invención.

Otros perfeccionamientos de la invención están caracterizados en las reivindicaciones subordinadas o son explicados con mayor detalle a continuación, a partir de las figuras, junto con la descripción del ejemplo de forma de realización preferido de la invención, en el que:

la figura 1 muestra una representación esquemática de un control de robot según la invención para el control de un robot de pintado de varios ejes,

las figuras 2A y 2B muestran el procedimiento de control según la invención en forma de un diagrama de flujo,

la figura 3 muestra la unidad de cálculo del control de robot de la figura 1 para el cálculo de los valores de corrección del recorrido a partir de los valores de momento de giro internos,

5 la figura 4 muestra un diagrama para el cálculo de la fricción interna dependiendo de la derivación temporal de las coordenadas axiales,

la figura 5 muestra una representación esquemática para la determinación de los parámetros de modelo del modelo dinámico del robot en el marco de un proceso de calibración,

10 la figura 6 muestra una modificación de la representación de la figura 5, en la cual los parámetros de modelo se calculan de otra manera así como,

15 la figura 7 muestra una modificación de la representación de la figura 5, en la cual un eje de robot es frenado fuertemente para la determinación de los parámetros de modelo del modelo dinámico de robot.

El dibujo de la figura 1 muestra una representación esquemática, simplificada, de un control de robot según la invención para el control de un robot de pintado de varios ejes.

20 Al mismo tiempo, los ejes de robot individuales son accionados mediante unos motores de accionamiento 1, lo cual es conocido en sí gracias a la solicitud de patente DE 103 42 471 A1 mencionada al principio.

25 Los motores de accionamiento 1 en los ejes de robot individuales son accionados, al mismo tiempo, en cada caso por un regulador de eje 2 para los ejes de robot individuales con un valor de la corriente  $I$  predeterminado, caracterizando los valores subrayados, en este caso y a continuación, en cada caso vectores, los cuales contienen en cada caso una componente para los ejes de robot individuales.

30 Además, el control de robot según la invención presenta un interpolador de recorrido 3, el cual recibe como magnitud de entrada un recorrido de robot predeterminado mediante varios puntos de recorrido, debiendo ser recorridos los puntos de recorrido individuales por el Tool Center Point (TCP) del robot de pintado y siendo definido, en cada caso, mediante un vector de posición tridimensional, reproduciendo las componentes individuales del vector de posición las coordenadas espaciales de los puntos de recorrido en un sistema de coordenadas cartesiano tridimensional.

35 El interpolador de recorrido 3 convierte entonces las coordenadas espaciales de los puntos de recorrido individuales del recorrido de robot predeterminado, según una cinemática de robot inversa predeterminada, en coordenadas axiales, las cuales reproducen la posición de los ejes de robot individuales del robot de pintado en los puntos de recorrido correspondientes del recorrido de robot predeterminado. El interpolador de recorrido emite por lo tanto un vector de posición  $\underline{\theta}$  de varias dimensiones, correspondiendo el número de dimensiones del vector de posición  $\underline{\theta}$  al número de ejes del robot, de manera que las componentes  $q_i$  individuales del vector de posición  $\underline{\theta}$  reproducen las posiciones de los ejes de robot individuales del robot de pintado en los puntos de recorrido correspondientes.

40 El vector de posición  $\underline{\theta}$  es suministrado entonces a una unidad de cálculo 4, la cual calcula la primera derivada temporal  $d\underline{\theta}/dt$  y la segunda derivada temporal  $d^2\underline{\theta}/dt^2$  del vector de posición  $\underline{\theta}$ , es decir la velocidad y la aceleración en el sistema de coordenadas axiales.

45 Además, el control del robot presenta un modelo dinámico de robot 5 realizado en software el cual calcula, a partir del vector de posición  $\underline{\theta}$  referido a los ejes, la primera derivada temporal  $d\underline{\theta}/dt$  y la segunda derivada temporal  $d^2\underline{\theta}/dt^2$  del vector de posición  $\underline{\theta}$ , un vector de momentos  $\underline{M}$ , el cual consta de la suma del momento de giro exterior  $M_{\text{AUSSEN}}$  y del momento de giro interior  $M_{\text{INNEN}}$ , teniendo en cuenta el momento de giro interior  $M_{\text{INNEN}}$  la fricción y la inercia en los ejes de robot individuales y siendo calculado de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$M_{\text{INNEN},i} = f_i^{\text{sta}} \cdot \text{sgn}(\dot{q}_i) + f_i^{\text{vis}} \cdot \dot{q}_i + J_i \cdot \ddot{q}_i$$

55 El vector de momentos  $\underline{M} = \underline{M}_{\text{INNEN}} + \underline{M}_{\text{AUSSEN}}$  es suministrado entonces a una unidad de cálculo 6 la cual calcula, a partir del vector de momentos  $\underline{M}$ , un vector de corrección de recorrido  $\Delta\underline{\theta}$ , el cual es utilizado a continuación para la corrección del recorrido, como se describirá todavía de forma detallada. El vector de corrección de recorrido  $\Delta\underline{\theta}$  es calculado al mismo tiempo, de acuerdo con la siguiente fórmula, a partir del vector de momentos  $\underline{M}$ :

$$\Delta\theta_i(s) = \frac{M_i}{s^2 \cdot \theta + s \cdot D + K}$$

60 El vector de posición  $\underline{\theta}$  sin corregir es suministrado entonces, junto con el vector de corrección de recorrido  $\Delta\underline{\theta}$ , a un sumador 7, el cual calcula un vector de posición  $\underline{\theta}_{\text{KORR}}$  corregido, compensado el vector de posición  $\underline{\theta}_{\text{KORR}}$  corregido desviaciones del recorrido dinámicas durante el control del robot.

- 5 El vector de posición  $\underline{\theta}_{KORR}$  corregido es suministrado entonces a un filtro 8, el cual filtra el vector de posición  $\underline{\theta}_{KORR}$ , para suavizar el vector de posición  $\underline{\theta}_{KORR}$ . El filtro 8 emite por lo tanto un vector de posición  $\underline{\theta}^*_{KORR}$  suavizado, siendo suministradas las componentes individuales del vector de posición  $\underline{\theta}^*_{KORR}$  corregido y suavizado a los reguladores de eje 2 individuales para los ejes de robot individuales.
- El diagrama de flujo de las figuras 2A y 2B explica el procedimiento de funcionamiento del control de robot descrito con anterioridad.
- 10 En una primera etapa S1, se predetermina para un interpolador de recorrido 3 una curva de recorrido a partir de varios puntos de recorrido, que deben ser recorridos uno tras otro por el Tool Center Point (TCP) del robot de pintado, estando definidos los puntos de recorrido individuales de la curva de recorrido predeterminada mediante coordenadas espaciales cartesianas.
- 15 Las coordenadas espaciales de los puntos de recorrido individuales son convertidas entonces por el interpolador de recorrido 3 en una etapa S2 en coordenadas axiales  $\underline{\theta}$  correspondientes, reproduciendo las coordenadas axiales la posición de los ejes de robot individuales en los puntos de recorrido individuales.
- 20 En otra etapa S3, la unidad de cálculo 4 calcula la primera derivada temporal  $d\underline{\theta}/dt$  y la segunda derivada temporal  $d^2\underline{\theta}/dt^2$  del vector de posición  $\underline{\theta}$  en las coordenadas axiales.
- Además, se mide, en una etapa S4, la temperatura del entorno T, dado que el modelo dinámico de robot 5 depende de la temperatura, como se describirá todavía de forma detallada.
- 25 La etapa S5 prevé entonces que, dependiendo de la temperatura del entorno T medida con anterioridad, se lean parámetros de modelo del modelo dinámico de robot 5 de una memoria de parámetros, tratándose en el caso de los parámetros de modelo de una constante de fricción estática  $f_i^{sta}$ , una constante de fricción dinámica  $f_i^{vis}$  y una constante de inercia  $J_i$ .
- 30 En una etapa S6, se calcula en el modelo dinámico de robot 5 el momento total  $\underline{M}$  como suma del momento interior  $\underline{M}_{INNEN}$  y del momento exterior  $\underline{M}_{AUSSEN}$ , con el fin de tener en cuenta la fricción y la inercia del robot.
- La etapa S7 prevé entonces que el momento total  $\underline{M}$ , calculado en correspondencia con el modelo dinámico de robot, sea convertido, en correspondencia con la elasticidad de los ejes de robot, en valores de corrección de recorrido  $\Delta\underline{\theta}$  correspondientes para los puntos de recorrido individuales, en las coordenadas axiales.
- 35 En la etapa S8, se calculan entonces las coordenadas axiales corregidas  $\underline{\theta}_{KORR}$  de los puntos de recorrido individuales gracias a que el sumador 7 suma los valores de corrección de recorrido  $\Delta\underline{\theta}$  a las coordenadas axiales  $\underline{\theta}$  sin corregir.
- 40 La etapa S9 prevé además que las coordenadas axiales  $\underline{\theta}_{KORR}$  corregidas sean filtradas por el filtro 8 con propósitos de suavización.
- Además, en la etapa S10 tiene lugar un control de los reguladores de eje 2 individuales con las coordenadas axiales  $\underline{\theta}^*_{KORR}$  corregidas y filtradas.
- 45 Finalmente, tiene lugar entonces, en la etapa S11, una regulación de los motores de accionamiento 1 individuales, en los ejes individuales, mediante reguladores de eje 2.
- 50 La figura 3 muestra un ejemplo de forma de realización para la unidad de cálculo 6 de la figura 1, la cual calcula el vector de corrección de recorrido  $\Delta\underline{\theta}$  a partir del vector de momentos  $\underline{M}$ . En este ejemplo de realización la unidad de cálculo 6 consta de un elemento P 9, un elemento PT1 10, un elemento PT2 11 y un sumador 12, aceptando el elemento P 9, el elemento PT1 10 y el elemento PT2 11, por el lado de entrada, el vector de momentos  $\underline{M}$  y estando conectados, por el lado de salida, con el sumador 12, el cual suma las señales de salida del elemento P 9, del elemento PT1 10 y del elemento PT2 11, con el fin de calcular el vector de corrección de recorrido  $\Delta\underline{\theta}$ .
- 55 El elemento P es en sí conocido por el estado de la técnica y se designa también como miembro P. El elemento P 9 presenta, por lo tanto, un comportamiento de transmisión proporcional.
- 60 El elemento PT1 10 es en sí conocido también por el estado de la técnica y presenta un comportamiento de transmisión proporcional con un retardo de primer orden.
- Finalmente, el elemento PT2 11 es en sí también conocido por el estado de la técnica y tiene un comportamiento de transmisión proporcional con un retardo de segundo orden.
- 65

Las componentes  $\Delta\theta_j$  individuales del vector de corrección de recorrido  $\Delta\theta$  son calculadas por lo tanto por la unidad de cálculo 6 de acuerdo con la siguiente función de transmisión:

$$\Delta\theta_i(s) = \frac{M_i}{s^2 \cdot \theta + s \cdot D + K} .$$

5

La figura 4 muestra un diagrama para el cálculo del momento interior  $M_{fri}$  dependiendo de la primera derivada temporal  $\dot{q}$  de las coordenadas axiales. De ello, se desprende que el momento de fricción  $M_{fri}$  es tratado por separado en una zona muerta alrededor del punto cero, siendo interpolados los valores del momento de fricción  $M_{fric}$  de manera lineal entre el principio y el final de la zona muerta.

10

La figura 5 muestra una representación simplificada para el cálculo de los parámetros de modelo mencionados con anterioridad del modelo dinámico de robot. En este caso, está representado, a título de ejemplo, únicamente un eje de robot 13 con el efector final 14 y una conexión de engranaje 15.

15

La conexión de engranaje 15 puede ser excitada, mediante un motor de accionamiento, a través de una unidad de excitación 16, de forma transitoria, periódica o estocástica.

20

En el efector final 14, mide entonces una unidad de medición 17 la desviación y se transmite a una unidad de evaluación 18, sometiendo la unidad de evaluación 18 la desviación medida del efector final a un análisis de Fourier o a un análisis de correlación para calcular el comportamiento mecánico de transmisión del eje de robot 13.

25

Una particularidad de este ejemplo de forma de realización consiste en que la unidad de medición 17 está conectada, por el lado de salida, con una unidad de valoración 19, la cual compara la desviación medida con un criterio de calidad y adapta correspondientemente un planteamiento de corrección en un unidad de corrección 20. La unidad de corrección 20 está conectada asimismo con un modelo de cálculo 21, el cual influye sobre el criterio de calidad en la unidad de valoración 19.

30

Finalmente, la figura 7 muestra una modificación de la figura 5, haciendo aquí el efector final 14 frenado fuertemente. La unidad de excitación 16 continua girando el motor de accionamiento al mismo tiempo paso a paso y mide al mismo tiempo el momento de giro en el motor de accionamiento para calcular, a partir de ello, la rigidez de resorte del eje 13.

35

La invención no está limitada al ejemplo de forma de realización preferido descrito anteriormente. Más bien, es posible un gran número de variantes y modificaciones, que hacen uso de la idea de la invención y que por ello están comprendidas en el ámbito de protección.

40

#### Lista de signos de referencia

1	motores de accionamiento
2	regulador de eje
3	interpolador de recorrido
45	4 unidad de cálculo
	5 modelo de robot
	6 unidad de cálculo
	7 sumador
	8 filtro
50	9 elemento P
	10 elemento PT1
	11 elemento PT2
	12 sumador
	13 eje de robot
55	14 efector final
	15 conexión de engranaje
	16 unidad de excitación
	17 unidad de medición
	18 unidad de evaluación
60	19 unidad de valoración
	20 unidad de corrección
	21 modelo de cálculo

## REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de control para un robot de varios ejes, en particular para un robot de pintado, con las etapas siguientes:

- 5
- a) predeterminar (S1) un recorrido de robot mediante varios puntos del recorrido, los cuales deben ser recorridos por un punto de referencia del robot, estando definidos los puntos de recorrido individuales por unas coordenadas espaciales,
- 10
- b) convertir (S2) las coordenadas espaciales de los puntos de recorrido individuales, de acuerdo con una cinemática de robot inversa, en coordenadas axiales ( $\underline{\theta}$ ) correspondientes, reproduciendo las coordenadas axiales ( $\underline{\theta}$ ) la posición de los ejes de robot individuales en los puntos de recorrido correspondientes,
- 15
- c) controlar (S10) unos reguladores (2) referidos a los ejes para los ejes de robot individuales en correspondencia con las coordenadas axiales ( $\underline{\theta}$ ) convertidas,
- d) controlar (S11) unos motores de accionamiento (1) referidos a los ejes en los ejes de robot individuales mediante los reguladores (2) referidos a los ejes correspondientes,
- 20
- e) calcular (S3-S7) unos valores de corrección de recorrido ( $\Delta\underline{\theta}$ ) para los puntos de recorrido individuales sobre el recorrido del robot según un modelo de robot (5) dinámico, teniendo en cuenta los valores de corrección de recorrido ( $\Delta\underline{\theta}$ ) la elasticidad y/o la fricción y/o la inercia del robot,
- 25
- f) calcular (S8) unas coordenadas axiales ( $\Delta\underline{\theta}_{\text{KORR}}$ ) corregidas para los puntos de recorrido individuales a partir de las coordenadas de eje ( $\underline{\theta}$ ) sin corregir de los puntos de recorrido individuales y de los valores de corrección de recorrido ( $\Delta\underline{\theta}$ ), y

g) controlar (S10) el regulador (2) referido a los ejes con las coordenadas de eje ( $\Delta\underline{\theta}_{\text{KORR}}$ ) corregidas,

30 caracterizado porque presenta las etapas siguientes:

h) calcular (S6) unos valores de momento de giro ( $\underline{M}_{\text{INNEN}}$ ) interiores y/o unos valores de momento de giro ( $\underline{M}_{\text{AUSSSEN}}$ ) exteriores a partir de las coordenadas de eje ( $\underline{\theta}$ ) sin corregir de los puntos de recorrido según un modelo dinámico de robot (5),

35 h1) reproduciendo los valores de momento de giro ( $\underline{M}_{\text{INNEN}}$ ) el momento de giro interior de los motores de accionamiento (1) de los ejes de robot correspondientes,

40 h2) mientras que los valores de momento de giro ( $\underline{M}_{\text{INNEN}}$ ) interiores contienen un término de fricción estático, un término de fricción dinámico y/o un término de inercia,

i) calcular (S7) unos valores de corrección de recorrido ( $\Delta\underline{\theta}$ ) a partir de los valores de momento de giro ( $\underline{M}_{\text{INNEN}}$ ) interiores y de los valores de momento de giro ( $\underline{M}_{\text{AUSSSEN}}$ ) exteriores.

45 2. Procedimiento de control según la reivindicación 1, caracterizado porque los valores de momento de giro ( $\underline{M}_{\text{INNEN}}$ ,  $\underline{M}_{\text{INNEN}, i}$ ) internos contienen las partes siguientes:

50 a) el término de fricción estático, el cual se calcula a partir del signo de la primera derivada temporal ( $\dot{\underline{q}}_i$ ) de las coordenadas axiales ( $\underline{\theta}$ ) sin corregir de los puntos de recorrido y una constante de fricción estática ( $f_i^{\text{sta}}$ ), y/o

b) el término de fricción dinámico, el cual se calcula a partir de la primera derivada temporal ( $\dot{\underline{q}}_i$ ) de las coordenadas axiales ( $\underline{\theta}$ ) sin corregir de los puntos de recorrido y una constante de fricción dinámica ( $f_i^{\text{vis}}$ ), y/o

55 c) el término de inercia, el cual se calcula a partir de la segunda derivada temporal ( $\ddot{\underline{q}}_i$ ) de las coordenadas axiales ( $\underline{\theta}$ ) sin corregir de los puntos de recorrido y una constante de inercia ( $J_i$ ).

3. Procedimiento de control según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque presenta las etapas siguientes:

60 a) medir (S4) una temperatura del entorno (T),

b) leer (S5) unos parámetros de modelo ( $f_i^{\text{sta}}$ ,  $f_i^{\text{vis}}$ ,  $J_i$ ) del modelo dinámico de robot, en correspondencia con la temperatura del entorno (T) medida, desde una memoria de parámetros,

65 c) calcular (S7) los valores de corrección de recorrido ( $\Delta\underline{\theta}$ ) con los parámetros de modelo ( $f_i^{\text{sta}}$ ,  $f_i^{\text{vis}}$ ,  $J_i$ ) del modelo

dinámico de robot leídos.

- 5 4. Procedimiento de control según la reivindicación 2 y la reivindicación 3, caracterizado porque los parámetros de modelo leídos dependiendo de la temperatura comprenden las magnitudes siguientes:
- a) la constante estática de fricción ( $f_i^{sta}$ ) y/o
  - b) la constante dinámica de fricción ( $f_i^{vis}$ ) y/o
  - c) la constante de inercia ( $J_i$ ).
- 10 5. Procedimiento de control según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque los valores de corrección de recorrido ( $\Delta\theta$ ) se calculan a partir de los valores de momento de giro ( $M_{INNEN}$ ) interiores y/o de los valores de momento de giro ( $M_{AUSSSEN}$ ) exteriores mediante
- a) un miembro P (9), y/o
  - 15 b) un miembro PT1 (10), y/o
  - c) un miembro PT2 (11).
- 20 6. Procedimiento de control según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque los valores de corrección de recorrido ( $\Delta\theta$ ) se calculan, teniendo en cuenta la elasticidad de los ejes de robot, a partir de los valores de momento de giro ( $M_{INNEN}$ ) interiores y/o de los valores de momento de giro ( $M_{AUSSSEN}$ ) exteriores.
- 25 7. Procedimiento de control según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque presenta la etapa siguiente:
- filtrar (S9) las coordenadas de eje ( $\Delta\theta_{KORR}$ ) corregidas de los puntos de recorrido antes del control de los reguladores (2) referidos a los ejes para el suavizado de la corrección.
- 30 8. Procedimiento de control según la reivindicación 7, caracterizado porque las coordenadas axiales ( $\Delta\theta_{KORR}$ ) corregidas son filtradas mediante el siguiente tipo de filtro:
- a) filtro de valores medios,
  - b) filtro de valores medios, que determina un valor medio ponderado,
  - c) filtro que aumenta la fase,
  - d) filtro FIR,
  - 35 e) filtro pasabanda y/o,
  - f) filtro pasa baja.
- 40 9. Procedimiento de control según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque los valores de corrección de recorrido ( $\Delta\theta$ ) son sumados durante la corrección a las coordenadas axiales ( $\theta$ ) sin corregir de los puntos de recorrido.
10. Control de robot, que está instalado para la realización de un procedimiento de control según una de las reivindicaciones anteriores.
- 45 11. Robot, en particular robot de pintado, con un control de robot según la reivindicación 10.

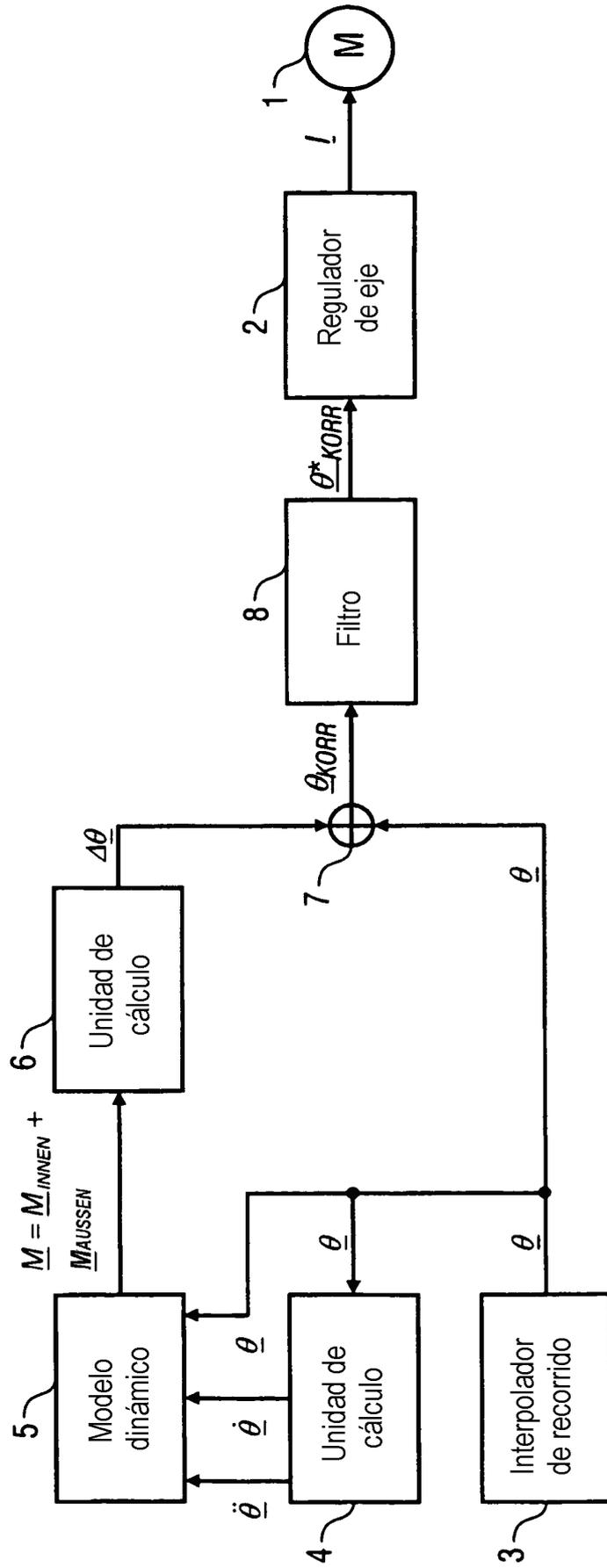


Fig. 1

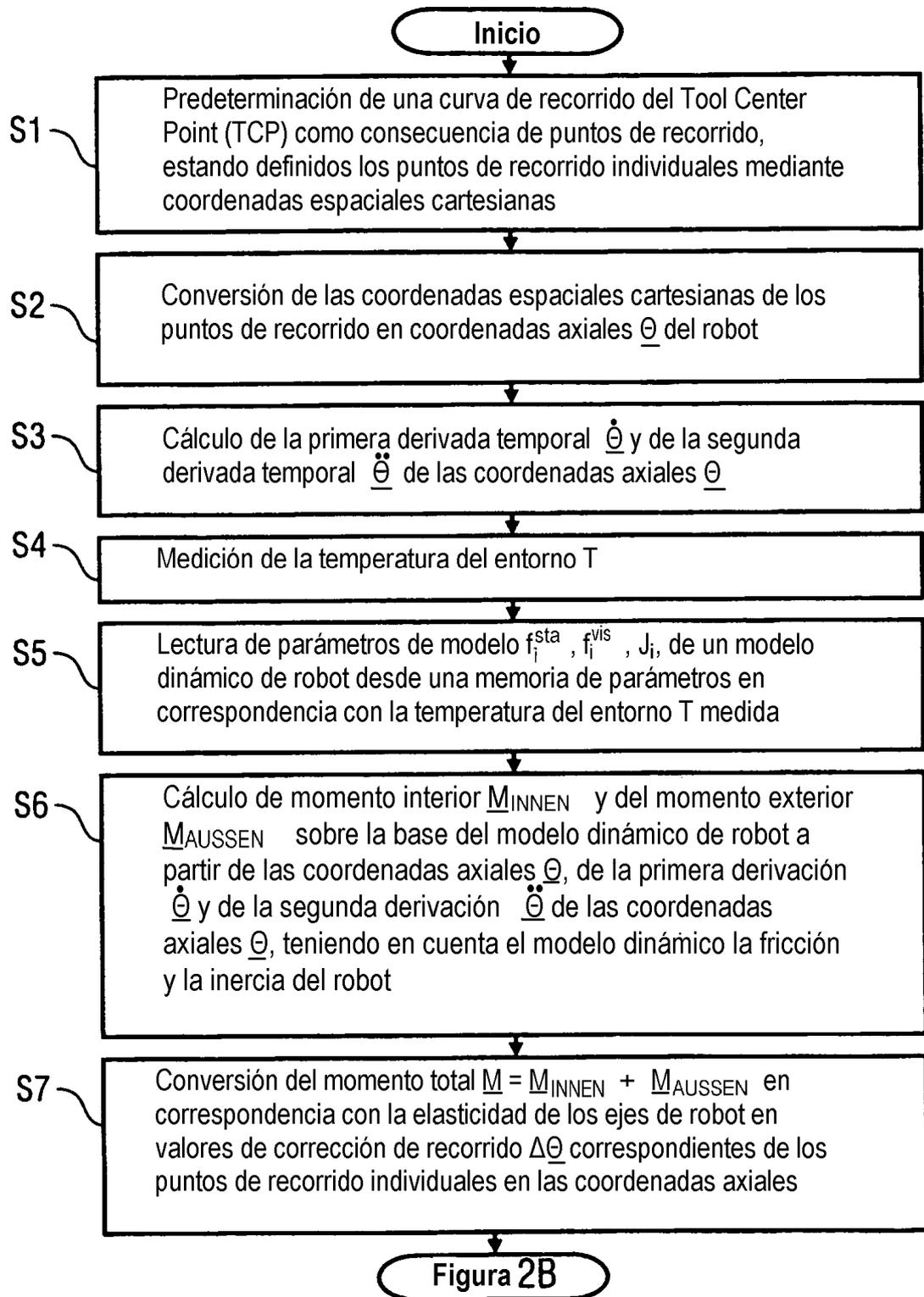


Fig. 2A

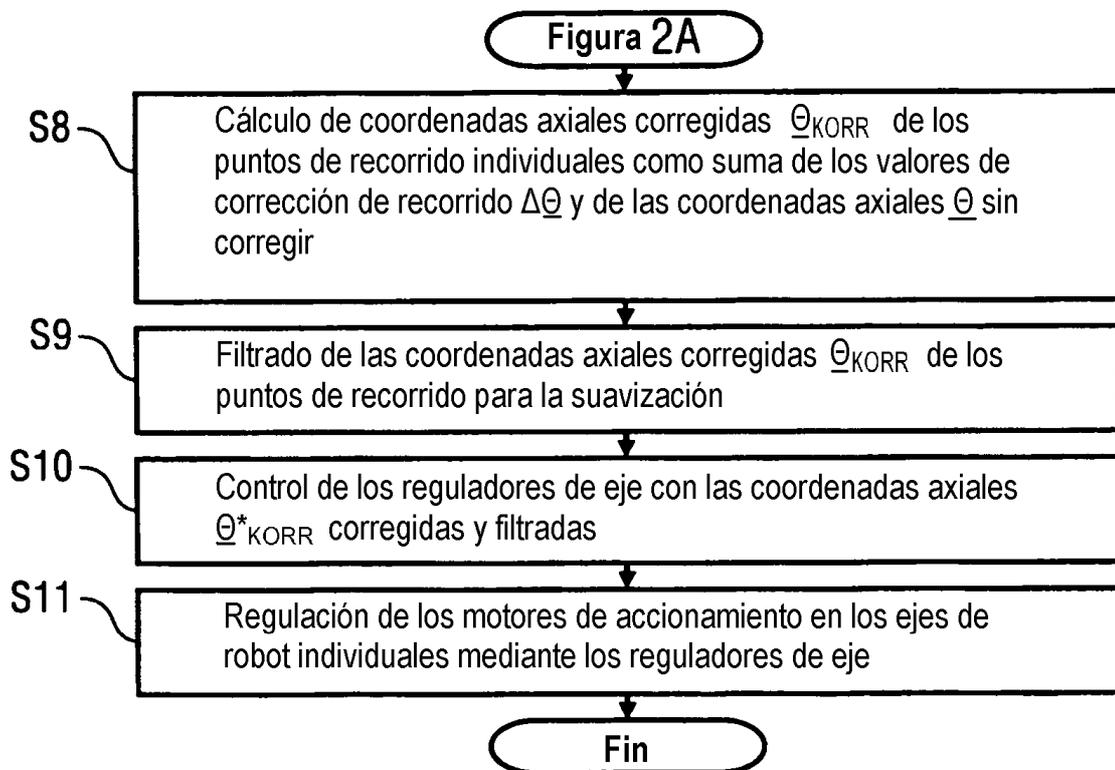


Fig. 2B

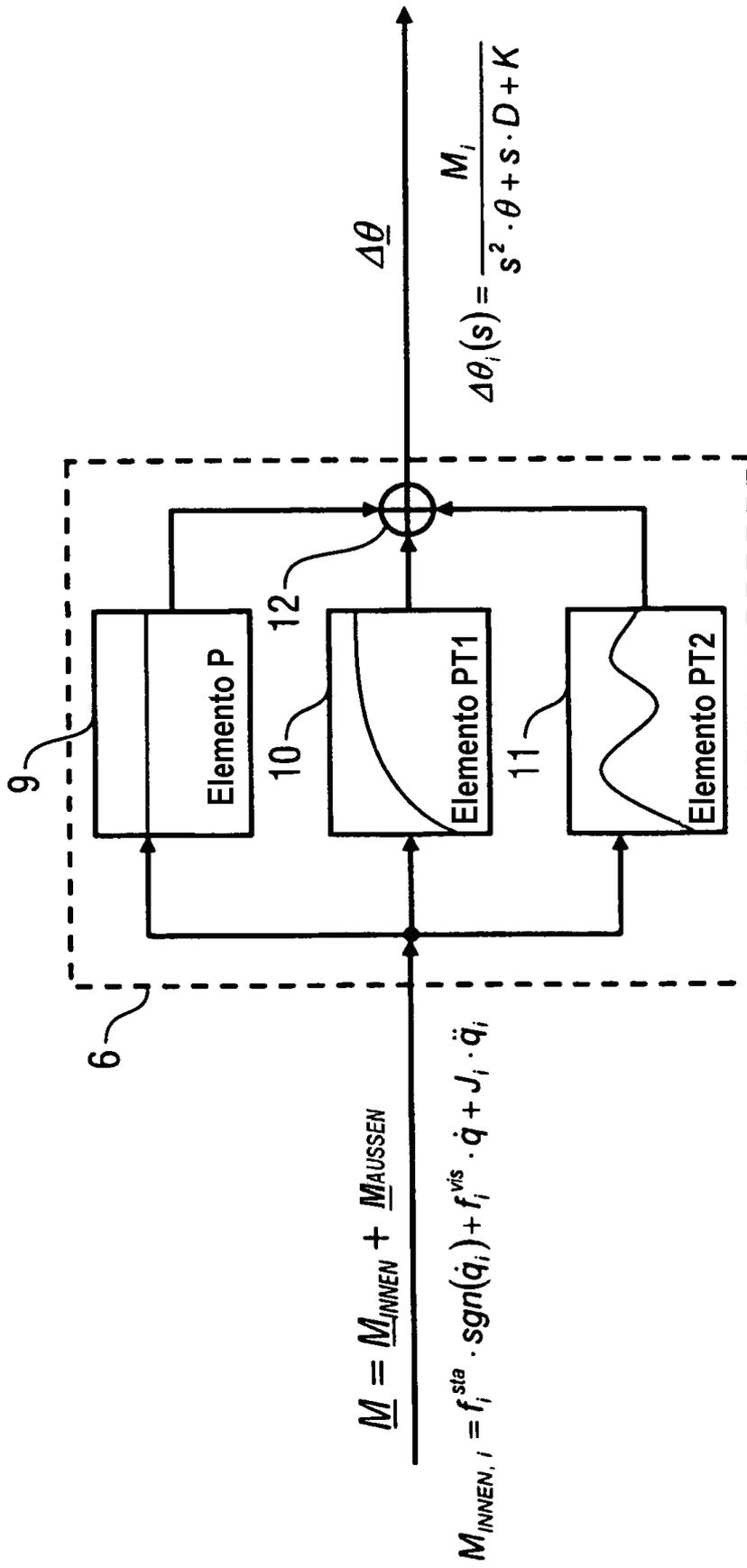


Fig. 3

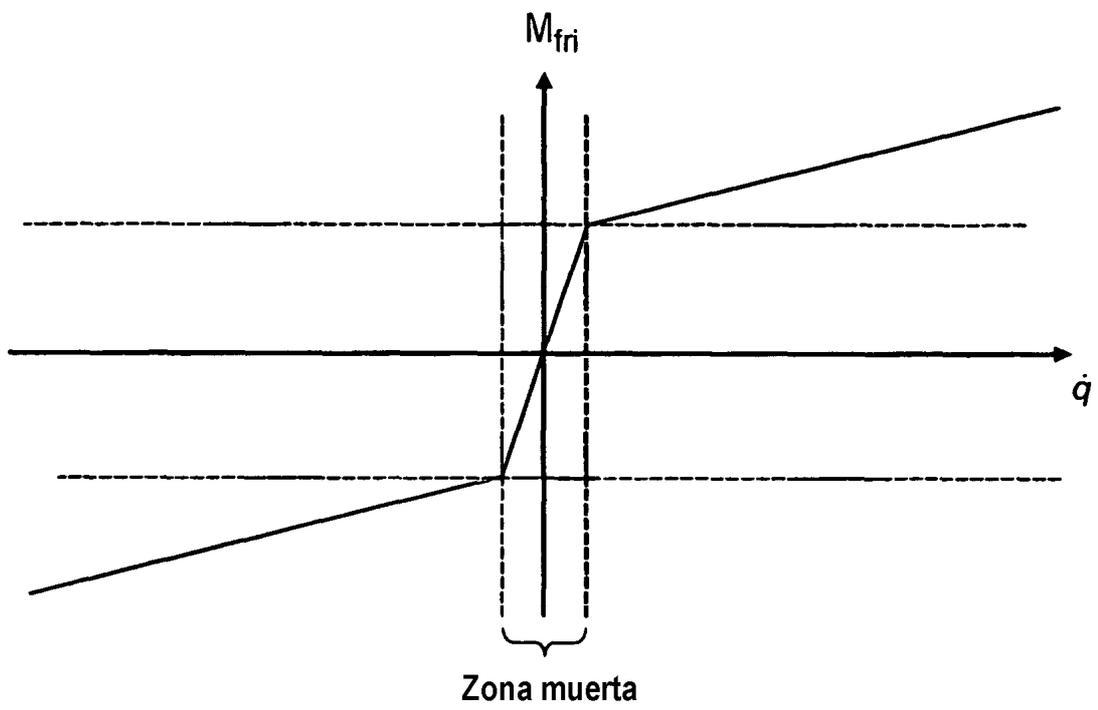


Fig. 4

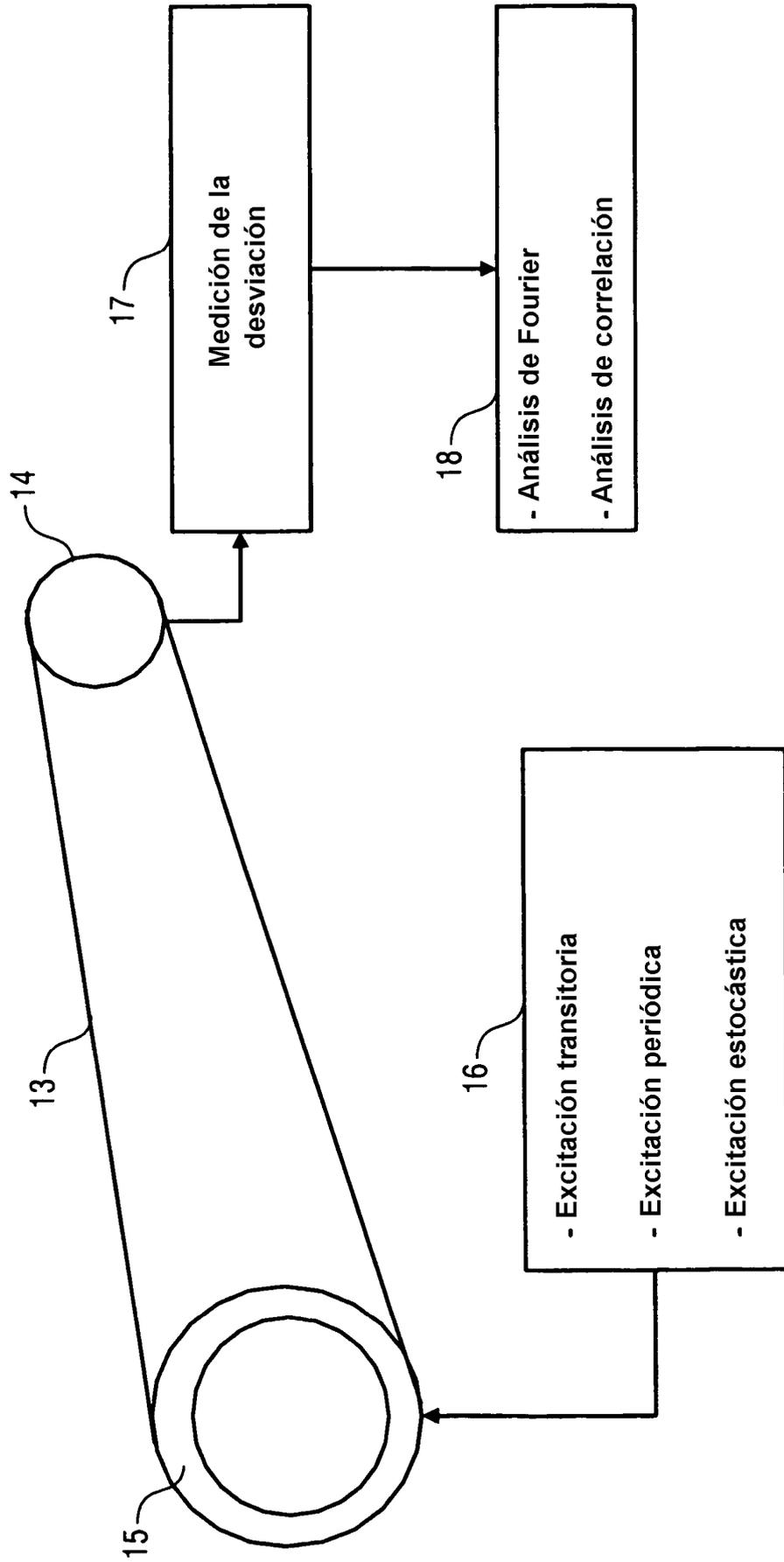


Fig. 5

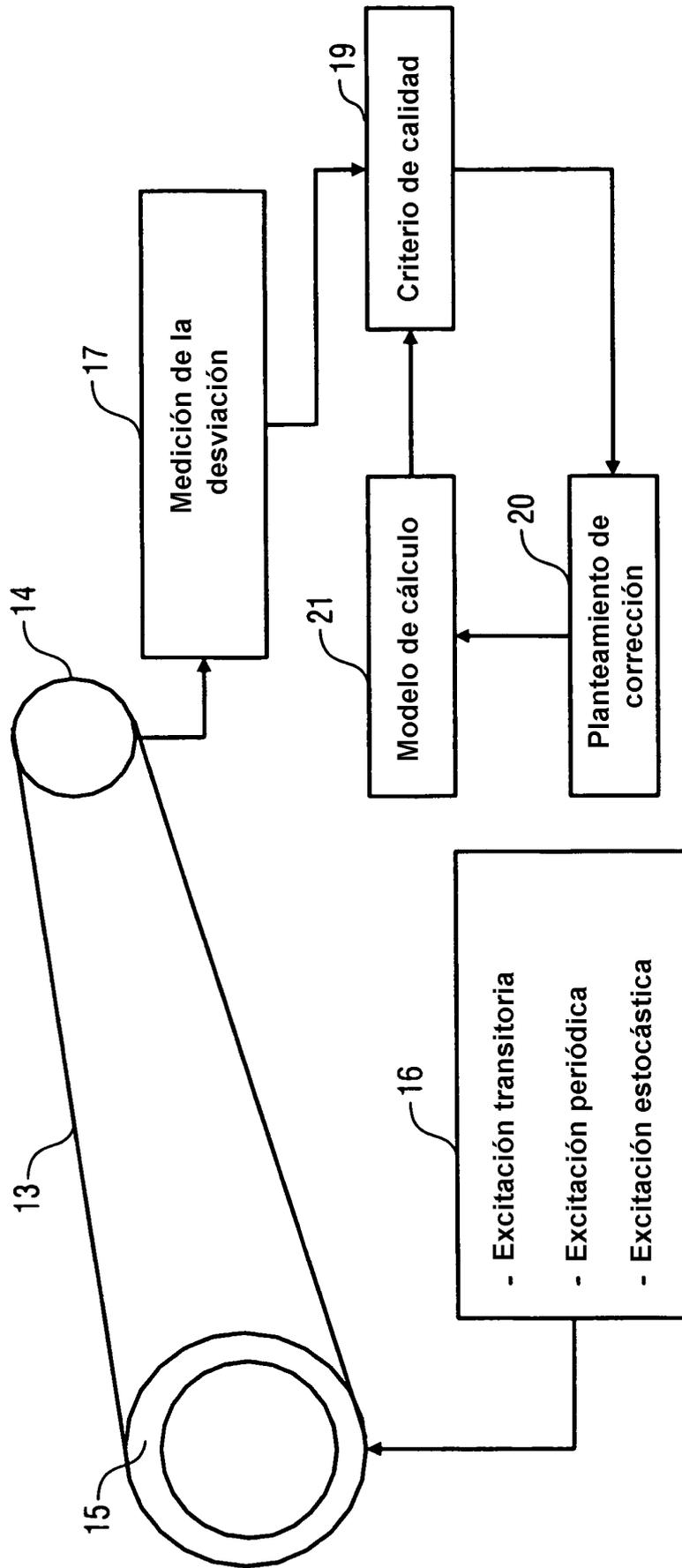


Fig. 6

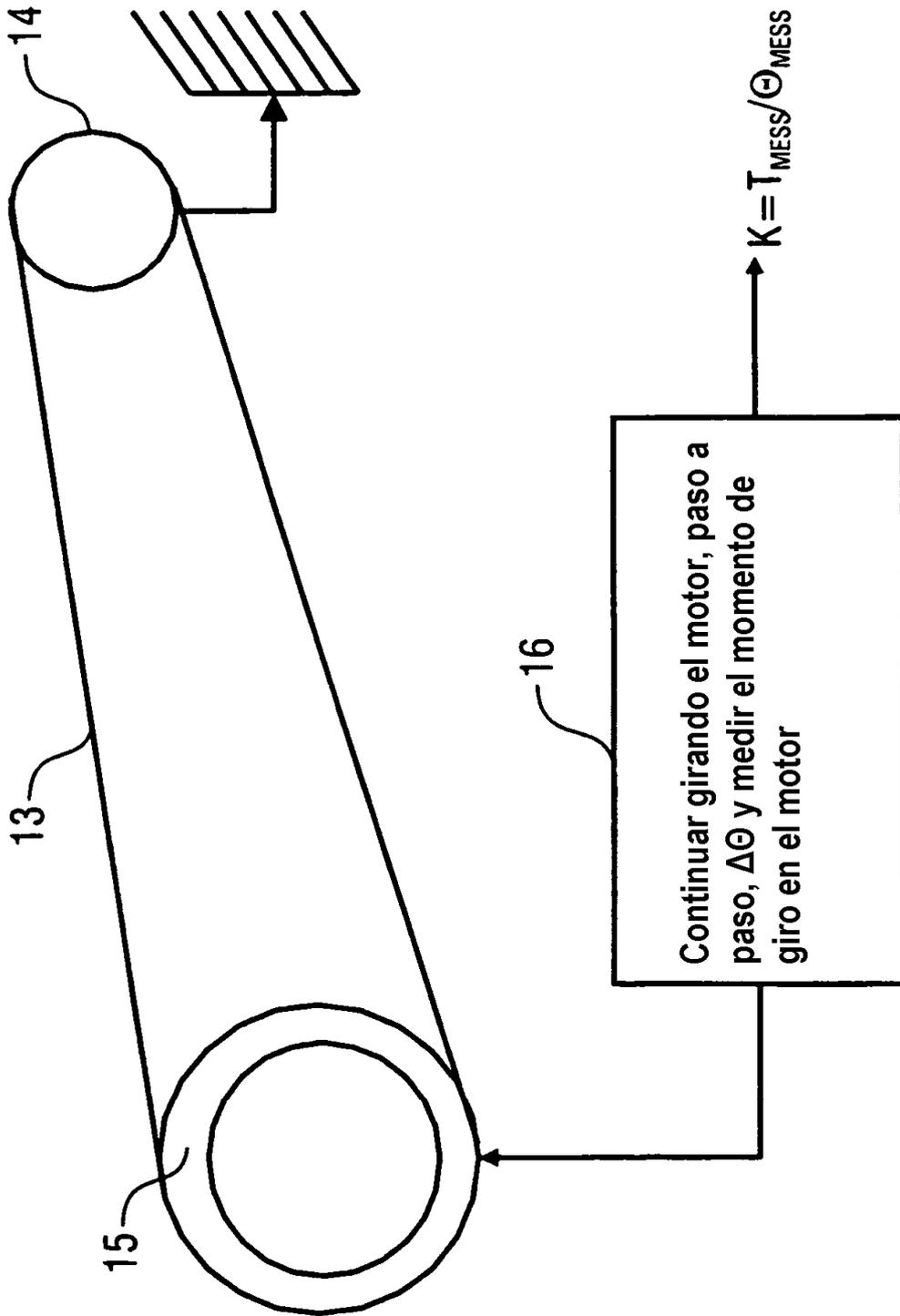


Fig. 7