

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 746 178**

51 Int. Cl.:

**B25J 9/16** (2006.01)

**B21J 15/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.03.2009** **E 09155313 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.06.2019** **EP 2116340**

54 Título: **Operación robótica síncrona en una estructura que tiene un espacio confinado**

30 Prioridad:

**08.05.2008 US 117153**

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

**05.03.2020**

73 Titular/es:

**THE BOEING COMPANY (100.0%)  
100 North Riverside Plaza  
Chicago, IL 60606-1596, US**

72 Inventor/es:

**SARH, BRANKO y  
AMIREHTESHAMI, DAVID H.**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

**ES 2 746 178 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

Operación robótica síncrona en una estructura que tiene un espacio confinado

### Antecedentes

5 Durante el montaje de una aeronave, ciertas operaciones se realizan simultáneamente en lados opuestos de una estructura. Considérese una operación de sujeción en una caja de ala. Un sistema robótico fuera de la caja de ala realiza tareas de perforación, avellanado e inserción de sujetadores. Una persona dentro de la caja de ala soporta estas tareas, y también coloca un manquito y tuerca sobre el sujetador insertado el sistema robótico está sujetando el sujetador.

10 El documento US 5.191.639 describe un proceso de programación de robots mecanizados en un lado de la parte y a continuación genera una imagen especular de los datos de programa para un robot mecanizado en el lado opuesto de la parte.

Sería deseable eliminar el trabajo manual y automatizar completamente una operación de sujeción de este tipo. Aún mientras colocar una tuerca sobre las roscas de un tronillo podría ser una tarea simple para un humano, no es simple para un sistema robótico. Posicionamiento y orientación precisos de una tuerca sobre un tornillo es una tarea compleja.

15 Esta tarea es incluso más compleja porque un sistema robótico tendría que fijar la tuerca en un espacio confinado. La tarea es incluso más compleja porque el sistema robótico tendría que entrar en el espacio confinado a través de un agujero de acceso. La tarea es incluso más compleja porque las tolerancias de aeronave son extremadamente estrictas. La tarea es incluso más compleja porque el sistema robótico dentro del espacio confinado tiene que sincronizar sus tareas con las del sistema robótico fuera del espacio confinado.

### 20 Sumario

De acuerdo con una realización en este documento, un método totalmente automatizado como se define en la reivindicación 1 se realiza en una estructura que tiene un espacio confinado. La estructura tiene una ubicación que es identificable desde dentro del espacio confinado y desde fuera del espacio confinado. Un primer sistema robótico mueve un primer efector final dentro del espacio confinado de tal forma que el primer efector final se coloca sobre la ubicación. Se genera un primer vector que corresponde a la ubicación. Un segundo sistema robótico mueve un segundo efector final fuera del espacio confinado de tal forma que el segundo efector final se coloca sobre la ubicación. Se genera un segundo vector que corresponde a la ubicación. El primer y segundo vectores se usan para mover el primer y segundo efectores finales a una nueva ubicación de tal forma que el primer y segundo efectores finales están en oposición activa. El primer y segundo efectores finales realizan una operación síncrona en la nueva ubicación.

30 El método de posicionamiento de un efector final dentro de un espacio confinado de una estructura incluye usar un brazo robótico compatible para mover el efector final a través de un puerto de acceso de la estructura y al espacio confinado; usar el brazo robótico para colocar aproximadamente el efector final sobre una ubicación de una superficie dentro del espacio confinado; usar el brazo robótico para presionar el efector final contra la superficie; y usar un dispositivo fijado al efector final para desplazar el efector final a lo largo de la superficie para colocar con precisión el efector final en la ubicación.

40 De acuerdo con otra realización en este documento, se realiza un método en una caja de ala premontada de una aeronave. La caja de ala premontada incluye una pluralidad de sujetadores. Un primer sistema robótico mueve un primer efector final dentro de la caja de ala sobre primer y segundo sujetadores temporales, y genera primeros vectores para el primer y segundo sujetadores. Un segundo sistema robótico mueve un segundo efector final fuera de la caja de ala sobre el primer y segundo sujetadores y genera segundos vectores para el primer y segundo sujetadores. El primer y segundo vectores se usan para calcular ubicaciones de sujetadores permanentes entre el primer y segundo sujetadores. Las ubicaciones de sujetadores permanentes para el primer sistema robótico se calculan a partir de los primeros vectores, y las ubicaciones de sujetadores permanentes para el segundo sistema robótico se calculan a partir de los segundos vectores.

45 De acuerdo con otra realización, un método realizado en una caja de ala premontada de una aeronave, la caja de ala premontada con una pluralidad de sujetadores, comprende las etapas de uso de un primer sistema robótico para mover un primer efector final dentro de la caja de ala sobre primer y segundo sujetadores, y generación de primeros vectores para el primer y segundo sujetadores; uso de un segundo sistema robótico para mover un segundo efector final fuera de la caja de ala sobre el primer y segundo sujetadores y generación de segundos vectores para el primer y segundo sujetadores; y uso del primer y segundo vectores para calcular ubicaciones de sujetadores permanentes entre el primer y segundo sujetadores, las ubicaciones de sujetadores permanentes para el primer sistema robótico calculadas a partir de los primeros vectores, las ubicaciones de sujetadores permanentes para el segundo sistema robótico calculadas a partir

de los segundos vectores.

Preferentemente, el método comprende usar el primer sistema robótico para mover el primer efector final a una ubicación de sujetador permanente dentro de la caja de ala, usando el segundo sistema robótico para mover el segundo efector final a la correspondiente ubicación de sujetador permanente fuera de la caja de ala; y usar los  
5 efectores finales para realizar una operación de montaje síncrona en sus respectivas ubicaciones.

Preferentemente, el método comprende premontar la caja de ala antes de usar el primer y segundo sistemas robóticos.

Preferentemente la caja de ala se premonta con sujetadores instrumentados; y el primer y segundo vectores se generan detectando la orientación de balizas que emanan desde el primer y segundo sujetadores.

La invención también se refiere a un artículo que comprende memoria informática codificada con datos para provocar que el primer y segundo sistemas robóticos realicen el método de acuerdo con la presente invención.  
10

La invención también se refiere a un sistema que comprende el primer y segundo sistemas robóticos; y un controlador robótico para provocar que el primer y segundo sistemas robóticos realicen el método de acuerdo con la presente invención.

Debe apreciarse que las características de la invención mencionadas anteriormente y las que aún se explicarán a continuación pueden usarse no únicamente en la respectiva combinación indicada, sino también en otras combinaciones o individualmente, sin abandonar el alcance de la presente invención.  
15

Realizaciones ilustrativas de la invención se explican en más detalle en la siguiente descripción y se representan en los dibujos, en los que:

#### **Breve descripción de los dibujos**

La Figura 1 es una ilustración de un sistema que incluye primer y segundo sistemas robóticos y un controlador robótico.  
20

La Figura 2 es una ilustración de un método de operación de los sistemas robóticos.

Las Figuras 3a y 3b son ilustraciones de un aparato y método para posicionamiento preciso dentro de un espacio confinado.

La Figura 4 es una ilustración de una caja de ala de una aeronave.

Las Figuras 5a y 5b ilustran un método de operación de los sistemas robóticos.  
25

La Figura 6 es una ilustración de ubicaciones de sujetadores permanentes en relación con dos sujetadores de premontaje.

La Figura 7 es una ilustración de un método de realización de una operación de sujeción.

La Figura 8 es una ilustración de dos brazos robóticos en espacios confinados adyacentes.

La Figura 9 es un diagrama de flujo de metodología de producción y servicio de aeronave únicamente para propósitos de ilustración.  
30

#### **Descripción detallada**

Se hace referencia a la Figura 1, que ilustra primer y segundo sistemas robóticos 110 y 120 para realizar una o más operaciones en una estructura que tiene un espacio confinado. El primer sistema robótico 110 incluye un sistema de posicionamiento y orientación 112 para mover un primer efector final 114 en el espacio confinado y colocar y orientar el primer efector final 114 dentro del espacio confinado. El segundo sistema robótico 120 incluye un sistema de posicionamiento y orientación 122 para mover un segundo efector final 124 fuera del espacio confinado. Una vez que el primer y segundo efectores finales 114 y 124 se orientan y colocan, realizan una o más operaciones (por ejemplo, operaciones de montaje) en la estructura.  
35

Un controlador robótico 130 puede incluir un ordenador que se programa para operar los sistemas robóticos 110 y 120. El ordenador incluye memoria informática que se codifica con datos para ordenar al primer y segundo sistema robótico 110 y 120.  
40

Se hace ahora referencia a la Figura 2, que ilustra un método de operación del primer y segundo sistemas robóticos 110 y 120 para realizar una operación síncrona en una estructura que tiene un espacio confinado. La estructura tiene una ubicación que es identificable desde dentro del espacio confinado y también desde fuera del espacio confinado. La ubicación podría identificarse, sin limitación, mediante medios visuales (por ejemplo, una marca, un sujetador o un agujero u otra característica de la estructura), medios magnéticos (por ejemplo, mediante un imán embebido) o mediante un sujetador instrumentado (descrito más adelante).

En el bloque 210, se ordena al primer sistema robótico 110 que mueva el primer efector final 114 al espacio confinado de tal forma que el primer efector final 114 se coloca sobre la ubicación. Una vez que se coloca el primer efector final 114, el primer sistema robótico 110 comunica un primer vector al controlador robótico 130. El primer vector puede incluir información de posición (por ejemplo, coordenadas x-y) y/u orientación angular (por ejemplo, con respecto a la normal de superficie).

La precisión de posicionamiento del primer efector final 114 es específica de aplicación. Por ejemplo, la precisión para montaje de aeronave habitualmente será mayor que otros tipos de montaje industrial.

En el bloque 220, se ordena al segundo sistema robótico 120 que mueva el segundo efector final 124 fuera del espacio confinado de tal forma que el segundo efector final 124 se coloca sobre la ubicación. Una vez que el segundo efector final 124 se coloca, el segundo sistema robótico 120 comunica un segundo vector al controlador robótico 130. El segundo vector puede incluir información de posición y/u orientación angular.

Por lo tanto, se comunican dos vectores al controlador robótico 130. El primer vector se usará como un marco de referencia para el primer sistema robótico 110. De manera similar, el segundo vector se usará como un marco de referencia para el segundo sistema robótico 120.

En el bloque 230, el primer y segundo sistemas robóticos 110 y 120 usan el primer y segundo vectores, respectivamente, para mover el primer y segundo efectores finales 114 y 124 a una nueva ubicación. En esta nueva ubicación, el primer y segundo efectores finales 114 y 124 están en oposición activa, con el primer efector final 114 dentro del espacio confinado y el segundo efector final 124 fuera del espacio confinado.

En el bloque 240, se ordenan al primer y segundo efectores finales 114 y 124 que realicen una operación síncrona en la nueva ubicación. Por ejemplo una operación de montaje síncrona puede realizarse en la nueva ubicación.

Por lo tanto, usando el método de la Figura 2, puede realizarse una operación síncrona en la estructura, incluso aunque el primer efector final 114 no es visible desde fuera del espacio confinado. Además, la operación síncrona puede realizarse incluso aunque los sistemas robóticos 110 y 120 no tengan un único marco de referencia fijo.

El método de la Figura 2 puede realizarse de forma autónoma. Tal operación autónoma puede reducir o incluso eliminar el montaje manual.

El método de la Figura 2 no se limita a obtener un marco de referencia desde una única ubicación. Si la estructura contiene múltiples ubicaciones que son visibles desde dentro y fuera del espacio confinado, pueden usarse dos o más ubicaciones para establecer marcos de referencia. A continuación se describe un ejemplo de uso de dos ubicaciones para establecer marcos de referencia.

Se hace ahora referencia a la Figuras 3a y 3b, que ilustran un aparato 310 y método de consecución de posicionamiento preciso del primer efector final dentro del espacio confinado. El aparato 310 incluye un brazo compatible 312 largo que tiene múltiples grados de libertad. Un ejemplo de un brazo de este tipo es un brazo de serpiente. El primer efector final está en un extremo libre del brazo robótico 312. El aparato 310 incluye adicionalmente un dispositivo de posicionamiento 314 fijado al primer efector final.

En el bloque 310, el brazo compatible se usa para colocar aproximadamente el primer efector final sobre una ubicación de una superficie dentro del espacio confinado. La posición es aproximada debido a la conformidad del brazo.

En el bloque 320, el brazo robótico 312 presiona el primer efector final contra la superficie. La fricción entre el primer efector final y la superficie evitará que el primer efector final desplace su posición x-y debido a la conformidad del brazo 312.

En el bloque 330, el dispositivo de posicionamiento 314 se usa para desplazar la posición del primer efector final a lo largo de la superficie. Puede usarse un sistema de visión 316 u otro dispositivo de detección para determinar cuándo se coloca de forma precisa el primer efector final en la ubicación. Puede ordenarse al dispositivo 314 que desplace repetitivamente el primer efector final hasta que la posición real del primer efector final esté dentro de una tolerancia de la ubicación. Puede ordenarse al dispositivo de posicionamiento 314 por el controlador robótico 130 o por un controlador incorporado en el primer sistema robótico 110.

Una operación síncrona y una estructura no se limitan a ninguna en particular. Pero como un ejemplo, una operación de sujeción puede realizarse en una estructura de aeronave que tiene un espacio confinado. Las estructuras de aeronaves que tienen al menos un espacio confinado incluyen, pero sin limitación, alas, estabilizadores horizontales y verticales y compartimentos de carga y otros compartimentos de fuselaje.

5 Se hace ahora referencia a la Figura 4, que ilustra un compartimento de ala 410 de una caja de ala. La caja de ala incluye componentes tal como paneles de revestimiento 420, largueros 430 y costillas (las costillas no se muestran). Cada compartimento de ala 410 tiene un espacio interior confinado y un puerto de acceso 440 que conduce al espacio confinado. La caja de ala tiene una pluralidad de compartimentos de ala 410.

10 Los métodos de las Figuras 2 y 3b pueden adaptarse para realizar operaciones de sujeción permanentes en una caja de ala premontada. Durante el premontaje, superficies de contacto (es decir, solapante) de las partes de caja de ala (por ejemplo, largueros, paneles de revestimiento y costillas) se cubren con sellador y presionan juntas. El sellante elimina huecos entre las superficies de contacto para facilitar la perforación sin rebabas. Las partes presionadas juntas de la caja de ala pueden sujetarse a continuación (temporal o permanentemente) con sujetadores de cabeza ancha. Los sujetadores de cabeza ancha pueden sujetar largueros a paneles de revestimiento, largueros a costillas y costillas a paneles de revestimiento.

15 En algunas realizaciones, la caja de ala puede premontarse con sujetadores instrumentados divulgados en el documento de Estados Unidos con N.º de Serie 11/756.447 del cesionario presentada el 31 de mayo de 2007. En una realización, un sujetador instrumentado incluye una o más fuentes de luz (por ejemplo, diodos emisores de luz) configuradas para producir balizas de luz. Información con respecto al sujetador instrumentado (por ejemplo, número de sujetador) puede codificarse en las balizas de luz.

Estos sujetadores instrumentados permiten que el primer sistema robótico determine posición y una orientación de un eje que se extiende a través de una ubicación de sujetador. Las balizas de luz se dirigen dentro de y fuera del compartimento de ala, de forma que pueden detectarse por los sistemas robóticos 110 y 120.

25 Se hace referencia adicional a las Figuras 5a y 5b, que ilustran un método de realización de operaciones de sujeción permanentes en una caja de ala premontada de una aeronave. Las operaciones de sujeción incluirán perforación de agujeros sin rebabas a través de la caja de ala, insertar sujetadores a través de los agujeros de tal forma que los sujetadores se extienden en la caja de ala y sujetar tuercas a los tornillos desde dentro de la caja de ala.

30 En el bloque 510, el primer y segundo sistemas robóticos se mueven a un primer compartimento de ala. En el bloque 512, un brazo robótico del primer sistema robótico mueve un primer efector final a través del puerto de acceso del compartimento de ala y dentro del compartimento de ala.

35 En el bloque 514, el segundo sistema robótico mueve un segundo efector final fuera de la caja de ala hasta que el segundo efector final está sobre un primer sujetador. Por ejemplo, el segundo sistema robótico puede mover el segundo efector final a una posición aproximada, determinar desplazamientos  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  (por ejemplo, usando un sistema de visión), determinar si los desplazamientos están dentro de una tolerancia y, si no, ajustar la posición de segundo efector final hasta que los desplazamientos estén dentro de la tolerancia. Después de que se haya completado la función en el bloque 514, el segundo efector final tendrá posicionamiento en plano apropiado con respecto al primer sujetador.

40 La caja de ala premontada habitualmente tendrá varios sujetadores de cabeza ancha para cada compartimento de ala. Uno de esos sujetadores se identificará como el "primero". Como un primer ejemplo, el controlador robótico podría programarse de forma que el primer efector final se mueve a una ubicación específica, presumiblemente en la que el primer sujetador se ubica aproximadamente. Como un segundo ejemplo, se usa un sistema de visión para ubicar el primer sujetador. Como un tercer ejemplo, la caja de ala se monta temporalmente con sujetadores instrumentados cuyas balizas se codifican con el número de sujetador. Decodificando las balizas, puede determinarse si el efector final se coloca sobre el sujetador instrumentado "número uno".

45 En el bloque 516, el segundo sistema robótico orienta un electroimán en el segundo efector final para estar normal a una superficie del compartimento de ala. Por ejemplo, el segundo sistema robótico puede mover el segundo efector a una orientación rotacional aproximada, determinar desplazamientos angulares  $\Delta A$ ,  $\Delta B$  a partir de la normal de superficie, determinar si los desplazamientos están dentro de una tolerancia y, si no, ajustar la orientación rotacional del segundo efector final hasta que los desplazamientos están dentro de la tolerancia.

50 La orientación relativa con la normal de superficie podría detectarse mediante un sensor táctil o no táctil. Por ejemplo, un sensor podría tener cuatro detectores dispuestos en un círculo (por ejemplo, a  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  y  $270^\circ$ ). Cada detector mide la intensidad de la baliza. El segundo efector final se mueve hasta que todas las medidas de intensidad son las mismas, en cuyo punto el segundo efector final se centra sobre el primer sujetador y normal a la superficie del compartimento de ala.

En el bloque 518, el segundo conjunto robótico genera la localización y orientación  $[X1, Y1, A1, B1]_2$  del segundo efector final con respecto al primer sujetador, y comunica este vector al controlador robótico. En el bloque 520, el segundo sistema robótico espera a continuación una entrada desde el primer sistema robótico.

5 En el bloque 522, el brazo robótico del primer sistema robótico mueve el primer efector final a una posición aproximada por encima del primer sujetador de cabeza ancha. Por ejemplo, el primer sistema robótico puede mover el primer efector a una posición aproximada, determinar los desplazamientos  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  (por ejemplo, usando un sistema de visión) al primer sujetador; determinar si los desplazamientos están dentro de una tolerancia de posición aproximada y, si no, ajustar la posición del primer efector final hasta que los desplazamientos estén dentro de la tolerancia de posición aproximada.

10 En el bloque 524, el primer efector final se mueve a una orientación precisa por encima del primer sujetador de cabeza ancha. Por ejemplo, el primer efector final se mueve a una orientación rotacional. Sensores internos o codificadores de lectura se usan para determinar los desplazamientos de orientación  $\Delta A$ ,  $\Delta B$  y  $\Delta C$ . Los desplazamientos de orientación se comparan con una tolerancia, y la orientación se ajusta adicionalmente hasta que los desplazamientos de orientación están dentro de la tolerancia.

15 En el bloque 526, el primer sistema robótico presiona el primer efector final contra la superficie interna de la caja de ala. La fricción entre las superficies evitará que el primer efector final desplace su posición (debido a la conformidad del brazo robótico).

20 En el bloque 528, el dispositivo de posicionamiento fijado al primer efector final mueve el primer efector final a una posición precisa sobre el primer sujetador de cabeza ancha. Por ejemplo, el primer sistema robótico puede determinar los desplazamientos  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  (por ejemplo, usando un sistema de visión) al primer sujetador de cabeza ancha; determinar si los desplazamientos están dentro de una tolerancia de posición buena y, si no, ordena al dispositivo que desplace la posición del primer efector final hasta que los desplazamientos estén dentro de la tolerancia de posición aceptable.

25 En el bloque 530, el primer sistema robótico genera la localización y orientación  $[X1, Y1, A1, B1, C1]_1$  del primer efector final con respecto al primer sujetador de cabeza ancha. Este vector se comunica al controlador robótico.

En el bloque 532, el primer y segundo sistemas robóticos se colocan y orientan de forma precisa sobre un (segundo) sujetador adyacente, y los vectores  $[X2, Y2, A2, B2, C2]_1$  y  $[X2, Y2, A2, B2]_2$  en el segundo sujetador de cabeza ancha se generan y comunican al controlador robótico. Las funciones en los bloques 514-530 pueden repetirse en este punto, excepto que se realizan para el segundo sujetador.

30 En el bloque 534, el controlador robótico calcula ubicaciones de sujetadores permanentes entre el primer y segundo sujetadores. La Figura 6 ilustra ubicaciones de sujetadores permanentes (representados por cruces) que están en línea y separados uniformemente entre el primer y segundo sujetadores TF1 y TF2. Sin embargo, las ubicaciones de sujetadores permanentes no se limitan de esta forma. Por ejemplo, las ubicaciones de sujetadores permanentes podrían seguir una curva entre el primer y segundo sujetadores TF1 y TF2.

35 En el bloque 536, se realiza una operación de sujeción en cada ubicación de sujetador permanente. Un ejemplo de una operación de sujeción se ilustra en la Figura 7. Sin embargo, el método de la Figura 5 no se limita a una operación de sujeción de este tipo. Otras operaciones de sujeción incluyen, sin limitación, remachado.

En los bloques 538-540, después de que se haya realizado la última operación de sujeción permanente, las coordenadas en el primer sujetador se establecen a las coordenadas del segundo sujetador. Es decir,

40  $[X1, Y1, A1, B1, C1]_1 = [X2, Y2, A2, B2, C2]_1$ ; y

$[X1, Y1, A1, B1] = [X2, Y2, A2, B2]_2$ .

El control se devuelve al bloque 532.

45 Después de que se realiza la última operación de sujeción permanente en el compartimento de ala, se devuelve el control al bloque 510, con lo que el primer y segundo conjuntos robóticos se mueven a, y realizan operaciones de sujeción permanentes en, el siguiente compartimento de ala. El método continúa (bloque 542) hasta que se hayan realizado operaciones de sujeción en cada compartimento de ala de la caja de ala.

50 Se hace ahora referencia a la Figura 7, que ilustra un ejemplo de una operación de sujeción que se realiza por el primer y segundo sistemas robóticos. La operación de sujeción incluye fijar el primer y segundo efectores finales contra sus respectivas superficies (bloque 710). Esto puede hacerse, por ejemplo, activando un electroimán en el segundo efector final para atraer magnéticamente una placa de acero en el primer efector final (el flujo magnético del

electroimán penetra las partes que se van a fijar juntas).

Esta fuerza de sujeción exprime el sellante y elimina el hueco entre las superficies de contacto de las partes. Esto facilita la perforación sin rebabas, que el segundo efector final realiza en el bloque 720. El segundo efector final puede también realizar avellanado en el bloque 720. En el bloque 730, el segundo efector final inserta un sujetador a través del agujero perforado.

En el bloque 740, se determina la posición del primer efector final relativa al tornillo insertado. Si el desplazamiento no está dentro de tolerancias (bloque 750), el dispositivo de posicionamiento en el extremo del primer efector final se usa para desplazar la posición y/o cambiar la orientación del primer efector final (bloque 760). La fuerza de sujeción magnética entre el primer y segundo efectores finales puede relajarse para permitir el ajuste de posición.

En el bloque 770, el primer efector final termina el extremo del sujetador. Por ejemplo, el primer efector final instala un manguito y tornillos en el sujetador.

Se hace referencia a la Figura 8. En otras realizaciones, el segundo sistema robótico 820 puede tener la misma configuración que, y realizar las mismas funciones que, el primer sistema robótico 810. Por ejemplo, el primer y segundo sistemas robóticos 810 y 820 pueden incluir brazos compatibles 812 y 822 para mover primer y segundo efectores finales 814 y 824 en compartimentos adyacentes y realizar operaciones de sujeción en mitades superiores e inferiores  $R_U$  y  $R_L$  de una costilla u otra estructura. Por supuesto, estas otras realizaciones no se limitan a cajas de ala, y pueden aplicarse a operaciones síncronas realizadas a través de espacios confinados adyacentes.

Un sistema en este documento no se limita a un brazo robótico para posicionamiento de un efector final en un espacio confinado. Por ejemplo, podría usarse una grúa en lugar de un brazo robótico para colocar un efector final en un espacio confinado.

Un método en este documento no se limita a una operación de sujeción. Un método en este documento podría usarse para realizar otras operaciones en una aeronave. Ejemplos de tales operaciones incluyen, sin limitación, aplicación de sellante, limpieza, pintura e inspección dentro de un espacio confinado.

Un método en este documento no se limita a operaciones síncronas en una aeronave. Por ejemplo, un método en este documento podría aplicarse a operaciones síncronas en contenedores, automóviles, camiones, barcos y otras estructuras que tienen espacios confinados.

Con respecto a aeronaves, un método en este documento no se limita a fabricación. Un método en este documento podría aplicarse a otras etapas de la fabricación y servicio de aeronave.

Se hace ahora referencia a la Figura 9, que ilustra para propósitos de ilustración únicamente un ejemplo de un método de fabricación y servicio de aeronave. Durante preproducción, el método puede incluir especificación y diseño de una aeronave y adquisición de materiales. Durante producción, tiene lugar la fabricación de componentes y subconjuntos e integración de sistemas de la aeronave. Posteriormente, la aeronave puede pasar una certificación y distribución para situarse en servicio. Mientras en servicio por un cliente, la aeronave se planifica para mantenimiento y servicio rutinario (que también puede incluir modificación, reconfiguración, remodelación y así sucesivamente).

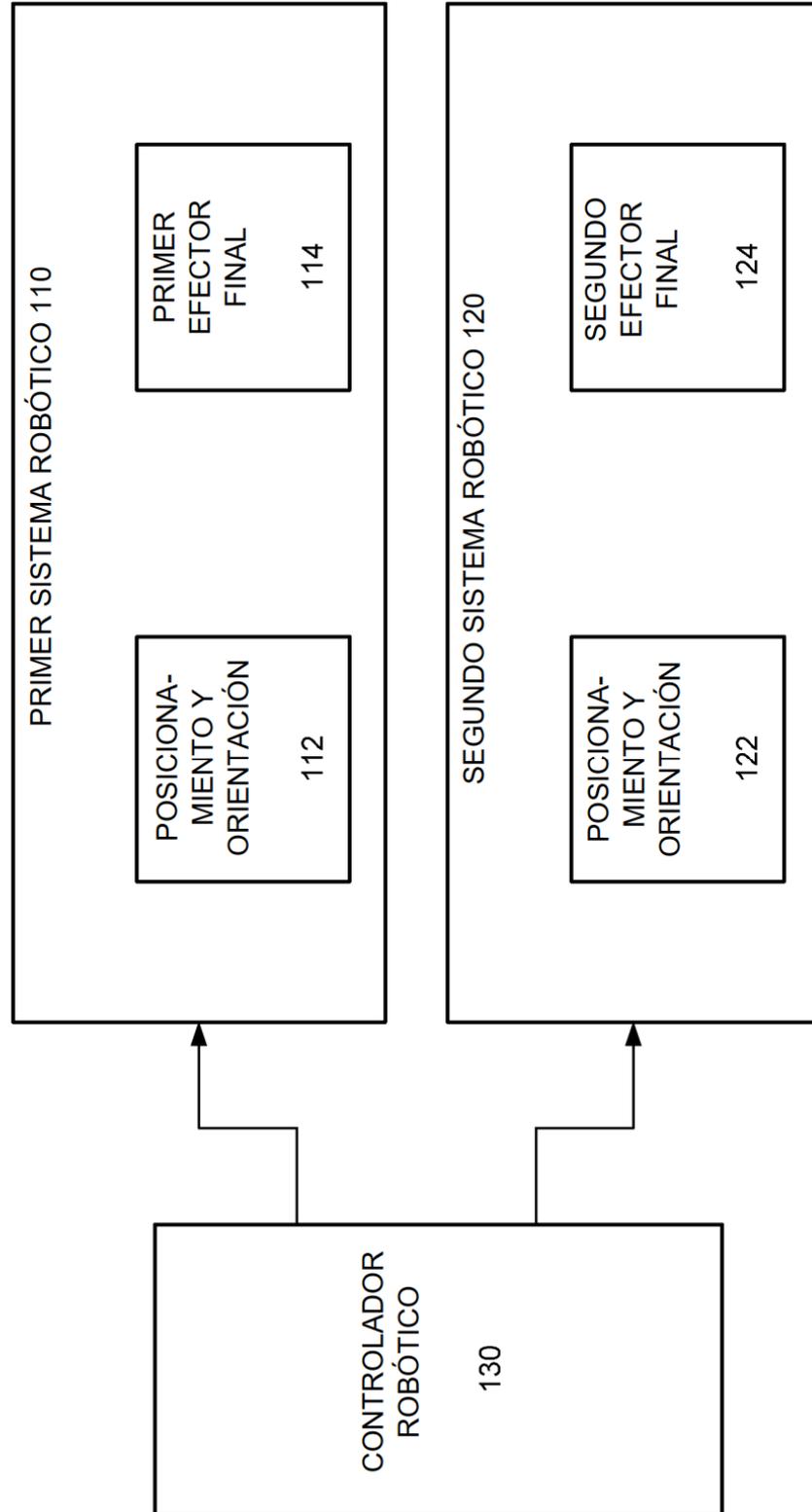
Cada uno de los procesos del método puede realizarse o efectuarse por un integrador de sistemas, una tercera parte y/o un operador (por ejemplo, un cliente). Para los propósitos de esta descripción, un integrador de sistemas puede incluir sin limitación cualquier número de fabricantes de aeronaves y principales subcontratistas de sistemas; una tercera parte puede incluir sin limitación cualquier número de vendedores, subcontratistas y suministradores; y un operador puede ser una línea aérea, compañía de leasing, entidad militar, organización de servicios y así sucesivamente.

Realizaciones en este documento pueden emplearse durante cualquiera una o más de las etapas del método de producción y servicio. Por ejemplo, componentes o subconjuntos que corresponden al proceso de producción pueden fabricarse o manufacturarse de una manera similar a componentes o subconjuntos producidos mientras la aeronave está en servicio. También, una o más realizaciones de aparato, realizaciones de método o una combinación de las mismas pueden utilizarse durante las etapas de producción, por ejemplo, acelerando sustancialmente el montaje de o reduciendo el coste de una aeronave. De manera similar, una o más realizaciones en este documento pueden utilizarse mientras la aeronave está en servicio, por ejemplo y sin limitación, al mantenimiento y servicio.

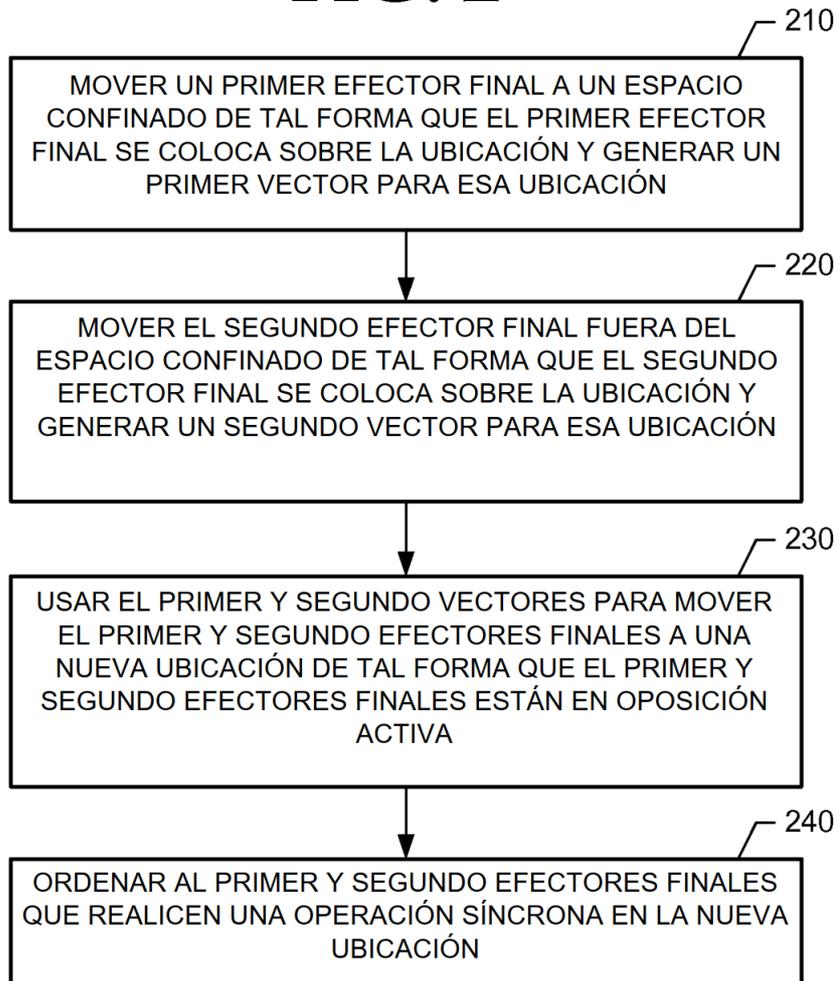
**REIVINDICACIONES**

1. Un método automatizado de realización de una operación en una estructura que tiene un espacio confinado, teniendo la estructura una ubicación que es identificable desde dentro del espacio confinado y desde fuera del espacio confinado, comprendiendo el método:
  - 5 usar un primer sistema robótico (110) para mover un primer efector final (114) dentro del espacio confinado de tal forma que el primer efector final (114) se coloca sobre la ubicación, en el que un brazo compatible (312) del primer sistema robótico (110) se usa para colocar aproximadamente el primer efector final sobre la ubicación y presionar el primer efector final (114) contra la superficie, y en el que un dispositivo de posicionamiento (314) fijado al primer efector final (114) se usa para desplazar el primer efector final (114) a lo largo de la superficie para colocar con  
10 precisión el primer efector final en la ubicación, y generar un primer vector que corresponde a la ubicación; usar un segundo sistema robótico (120) para mover un segundo efector final (124) fuera del espacio confinado de tal forma que el segundo efector final (124) se coloca sobre la ubicación, y generar un segundo vector que corresponde a la ubicación; usar el primer y segundo vectores para mover el primer y segundo efectores finales (114, 124) a una nueva ubicación de tal forma que el primer y segundo efectores finales están en oposición activa;  
15 y  
usar el primer y segundo efectores finales (114, 124) para realizar la operación en la nueva ubicación.
2. El método de la reivindicación 1, en el que cada sistema robótico (110, 120) comunica su vector a un controlador robótico (130) cuando se ha conseguido una posición precisa.
3. El método de la reivindicación 1 o 2, en el que la operación incluye montaje síncrono.
- 20 4. El método de la reivindicación 3, el montaje síncrono incluye el segundo sistema robótico (120) perforando un agujero en la nueva ubicación e insertando un sujetador a través del agujero, y terminando el primer sistema robótico el sujetador.
5. El método de la reivindicación 4, comprendiendo además crear una atracción magnética entre el primer y segundo efectores finales.
- 25 6. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, comprendiendo además usar el primer y segundo sistema robótico (110, 120) para colocar el primer y segundo efectores finales (114, 124) en una segunda ubicación y generar primeros y segundos vectores que corresponden a la segunda ubicación, en el que la nueva ubicación para el primer efector final (114) se calcula con respecto a los primeros vectores que corresponden a la primera y segunda ubicaciones, y en el que la nueva ubicación para el segundo efector final (124) se calcula a partir de los segundos  
30 vectores que corresponden a la primera y segunda ubicación.
7. El método de la reivindicación 6, comprendiendo además calcular una pluralidad de ubicaciones de sujetadores permanentes entre la primera y segunda ubicaciones.
8. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que un sujetador instrumentado está en la ubicación, y en el que los vectores se obtienen a partir de balizas generadas por el sujetador instrumentado.
- 35 9. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la estructura es una caja de ala de aeronave.
10. El método de la reivindicación 9, en el que el segundo sistema robótico mueve el segundo efector final a través de un puerto de acceso y a un espacio confinado de una caja de ala adyacente.
11. Un artículo que comprende memoria informática codificada con datos para ordenar al primer y segundo sistemas robóticos (110, 120) que realicen el método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10.
- 40 12. Un sistema que comprende primer y segundo sistemas robóticos (110, 120); y un controlador robótico (130) para provocar que el primer y segundo sistemas robóticos realicen el método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10.

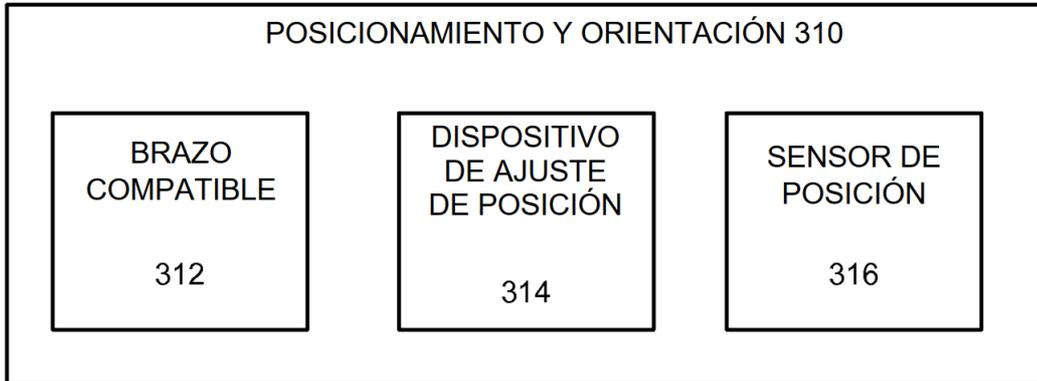
**FIG. 1**



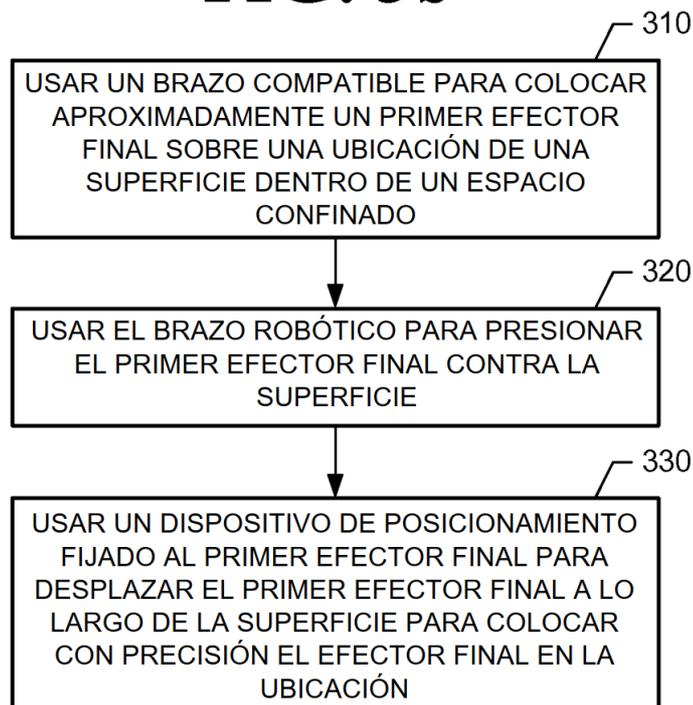
**FIG. 2**



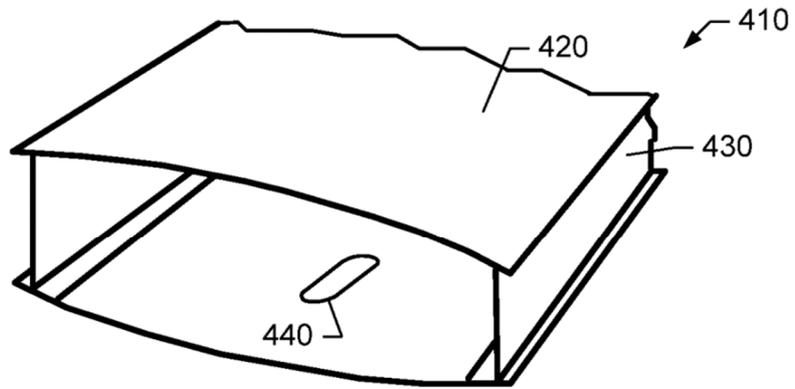
# FIG. 3a



# FIG. 3b



**FIG. 4**



**FIG. 6**

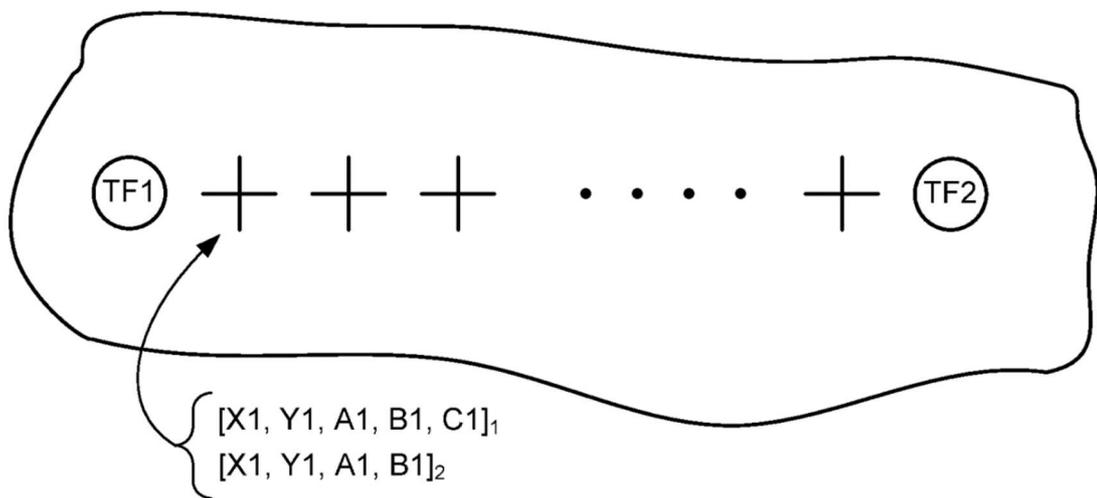


FIG. 5a

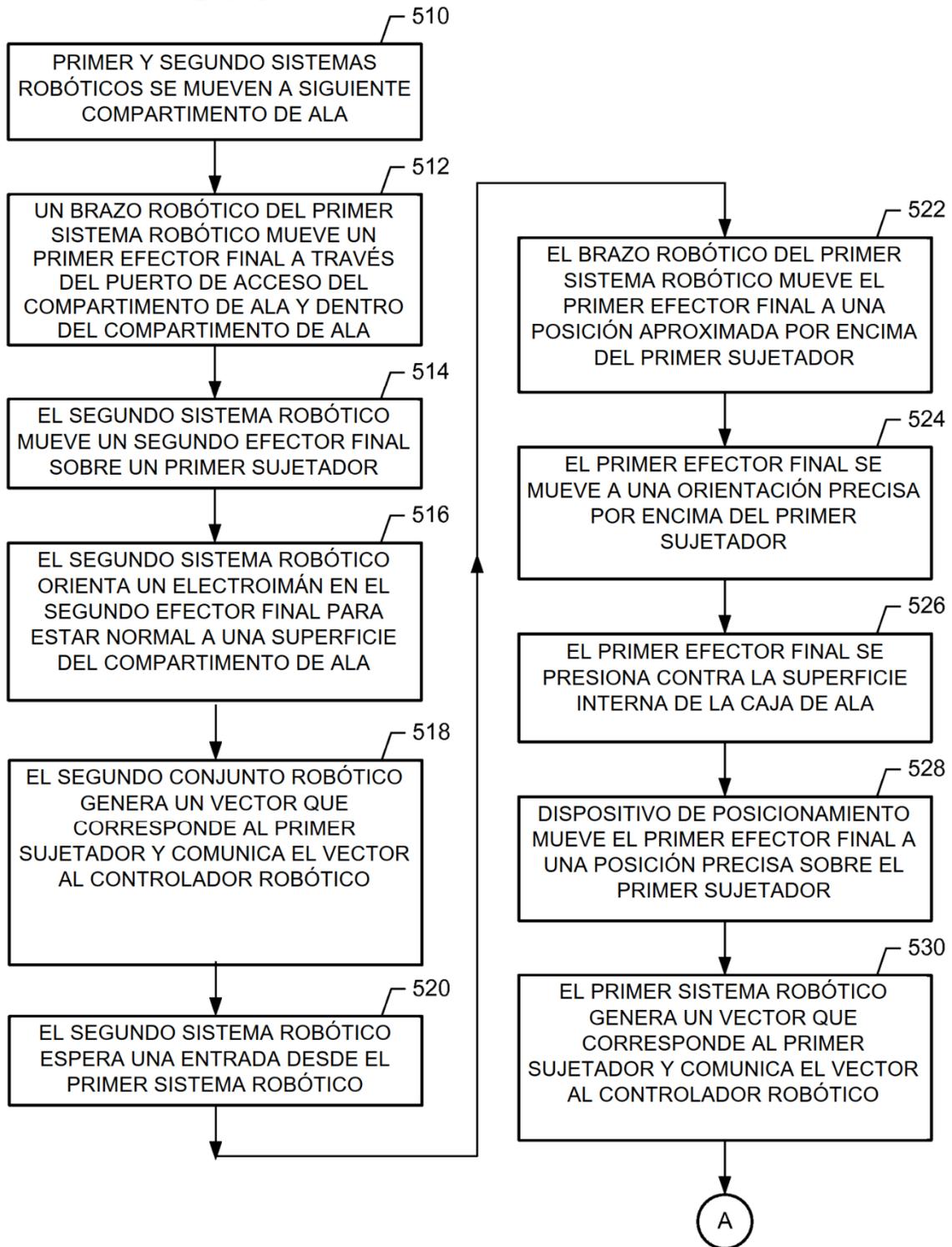


FIG. 5b

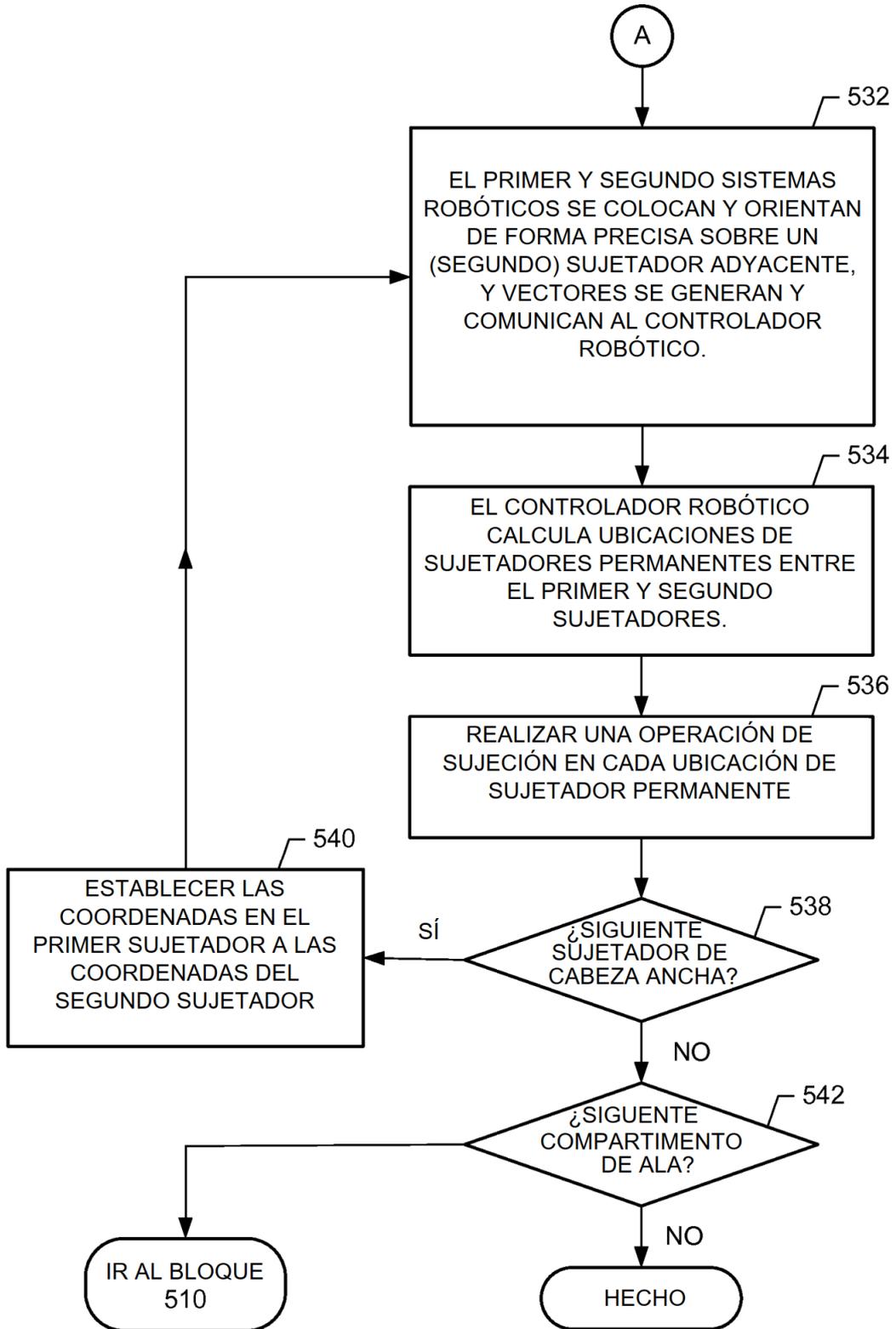


FIG. 7

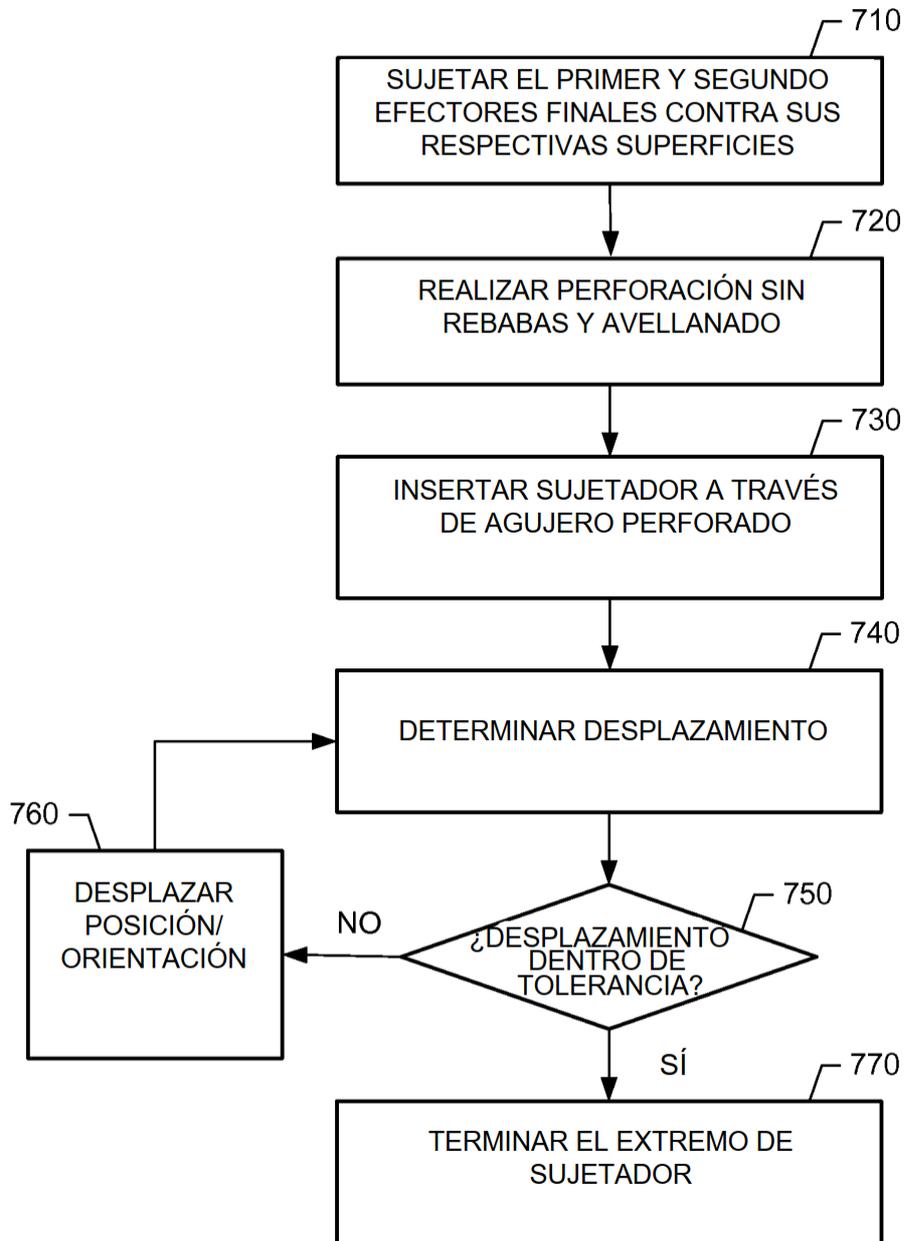
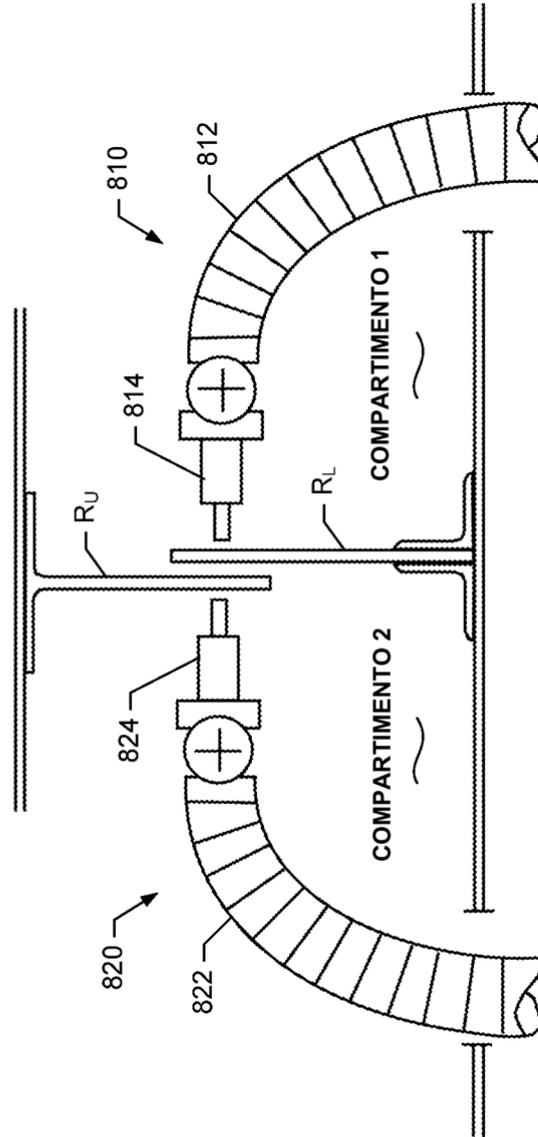


FIG. 8



**FIG. 9**

