

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 975 331**

51 Int. Cl.:

B25J 9/16

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.10.2019** **PCT/FR2019/052502**

87 Fecha y número de publicación internacional: **30.04.2020** **WO20084243**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.10.2019** **E 19813079 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.03.2024** **EP 3870408**

54 Título: **Procedimiento de empuje sin deslizamiento de una herramienta en el extremo de un brazo articulado contra una superficie y dispositivo para su implementación**

30 Prioridad:

22.10.2018 FR 1859732

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

04.07.2024

73 Titular/es:

ADVANCED ELECTRICAL TOOLS (100.0%)
83, rue Roger Bouvry
59113 Seclin, FR

72 Inventor/es:

GUERIN, SYLVAIN y
GUERIN, JULIEN

74 Agente/Representante:

VEIGA SERRANO, Mikel

ES 2 975 331 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

Procedimiento de empuje sin deslizamiento de una herramienta en el extremo de un brazo articulado contra una superficie y dispositivo para su implementación

Sector de la técnica

La presente invención se refiere a un procedimiento de empuje de una herramienta en el extremo de un brazo articulado contra una superficie, así como a un dispositivo para la implementación de un procedimiento de este tipo.

El campo de la invención es el del posicionamiento de una herramienta, por ejemplo, una herramienta empleada para la realización de operaciones de perforación, de mecanizado, de remachado, soldadura, etc. sobre una superficie a mecanizar, estando dicha herramienta posicionada en el extremo de un brazo articulado y, concretamente, en el campo de la aeronáutica. Una herramienta de este tipo está destinada para ser colocada en el extremo de un brazo articulado, el cual va a efectuar el conjunto de los movimientos y aplicar las fuerzas necesarias para la realización de las operaciones deseadas.

Estado de la técnica

Un brazo articulado de este tipo es bien conocido por el experto en la materia y se emplea habitualmente en la aeronáutica, concretamente ya que permite desplazarse con facilidad alrededor de una estructura de aeronave en fase de ensamblaje.

Como es visible en la figura 1, un brazo articulado de este tipo incluye generalmente una base pivotante sobre la cual está fijado un primer segmento configurado para pivotar alrededor de un primer eje de rotación horizontal, estando un segundo segmento articulado alrededor de un segundo eje de rotación horizontal con respecto al extremo libre del primer segmento. El extremo libre del segundo segmento comprende generalmente una articulación, con uno, dos o tres ejes de rotación sustancialmente perpendiculares entre sí. Estas diferentes articulaciones permiten desplazar el efector en un espacio tridimensional y a lo largo de tres ejes de rotación.

En el campo de la aeronáutica, las diferentes piezas del fuselaje deben someterse a diferentes operaciones de fabricación a fin de realizar su ensamblaje según la configuración deseada. Estas operaciones pueden consistir en operaciones de perforación, de remachado, de mecanizado, etc. y deben ser realizadas en una o varias posiciones precisas de dicha pieza de fuselaje. Además, la herramienta también debe efectuar un movimiento particularmente preciso y controlado con respecto a dicha pieza de fuselaje, los requisitos en materia de calidad de fabricación en el sector aeronáutico son especialmente altos y las tolerancias de fabricación son especialmente reducidas.

Concretamente, para las operaciones de remachado o incluso de perforación, por ejemplo, la herramienta debe ser posicionada en una dirección que coincida sustancialmente con la perpendicular a la superficie de dicha pieza de fuselaje. Por otra parte, la fuerza aplicada por la herramienta sobre dicha superficie no debe provocar un deslizamiento de la herramienta con respecto a la misma, lo que modificaría la posición deseada de la herramienta y, por tanto, perjudicaría la calidad de fabricación obtenida.

Sin embargo, el hecho de aplicar una fuerza en una dirección sustancialmente perpendicular a la superficie va a provocar deformaciones de la superficie de la pieza de fuselaje, concretamente en flexión. Además, la fuerza de reacción de dicha superficie sobre la herramienta va a provocar también deformaciones en las articulaciones del brazo articulado. Todas estas deformaciones tenderán a modificar la orientación de la herramienta con respecto a dicha superficie, lo que también aumentará el riesgo de deslizamiento de la herramienta con respecto a la misma.

A fin de remediar este deslizamiento y de garantizar que la herramienta mantenga la orientación deseada con respecto a la superficie de la pieza de fuselaje que se va a mecanizar, se conoce por el documento WO 2007/090981 A2 un procedimiento de posicionamiento con respecto a una superficie de un efector que incluye al menos una herramienta destinada a efectuar una etapa de ensamblaje, estando dicho efector fijado al extremo de un brazo articulado susceptible de aplicar, a través de dicho efector, una fuerza contra dicha superficie, incluyendo dicho efector una pared frontal orientada hacia dicha superficie.

Tal procedimiento comprende las etapas:

- medir un movimiento relativo entre la pared frontal y una placa de presión que incluye al menos una parte susceptible de presión directa o indirectamente contra la superficie y de ser inmóvil con respecto a dicha superficie, estando dicha placa de presión conectada a la placa frontal para poder desplazar en al menos una dirección paralela a dicha pared, y
- controlar dicho brazo articulado a fin de que efectúe un movimiento destinado a compensar el movimiento relativo medido.

Según un modo de realización de este procedimiento, el procedimiento consiste en medir el ángulo de pivotamiento

entre una primera parte solidaria con la placa de presión y una segunda parte susceptible de ser presionada e inmóvil con respecto a la superficie, la conexión entre dichas partes, forma una rótula, permitiendo un movimiento relativo a lo largo de al menos un eje de pivotamiento, y en controlar dicho brazo articulado a fin de que efectúe un movimiento destinado a corregir el ángulo de pivotamiento medido.

De este modo, en tal dispositivo y con tal procedimiento, el deslizamiento no se produce entre dicha superficie y el efector sino entre la placa de presión y el efector. Los medios que permiten medir los movimientos relativos entre la placa de presión y el efector permiten entonces compensar este movimiento relativo gracias a movimientos opuestos del brazo articulado.

Además, mediante el empleo de dicha rótula y de unos medios para medir el ángulo de pivotamiento relativo entre la primera parte y la segunda parte de dicha rótula, los medios de control del brazo articulado controlan la o las articulaciones de dicho brazo articulado a fin de corregir dicho pivotamiento relativo entre las dos partes de la rótula de manera que la herramienta quede dispuesta en la perpendicular a la superficie.

No obstante, tal procedimiento y tal dispositivo presentan varios inconvenientes.

En primer lugar, no están destinados a impedir el deslizamiento de la herramienta sobre dicha superficie, sino a compensar un posible deslizamiento de la herramienta sobre dicha superficie. Ahora bien, la calidad de esta compensación estará necesariamente limitada por los errores inducidos por los medios de medición y los medios de cálculo de la compensación a aplicar. Por este hecho, a pesar de la compensación del deslizamiento, la posición deseada de la herramienta puede perderse durante las operaciones de fabricación experimentadas por dicha pieza de fuselaje.

Además, dado que el procedimiento descrito en el documento WO 2007/090981 A2 requiere la compensación combinada de los movimientos de traslación a lo largo de un plano paralelo a la superficie del fuselaje y de los movimientos de rotación con respecto a la perpendicular a dicha superficie, este debe ser implementado a través de un número significativo de medios, lo que aumenta el tamaño del dispositivo que implementa dicho procedimiento, así como su complejidad de realización y su precio de producción.

Por último, los dos movimientos de corrección, en traslación y en rotación, no pueden efectuarse al mismo tiempo, por lo que deben realizarse de forma consecutiva, lo que aumenta el tiempo de realización de dicho procedimiento.

También se conoce un procedimiento y un aparato para efectuar operaciones de perforación por el documento WO 2016/174445 A1.

Objeto de la invención

De este modo, el objetivo de la presente invención es proponer un procedimiento más fiable de empuje sin deslizamiento de una herramienta en el extremo de un brazo articulado contra una superficie que permita la aplicación de una fuerza determinada por la herramienta sobre una superficie a mecanizar sin que la herramienta se deslice sobre dicha superficie.

Otro objetivo de la presente invención es proponer un procedimiento de este tipo que sea sencillo y rápido de implementar y que tenga un precio de producción bajo.

Otro objetivo de la presente invención es proponer un dispositivo que permita la implementación de tal procedimiento que sea sencillo en su diseño y de tamaño reducido, así como con que tenga un precio de producción bajo.

De este modo, la invención se refiere a un procedimiento de empuje con una fuerza F a lo largo de un eje A de una herramienta en el extremo de un brazo articulado contra una superficie con una perpendicular N , que comprende las etapas:

(a) posicionamiento de la herramienta contra dicha superficie, para hacer coincidir el eje B de la herramienta con dicho eje A de la fuerza F , estando el eje A orientado según un par de ángulos (Θ_0, β_0) con respecto a la perpendicular N ,

(b) aplicación a la herramienta de una fuerza creciente hasta alcanzar un valor F_n , correspondiente a una fracción de la fuerza F , estando el valor de la fuerza F_n aplicada controlado a través de medios para medir el fuerza de reacción de la superficie sobre la herramienta,

(c) medición del par de ángulos (Θ_n, β_n) del eje B de la herramienta con respecto a la perpendicular N , después de haber alcanzado dicho valor de fuerza F_n ,

(d) reorientación de la herramienta de manera que su eje B recupera dicha orientación según dicho par de ángulos (Θ_0, β_0) con respecto a la perpendicular N .

Según la invención, se continúa con una iteración, por repetición de las etapas (b) a (d), aumentando progresivamente la fuerza F_n en cada iteración, y hasta alcanzar el valor de fuerza F , el incremento de aumento ΔF_n entre dos niveles

Fn sucesivos correspondiente a la diferencia entre el valor F_n de una iteración y el valor F_{n-1} de la iteración anterior, siendo dicho incremento ΔF_n inferior a un valor determinado, para evitar el deslizamiento de la herramienta sobre la superficie durante todo el procedimiento, desde el posicionamiento de la herramienta sobre la superficie durante la etapa (a) y hasta la obtención de la fuerza F deseada al final de la etapa (d) de la última iteración del procedimiento.

De este modo, en cada iteración, una fuerza de pretensado de valor F_{n-1} , orientada a lo largo del eje A se aplica a la herramienta, que estabiliza la posición de la herramienta contra la superficie y permite la aplicación de un incremento de aumento ΔF_n de valor limitado, y hasta lograr dicho valor F_n definido, de modo que la fuerza de reacción resultante aplicada por la superficie sobre la herramienta permanezca en el cono de fricción de la herramienta sobre la superficie, sin que se provoque un deslizamiento de la herramienta sobre la superficie.

Según las características opcionales del procedimiento según la invención, tomadas por sí solas o combinadas:

- el eje A de la fuerza de empuje F corresponde a la perpendicular N a la superficie, de manera que dicho par de ángulos corresponde a ($\Theta_0=0^\circ$, $\beta_0=0^\circ$),
- el incremento de aumento ΔF_n entre dos niveles F_n sucesivos es constante,
- el incremento de aumento ΔF_n entre dos niveles F_n sucesivos no es constante, creciente,
- la herramienta es una herramienta de perforación.

La invención también se refiere a un dispositivo que comprende una herramienta con:

- un cuerpo de soporte provisto de medios para medir una fuerza de reacción de una superficie sobre dicha herramienta, cuando la herramienta presiona contra dicha superficie,
- unos medios de presión de la herramienta contra dicha superficie, configurados para realizar la presión de la herramienta sobre dicha superficie con una orientación variable del eje B de la herramienta con respecto a la perpendicular N a la superficie,
- unos medios para medir dicha orientación del eje B de la herramienta con respecto a la perpendicular N de dicha superficie,
- una parte operativa de herramienta, destinada a ser implementada para efectuar una operación de fabricación sobre dicha superficie.

Según la invención, dicho dispositivo comprende también un brazo articulado en cuyo extremo se fija dicha herramienta, estando el brazo articulado configurado para aplicar una fuerza de empuje con un eje A a la herramienta, y unos medios de control configurados para la implementación de las etapas del procedimiento de empuje de la herramienta según uno de los modos de realización del procedimiento según la invención.

Según las características opcionales del dispositivo según la invención, tomadas por sí solas o combinadas:

- los medios de presión de la herramienta contra dicha superficie comprenden una rótula que comprende una primera parte que presenta un extremo destinado a presionar contra dicha superficie y una segunda parte fijada rigidamente al cuerpo de soporte, estando la primera parte articulada con respecto a la segunda parte según tres grados de libertad, con un centro de rotación,
- dicha rótula está configurada de manera que el centro de rotación de la rótula quede dispuesto en la superficie cuando el extremo de la primera parte de la rótula presiona contra dicha superficie,
- las dos partes de la rótula están configuradas para constituir un manguito a través del cual pasa, al menos parcialmente, la parte operativa de la herramienta,
- el cuerpo de soporte tiene una forma sustancialmente cilíndrica.

La invención también se refiere a un procedimiento de empuje con una fuerza F' a lo largo de un eje A' de una herramienta en el extremo de un brazo articulado contra una superficie con una perpendicular N' , en donde la herramienta es capaz de pivotar con respecto a la superficie cuando se posiciona contra dicha superficie, según dos centros de rotación distintos: un primer centro de rotación situado sobre dicha superficie y un segundo centro de rotación alejado de dicha superficie,

comprendiendo dicho procedimiento las etapas:

(a') posicionamiento de la herramienta contra dicha superficie, para hacer coincidir el eje B' de la herramienta con dicho eje A' de la fuerza F' , estando el eje A' orientado según un par de ángulos (A_0 , B_0) con respecto a la perpendicular N' y la línea ($O'O_{18}$) estando orientada según un par de ángulos (C_0 , D_0) con respecto al eje B' de la herramienta 1',

(b') aplicación a la herramienta de una fuerza creciente hasta alcanzar un valor F_n' , correspondiente a una fracción de la fuerza F' , estando el valor de la fuerza F_n' aplicada controlado a través de medios para medir la fuerza de reacción de la superficie sobre la herramienta,

(c') después de haber alcanzado dicho valor de fuerza F_n' :

- medición del par de ángulos (A_n , B_n) de la inclinación de la perpendicular N' de la superficie con respecto al eje B' de la herramienta, y
- medición del par de ángulos (C_n , D_n) de la inclinación de la línea ($O'O18$) con respecto al eje B' de la herramienta,

(d') reorientación de la herramienta con respecto a la superficie según dos rotaciones combinadas alrededor de cada uno de los dos centros de rotación (O' , $O18$) de manera que:

- el eje B' de la herramienta recupera dicha orientación según dicho par de ángulos ($A0$, $B0$) con respecto a la perpendicular N' a la superficie,
- el par de ángulos (C_n , D_n) toma el valor (0° , 0°), para asegurar la alineación de la línea ($O'O18$) con el eje B' de la herramienta.

Según la invención, se continúa con una iteración, por repetición de las etapas (b') a (d'), aumentando progresivamente la fuerza F_n' en cada iteración, y hasta alcanzar el valor de fuerza F' , el incremento de aumento $\Delta F_n'$ entre dos niveles F_n' sucesivos de correspondiente a la diferencia entre el valor F_n' de una iteración y el valor F_{n-1}' de la iteración anterior, siendo dicho incremento inferior a un valor determinado, para evitar el deslizamiento de la herramienta sobre la superficie durante todo el procedimiento, desde el posicionamiento de la herramienta sobre la superficie durante la etapa (a') y hasta la obtención de la fuerza F' deseada al final de la etapa (d') de la última iteración del procedimiento.

Según las características opcionales del procedimiento según la invención, tomadas por sí solas o combinadas:

- el eje A' de la fuerza de empuje F' corresponde a la perpendicular N' a la superficie, de manera que dicho par de ángulos ($A0$, $B0$) corresponde al valor (0° , 0°);- según una primera alternativa el incremento de aumento $\Delta F_n'$ es constante, o, según una segunda alternativa, el incremento de aumento $\Delta F_n'$ entre dos niveles F_n' sucesivos no es constante, creciente;
- al final de la etapa (a') y durante cada una de las etapas (b') a (d'), el segundo centro de rotación está posicionado en dirección opuesta a la herramienta con respecto a la superficie;

La invención también se refiere a un dispositivo que comprende una herramienta con:

- un cuerpo de soporte provisto de medios para medir una fuerza de reacción R' de una superficie sobre dicha herramienta, cuando la herramienta presiona contra dicha superficie,
- unos medios de presión de la herramienta contra dicha superficie, configurados para realizar la presión de la herramienta sobre dicha superficie con una orientación variable del eje B' de la herramienta con respecto a la superficie, según dos centros de rotación distintos: dicho primer centro de rotación estando situado en dicha superficie y dicho segundo centro de rotación alejado de dicha superficie,
- unos primeros medios de medición configurados para medir dicha orientación de la perpendicular N' de la superficie con respecto al eje B' de la herramienta, y
- unos segundos medios de medición configurados para medir la orientación de la línea ($O'O18$) con respecto al eje B' de la herramienta,
- una parte operativa de herramienta, destinada a ser implementada para efectuar una operación de fabricación sobre dicha superficie,

Según la invención, dicho dispositivo comprende también un brazo articulado en cuyo extremo se fija dicha herramienta, estando el brazo articulado configurado para aplicar una fuerza de empuje con un eje A' a la herramienta, y unos medios de control configurados para la implementación de las etapas del procedimiento de empuje de la herramienta según la invención.

Según las características opcionales del dispositivo según la invención, tomadas por sí solas o combinadas:

- los medios de presión de la herramienta contra dicha superficie comprenden:
 - una primera rótula con un centro de rotación correspondiente a dicho primer centro de rotación del eje B' de la herramienta con respecto a la superficie, que comprende una primera parte que presenta un extremo destinado a presionar contra dicha superficie y una segunda parte solidaria con una pieza intermedia entre dicha primera parte y el cuerpo de soporte, estando la primera parte articulada con respecto a la segunda parte según al menos dos grados de libertad, y

- una segunda rótula con un centro de rotación correspondiente a dicho primer centro de rotación del eje B' de la herramienta con respecto a la superficie, que comprende una primera parte rígidamente fijada a dicha pieza intermedia y una segunda parte rígidamente fijada al cuerpo de soporte, estando la primera parte articulada con respecto a la segunda parte según al menos dos grados de libertad;

5
10
15
20

- la primera parte de la primera rótula comprende una porción que forma sustancialmente una porción de una esfera convexa y, concretamente, una semiesfera, desde donde se extiende, en un lado, el extremo destinado a presionar contra la superficie, así como, en el otro lado, un primer manguito, configurado para recibir internamente, al menos parcialmente, la parte operativa de la herramienta, estando los primeros medios para medir la orientación de la perpendicular N' a la superficie con respecto al eje B' de la herramienta configurados para medir el desplazamiento de dicho primer manguito con respecto al cuerpo de soporte, y dicha segunda parte de la primera rótula comprende una porción que forma sustancialmente una porción de una esfera cóncava y, concretamente, una semiesfera, formada sobre dicha pieza intermedia, y configurada para cooperar con dicha porción de la primera parte de la primera rótula, y la primera parte de la segunda rótula comprende una porción que forma sustancialmente una porción de una esfera convexa formada sobre dicha pieza intermedia y, concretamente, una semiesfera desde la que se extiende, en dirección opuesta al extremo de la primera parte de la primera rótula un manguito, que recibe internamente el primer manguito de la primera parte de la primera rótula, estando los segundos medios para medir la orientación de la línea (O'O18) de la herramienta con respecto al eje B' de la herramienta configurados para medir el desplazamiento de dicho segundo manguito con respecto al cuerpo de soporte;

25

- dicha primera rótula está configurada de manera que el primer centro de rotación de la primera rótula quede dispuesto en la superficie cuando el extremo de la primera parte de la primera rótula presiona contra dicha superficie, y dicha segunda rótula está configurada de manera que el segundo centro de rotación de la segunda rótula quede alejado de la superficie y colocado en dirección opuesta a la herramienta con respecto a la superficie, cuando el extremo de la primera parte de la rótula presiona contra dicha superficie.

30

La invención se refiere por último a una herramienta destinada a ser posicionada en el extremo de un brazo articulado para ser empujada con una fuerza F' a lo largo de un eje A' contra una superficie con una perpendicular N', en donde la herramienta es capaz de pivotar con respecto a la superficie cuando se posiciona contra dicha superficie, según dos centros de rotación distintos: un primer centro de rotación situado sobre dicha superficie y un segundo centro de rotación alejado de dicha superficie, comprendiendo dicha herramienta:

35

- un cuerpo de soporte provisto de medios para medir una fuerza de reacción R' de una superficie sobre dicha herramienta, cuando la herramienta presiona contra dicha superficie,

40

- unos medios de presión de la herramienta contra dicha superficie, configurados para realizar la presión de la herramienta sobre dicha superficie con una orientación variable del eje B' de la herramienta con respecto a la superficie, según dos centros de rotación distintos: dicho primer centro de rotación situado sobre dicha superficie y dicho segundo centro de rotación alejado de dicha superficie,

45

- unos primeros medios de medición configurados para medir dicha orientación de la perpendicular N' de la superficie con respecto al eje B' de la herramienta, y

50

- unos segundos medios de medición configurados para medir la orientación de la línea (O'O18) con respecto al eje B' de la herramienta, en donde los medios de presión de la herramienta contra dicha superficie comprenden:

55

- una primera rótula con un centro de rotación correspondiente a dicho primer centro de rotación del eje B' de la herramienta con respecto a la superficie, que comprende una primera parte que presenta un extremo destinado a presionar contra dicha superficie y una segunda parte solidaria con una pieza intermedia entre dicha primera parte y el cuerpo de soporte, estando la primera parte articulada con respecto a la segunda parte según al menos dos grados de libertad, y

60

- una segunda rótula con un centro de rotación correspondiente a dicho segundo centro de rotación del eje B' de la herramienta con respecto a la superficie, que comprende una primera parte rígidamente fijada a dicha pieza intermedia y una segunda parte rígidamente fijada al cuerpo de soporte, estando la primera parte articulada con respecto a la segunda parte según al menos dos grados de libertad.

Descripción de las figuras

65

La invención se comprenderá mejor con la lectura de la siguiente descripción acompañada de los dibujos entre los que:

- la figura 1 es una vista esquemática del dispositivo según un modo de realización de acuerdo con la invención,
- la figura 2 es una vista de frente de la herramienta del dispositivo de la figura 1,
- la figura 3 es una vista en perspectiva de la herramienta de la figura 2,

- la figura 4 es una vista en corte según la línea 4-4 de la figura 2,
- las figuras 5a a 5i representan esquemáticamente diferentes etapas sucesivas del procedimiento según un modo de realización de acuerdo con la invención, con varias iteraciones de las etapas (b) a (d),
- la figura 6 representa los cronogramas de los diferentes valores tomados por el ángulo Θ_n y por la fuerza F_n durante el procedimiento de las figuras 5a a 5i,
- la figura 7 representa de manera esquemática la orientación del eje de la herramienta del dispositivo de la figura 2 en un sistema de referencia cartesiano,
- la figura 8 representa de manera esquemática, en forma de un diagrama de flujo el procedimiento según un modo de realización de acuerdo con la invención,
- la figura 9 es una vista esquemática del dispositivo según un modo de realización de acuerdo con la invención,
- la figura 10 es una vista en perspectiva de la herramienta de la figura 9,
- las figuras 11a y 11b son vistas en corte a lo largo de la línea 11-11 de la figura 10, la herramienta estando en dos posiciones distintas con respecto a la superficie
- las figuras 12a a 12i representan esquemáticamente diferentes etapas sucesivas del procedimiento según un modo de realización de acuerdo con la invención, con varias iteraciones de las etapas (b') a (d'),
- la figura 13 representa los cronogramas de los diferentes valores tomados por el ángulo A_n y por el ángulo C_n y por la fuerza F_n' durante el procedimiento de las figuras 12a a 12i,
- la figura 14 representa de manera esquemática la orientación del eje de la herramienta del dispositivo de la figura 9 en un sistema de referencia cartesiano,
- la figura 15 representa de manera esquemática, en forma de un diagrama de flujo el procedimiento según un modo de realización de acuerdo con la invención.

35 Descripción detallada de la invención

En la presente solicitud, se define un sistema de referencia cartesiano (O,x,y,z), como se ha representado en la figura 7, en donde el centro O corresponde al punto de contacto de la parte operativa 17 de la herramienta 1, en lo sucesivo denominada punta O de la herramienta 1 en contacto con la superficie 3, el plano (Oxy) corresponde al plano de la superficie 3, y el eje (Oz) corresponde a la perpendicular N a dicha superficie 3, cuando la misma está en reposo, es decir, que no recibe ninguna sollicitación exterior.

La invención se refiere a un procedimiento de empuje con una fuerza F a lo largo de un eje A de una herramienta 1 en el extremo de un brazo articulado 2 contra una superficie 3 con una perpendicular N, que comprende las etapas:

- (a) posicionamiento de la herramienta 1 contra dicha superficie, para hacer coincidir el eje B de la herramienta con dicho eje A de la fuerza F, estando el eje A orientado según un par de ángulos (Θ_0 , β_0) con respecto a la perpendicular N,
- (b) aplicación a la herramienta 1 de una fuerza creciente hasta alcanzar un valor F_n , correspondiente a una fracción de la fuerza F, estando el valor de la fuerza F_n aplicada controlado a través de medios para medir la fuerza de reacción R de la superficie 3 sobre la herramienta 1,
- (c) medición del par de ángulos (Θ_n , β_n) del eje B de la herramienta con respecto a la perpendicular N, después de haber alcanzado dicho valor de fuerza F_n ,
- (d) reorientación de la herramienta 1 de manera que su eje B recupera dicha orientación según dicho par de ángulos (Θ_0 , β_0) con respecto a la perpendicular N.

Según la invención, se continúa con una iteración, por repetición de las etapas (b) a (d), aumentando progresivamente la fuerza F_n en cada iteración, y hasta alcanzar el valor de fuerza F, el incremento de aumento ΔF_n entre dos niveles sucesivos correspondiente a la diferencia entre el valor F_n de una iteración y el valor F_{n-1} de la iteración anterior, siendo dicho incremento ΔF_n inferior a un valor determinado, para evitar el deslizamiento de la herramienta 1 sobre la superficie 3 durante todo el procedimiento, desde el posicionamiento de la herramienta 1 sobre la superficie 3 durante la etapa (a) y hasta la obtención de la fuerza F deseada al final de la etapa (d) de la última iteración del procedimiento.

Como se ha explicado anteriormente, y como se ha representado de manera esquemática en la figura 8, en cada iteración, una fuerza de pretensado de valor F_{n-1} , orientada a lo largo del eje A se aplica a la herramienta 1, que estabilizará la posición de la herramienta 1 contra la superficie 3 y permitirá la aplicación de un incremento de aumento ΔF_n de valor limitado, y hasta lograr dicho valor F_n definido, de modo que la fuerza de reacción R resultante aplicada por la superficie 3 sobre la herramienta 1 permanezca en el cono de fricción CF de la herramienta 1 sobre la superficie 3, sin que se provoque un deslizamiento de la herramienta 1 sobre la superficie 3.

De este modo, gracias al procedimiento según la invención, se evita el deslizamiento de la herramienta 1, concretamente de su punta O en la superficie 3. De este modo, se puede estar seguro de que la herramienta 1 mantendrá la posición deseada al final de la operación de fabricación realizada por dicha herramienta 1, su punta O no siendo desviada de su posición inicial una vez alcanzado el valor F de la fuerza de empuje necesaria para dicha operación.

Ventajosamente, el valor de la fuerza F de empuje de la herramienta 1 contra la superficie 3, se determina de manera que sea superior al valor de la fuerza aplicada por la parte operativa 17 de la herramienta 1 sobre la superficie 3 durante dicha operación, a fin de asegurar que la herramienta 1 no se deslice sobre la superficie 3 durante la implementación de esta operación.

Ventajosamente, no se permite el deslizamiento para compensarlo después, como se describe, por ejemplo, en el documento WO 2007/09081 A2: no existe incertidumbre ligada a los medios de medición en cuanto al valor exacto del recorrido de deslizamiento que debe compensarse para devolver la punta O de la herramienta 1 a la posición deseada.

Además, también se asegura de que la fuerza de empuje F se aplique a lo largo del eje A deseado, siendo la orientación del eje B de la herramienta 1 corregida durante todo el procedimiento.

De hecho, la fuerza de empuje F_n aplicada a la herramienta a lo largo de su eje B presiona la herramienta 1 contra la superficie 3, que ejerce así una fuerza de reacción R sobre la herramienta 1, también orientada a lo largo del eje B de la herramienta, con un componente a lo largo de la perpendicular N a la superficie 3 y un componente a lo largo de una dirección ortogonal a dicha perpendicular N a la superficie 3, dependiendo de la fricción de la herramienta 1 sobre la superficie 3. El valor de esta fuerza de reacción R, correspondiente al valor de la fuerza F_n , se mide permanentemente mediante los medios para medir la fuerza de reacción R de la superficie 3 sobre la herramienta 1.

Esta fuerza F_n aplicada a la superficie 3 también provocará la deformación local de la superficie 3, concretamente en flexión, lo que modificará la orientación de la perpendicular N a la superficie 3 con respecto al brazo articulado y, por tanto, provocará que el eje B de la herramienta 1 se desvíe de la dirección A deseada, y fijada por el movimiento del brazo articulado 2.

Además, la fuerza de reacción R es transmitida por la herramienta 1 al brazo articulado 2 y, concretamente, a las articulaciones del brazo articulado 2, provocando así que roten y, por tanto, modificando también la orientación del eje B alrededor de los ejes (Ox) y (Oy) con respecto a la dirección A deseada.

De este modo, cada valor de fuerza F_n y, por tanto, el incremento de aumento ΔF_n , en cada iteración, se fija ventajosamente de tal manera que la fuerza de reacción R esté orientada de tal manera que quede dentro del cono de fricción CF de la herramienta 1 sobre la superficie 3, como se ha representado en la figura 7.

Cada uno de estos valores F_n y cada uno de los incrementos de aumento ΔF_n pueden determinarse, por ejemplo, experimentalmente.

Un ejemplo de realización del procedimiento según la invención se representa en forma de diagrama de flujo en la figura 8.

Las condiciones iniciales corresponden a una orientación (Θ_0, β_0) del eje B de la herramienta 1 con respecto a la perpendicular N y a una aplicación de la punta de la herramienta 1 a lo largo de un eje A con una fuerza F_0 .

La fuerza F_0 puede ser, por ejemplo, nula o incluso, ventajosamente ligeramente superior a 0, para asegurar la estabilidad de la punta de la herramienta 1 sobre la superficie 3.

Como se ha explicado más arriba, gracias al procedimiento según la invención, sólo se deben efectuar movimientos de rotación para compensar la pérdida de posición del eje B de la herramienta deseada, y ningún movimiento de traslación, concretamente como se describe en el documento WO 2007/09081 A2.

Por este hecho, el procedimiento es más rápido de implementar.

Según un modo de realización, el eje A de la fuerza de empuje F corresponde a la perpendicular N a la superficie 3, de manera que el par de ángulos, durante la etapa inicial (a) corresponde a $(\Theta_0=0^\circ, \beta_0=0^\circ)$.

De hecho, el procedimiento según la invención encuentra una aplicación particularmente ventajosa en el caso en el que el eje A de la fuerza de empuje F corresponde a la perpendicular N a la superficie 3.

5 No obstante, el procedimiento según la invención también se puede aplicar en el caso en el que el eje A de la fuerza de empuje F se desvíe de la perpendicular N a la superficie 3, pero sólo hasta cierto punto, a fin de no producir el deslizamiento de la herramienta 1 sobre la superficie 3.

10 En la continuación de la descripción, para mayor simplicidad y por tanto claridad, se describirá en detalle el caso en el que el eje A de la fuerza de empuje F corresponde a la perpendicular N a la superficie 3, salvo precisiones contrarias.

Según un modo de realización, el incremento de aumento ΔF_n entre dos niveles F_n sucesivos es constante.

15 De este modo, la diferencia entre dos niveles F_n sucesivos es constante, concretamente durante todo el procedimiento, lo que simplifica su implementación.

Según un modo de realización, el incremento de aumento ΔF_n entre dos niveles F_n sucesivos no es constante, creciente.

20 De este modo, cuanto más se aproxime el valor de la fuerza F_n al valor F deseado, mayor será la diferencia entre dos niveles F_n sucesivos.

25 Gracias a esta disposición ventajosa de la invención, el tiempo de implementación del procedimiento según la invención, hasta lograr el valor F de la fuerza de empuje deseada se puede reducir, concretamente con respecto al modo de realización en donde la diferencia entre dos niveles F_n sucesivos es constante.

30 Según las conclusiones del inventor, esta disposición ventajosa de la invención es posible gracias al hecho de que, cuanto mayor sea la fuerza de pretensado F_{n-1} aplicada a la herramienta 1 en cada iteración, mayor es el incremento de aumento de fuerza ΔF_n que puede aplicarse a la herramienta 1 antes de que la fuerza de reacción R de la superficie 3 sobre la herramienta 1 quede fuera del cono de fricción CF y, por tanto, la herramienta 1 se deslice sobre la superficie 3.

35 Este modo de realización se representa, por ejemplo, de manera esquemática en las figuras 5a a 5i, en las que se aplican cuatro niveles sucesivos de fuerza F_n creciente, tales como $F_1 < F_2 < F_3 < F_4 = F$, los incrementos de aumento de fuerzas Δf_n sucesivos también son crecientes.

Por razones de claridad, las deformaciones de la superficie 3 no se representan en las diferentes figuras 5a a 5i.

40 Asimismo, para mayor claridad, se ha representado los movimientos de la herramienta 1 en el plano (Oxz) como se ha definido anteriormente con únicamente la orientación con respecto a la perpendicular N a la superficie 3 del eje B de la herramienta 1 alrededor del eje (Oy), con el ángulo Θ_n .

La herramienta 1 está en una posición inicial en la figura 5a, correspondiente a la etapa (a) del procedimiento, con su eje B alineado con la perpendicular N.

45 La primera iteración del procedimiento con la primera sucesión de las etapas (b) a (d) se representa entonces en las figuras 5b y 5c, la figura 5b representando la herramienta 1 en su posición al final de la etapa (b), estando su eje B orientado según el par de ángulos (Θ_n, β_n) , mientras que la figura 5c representa la herramienta 1 en su posición al final de la etapa (d).

50 La segunda iteración del procedimiento con la segunda sucesión de las etapas (b) a (d) se representa en las figuras 5d y 5e, la tercera en las figuras 5f y 5g, y la cuarta y última en las figuras 5h y 5i.

55 Los cronogramas representados en la figura 6 representan el valor de la fuerza F_n aplicada a la herramienta 1 durante las cuatro iteraciones del procedimiento descritas anteriormente, con los cuatro niveles sucesivos crecientes F_1 a F_4 , así como la variación en el valor del ángulo Θ_n . Para mayor simplicidad, no se representa la variación del valor del ángulo β_n a lo largo del tiempo.

60 Como se representa en el cronograma en la parte superior de la figura 6, la fuerza F_n puede ser aplicada durante cada una de las iteraciones de manera creciente hasta alcanzar el valor F_n deseado y luego se mantiene en este valor F_n hasta el final de la etapa (d), al final de la cual se corrige la orientación del eje B de la herramienta 1 con respecto a la perpendicular N a la superficie 3 para volver a su posición inicial.

65 La variación de la fuerza F_n y de cada uno de los ángulos Θ_n y β_n durante cada una de dichas iteraciones se puede realizar de forma más o menos rápida, y de forma sustancialmente lineal, como se representa en la figura 6, o de cualquier otra manera, concretamente a fin de ganar precisión y/o rapidez de ejecución.

Según un modo de realización, la herramienta 1 es una herramienta de perforación.

Alternativamente, la herramienta 1 puede ser cualquier otro tipo de herramienta empleada en el contexto de la fabricación de aeronaves, como por ejemplo una herramienta de remachado, de soldadura, de escariado, etc.

La invención también se refiere a un dispositivo 10 que comprende una herramienta 1 con:

- un cuerpo de soporte 11 provisto de medios para medir una fuerza de reacción R de una superficie 3 sobre dicha herramienta 1, cuando la herramienta 1 presiona contra dicha superficie,
- unos medios de presión 12 de la herramienta 1 contra dicha superficie 3, configurados para realizar la presión de la herramienta 1 sobre dicha superficie 3 con una orientación variable del eje B de la herramienta 1 con respecto a la perpendicular N a la superficie 3,
- unos medios para medir dicha orientación del eje B de la herramienta 1 con respecto a la perpendicular N a dicha superficie 3,
- una parte operativa de herramienta 17, destinada a ser implementada para efectuar una operación de fabricación sobre dicha superficie 3.

Según la invención, dicho dispositivo 10 comprende también un brazo articulado 2 en cuyo extremo se fija la herramienta 1, estando el brazo articulado 2 configurado para aplicar una fuerza de empuje con un eje A a la herramienta 1, y unos medios de control configurados para la implementación de las etapas del procedimiento de empuje de la herramienta 1 según uno de los modos de realización descrito anteriormente.

El brazo articulado 2 puede ser, por ejemplo, un brazo robótico de seis ejes.

Todas las disposiciones relativas al procedimiento descrito anteriormente son aplicables al dispositivo 10 según la invención.

Como es visible en el ejemplo de realización de la figura 1, el brazo articulado 2 del dispositivo 10 es un brazo articulado robótico empleado de manera conocida en aeronáutica para realizar automáticamente diferentes operaciones de fabricación de una aeronave, tal como se ha descrito anteriormente.

La orientación y el posicionamiento de la herramienta 1 y, por tanto, del eje B de la herramienta 1, en el espacio (Oxyz) se realiza gracias a las diferentes articulaciones del brazo articulado 2, estando unos medios de fijación previstos entre dicha herramienta 1 y el extremo del brazo articulado 2 que la recibe, configurados para asegurar la inmovilización de la herramienta 1 con respecto al brazo articulado 2.

La parte operativa de herramienta 17 es el elemento que realizará como tal la operación de fabricación deseada sobre dicha superficie 3 de la pieza. La parte operativa de herramienta 17 puede ser, por ejemplo, una broca en el caso de una operación de perforación, una fresa en el caso de una operación de fresado, etc.

De este modo, la parte operativa de la herramienta 17 puede ser capaz de moverse con respecto al cuerpo de soporte 11 de la herramienta 1, por ejemplo, girando alrededor del eje B de la herramienta 1 y/o trasladándose a lo largo de dicho eje B, en el caso de una herramienta de perforación. Para ello, pueden proporcionarse unos medios de movimiento adicionales (no representados).

Del mismo modo, el empuje con la fuerza F_n de la herramienta 1 contra la superficie 3 puede realizarse por medio del brazo articulado 2, que fuerza a la herramienta 1 contra la superficie 3.

Concretamente, durante el transcurso del procedimiento según la invención, el posicionamiento de la herramienta 1 durante la etapa (a), la aplicación a la herramienta 1 de una fuerza F_n durante la etapa (b) y la reorientación de la herramienta durante la etapa (d) pueden efectuarse gracias a los movimientos del brazo articulado 2, controlado a través de unos medios de control.

Los medios de control no representados pueden comprender, por ejemplo, uno o varios circuitos electrónicos, configurados para recibir las informaciones medidas por los medios para medir una fuerza de reacción R de la superficie 3 sobre la herramienta 1 y por los medios para medir la orientación del eje B de la herramienta 1 con respecto a la perpendicular N a dicha superficie 3, y para transmitir unas señales de control al brazo articulado 2 para ejecutar dicho procedimiento.

Los medios de control pueden comprender, por ejemplo, unos medios informáticos.

Como es visible en los ejemplos de realización de las figuras 2 a 4, el cuerpo de soporte 11 de la herramienta 1 puede comprender una parte de fijación 13, configurada para asegurar la fijación rígida de la herramienta 1 en el extremo del

brazo articulado 2, por ejemplo, mediante tornillos de fijación.

El cuerpo de soporte 11 también puede comprender una porción de recepción 14 de la parte operativa de la herramienta 17, que incluye, por ejemplo, una pared interior P14, configurada para permitir el paso de la parte operativa de la herramienta 17 con respecto al cuerpo de soporte 11.

Ventajosamente, dicha pared interior P14 tiene una forma correspondiente a la de la parte operativa de herramienta 17, por ejemplo, cilíndrica en el caso de una parte operativa de herramienta 17 de forma cilíndrica.

La parte de fijación 13 puede estar dispuesta por encima de la porción de recepción 14 del cuerpo de soporte 11 cuando la herramienta 1 está presionando sobre la superficie 3, en su posición de funcionamiento para la implementación del procedimiento según la invención, como es visible en los ejemplos de realización de las figuras 2 a 4.

Los medios para medir una fuerza de reacción R de la superficie 3 sobre la herramienta 1 pueden comprender, por ejemplo, uno o varios sensores de fuerza (por ejemplo, galgas extensométricas) dispuestos en el cuerpo de soporte 11 y, concretamente, en la porción de recepción 14 de la parte operativa de la herramienta 17.

Como alternativa o como complemento, dichos medios para medir una fuerza de reacción R de la superficie 3 sobre la herramienta 1 pueden estar dispuestos sobre el brazo articulado 2.

Los medios para medir la orientación del eje B de la herramienta 1 con respecto a la superficie 3 pueden comprender, por ejemplo, uno o más sensores angulares dispuestos sobre la herramienta 1.

Ventajosamente, dichos medios para medir la orientación del eje B de la herramienta 1 con respecto a la superficie 3 pueden configurarse para medir la modificación de la orientación de los medios de presión 12 de la herramienta 1 con respecto a la perpendicular N a la superficie 3, que corresponde a la orientación del eje B de la herramienta 1 con respecto a la superficie 3.

Según un modo de realización, los medios de presión 12 de la herramienta 1 contra dicha superficie 3 comprenden una rótula 12 que comprende una primera parte 15 que presenta un extremo E15 destinado a presionar contra dicha superficie 3 y una segunda parte 16 fijada rígidamente al cuerpo de soporte 11, estando la primera parte 15 articulada con respecto a la segunda parte 16 según tres grados de libertad, con un centro de rotación O.

El extremo E15 con función de presión puede configurarse para obtener una presión circular, continua o discontinua. La presión circular puede tener por ejemplo un diámetro inferior a 5 cm, preferentemente inferior a 3 cm, e incluso preferentemente inferior a 2 cm.

Según un modo de realización, la primera parte 15 de la rótula 12 puede comprender una porción S15 que forma sustancialmente una porción de una esfera convexa y, concretamente, una semiesfera, desde donde se extiende, en un lado, el extremo E15 destinado a presionar contra la superficie 3, así como, en el otro lado, un manguito F15, configurado para recibir internamente, al menos parcialmente, la parte operativa de la herramienta 17, estando los medios para medir la orientación del eje B de la herramienta 1 con respecto a la superficie 3 configurados para medir el desplazamiento de dicho manguito F15 con respecto al cuerpo de soporte 11.

De hecho, la variación angular de los ángulos Θ_n y β_n del eje B de la herramienta 1 con respecto a la perpendicular N a la superficie 3 es pequeña durante la implementación del procedimiento según la invención, por ejemplo, del orden de unos pocos minutos de arco, puede resultar complicado determinar esta variación angular en dicha porción S15 de la primera parte 15 de la rótula 12.

Ahora bien, la modificación de la orientación del eje B de la herramienta 1 con respecto a la perpendicular N a la superficie 3 generará un desplazamiento significativo a nivel del extremo superior del manguito F15, es decir, el extremo situado opuesto al extremo E15 de la primera parte 15 de la rótula 12, por un efecto de brazo de palanca, que se mide más fácilmente para conocer la orientación de la primera parte 15 con respecto a la segunda parte 16 de la rótula 12.

Como es visible en el ejemplo de realización de la figura 4, a fin de facilitar esta medición, puede resultar ventajoso maximizar este desplazamiento empleando un manguito F15 con una longitud significativa, por ejemplo, de manera que su extremo superior esté situado cerca de la parte de fijación 13 del cuerpo de soporte 11.

Los medios para medir la orientación del eje B de la herramienta 1 con respecto a la superficie 3 pueden así posicionarse ventajosamente sobre el cuerpo de soporte 11, sobre la porción de recepción 14 de la parte operativa de la herramienta 17, y en particular cerca de la parte de fijación 13 del cuerpo de soporte 11, lo que permite no saturar la zona cercana al extremo E15 de la primera parte 15 de la rótula 12.

En un modo de realización de este tipo, la pared interior P14, que permite el paso, puede coincidir, al menos en parte,

con la pared interior del manguito F15.

Como es visible en los ejemplos de realización de las figuras 2 a 4, la segunda parte 16 de la rótula 12 puede comprender una porción S16 que forma sustancialmente una porción de una esfera cóncava y, concretamente, una semiesfera, de dimensiones correspondientes a la porción S15 de la primera parte 15 de la rótula 12, a fin de constituir un asiento para dicha porción S15 de la primera parte 15 de la rótula 12, a fin de permitir la rotación de la primera parte 15 con respecto a la segunda parte 16 alrededor de los tres ejes (Ox), (Oy) y (Oz) definidos anteriormente.

Unos medios de reducción de la fricción, como, por ejemplo, perlas, pueden proporcionarse a fin de facilitar la rotación de la primera parte 15 con respecto a la segunda parte 16. Asimismo, pueden proporcionarse unos medios de fijación a fin de garantizar la inmovilización en traslación y, concretamente, a lo largo del eje (Oz) de la primera parte 15 con respecto a la segunda parte 16.

Según un modo de realización, dicha rótula 12 está configurada de manera que el centro de rotación O de la rótula 12 está dispuesto en la superficie 3, cuando el extremo E15 de la primera parte de la rótula 15 presiona contra dicha superficie 3.

Esta disposición es particularmente ventajosa porque la fuerza ejercida por la herramienta 1 se aplica en el centro de rotación O de la rótula 12.

De este modo, la modificación de la orientación del eje B de la herramienta 1 con respecto a la perpendicular N a la superficie 3 corresponderá a la modificación de la orientación de la primera parte 15 con respecto a la segunda parte 16 de la rótula 12 y, concretamente, en el caso en que sea esta última la que se mida, lo que simplifica el cálculo de la orientación del eje B de la herramienta 1 con respecto a la perpendicular N a la superficie 3.

Según un modo de realización, el cuerpo de soporte 11 tiene forma sustancialmente cilíndrica.

Esta disposición ventajosa de la invención permite reducir el volumen de la herramienta 1 y, concretamente, en el caso en que la parte operativa de herramienta 17 tenga forma cilíndrica, como, por ejemplo, una herramienta de perforación.

En la presente solicitud, también se define un sistema de referencia cartesiano (O', x, y, z), como se ha representado en la figura 14, en donde el centro O' corresponde a un primer centro de rotación del eje B' de la herramienta $1'$ en contacto con la superficie $3'$, con respecto a la perpendicular N' a la superficie $3'$. Asimismo, el plano ($O'xy$) corresponde al plano de la superficie $3'$, y el eje ($O'z$) corresponde a la perpendicular N' a dicha superficie $3'$, cuando la misma está en reposo, es decir, que no recibe ninguna sollicitación exterior.

La invención también se refiere a un procedimiento de empuje con una fuerza F' a lo largo de un eje A' de una herramienta $1'$ en el extremo de un brazo articulado $2'$ contra una superficie $3'$ con una perpendicular N' , en donde la herramienta $1'$ es capaz de pivotar con respecto a la superficie $3'$ cuando se posiciona contra dicha superficie $3'$, según dos centros de rotación distintos: un primer centro de rotación O' situado sobre dicha superficie $3'$ y un segundo centro de rotación $O18$ alejado de dicha superficie $3'$.

Según la invención, dicho procedimiento comprende las etapas:

(a') posicionamiento de la herramienta $1'$ contra dicha superficie $3'$, para hacer coincidir el eje B' de la herramienta con dicho eje A' de la fuerza F' , estando el eje A' orientado según un par de ángulos $A0, B0$ con respecto a la perpendicular N' y la línea ($O'O18$) estando orientada según un par de ángulos $C0, D0$ con respecto al eje B' de la herramienta $1'$,

(b') aplicación a la herramienta $1'$ de una fuerza creciente hasta alcanzar un valor Fn' , correspondiente a una fracción de la fuerza F' , estando el valor de la fuerza Fn' aplicada controlado a través de medios para medir la fuerza de reacción R' de la superficie $3'$ sobre la herramienta $1'$,

(c') después de haber alcanzado dicho valor de fuerza Fn' :

- medición del par de ángulos (An, Bn) de la inclinación de la perpendicular N' de la superficie $3'$ con respecto al eje B' de la herramienta $1'$, y
- medición del par de ángulos (Cn, Dn) de la inclinación de la línea ($O'O18$) con respecto al eje B' de la herramienta $1'$,

(d') reorientación de la herramienta $1'$ con respecto a la superficie $3'$ según dos rotaciones combinadas alrededor de cada uno de los dos centros de rotación ($O', O18$) de manera que:

- el eje B' de la herramienta $1'$ recupera dicha orientación según dicho par de ángulos ($A0, B0$) con respecto a la perpendicular N' a la superficie $3'$,
- el par de ángulos (Cn, Dn) toma el valor ($0^\circ, 0^\circ$), para asegurar la alineación de la línea ($O'O18$) con el eje B'

de la herramienta 1'.

Según la invención, se continúa con una iteración, por repetición de las etapas (b') a (d'), aumentando progresivamente la fuerza F_n' en cada iteración, y hasta alcanzar el valor de fuerza F' , el incremento de aumento $\Delta F_n'$ entre dos niveles F_n' sucesivos de correspondiente a la diferencia entre el valor F_n' de una iteración y el valor F_{n-1}' de la iteración anterior, siendo dicho incremento inferior a un valor determinado, para evitar el deslizamiento de la herramienta 1' sobre la superficie 3' durante todo el procedimiento, desde el posicionamiento de la herramienta 1' sobre la superficie 3' durante la etapa (a') y hasta la obtención de la fuerza F' deseada al final de la etapa (d') de la última iteración del procedimiento.

De este modo, con el procedimiento según la invención, en cada iteración, una fuerza de pretensado de valor F_{n-1}' , orientada a lo largo del eje A' se aplica a la herramienta 1', que estabilizará la posición de la herramienta 1' contra la superficie 3' y permitirá la aplicación de un incremento de aumento $\Delta F_n'$ de valor limitado y hasta lograr dicho valor F_n' definido, de modo que la fuerza de reacción R' resultante aplicada por la superficie 3' sobre la herramienta 1' permanezca en el cono de fricción CF' de la herramienta 1' sobre la superficie 3', sin que se provoque un deslizamiento de la herramienta 1' sobre la superficie 3'.

De este modo, gracias al procedimiento según la invención, se evita el deslizamiento de la herramienta 1', sobre la superficie 3' y, concretamente, de la punta de la parte operativa de herramienta 17' durante su implementación para efectuar una operación de fabricación sobre la superficie 3'. De este modo, se puede estar seguro de que la herramienta 1' mantendrá la posición deseada al final de la operación de fabricación realizada por dicha herramienta 1', ya que ésta y, en concretamente, la punta de la parte operativa de herramienta 17', no se habrá desviado de su posición inicial una vez alcanzado el valor F' de la fuerza de empuje necesaria para dicha operación.

Ventajosamente, el valor de la fuerza F' de empuje de la herramienta 1' contra la superficie 3', se determina de manera que sea superior al valor de la fuerza aplicada por la parte operativa 17' de la herramienta 1' sobre la superficie 3' durante dicha operación, a fin de asegurar que la herramienta 1' no se deslice sobre la superficie 3' durante la implementación de esta operación.

Con el procedimiento según la invención se garantiza que la fuerza de empuje F' se aplique a lo largo del eje A' deseado, siendo la orientación del eje B' de la herramienta 1' corregida continuamente, durante todo el procedimiento.

De hecho, la fuerza de empuje F_n' , aplicada a la herramienta 1' a lo largo de su eje B', presiona la herramienta 1' contra la superficie 3', que ejerce así una fuerza de reacción R' sobre la herramienta 1', también orientada a lo largo del eje B' de la herramienta, con un componente a lo largo de la perpendicular N' a la superficie 3' y un componente a lo largo de una dirección ortogonal a dicha perpendicular N' a la superficie 3', dependiendo del coeficiente de fricción entre la herramienta 1' y la superficie 3. El valor de esta fuerza de reacción R' , correspondiente al valor de la fuerza F_n' , se mide permanentemente mediante los medios para medir la fuerza de reacción R' de la superficie 3' en la herramienta 1'.

Esta fuerza F_n' aplicada a la superficie 3' también provocará la deformación local de la superficie 3', concretamente en flexión, lo que modificará la orientación de la perpendicular N' a la superficie 3' con respecto al brazo articulado 2' que recibe dicha herramienta 1' y, por tanto, provocará que el eje B' de la herramienta 1' se desvíe de la dirección A' deseada, y fijada por el movimiento del brazo articulado 2'.

Además, la fuerza de reacción R' es transmitida por la herramienta 1' al brazo articulado 2' y, concretamente, a las articulaciones del brazo articulado 2', provocando así su rotación y, por tanto, modificando también la orientación del eje B' con respecto a la dirección A' deseada, y alrededor de diferentes centros de rotación.

Según las comprobaciones del inventor, permitiendo que el eje B' de la herramienta 1' pivote con respecto a la perpendicular N' a la superficie 3' en una rotación combinada alrededor de dos centros de rotación O' y O18, distintos, y luego anulando este pivotamiento del eje B' de la herramienta 1' con respecto a la perpendicular N' a la superficie 3', es posible compensar todos los desplazamientos no deseados del brazo articulado 2' alrededor de todas sus articulaciones, para hacer coincidir al final de cada iteración el eje B' de la herramienta 1' con el eje A' de la fuerza F' deseada.

Asimismo, cada valor de fuerza F_n' y, por tanto, el incremento de aumento $\Delta F_n'$, en cada iteración, se fija ventajosamente de tal manera que la fuerza de reacción R' esté orientada de tal manera que quede dentro del cono de fricción CF' de la herramienta 1' sobre la superficie 3, como se ha representado en la figura 14.

Cada uno de estos valores F_n' y cada uno de los incrementos de aumento $\Delta F_n'$ pueden determinarse, por ejemplo, experimentalmente.

Un ejemplo de realización del procedimiento según la invención se representa en forma de diagrama de flujo en la figura 15.

Las condiciones iniciales corresponden a una orientación (A_0 , B_0) de la perpendicular N' a la superficie $3'$ con respecto al eje B' de la herramienta $1'$, con una orientación (C_0 , D_0) de la línea ($O'O18$) con respecto al eje B' de la herramienta $1'$, y con una aplicación de la herramienta $1'$ contra la superficie $3'$ con su eje B' según un eje A' , y con una fuerza F_0' .

- 5 La orientación (C_0 , D_0) de la línea ($O'O18$) con respecto al eje B' de la herramienta $1'$ puede tener ventajosamente un valor sustancialmente (0° , 0°), estando la línea ($O'O18$) alineada con el eje B' de la herramienta $1'$.

La fuerza F_0' puede ser, por ejemplo, nula, o incluso, ventajosamente ligeramente superior a 0 N, para asegurar la estabilidad de la herramienta $1'$ sobre la superficie $3'$.

- 10 Como se ha explicado más arriba, gracias al procedimiento según la invención, sólo hay que efectuar unos movimientos de rotación alrededor de cada uno de los centros de rotación primero O' y segundo $O18$ para compensar la pérdida de posición del eje B' de la herramienta deseada, y ningún movimiento de traslación, lo que facilita y simplifica la implementación del procedimiento según la invención.

- 15 Por este hecho, el procedimiento también es más rápido de implementar.

Según un modo de realización, el eje A' de la fuerza de empuje F' corresponde a la perpendicular N' a la superficie $3'$, de manera que dicho par de ángulos (A_0 , B_0) corresponde al valor (0° , 0°).

- 20 De hecho, el procedimiento según la invención encuentra una aplicación particularmente ventajosa en el caso en que el eje A' de la fuerza de empuje F' corresponde a la perpendicular N' a la superficie $3'$.

- 25 No obstante, el procedimiento según la invención también se puede aplicar en el caso en el que el eje A' de la fuerza de empuje F' se desvíe de la perpendicular N' a la superficie $3'$, pero sólo hasta cierto punto, a fin de no producir el deslizamiento de la herramienta $1'$ sobre la superficie $3'$.

En la continuación de la descripción, para mayor simplicidad y por tanto claridad, se describirá en detalle el caso en el que el eje A' de la fuerza de empuje F' corresponde a la perpendicular N' a la superficie $3'$, salvo precisiones contrarias.

- 30 Según un modo de realización, el incremento de aumento $\Delta F_n'$ entre dos niveles F_n sucesivos es constante.

De este modo, la diferencia entre dos niveles F_n' sucesivos es constante, concretamente durante todo el procedimiento, lo que simplifica su implementación.

- 35 Según un modo de realización, el incremento de aumento $\Delta F_n'$ entre dos niveles F_n sucesivos no es constante, creciente.

De este modo, cuanto más se aproxime el valor de la fuerza F_n' al valor F' deseado, mayor será la diferencia entre dos niveles F_n' sucesivos.

- 40 Gracias a esta disposición ventajosa de la invención, el tiempo de implementación del procedimiento según la invención, hasta lograr el valor F' de la fuerza de empuje deseada se puede reducir, concretamente con respecto al modo de realización en donde la diferencia entre dos niveles F_n' sucesivos es constante.

Según las conclusiones del inventor, esta disposición ventajosa de la invención es posible gracias al hecho de que, cuanto mayor sea la fuerza de pretensado F_{n-1}' aplicada a la herramienta $1'$ en cada iteración, mayor es el incremento de aumento de fuerza $\Delta F_n'$ que puede aplicarse a la herramienta $1'$ antes de que la fuerza de reacción R' de la superficie $3'$ sobre la herramienta $1'$ quede fuera del cono de fricción CF' y, por tanto, que la herramienta $1'$ se deslice sobre la superficie $3'$.

- 50 Este modo de realización se representa, por ejemplo, de manera esquemática en las figuras 12a a 12i, en las que se aplican cuatro niveles sucesivos de fuerza F_n' creciente, tales como $F_1' < F_2' < F_3' < F_4' = F'$, los incrementos de aumento de fuerzas $\Delta F_n'$ sucesivos también son crecientes.

Por razones de claridad, las deformaciones de la superficie $3'$ no se representan en las diferentes figuras 12a a 12i.

Asimismo, para mayor claridad, se ha representado los movimientos del eje B' de la herramienta $1'$ en el plano (Oxz) definido anteriormente con únicamente la orientación de la perpendicular N' a la superficie $3'$ con respecto al eje B' de la herramienta $1'$ alrededor del eje ($O'y$) según el centro de rotación O' , con el ángulo A_n , y la orientación de la línea ($O'O18$) con respecto al eje B' de la herramienta $1'$ alrededor del eje ($O'y$) según el centro de rotación $O18$, con el ángulo C_n .

La herramienta $1'$ está en la posición inicial en la figura 12a, correspondiente a la etapa (a') del procedimiento, con su eje B' alineado con la perpendicular N' a la superficie $3'$.

- 65

La primera iteración del procedimiento con la primera sucesión de las etapas (b') a (d') se representa entonces en las figuras 12b y 12c, la figura 12b representando la herramienta 1' en su posición al final de la etapa (b'), estando su eje B' orientado según el par de ángulos (A_n , B_n) alrededor del primer centro de rotación O' y según el par de ángulos (C_n , D_n) alrededor del segundo centro de rotación 018, mientras que la figura 12c representa la herramienta 1' en su posición al final de la etapa (d').

La segunda iteración del procedimiento con la segunda sucesión de las etapas (b') a (d') se representa en las figuras 12d y 12e, la tercera en las figuras 12f y 12g, y la cuarta y última en las figuras 12h y 12i.

Los cronogramas representados en la figura 13 representan el valor de la fuerza F_n aplicada a la herramienta 1' durante las cuatro iteraciones del procedimiento descritas anteriormente, con los cuatro niveles sucesivos crecientes F_1 a F_4 , así como la variación del valor del ángulo A_n y del ángulo C_n . Para mayor simplicidad, no se representa la variación del valor del ángulo B_n y del ángulo D_n a lo largo del tiempo.

Como se representa en el cronograma en la parte superior de la figura 13, la fuerza F_n puede ser aplicada durante cada una de las iteraciones de manera creciente hasta alcanzar el valor F_n deseado y luego se mantiene en este valor F_n hasta el final de la etapa (d'), al final de la cual la orientación del eje B' de la herramienta 1' con respecto a la perpendicular N' a la superficie 3', alrededor del primer O' y del segundo centro de rotación 018 se corrige para volver a su posición inicial.

La variación de la fuerza F_n y de cada uno de los ángulos A_n , B_n , C_n y D_n durante cada una de dichas iteraciones se pueden realizar de forma más o menos rápida, y de manera sustancialmente lineal, como se representa en la figura 13, o de cualquier otra manera, concretamente a fin de ganar precisión y/o rapidez de ejecución.

Según un modo de realización, la herramienta 1' es una herramienta de perforación.

Alternativamente, la herramienta 1' puede ser cualquier otro tipo de herramienta empleada en el contexto de la fabricación de aeronaves, como por ejemplo una herramienta de remachado, de soldadura, de escariado, etc.

Según un modo de realización, al final de la etapa (a') y durante cada una de las etapas (b') a (d'), el segundo centro de rotación 018 está posicionado en dirección opuesta a la herramienta 1' con respecto a la superficie 3'.

Así, y según las conclusiones del inventor, tal posición del segundo centro de rotación 018 mejora la estabilidad de la herramienta 1' durante la aplicación de la fuerza F por iteraciones durante el procedimiento según la invención y, concretamente, en comparación con un procedimiento que proporciona el segundo centro de rotación 018 situado en el mismo lado de la superficie 3' que el primer centro de rotación O' y, en particular, por encima del mismo, en la dirección de la perpendicular N' a la superficie 3'.

La rotación del eje B' de la herramienta 1' con respecto a la perpendicular N' a la superficie 3' alrededor del primer O' y del segundo centro de rotación 018 se realiza con una amplitud reducida, lo que reduce el riesgo de deslizamiento de la herramienta 1' sobre la superficie 3' y facilita la corrección de la inclinación del eje B' con respecto a la perpendicular N' a la superficie 3' alrededor del primer O' y del segundo centro de rotación 018 y, por tanto, simplifica el procedimiento según la invención.

La invención también se refiere a un dispositivo 10' que comprende una herramienta 1' con:

- un cuerpo de soporte 11' provisto de medios para medir una fuerza de reacción R' de una superficie 3' sobre dicha herramienta 1', cuando la herramienta 1' presiona contra dicha superficie,
- unos medios de presión de la herramienta 1' contra dicha superficie 3', configurados para realizar la presión de la herramienta 1' sobre dicha superficie 3' con una orientación variable del eje B' de la herramienta 1' con respecto a la superficie 3', según dos centros de rotación distintos: dicho primer centro de rotación O' estando situado en dicha superficie 3' y dicho segundo centro de rotación 018 alejado de dicha superficie 3',
- unos primeros medios de medición configurados para medir dicha orientación de la perpendicular N' de la superficie 3' con respecto al eje B' de la herramienta 1', y
- unos segundos medios de medición configurados para medir la orientación de la línea (O'O18) con respecto al eje B' de la herramienta 1',
- una parte operativa de herramienta 17', destinada a ser implementada para efectuar una operación de fabricación sobre dicha superficie 3'.

Según la invención, dicho dispositivo 10' comprende también un brazo articulado 2' en cuyo extremo se fija dicha herramienta 1', estando el brazo articulado 2' configurado para aplicar una fuerza de empuje con un eje A' a la herramienta 1', y unos medios de control configurados para la implementación de las etapas del procedimiento de

empuje de la herramienta 1' según uno de los modos de realización descrito anteriormente.

Todas las disposiciones relativas al procedimiento descrito anteriormente son aplicables al dispositivo 10' según la invención.

5 Como es visible en el ejemplo de realización de la figura 9, el brazo articulado 2' del dispositivo 10' es un brazo articulado robótico empleado de manera conocida en aeronáutica para realizar automáticamente diferentes operaciones de fabricación de una aeronave, tal como se ha descrito anteriormente.

10 La orientación y el posicionamiento de la herramienta 1' y, por tanto, del eje B', así como de la línea O'O18, de la herramienta 1', en el espacio (O'xyz) se realiza gracias a las diferentes articulaciones del brazo articulado 2', estando unos medios de fijación rígidos previstos entre dicha herramienta 1' y el extremo del brazo articulado 2' que la recibe, configurados para asegurar la inmovilización de la herramienta 1' con respecto al brazo articulado 2'.

15 La parte operativa de herramienta 17' es el elemento que realizará como tal la operación de fabricación deseada sobre dicha superficie 3' de la pieza. La parte operativa de herramienta 17' puede ser, por ejemplo, una broca en el caso de una operación de perforación, una fresa en el caso de una operación de fresado, etc.

20 De este modo, la parte operativa de la herramienta 17' puede ser capaz de moverse con respecto al cuerpo de soporte 11' de la herramienta 1', por ejemplo, girando alrededor del eje B' de la herramienta 1' y/o trasladándose a lo largo de dicho eje B', en el caso de una herramienta de perforación. Para ello, pueden proporcionarse unos medios móviles adicionales (no representados).

25 Del mismo modo, el empuje con la fuerza F_n' de la herramienta 1' contra la superficie 3' puede realizarse por medio del brazo articulado 2', que fuerza a la herramienta 1' contra la superficie 3'.

30 Concretamente, durante el transcurso del procedimiento según la invención, el posicionamiento de la herramienta 1' durante la etapa (a'), la aplicación a la herramienta 1' de una fuerza F_n' durante la etapa (b') y la reorientación de la herramienta 1' durante la etapa (d') pueden efectuarse gracias a los movimientos del brazo articulado 2', controlado a través de unos medios de control.

35 Los medios de control no representados pueden comprender, por ejemplo, uno o varios circuitos electrónicos, configurados para recibir las informaciones medidas por los medios para medir una fuerza de reacción R' de la superficie 3' sobre la herramienta 1', por los primeros medios para medir la orientación de la perpendicular N' a dicha superficie 3' con respecto al eje B' de la herramienta 1' y por los segundos medios para medir la orientación de la línea (O'O18) con respecto a el eje B' de la herramienta 1', y para transmitir unas señales de control al brazo articulado 2' para ejecutar dicho procedimiento.

40 Los medios de control pueden comprender, por ejemplo, unos medios informáticos.

Como es visible en los ejemplos de realización de las figuras 10, 11a y 11b, el cuerpo de soporte 11' de la herramienta 1' puede comprender una parte de fijación 13', configurada para asegurar la fijación rígida de la herramienta 1' en el extremo del brazo articulado 2', por ejemplo, mediante tornillos de fijación.

45 El cuerpo de soporte 11' también puede comprender una porción de recepción 14' de la parte operativa de la herramienta 17', que incluye, por ejemplo, una pared interior P14', configurada para permitir el paso de la parte operativa de la herramienta 17' con respecto al cuerpo de soporte 11'.

50 Ventajosamente, dicha pared interior P14' tiene una forma correspondiente a la de la parte operativa de herramienta 17', por ejemplo, cilíndrica en el caso de una parte operativa de herramienta 17' de forma cilíndrica.

55 La parte de fijación 13' puede estar dispuesta por encima de la porción de recepción 14' del cuerpo de soporte 11' cuando la herramienta 1' está presionando sobre la superficie 3', en su posición de funcionamiento para la implementación del procedimiento según la invención, como es visible en los ejemplos de realización de las figuras 10, 11a y 11b.

60 Los medios para medir una fuerza de reacción R' de la superficie 3' sobre la herramienta 1' pueden comprender, por ejemplo, uno o varios sensores de fuerza (por ejemplo, galgas extensométricas) dispuestos en el cuerpo de soporte 11' y, concretamente, en la porción de recepción 14' de la parte operativa de la herramienta 17'.

Como alternativa o como complemento, dichos medios para medir una fuerza de reacción R' de la superficie 3' sobre la herramienta 1' pueden estar dispuestos sobre el brazo articulado 2'.

65 Los primeros medios para medir la orientación de la perpendicular N' a la superficie 3' con respecto al eje B' de la herramienta 1' y/o los segundos medios para medir la orientación de la línea (O'O18) con respecto al eje B' de la herramienta 1', pueden comprender, por ejemplo, uno o varios sensores angulares dispuestos sobre la herramienta

1'.

Ventajosamente, dichos primeros medios para medir la orientación de la perpendicular N' a la superficie 3' con respecto al eje B' de la herramienta 1' y/o los segundos medios para medir la orientación de la línea (O'O18) con respecto al eje B' de la herramienta 1' pueden configurarse para medir la modificación de la orientación de los medios de presión 12' de la herramienta 1' con respecto a la perpendicular N' a la superficie 3', que corresponde a la orientación de la perpendicular N' a la superficie 3' con respecto al eje B' de la herramienta 1' alrededor del primer centro de rotación O' combinada con la orientación de la línea (O'O18) con respecto al eje B' de la herramienta 1' alrededor del segundo centro de rotación O18.

Según un modo de realización, los medios de presión de la herramienta 1' contra dicha superficie 3' comprenden:

- una primera rótula 12' con un centro de rotación O' correspondiente a dicho primer centro de rotación O' del eje B' de la herramienta 1' con respecto a la superficie 3', que comprende una primera parte 15' que presenta un extremo E15' destinado a presionar contra dicha superficie 3' y una segunda parte 16' solidaria con una pieza intermedia 19 entre dicha primera parte 15' y el cuerpo de soporte 11', estando la primera parte 15' articulada con respecto a la segunda parte 16' según al menos dos grados de libertad, y
- una segunda rótula 18 con un centro de rotación O18 correspondiente a dicho segundo centro de rotación O18 del eje B' de la herramienta 1' con respecto a la superficie 3', que comprende una primera parte 18A rígidamente fijada a dicha pieza intermedia 19 y una segunda parte 18B rígidamente fijada al cuerpo de soporte 11', estando la primera parte 18A articulada con respecto a la segunda parte 18B según al menos dos grados de libertad.

El extremo E15' con función de presión puede configurarse para obtener una presión circular, continua o discontinua. La presión circular puede tener por ejemplo un diámetro inferior a 5 cm, preferentemente inferior a 3 cm, e incluso preferentemente inferior a 2 cm.

Según un modo de realización, la primera parte 15' de la primera rótula 12' comprende una porción S15' que forma sustancialmente una porción de una esfera convexa y, concretamente, una semiesfera, desde donde se extiende, en un lado, el extremo E15' destinado a presionar contra la superficie 3', así como, en el otro lado, un primer manguito F15', configurado para recibir internamente, al menos parcialmente, la parte operativa de la herramienta 17', estando los primeros medios para medir la orientación de la perpendicular N' a la superficie 3' con respecto al eje B' de la herramienta 1' configurados para medir el desplazamiento de dicho primer manguito F15' con respecto al cuerpo de soporte 11'.

Dicha segunda parte 16' de la primera rótula 12' puede comprender entonces una porción S16' que forma sustancialmente una porción de una esfera cóncava y, concretamente, una semiesfera, formada en dicha pieza intermedia 19, y configurada para cooperar con dicha porción S15' de la primera parte 15' de la primera rótula 12'.

La primera parte 18A de la segunda rótula 18 también puede comprender una porción S18A que forma sustancialmente una porción de una esfera convexa formada en dicha pieza intermedia 19 y, concretamente, una semiesfera desde la cual se extiende, en dirección opuesta al extremo E15' de la primera parte 15' de la primera rótula 12' un manguito F19, que recibe internamente el primer manguito F15' de la primera parte 15' de la primera rótula 12', estando los segundos medios para medir la orientación de la línea (O'O18) de la herramienta 1' con respecto al eje B' de la herramienta 1' configurados para medir el desplazamiento de dicho segundo manguito F19 con respecto al cuerpo de soporte 11'.

De hecho, la variación angular de los ángulos An y Bn de la perpendicular N a la superficie 3 con respecto al eje B' de la herramienta 1', así como la variación angular de los ángulos Cn y Dn de la línea (O'O18) con respecto al eje B' de la herramienta 1', siendo pequeña durante la implementación del procedimiento según la invención, por ejemplo, del orden de unos pocos minutos de arco, puede resultar complicado determinar esta variación angular en dicha porción S15' de la primera parte 15' de la primera rótula 12', así como en dicha porción S18A de la primera parte 18A de la segunda rótula 18.

Ahora bien, la modificación de la orientación de la perpendicular N' a la superficie 3' con respecto al eje B' de la herramienta 1' y la modificación de la orientación de la línea (O'O18) con respecto al eje B' de la herramienta 1' generará un desplazamiento significativo, respectivamente en el extremo superior del primer manguito F15' y en el extremo superior del segundo manguito F19, es decir, los extremos de la primera F15' y del segundo manguito, F19', situados en dirección opuesta al extremo E15' de la primera parte 15' de la primera rótula 12', por un efecto de brazo de palanca, que se mide más fácilmente para conocer respectivamente la orientación de la primera parte 15' con respecto a la segunda parte 16' de la primera rótula 12 y la orientación de la primera parte 18A con respecto a la segunda parte 18B de la segunda rótula 18.

Como es visible en el ejemplo de realización de las figuras 11a y 11b, a fin de facilitar esta medición, puede ser ventajoso maximizar este desplazamiento empleando un primer manguito F15' y/o un segundo manguito F19, cada uno respectivamente con una longitud significativa, por ejemplo, de manera que su extremo superior respectivo esté

situado cerca de la parte de fijación 13' del cuerpo de soporte 11'.

A fin de facilitar la medición del desplazamiento del segundo manguito F19 con respecto al cuerpo de soporte 11' sin obstaculizar la medición del desplazamiento del primer manguito F15' con respecto al cuerpo de soporte 11', el segundo manguito F19 puede tener una longitud estrictamente inferior a la longitud del primer manguito F15'.

Los primeros medios para medir la orientación de la perpendicular N' a la superficie 3' con respecto al eje B' de la herramienta 1' y/o los segundos medios para medir la orientación de la línea (O'O18) pueden así posicionarse respectivamente de manera ventajosa en el cuerpo de soporte 11', sobre la porción de recepción 14' de la parte operativa de la herramienta 17' y, concretamente, cerca de la parte de fijación 13' del cuerpo de soporte 11', lo que permite no saturar la zona cercana al extremo E15' de la primera parte 15' de la primera rótula 12'.

En un modo de realización de este tipo, la pared interior P14', que permite el paso de la parte operativa de herramienta 17', puede coincidir, al menos en parte, con la pared interior del primer manguito F15'.

Como es visible en los ejemplos de realización de las figuras 11a y 11b, la segunda parte 16' de la primera rótula 12' puede comprender una porción S16' que forma sustancialmente una porción de una esfera cóncava y, concretamente, una semiesfera, de dimensiones correspondientes a la porción S15' de la primera parte 15' de la rótula 12', a fin de constituir un asiento para dicha porción S15' de la primera parte 15' de la primera rótula 12', a fin de permitir la rotación de la primera parte 15' con respecto a la segunda parte 16' alrededor de los tres ejes (O'x), (O'y) y (O'z) definidos anteriormente.

De igual manera, dicha segunda parte 18B de la segunda rótula 18 puede comprender una porción S18B que forma sustancialmente una porción de una esfera cóncava y, concretamente, una semiesfera, de dimensiones correspondientes a la porción S18A de la primera parte 18A' de la segunda rótula 18, a fin de constituir un asiento para dicha porción S18A de la primera parte 18A de la segunda rótula 18A, a fin de permitir la rotación de la primera parte 18A con respecto a la segunda parte 18B alrededor de los tres ejes (O'x), (O'y) y (O'z) definidos anteriormente.

Para cada una de las primera 12' y segunda rótula 18, unos medios de reducción de la fricción, como, por ejemplo, perlas, pueden proporcionarse a fin de facilitar la rotación de la primera parte 15', respectivamente 18A con respecto a la segunda parte 16', respectivamente 18B. Asimismo, unos medios de fijación pueden proporcionarse a fin de garantizar la inmovilización en traslación y, concretamente, a lo largo del eje (O'z) de la primera parte 15', respectivamente 18A con respecto a la segunda parte 16', respectivamente 18B.

Según un modo de realización, dicha primera rótula 12' está configurada de manera que el centro de rotación O' de la primera rótula 12' quede dispuesto en la superficie 3' cuando el extremo E15' de la primera parte 15' de la primera rótula 12' presiona contra dicha superficie 3'.

Esta disposición es particularmente ventajosa porque la fuerza ejercida por la herramienta 1' se aplica en el centro de rotación O' de la primera rótula 12'.

De este modo, la modificación de la orientación de la perpendicular N' a la superficie 3' con respecto al eje B' de la herramienta 1' corresponderá a la modificación de la orientación de la primera parte 15' con respecto a la segunda parte 16' de rótula 12', lo que simplifica el cálculo de la orientación de la perpendicular N' a la superficie 3' con respecto al eje B' de la herramienta 1' alrededor del primer centro de rotación O'.

Asimismo, dicha segunda rótula 18' puede configurarse de manera que el centro de rotación O18 de la segunda rótula 18 quede alejado de la superficie 3' y posicionado en dirección opuesta a la herramienta 1' con respecto a la superficie 3', cuando el extremo E15' de la primera parte 15' de la rótula 12' presiona contra dicha superficie 3'.

Como se ha mencionado más arriba, tal posición del segundo centro de rotación O18 mejora la estabilidad de la herramienta 1' durante la aplicación de la fuerza F' por iteraciones durante el procedimiento según la invención implementado con el dispositivo según la invención y, concretamente, en comparación con un dispositivo que proporciona el segundo centro de rotación O18 situado en el mismo lado de la superficie 3' que el primer centro de rotación O' y, en particular, por encima del mismo, en la dirección de la perpendicular N' a la superficie 3'.

La rotación del eje B' de la herramienta 1' con respecto a la perpendicular N' a la superficie 3' alrededor del primer O' y del segundo centro de rotación O18 se realiza con una amplitud reducida, lo que reduce el riesgo de deslizamiento de la herramienta 1' sobre la superficie 3' y facilita la corrección de la inclinación del eje B' con respecto a la perpendicular N' a la superficie 3' alrededor del primer O' y del segundo centro de rotación O18.

Ventajosamente, la distancia que separa el primer centro de rotación O' de la primera rótula 12' del segundo centro de rotación O18 de la segunda rótula 18 puede estar comprendida entre 10 mm y 60 mm.

Ventajosamente, el cuerpo de soporte 11' puede tener una forma sustancialmente cilíndrica. Esto permite reducir el volumen de la herramienta 1' y, concretamente, en el caso en que la parte operativa de herramienta 17' tenga forma

cilíndrica, como, por ejemplo, una herramienta de perforación.

La invención se refiere por último a una herramienta 1' destinada a ser posicionada en el extremo de un brazo articulado 2' para ser empujada con una fuerza F' a lo largo de un eje A' contra una superficie 3' con una perpendicular N', en donde la herramienta 1' es capaz de pivotar con respecto a la superficie 3' cuando se posiciona contra dicha superficie 3', según dos centros de rotación distintos: un primer centro de rotación O' situado en dicha superficie 3' y un segundo centro de rotación (O18) alejado de dicha superficie 3', comprendiendo dicha herramienta 1':

- 10 - un cuerpo de soporte 11' provisto de medios para medir una fuerza de reacción R' de una superficie 3' sobre dicha herramienta 1', cuando la herramienta 1' presiona contra dicha superficie 3',
- unos medios de presión de la herramienta 1' contra dicha superficie 3', configurados para realizar la presión de la herramienta 1' sobre dicha superficie 3' con una orientación variable del eje B' de la herramienta 1' con respecto a la superficie 3', según dos centros de rotación distintos: dicho primer centro de rotación O' situado sobre dicha superficie 3' y dicho segundo centro de rotación O18 alejado de dicha superficie 3',
- unos primeros medios de medición configurados para medir dicha orientación de la perpendicular N' de la superficie 3' con respecto al eje B' de la herramienta 1', y
- 20 - unos segundos medios de medición configurados para medir la orientación de la línea (O'O18) con respecto al eje B' de la herramienta 1'.

Dicha herramienta 1' puede adaptarse concretamente a la implementación del procedimiento de empuje según la invención, tal como se ha descrito anteriormente, todas las disposiciones relativas al procedimiento descritas anteriormente pueden aplicarse a dicha herramienta 1'.

De igual manera, dicha herramienta 1' puede pertenecer al dispositivo 10' según la invención previsto para la implementación del procedimiento según la invención. Todas las disposiciones de la herramienta 1' del dispositivo 10' según la invención descritas anteriormente se aplican a la herramienta 1' según la invención.

Concretamente, los medios de presión de la herramienta 1' contra dicha superficie 3' pueden comprender:

- 35 - una primera rótula 12' con un centro de rotación O' correspondiente a dicho primer centro de rotación O' del eje B' de la herramienta 1' con respecto a la superficie 3', que comprende una primera parte 15' que presenta un extremo E15' destinado a presionar contra dicha superficie 3' y una segunda parte 16' solidaria con una pieza intermedia 19 entre dicha primera parte 15' y el cuerpo de soporte 11', estando la primera parte 15' articulada con respecto a la segunda parte 16' según al menos dos grados de libertad, y
- 40 - una segunda rótula 18 con un centro de rotación O18 correspondiente a dicho segundo centro de rotación O18 del eje B' de la herramienta 1' con respecto a la superficie 3', que comprende una primera parte 18A rígidamente fijada a dicha pieza intermedia 19 y una segunda parte 18B rígidamente fijada al cuerpo de soporte 11', estando la primera parte 18A articulada con respecto a la segunda parte 18B según al menos dos grados de libertad.
- 45 Naturalmente, otros modos de realización habrían podido considerarse por el experto en la materia sin por ello salirse del marco de la invención definida por las reivindicaciones a continuación.

NOMENCLATURA

- 50 1, 1'. Herramienta
- A, A'. Eje de la fuerza
- B, B'. Eje de la herramienta
- 11, 11'. Cuerpo de soporte
- 12, 12', 18. Rótula
- 55 13, 13'. Parte de fijación
- 14, 14'. Porción de recepción de la herramienta
- P14, P14'. Pared interior
- 15, 15'. Primera parte de rótula
- E15, E15'. Extremo
- 60 F15, F15'. Manguito
- S15, S15'. Porción esférica
- 16, 16'. Segunda parte de rótula
- S16, S16'. Porción esférica
- O. Punta de la herramienta, centro de rotación de la rótula
- 65 17, 17'. Parte operativa de herramienta
- P17, P17'. Pared periférica exterior

	2, 2'. Brazo articulado
	3, 3'. Superficie
	N, N'. Perpendicular
	10, 10'. Dispositivo
5	F, Fn, F', Fn'. Fuerza
	R, R'. Fuerza de reacción
	CF, CF'. Cono de fricción
	Θ_n , β_n . Ángulo
	O'. Primer centro de rotación
10	018. Segundo centro de rotación
	An, Bn, Cn, Dn. Ángulo
	19. Pieza intermedia
	F19. Manguito

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de empuje con una fuerza (F) a lo largo de un eje (A) de una herramienta (1) en el extremo de un brazo articulado (2) contra una superficie (3) con una perpendicular (N), que comprende las etapas:

- (a) posicionamiento de la herramienta (1) contra dicha superficie (3), para hacer coincidir el eje (B) de la herramienta con dicho eje (A) de la fuerza (F), estando el eje (A) orientado según un par de ángulos ($\Theta 0$, $\beta 0$) con respecto a la perpendicular (N),
- (b) aplicación a la herramienta (1) de una fuerza creciente hasta alcanzar un valor (F_n), correspondiente a una fracción de la fuerza (F), estando el valor de la fuerza (F_n) aplicada controlado a través de medios para medir la fuerza de reacción (R) de la superficie (3) sobre la herramienta (1),
- (c) medición del par de ángulos (Θ_n , β_n) del eje (B) de la herramienta (1) con respecto a la perpendicular (N), después de haber alcanzado dicho valor de fuerza (F_n),
- (d) reorientación de la herramienta (1) de manera que su eje (B) recupera dicha orientación según dicho par de ángulos ($\Theta 0$, $\beta 0$) con respecto a la perpendicular (N),

procedimiento en donde se continúa con una iteración, por repetición de las etapas (b) a (d), aumentando progresivamente la fuerza (F_n) en cada iteración, y hasta alcanzar el valor de fuerza (F), el incremento de aumento (ΔF_n) entre dos niveles (F_n) sucesivos correspondiente a la diferencia entre el valor (F_n) de una iteración y el valor (F_{n-1}) de la iteración anterior, siendo dicho incremento inferior a un valor determinado, para evitar el deslizamiento de la herramienta (1) sobre la superficie (3) durante todo el procedimiento, desde el posicionamiento de la herramienta (1) sobre la superficie (3) durante la etapa (a) y hasta la obtención de la fuerza (F) deseada al final de la etapa (d) de la última iteración del procedimiento.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, en donde el eje (A) de la fuerza de empuje (F) corresponde a la perpendicular (N) a la superficie (3), de manera que dicho par de ángulos corresponde a ($\Theta 0=0^\circ$, $\beta 0=0^\circ$).

3. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 o 2, en donde el incremento de aumento ΔF_n es constante.

4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, en donde el incremento de aumento ΔF_n entre dos niveles (F_n) sucesivos no es constante, creciente.

5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, en donde la herramienta (1) es una herramienta de perforación.

6. Dispositivo (10) que comprende una herramienta (1) con:

- un cuerpo de soporte (11) provisto de medios para medir una fuerza de reacción (R) de una superficie (3) sobre dicha herramienta (1), cuando la herramienta (1) presiona contra dicha superficie,
- unos medios de presión (12) de la herramienta (1) contra dicha superficie (3), configurados para realizar la presión de la herramienta (1) sobre dicha superficie (3) con una orientación variable del eje (B) de la herramienta (1) con respecto a la perpendicular (N) a la superficie (3),
- unos medios para medir dicha orientación del eje (B) de la herramienta (1) con respecto a la perpendicular (N) de dicha superficie (3),
- una parte operativa de herramienta (17), destinada a ser implementada para efectuar una operación de fabricación sobre dicha superficie (3), comprendiendo dicho dispositivo (10) también un brazo articulado (2) en cuyo extremo se fija dicha herramienta (1), estando el brazo articulado (2) configurado para aplicar una fuerza de empuje con un eje (A) a la herramienta (1),
- y unos medios de control configurados para la implementación de las etapas del procedimiento de empuje de la herramienta (1) según una de las reivindicaciones 1 a 5.

7. Dispositivo (10) según la reivindicación 6, en donde los medios de presión (12) de la herramienta (1) contra dicha superficie (3) comprenden una rótula (12) que comprende una primera parte (15) que presenta un extremo (E15) destinado a presionar contra dicha superficie (3) y una segunda parte (16) fijada rígidamente al cuerpo de soporte (11), estando la primera parte (15) articulada con respecto a la segunda parte (16) según tres grados de libertad, con un centro de rotación (O).

8. Dispositivo (10) según la reivindicación 7, en donde la primera parte (15) de la rótula (12) comprende una porción (S 15) que forma sustancialmente una porción de una esfera convexa y, concretamente, una semiesfera, desde donde se extiende, en un lado, el extremo (E15) destinado a presionar contra la superficie (3), así como, en el otro lado, un manguito (F15), configurado para recibir internamente, al menos parcialmente, la parte operativa de la herramienta (17), estando los medios para medir la orientación del eje (B) de la herramienta (1) con respecto a la superficie (3) configurados para medir el desplazamiento de dicho manguito (F15) con respecto al cuerpo de soporte (11).

9. Dispositivo (10) según la reivindicación 7 u 8, en donde dicha rótula (12) está configurada para que el centro de

rotación (O) de la rótula (12) quede dispuesto en la superficie (3) cuando el extremo (E15) de la primera parte (15) de la rótula (12) presiona contra dicha superficie (3).

10. Dispositivo según la reivindicación 9, en donde el cuerpo de soporte (11) tiene forma sustancialmente cilíndrica.

11. Procedimiento de empuje con una fuerza (F') a lo largo de un eje (A') de una herramienta (1') en el extremo de un brazo articulado (2') contra una superficie (3') con una perpendicular (N'), en donde la herramienta (1') es capaz de pivotar con respecto a la superficie (3') cuando se posiciona contra dicha superficie (3'), según dos centros de rotación distintos: un primer centro de rotación (O') situado sobre dicha superficie (3) y un segundo centro de rotación (O18) alejado de dicha superficie (3'),

comprendiendo dicho procedimiento las etapas:

(a') posicionamiento de la herramienta (1') contra dicha superficie (3'), para hacer coincidir el eje (B') de la herramienta con dicho eje (A') de la fuerza (F'), estando el eje (A') orientado según un par de ángulos (A0, B0) con respecto a la perpendicular (N') y la línea (O'O18) estando orientada según un par de ángulos (C0, D0) con respecto al eje (B') de la herramienta (1'),

(b') aplicación a la herramienta (1') de una fuerza creciente hasta alcanzar un valor (Fn'), correspondiente a una fracción de la fuerza (F'), estando el valor de la fuerza (Fn') aplicada controlado a través de medios para medir la fuerza de reacción (R') de la superficie (3') sobre la herramienta (1'),

(c') después de haber alcanzado dicho valor de fuerza (Fn'):

- medición del par de ángulos (An, Bn) de la inclinación de la perpendicular (N') de la superficie (3') con respecto al eje (B') de la herramienta (1'), y

- medición del par de ángulos (Cn, Dn) de la inclinación de la línea (O'O18) con respecto al eje (B') de la herramienta (1'),

(d') reorientación de la herramienta (1') con respecto a la superficie (3') según dos rotaciones combinadas alrededor de cada uno de los dos centros de rotación (O', O18) de manera que:

- el eje (B') de la herramienta (1') recupera dicha orientación según dicho par de ángulos (A0, B0) con respecto a la perpendicular (N') a la superficie (3'),

- el par de ángulos (Cn, Dn) toma el valor (0°, 0°), para asegurar la alineación de la línea (O'O18) con el eje (B') de la herramienta (1'), y

procedimiento en donde se continúa con una iteración, por repetición de las etapas (b') a (d'), aumentando progresivamente la fuerza (Fn') en cada iteración, y hasta alcanzar el valor de la fuerza (F'), el incremento de aumento ($\Delta F_n'$) entre dos niveles (Fn') sucesivos correspondiente a la diferencia entre el valor (Fn') de una iteración y el valor (Fn'-1) de la iteración anterior, siendo dicho incremento inferior a un valor determinado, para evitar el deslizamiento de la herramienta (1') sobre la superficie (3') durante todo el procedimiento, desde el posicionamiento de la herramienta (1') sobre la superficie (3') durante la etapa (a') y hasta la obtención de la fuerza (F') deseada al final de la etapa (d') de la última iteración del procedimiento.

12. Procedimiento según la reivindicación 11, en donde el eje (A') de la fuerza de empuje (F') corresponde a la perpendicular (N') a la superficie (3'), de manera que dicho par de ángulos (A0, B0) corresponde al valor (0°, 0°).

13. Procedimiento según una de las reivindicaciones 11 o 12, en donde, según una primera alternativa, el incremento de aumento $\Delta F_n'$ es constante, o, según una segunda alternativa, el incremento de aumento $\Delta F_n'$ entre dos niveles (Fn') sucesivos no es constante, creciente.

14. Procedimiento según una de las reivindicaciones 11 a 13, en donde, al final de la etapa (a') y durante cada una de las etapas (b') a (d'), el segundo centro de rotación (O18) está posicionado en dirección opuesta a la herramienta (1') con respecto a la superficie (3').

15. Dispositivo (10') que comprende una herramienta (1') con:

- un cuerpo de soporte (11') provisto de medios para medir una fuerza de reacción (R') de una superficie (3') sobre dicha herramienta (1'), cuando la herramienta (1') presiona contra dicha superficie,

- unos medios de presión de la herramienta (1') contra dicha superficie (3'), configurados para realizar la presión de la herramienta (1') sobre dicha superficie (3') con una orientación variable del eje (B') de la herramienta (1') con respecto a la superficie (3'), según dos centros de rotación distintos: dicho primer centro de rotación (O') estando situado en dicha superficie (3') y dicho segundo centro de rotación (O18) alejado de dicha superficie (3'),

- unos primeros medios de medición configurados para medir dicha orientación de la perpendicular (N') de la superficie (3') con respecto al eje (B') de la herramienta (1'), y

- unos segundos medios de medición configurados para medir la orientación de la línea (O'O18) con respecto al eje (B') de la herramienta (1'),

- una parte operativa de herramienta (17'), destinada a ser implementada para efectuar una operación de fabricación sobre dicha superficie (3'), comprendiendo dicho dispositivo (10') también un brazo articulado (2') en cuyo extremo se fija dicha herramienta (1'), estando el brazo articulado (2') configurado para aplicar una fuerza de empuje con un eje (A') a la herramienta (1'), y unos medios de control configurados para la implementación de las etapas del procedimiento de empuje de la herramienta (1') según una de las reivindicaciones 11 a 14.

16. Dispositivo (10') según la reivindicación 15, en donde los medios de presión de la herramienta (1') contra dicha superficie (3') comprenden:

- una primera rótula (12') con un centro de rotación (O') correspondiente a dicho primer centro de rotación (O') del eje (B') de la herramienta (1') con respecto a la superficie (3'), que comprende una primera parte (15') que presenta un extremo (E15') destinado a presionar contra dicha superficie (3') y una segunda parte (16') solidaria con una pieza intermedia (19) entre dicha primera parte (15') y el cuerpo de soporte (11'), estando la primera parte (15') articulada con respecto a la segunda parte (16') según al menos dos grados de libertad, y
- una segunda rótula (18) con un centro de rotación (O18) correspondiente a dicho segundo centro de rotación (O18) del eje (B') de la herramienta (1') con respecto a la superficie (3'), que comprende una primera parte (18A) rígidamente fijada a dicha pieza intermedia (19) y una segunda parte (18B) rígidamente fijada al cuerpo de soporte (11'), estando la primera parte (18A) articulada con respecto a la segunda parte (18B) según al menos dos grados de libertad.

17. Dispositivo (10') según la reivindicación 16, en donde la primera parte (15') de la primera rótula (12') comprende una porción (S15') que forma sustancialmente una porción de una esfera convexa y, concretamente, una semiesfera, desde donde se extiende, en un lado, el extremo (E15') destinado a presionar contra la superficie (3'), así como, en el otro lado, un primer manguito (F15'), configurado para recibir internamente, al menos parcialmente, la parte operativa de la herramienta (17'), estando los primeros medios para medir la orientación de la perpendicular (N') a la superficie (3') con respecto al eje (B') de la herramienta (1') configurados para medir el desplazamiento de dicho primer manguito (F15') con respecto al cuerpo de soporte (11'),

en donde dicha segunda parte (16') de la primera rótula (12') comprende una porción (S16') que forma sustancialmente una porción de una esfera cóncava y, concretamente, una semiesfera, formada en dicha pieza intermedia (19), y configurada para cooperar con dicha porción (S15') de la primera parte (15') de la primera rótula (12'),

en donde la primera parte (18A) de la segunda rótula (18) comprende una porción (S18A) que forma sustancialmente una porción de una esfera convexa formada en dicha pieza intermedia (19) y, concretamente, una semiesfera desde la cual se extiende, en dirección opuesta al extremo (E15') de la primera parte (15') de la primera rótula (12') un manguito (F19), que recibe internamente el primer manguito (F15') de la primera parte (15') de la primera rótula (12'), estando los segundos medios para medir la orientación de la línea (O'O18) de la herramienta (1') con respecto al eje (B') de la herramienta (1') configurados para medir el desplazamiento de dicho segundo manguito (F19) con respecto al cuerpo de soporte (11').

18. Dispositivo (10) según la reivindicación 16 o 17, en donde dicha primera rótula (12') está configurada para que el primer centro de rotación (O') de la primera rótula (12') quede dispuesto en la superficie (3') cuando el extremo (E15') de la primera parte (15') de la primera rótula (12') presiona contra dicha superficie (3'), y en donde dicha segunda rótula (18') está configurada para que el segundo centro de rotación (O18) de la segunda rótula (18) quede alejado de la superficie (3') y posicionado en dirección opuesta a la herramienta (1') con respecto a la superficie (3'), cuando el extremo (E15') de la primera parte (15') de la rótula (12') presiona contra dicha superficie (3').

19. Herramienta (1') destinada a ser posicionada en el extremo de un brazo articulado (2') para ser empujada con una fuerza (F') a lo largo de un eje (A') contra una superficie (3') con una perpendicular (N'), en donde la herramienta (1') es capaz de pivotar con respecto a la superficie (3') cuando se posiciona contra dicha superficie (3'), según dos centros de rotación distintos: un primer centro de rotación (O') situado sobre dicha superficie (3') y un segundo centro de rotación (O18) alejado de dicha superficie (3'),

comprendiendo dicha herramienta (1'):

- un cuerpo de soporte (11') provisto de medios para medir una fuerza de reacción (R') de una superficie (3') sobre dicha herramienta (1'), cuando la herramienta (1') presiona contra dicha superficie (3'),
- unos medios de presión de la herramienta (1') contra dicha superficie (3'), configurados para realizar la presión de la herramienta (1') sobre dicha superficie (3') con una orientación variable del eje (B') de la herramienta (1') con respecto a la superficie (3'), según dos centros de rotación distintos: dicho primer centro de rotación (O') situado sobre dicha superficie (3') y dicho segundo centro de rotación (O18) alejado de dicha superficie (3'),
- unos primeros medios de medición configurados para medir dicha orientación de la perpendicular (N') de la superficie (3') con respecto al eje (B') de la herramienta (1'), y

- unos segundos medios de medición configurados para medir la orientación de la línea (O'O18) con respecto al eje (B') de la herramienta (1'),

en donde los medios de presión de la herramienta (1') contra dicha superficie (3') comprenden:

- 5
- una primera rótula (12') con un centro de rotación (O') correspondiente a dicho primer centro de rotación (O') del eje (B') de la herramienta (1') con respecto a la superficie (3'), que comprende una primera parte (15') que presenta un extremo (E15') destinado a presionar contra dicha superficie (3') y una segunda parte (16') solidaria con una pieza intermedia (19) entre dicha primera parte (15') y el cuerpo de soporte (11'), estando la primera
- 10
- parte (15') articulada con respecto a la segunda parte (16') según al menos dos grados de libertad, y
- una segunda rótula (18) con un centro de rotación (O18) correspondiente a dicho segundo centro de rotación (O18) del eje (B') de la herramienta (1') con respecto a la superficie (3'), que comprende una primera parte (18A) rígidamente fijada a dicha pieza intermedia (19) y una segunda parte (18B) rígidamente fijada al cuerpo de soporte (11'), estando la primera parte (18A) articulada con respecto a la segunda parte (18B) según al menos
- 15
- dos grados de libertad.

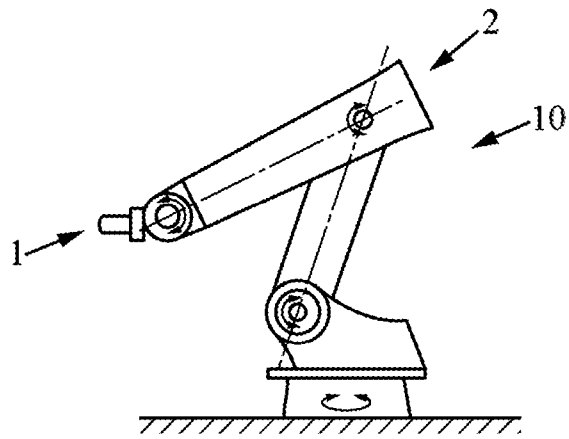


FIG. 1

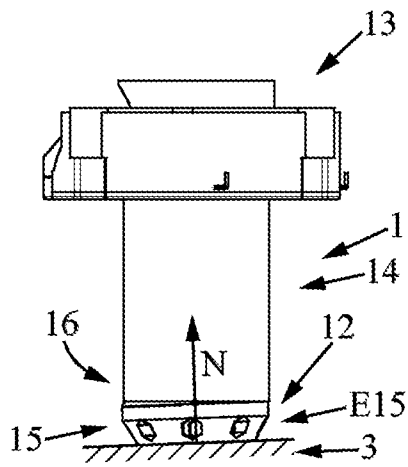


FIG. 2

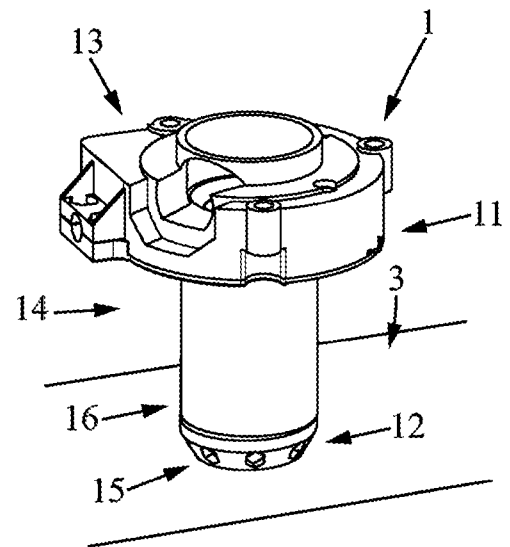
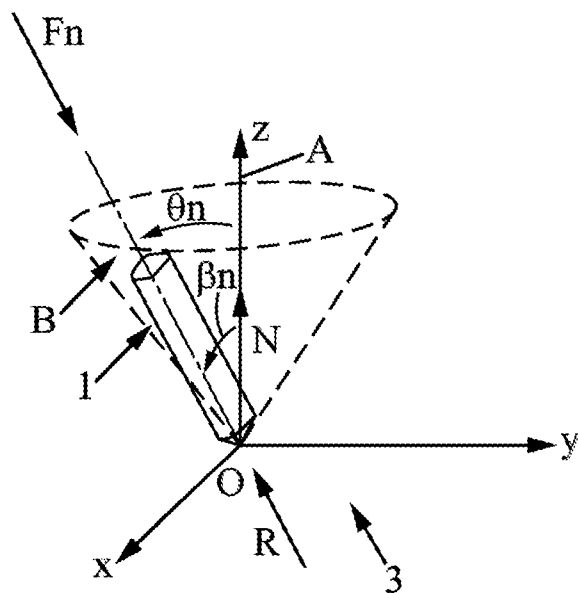
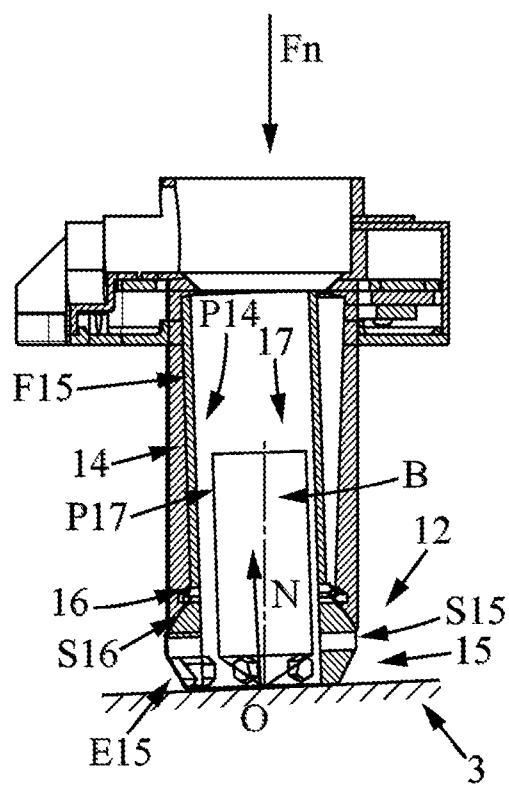


FIG. 3



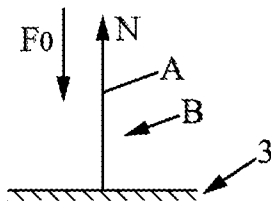


FIG. 5a

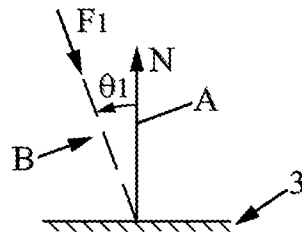


FIG. 5b

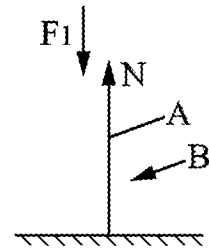


FIG. 5c

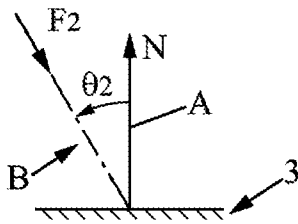


FIG. 5d

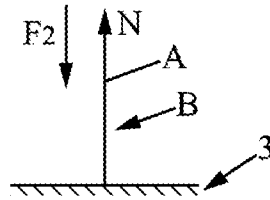


FIG. 5e

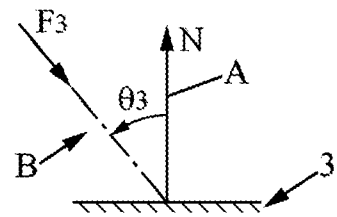


FIG. 5f

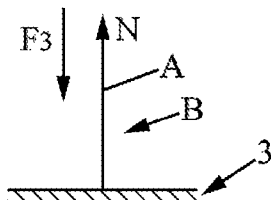


FIG. 5g

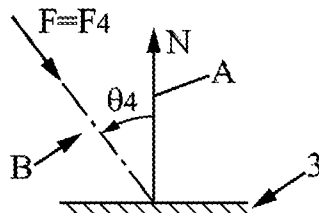


FIG. 5h

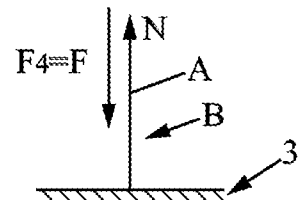


FIG. 5i

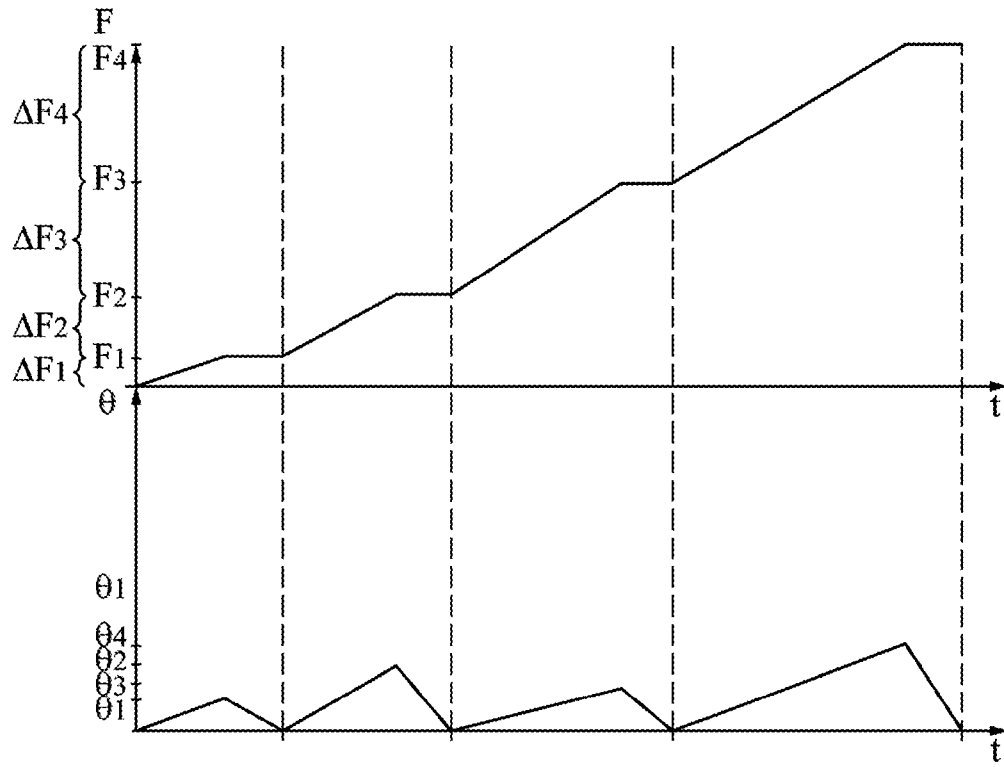


FIG. 6

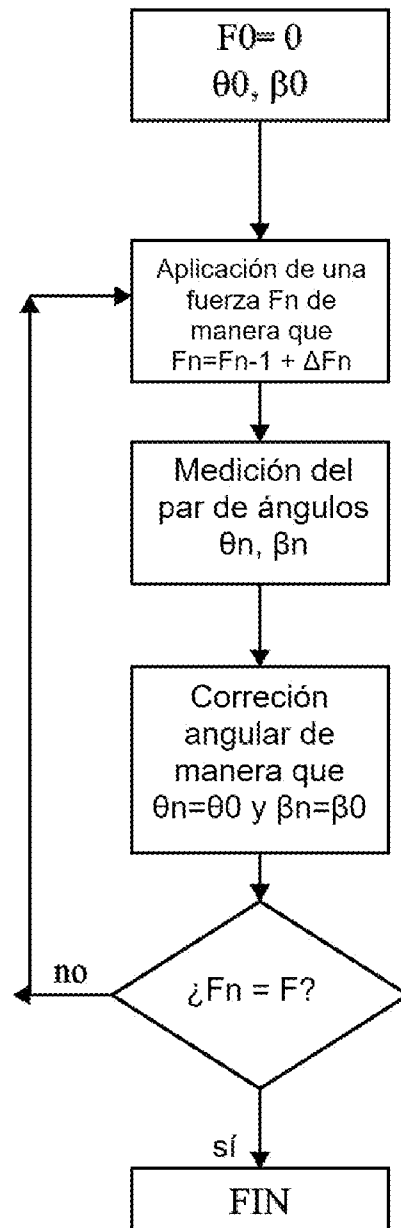


FIG. 8

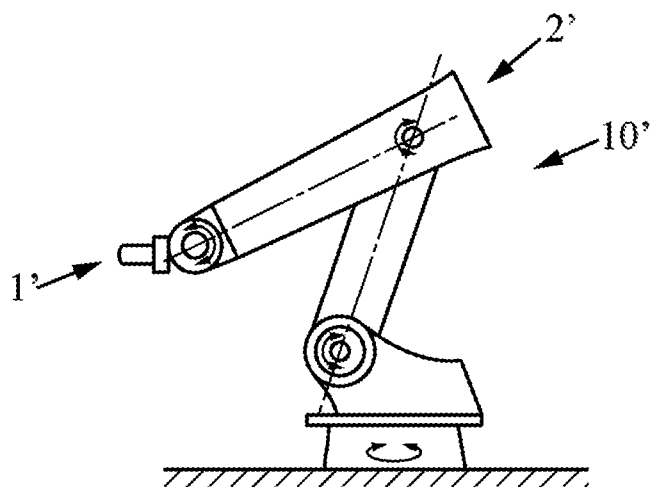


FIG. 9

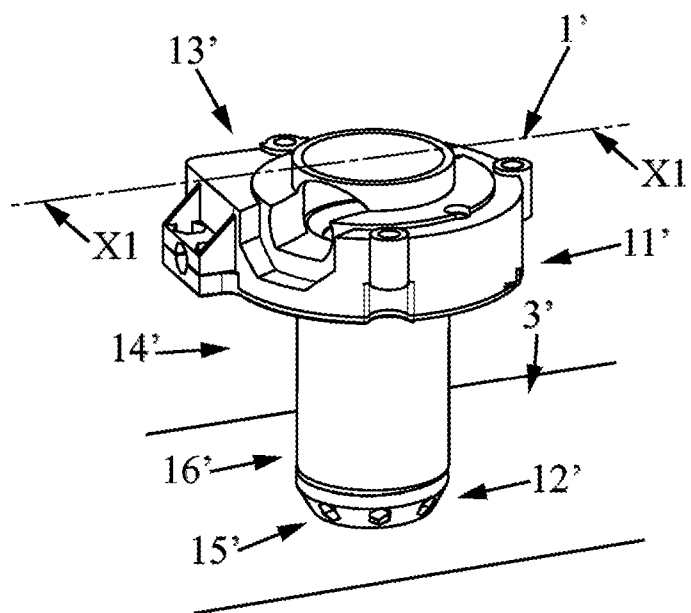
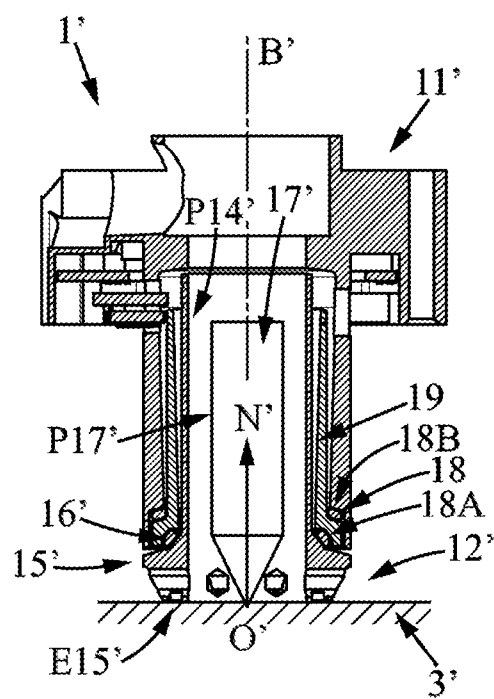
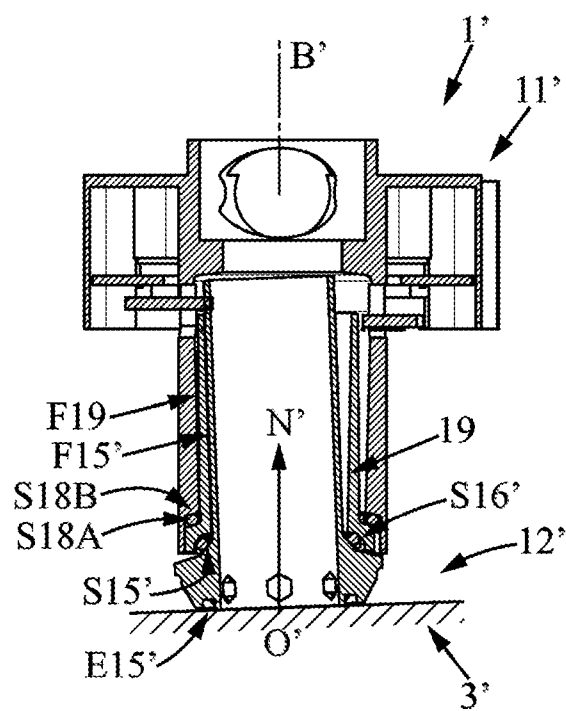


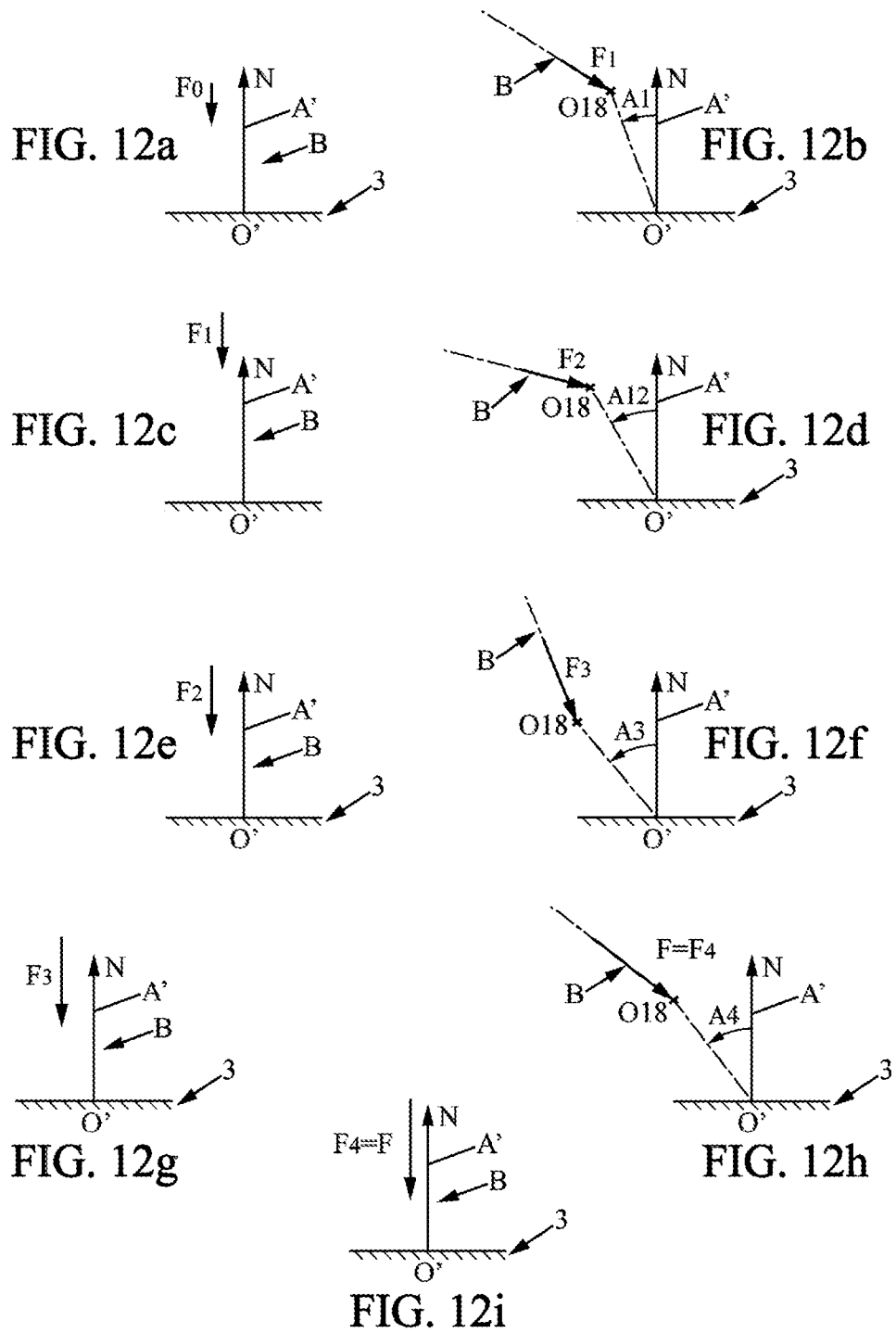
FIG. 10



×018
FIG. 11a



×018
FIG. 11b



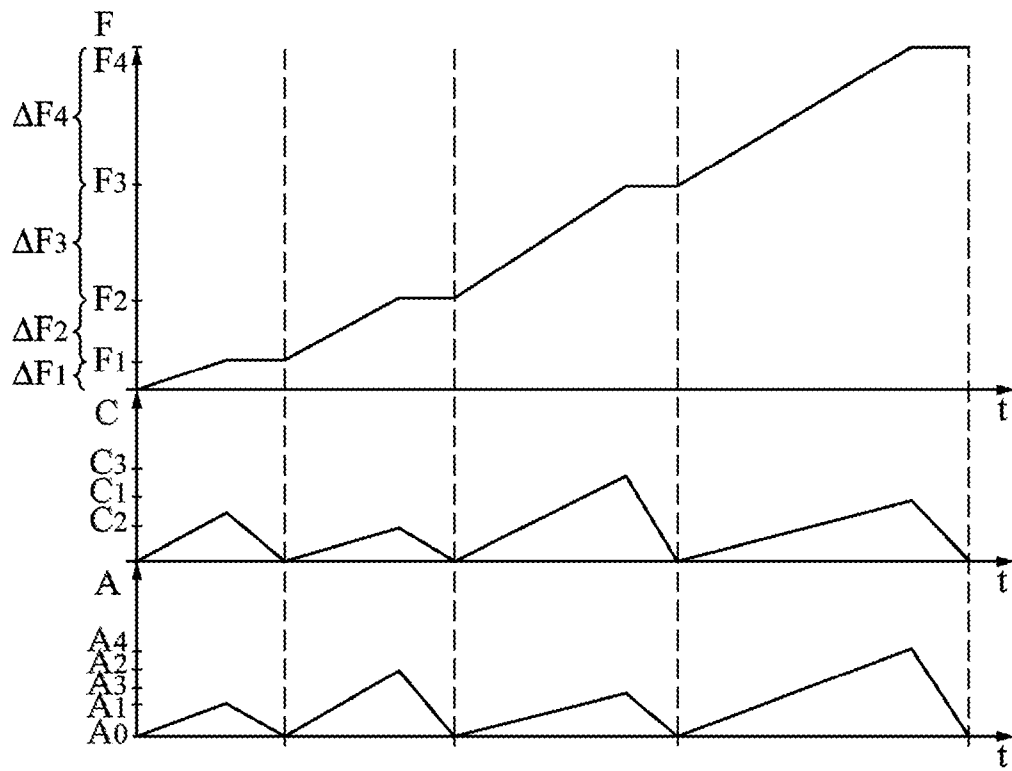


FIG. 13

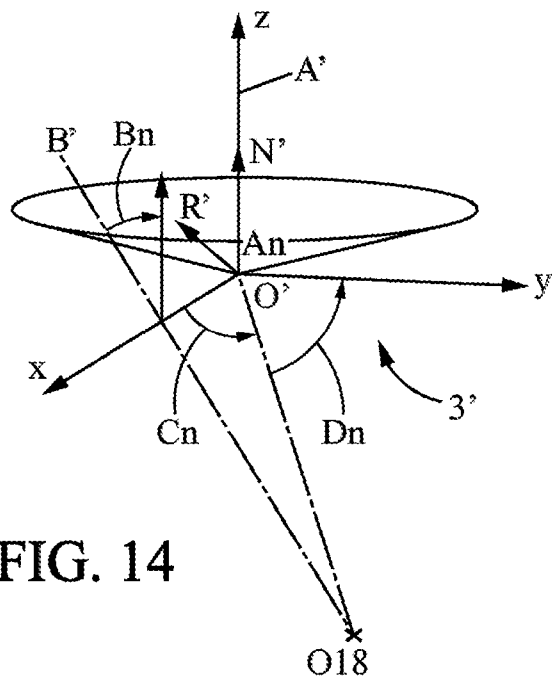


FIG. 14

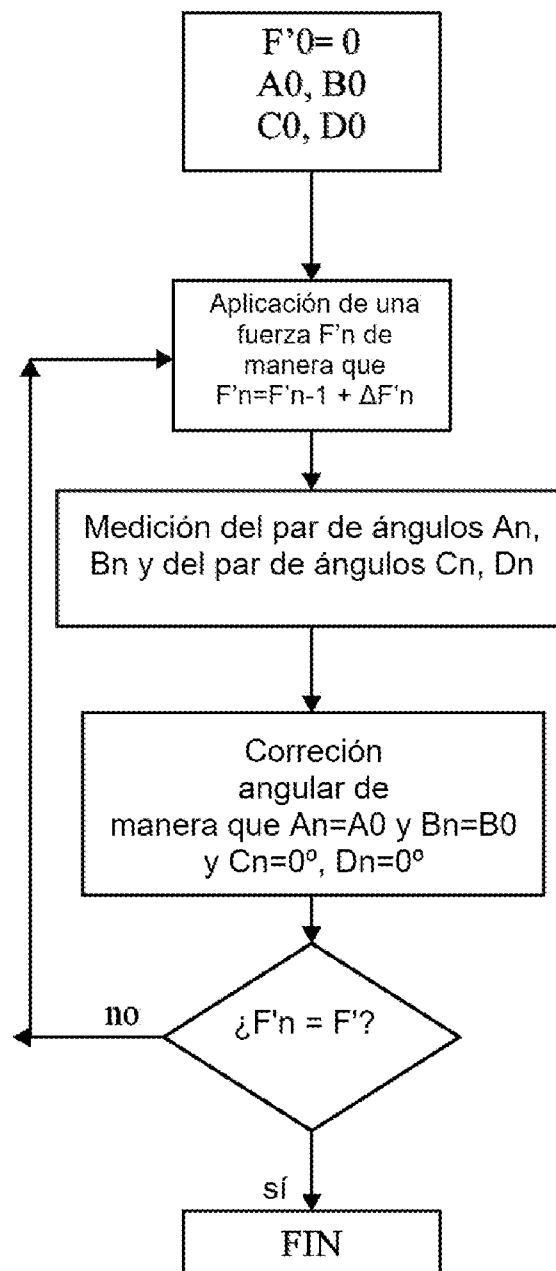


FIG. 15