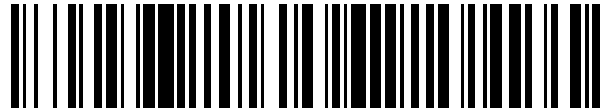


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 674 568**

51 Int. Cl.:

H04N 1/00 (2006.01)
G05D 1/02 (2006.01)
G01S 5/12 (2006.01)
G01S 5/16 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.09.2003 E 16155717 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.03.2018 EP 3043544**

54 Título: **Sistema de control de navegación para un dispositivo robótico**

30 Prioridad:

13.09.2002 US 410480 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
02.07.2018

73 Titular/es:

**IROBOT CORPORATION (100.0%)
8 Crosby Drive
Bedford, MA 01730, US**

72 Inventor/es:

**CHIAPPETTA, MARK J. y
JONES, JOSEPH L.**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 674 568 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

Sistema de control de navegación para un dispositivo robótico

5 **Antecedentes de la invención****(1) Campo de la invención**

10 La presente invención se refiere en general a dispositivos robóticos móviles, y más en particular, a un sistema de control de navegación para un dispositivo robótico que funciona bajo la dirección de un algoritmo de control de navegación que monitoriza la actividad de movimiento del dispositivo robótico y utiliza la actividad de movimiento para proporcionar una o más instrucciones de control al dispositivo robótico, el cual, en respuesta a esto, implementa una conducta prevista, p. ej., una o más maniobras básicas y/o patrones de comportamiento para aumentar la eficiencia de la cobertura de dichos dispositivos robóticos para cubrir un área de trabajo definida, p. ej., barrer, pasar la aspiradora en una habitación y/o llevar a cabo un mantenimiento del patio de una residencia.

(2) Descripción de la técnica anterior relacionada

20 Los ingenieros robóticos han trabajado durante mucho tiempo en el desarrollo de un método efectivo de limpieza autónomo. Esto ha conducido al desarrollo de dos planteamientos independientes y distintos para los dispositivos robóticos autónomos: (1) limpieza determinista; y (2) limpieza aleatoria.

25 En la limpieza determinista, donde la tasa de limpieza es igual a la tasa de cobertura y es, por lo tanto, un método de limpieza más eficaz que la limpieza de movimiento aleatorio, el dispositivo robótico autónomo sigue una trayectoria definida, p. ej., una trayectoria de bústrofedón que se calcula de modo que facilite la cobertura completa de limpieza de un área dada al tiempo que elimina la limpieza redundante. La limpieza determinista requiere que el dispositivo robótico tenga un conocimiento preciso de la posición en todo momento, así como también de su historial de posiciones (donde ha estado), que, a su vez, requiere un sistema de posicionamiento sofisticado. Un sistema de posicionamiento adecuado, un sistema de posicionamiento con una precisión adecuada para una limpieza determinista podría depender de sistemas de telemetría láser de exploración, transductores ultrasónicos, un GPS diferencial de portadora de fase u otros métodos sofisticados, tiene de manera habitual un coste exorbitado y requiere mucha mano de obra, que requiere una configuración previa complicada para acomodar las condiciones particulares de cada área a limpiar, p. ej., geometría de la habitación, ubicación de los muebles. Además, los métodos que dependen del posicionamiento global quedan inutilizados de manera habitual por el fallo de cualquier pieza del sistema de posicionamiento.

35 Un ejemplo ilustrativo de un dispositivo robótico muy sofisticado (y de coste relativamente elevado) para limpieza determinista es el dispositivo RoboScrub fabricado por Denning Mobile Robotics y Windsor Industries. El dispositivo RoboScrub emplea detectores de sónar y de infrarrojos, sensores de choque y un sistema de navegación láser de alta precisión para definir la trayectoria de limpieza determinista. El sistema de navegación empleado por el dispositivo RoboScrub requiere la colocación de numerosos objetos con códigos de barras grandes en diversas posiciones estratégicas dentro del área a limpiar, y un funcionamiento eficaz del sistema de navegación requiere que al menos cuatro de dichos objetos sean visibles de manera simultánea. Este requisito de accesibilidad limita en la práctica la utilización del dispositivo RoboScrub a áreas abiertas despejadas.

40 Otros dispositivos robóticos deterministas representativos se describen en las patentes de EE. UU. de n.ºs 5.650.072 (Azumi), 5.548.511 (Bancroft), 5.537.017 (Feiten *et al.*), 5.353.224 (Lee *et al.*), 4.700.427 (Knepper) y 4.119.900 (Kreimnitz). Estos dispositivos robóticos deterministas representativos tienen, de manera similar, un coste relativamente elevado, requieren una configuración previa con mucha mano de obra y/o están limitados en la práctica a grandes áreas despejadas de configuración geométrica simple (habitaciones cuadradas, rectangulares con poco (o ningún) mueble).

55 Debido a las limitaciones y dificultades inherentes de los sistemas de limpieza puramente deterministas, algunos dispositivos robóticos dependen de planteamientos de limpieza pseudodeterministas, tal como la navegación por estima. La navegación por estima consiste en medir de manera continua la rotación exacta de cada rueda motriz (p. ej., utilizando codificadores ópticos rotativos) para calcular de manera continua la posición en ese instante del dispositivo robótico en función de un punto y una orientación iniciales conocidos. Además de las desventajas de tener que comenzar las operaciones de limpieza desde una posición fija con el dispositivo robótico en una orientación específica, las ruedas motrices de los dispositivos robóticos de navegación por estima están casi siempre sometidas a cierto grado de deslizamiento, lo que conduce a errores en el cálculo de la posición real.

60 En consecuencia, los dispositivos robóticos de navegación por estima no se consideran en general fiables para operaciones de limpieza de cualquier duración prolongada, lo que da como resultado descuidos del sistema difíciles de resolver, es decir, áreas de la superficie a limpiar que no se limpian. Otros ejemplos representativos de dispositivos robóticos pseudodeterministas se describen en las patentes de EE. UU. N.ºs 6.255.793 (Peless *et al.*) y 5.109.566 (Kobayashi *et al.*).

Un dispositivo robótico que funciona con un movimiento aleatorio, bajo el control de uno o más algoritmos de movimiento aleatorio almacenados en el dispositivo robótico, representa el otro enfoque básico para las operaciones de limpieza que utilizan dispositivos robóticos autónomos. El dispositivo robótico implementa de manera autónoma dicho(s) algoritmo(s) de movimiento aleatorio en respuesta a eventos internos, p. ej., señales generadas por un sistema de sensores, lapso de un período de tiempo (aleatorio o predeterminado). En una habitación típica sin obstáculos, un dispositivo robótico que funciona bajo el control de un algoritmo de movimiento aleatorio proporcionará una cobertura de limpieza aceptable con un tiempo de limpieza suficiente. Comparado con un dispositivo robótico que funciona con un modo de limpieza determinista, un dispositivo robótico que utiliza un algoritmo de movimiento aleatorio debe funcionar durante un período temporal más prolongado para lograr una cobertura de limpieza aceptable.

Para tener una seguridad elevada de que un dispositivo robótico de movimiento aleatorio ha limpiado un 98% de una habitación libre de obstáculos, el dispositivo robótico de movimiento aleatorio debe trabajar aproximadamente unas cinco veces más que un dispositivo robótico determinista que tiene unos mecanismos de limpieza de tamaño similar y que se mueve aproximadamente a la misma velocidad.

No obstante, un área a limpiar que incluya uno o más obstáculos situados de manera aleatoria provoca un marcado aumento en el tiempo de ejecución para que un dispositivo robótico de movimiento aleatorio efectúe un 98% de la cobertura de limpieza. Por lo tanto, aunque el dispositivo robótico de movimiento aleatorio es un medio relativamente económico para limpiar un área de trabajo definida a diferencia de un dispositivo robótico determinista, el dispositivo robótico de movimiento aleatorio requiere un tiempo de limpieza significativamente mayor.

Existe una necesidad de proporcionar una componente determinista a un dispositivo robótico de movimiento aleatorio para mejorar su eficiencia limpiadora, con el fin de reducir el tiempo de ejecución para que la limpieza robótica de movimiento aleatorio logre un 98% de cobertura de limpieza.

La solicitud internacional publicada n.º WO 97/41451 expone un sistema de sensores de proximidad y un dispositivo autónomo, similar a una aspiradora, que está provisto de un par de ruedas impulsoras independientes. El dispositivo contiene para la orientación y guiado de proximidad un sistema de microprocesador y un sistema de s6nar que comprende al menos un transmisor ultras6nico y un receptor ultras6nico. Tambi6n se utiliza un sensor t6ctil mec6nico adicional en forma de un parachoques dirigido hacia delante que contiene el transmisor as6 como las unidades de micr6fonos de recepci6n.

35 **Compendio breve de la invenci6n.**

La presente invenci6n se refiere a un dispositivo rob6tico de limpieza tal como se presenta en la reivindicaci6n 1. Otras realizaciones se describen en las reivindicaciones dependientes.

40 Un objeto de la presente invenci6n es proporcionar un sistema de control de navegaci6n que mejore la eficiencia de limpieza de un dispositivo rob6tico a6nadiendo una componente determinista (en forma de una conducta prescrita mediante un algoritmo de control de navegaci6n) al movimiento aleatorio del dispositivo rob6tico generado por los modos de comportamiento predeterminados almacenados en el dispositivo rob6tico.

45 Otro objeto de la presente invenci6n es proporcionar una unidad de control de navegaci6n que funciona conforme a un algoritmo de control de navegaci6n, que incluye un evento de activaci6n predeterminado que define cu6ndo el dispositivo rob6tico implementará la conducta prescrita.

50 **Descripci6n breve de los dibujos**

Se puede tener una comprensi6n m6s profunda de la presente invenci6n y de las caracter6sticas y ventajas asociadas de esta, haciendo referencia a la siguiente descripci6n detallada de la invenci6n cuando se considera en conjunto con los dibujos anexos, donde:

55 La figura 1 es una vista superior esquem6tica de un dispositivo rob6tico, a modo de ejemplo, que tiene una utilidad particular a la hora de utilizarlo en el sistema de control de navegaci6n de acuerdo con la presente invenci6n.

60 La figura 2 es un diagrama de bloques del hardware, a modo de ejemplo, para el dispositivo rob6tico de la figura 1.

La figura 3 es una representaci6n esquem6tica de un sistema de control de navegaci6n que se puede utilizar con la presente invenci6n, que comprende un subsistema de transmisi6n y un subsistema de recepci6n.

65 La figura 4 ilustra una divisi6n polar de un 6rea de trabajo definida, en la que opera un dispositivo rob6tico.

La figura 5A ilustra el funcionamiento de un ejemplo preferido de un subsistema de transmisión, que funciona de manera sincronizada con el subsistema de recepción de una implementación preferida del sistema de control de navegación que se puede utilizar con la presente invención.

La figura 5B ilustra el funcionamiento del subsistema de recepción, que funciona de manera sincronizada con el subsistema de transmisión de la figura 5A.

La figura 5C ilustra el funcionamiento de otro ejemplo de un subsistema de transmisión, que funciona de manera sincronizada con el subsistema de recepción de un ejemplo preferido del sistema de control de navegación que se puede utilizar en la presente invención.

La figura 5D ilustra el funcionamiento del subsistema de recepción, que funciona de manera sincronizada con el subsistema de transmisión de la figura 5C.

La figura 6A ilustra un ejemplo preferido de un sistema de control de navegación, donde el subsistema de transmisión está integrado en combinación con el dispositivo robótico y el sistema de recepción funciona como una estación base montada contra una pared de un área de trabajo definida.

La figura 6B ilustra el conjunto de unidades de transmisión, que comprende el subsistema de transmisión del dispositivo robótico de la figura 6A, y de los haces dirigidos representativos que tienen unos patrones de emisión predeterminados.

La figura 6C es una ilustración esquemática de un ejemplo preferido del subsistema de recepción de la figura 6A.

La figura 7 ilustra un ejemplo de un sistema de control de navegación, donde el subsistema de recepción está integrado en combinación con el dispositivo robótico y el subsistema de transmisión tiene una configuración distribuida.

Descripción detallada de la invención

Haciendo referencia ahora a los dibujos, donde los mismos números de referencia identifican elementos similares o correspondientes en todas las distintas vistas, la figura 1 es una vista superior esquemática de una realización preferida, a modo de ejemplo, de un dispositivo robótico 100 que tiene una utilidad particular en combinación con un sistema de control de navegación 10. La figura 2 es un diagrama de bloques del hardware del dispositivo robótico 100 de la figura 1.

El hardware y los modos de comportamiento (comportamiento de cobertura para operaciones de limpieza; comportamientos de escape para patrones de movimiento transitorios; y comportamiento de seguridad para condiciones de emergencia) del dispositivo robótico 100, que iRobot Corporation de Burlington, MA, bajo la marca comercial ROOMBA fabrica, distribuye y/o comercializa, se describen brevemente en los siguientes párrafos para facilitar una comprensión más profunda del sistema de control de navegación 10. En la solicitud no provisional de patente de EE. UU. pendiente de resolución y de propiedad conjunta con n.º de serie 10/167.851, presentada el 12 de junio de 2002, titulada *METHOD AND SYSTEM FOR MULTI-MODE COVERAGE FOR AN AUTONOMOUS ROBOT*, y en la solicitud no provisional de patente de EE. UU. con n.º de serie 10/320.729, presentada el 16 de diciembre de 2002, titulada *AUTONOMOUS FLOOR-CLEANING DEVICE* se pueden encontrar detalles adicionales referidos al hardware y a los modos de comportamiento del dispositivo robótico 100.

En la siguiente descripción del dispositivo robótico 100, la utilización de la terminología "hacia delante"/"delantero" hace referencia a la dirección de movimiento principal (hacia delante) del dispositivo robótico (véase la flecha identificada mediante el carácter de referencia "FM" en la figura 1). El eje delantero/trasero FAX del dispositivo robótico 100 coincide con el diámetro medio del dispositivo robótico 100 que divide el dispositivo robótico 100 en unas mitades izquierda y derecha simétricas, que se definen como los lados dominante y no dominante, respectivamente.

Dispositivo robótico

El dispositivo robótico 100 tiene una infraestructura de carcasa cilíndrica en general, que incluye un chasis 102 y un armazón externo 104 fijado al chasis 102, que define una cubierta estructural de mínima altura (para facilitar el movimiento bajo los muebles). El hardware que comprende el dispositivo robótico 100 se puede clasificar como los elementos funcionales de un sistema de alimentación, un sistema de impulsión, un sistema de sensores, un módulo de control, un conjunto de cepillo lateral, o un sistema de cabezal de limpieza autoajustable, respectivamente, donde todos ellos se integran en combinación con la infraestructura de carcasa. Además de dicho hardware clasificado, el dispositivo robótico 100 incluye además un parachoques delantero 106, que tiene una configuración arqueada en general, y un conjunto de rueda delantera 108.

5 El parachoques delantero 106 (ilustrado como un único componente; como alternativa, un componente de dos segmentos) está integrado en una combinación móvil con el chasis 102 (por medio de unos pares de elementos de soporte desplazables) para extenderse hacia fuera desde este. Siempre que el dispositivo robótico 100 impacte con un obstáculo (p. ej., una pared, un mueble) durante su movimiento, el parachoques 106 se desplaza (comprime) hacia el chasis 102 y vuelve a su posición extendida (operativa) cuando finaliza el contacto con el obstáculo.

10 El conjunto de rueda delantera 108 está montado en una combinación desplazada con respecto al chasis 102, de modo que el subconjunto de rueda delantera 108 esté en una posición retraída (debido al peso del dispositivo robótico 100) durante las operaciones de limpieza, donde este rota libremente sobre la superficie que se limpia. Cuando el subconjunto de rueda delantera 108 encuentra una caída durante el funcionamiento (p. ej., escaleras que bajan, suelos a dos niveles), el conjunto de rueda delantera 108 se desplaza hasta una posición extendida.

15 El hardware del sistema de alimentación, que proporciona la energía para alimentar el hardware que funciona con electricidad del dispositivo robótico 100, comprende un juego de baterías recargables 110 (y los cables conductores asociados, no se muestran) que está integrado en combinación con el chasis 102.

20 El sistema de impulsión proporciona el medio que propulsa el dispositivo robótico 100 y hace funcionar los mecanismos de limpieza, p. ej., el conjunto de cepillo lateral y el sistema de cabezal de limpieza autoajustable, durante el movimiento del dispositivo robótico 100. El sistema de impulsión comprende unos conjuntos izquierdo y derecho de ruedas motrices principales 112L, 112R, sus motores eléctricos independientes 114L, 114R asociados, y los motores eléctricos 116, 118 para el funcionamiento del conjunto de cepillo lateral y del subsistema de cabezal de limpieza autoajustable, respectivamente.

25 Los conjuntos de ruedas motrices principales 112L, 112R se montan de manera independiente en una combinación desplazada con respecto al chasis 102 (para tener un movimiento pivotante con respecto a este) en extremos opuestos del diámetro transversal (con respecto al eje delantero trasero FA_x) del dispositivo robótico 100 y están en una posición retraída (debido al peso del dispositivo robótico 100) durante su funcionamiento, donde los ejes de rotación son aproximadamente coplanarios con la parte inferior del chasis 102. Si el dispositivo robótico 100 se retira de la superficie que se limpia, los conjuntos de ruedas principales 112L, 112R se desplazan mediante pivotamiento hasta una posición extendida, donde sus ejes geométricos de rotación están por debajo del plano inferior del chasis 102 (en esta posición extendida el módulo de control desconecta de manera automática el juego de baterías recargables 110, que ejecuta uno de los modos de comportamiento de seguridad).

30 Los motores eléctricos 114L, 114R están acoplados mecánicamente a los conjuntos de ruedas motrices principales 112L, 112R, respectivamente, y funcionan de manera independiente mediante señales de control generadas por el módulo de control como respuesta a la implementación de un modo de comportamiento. El funcionamiento independiente de los motores eléctricos 114L, 114R permite a los conjuntos de ruedas principales 112L, 112R poder: (1) rotar a la misma velocidad en la misma dirección para propulsar el dispositivo robótico 100 en una línea recta, hacia delante o hacia atrás; (2) rotar de manera diferenciada (que incluye la condición donde un conjunto de rueda no rota) para efectuar una serie de patrones de giro a derecha y/o izquierda (en todo un espectro de giros abiertos o cerrados) del dispositivo robótico 100; y (3) rotar a la misma velocidad en direcciones opuestas para hacer que el dispositivo robótico 100 gire en el sitio, es decir, "gire sobre sí mismo", para proporcionar un repertorio extenso de posibilidades de movimiento al dispositivo robótico 100.

40 El sistema de sensores comprende una variedad de distintas unidades con sensores que operan de modo que generen señales que controlan las operaciones de los modos de comportamiento del dispositivo robótico 100. El dispositivo robótico 100 descrito incluye unidades de detección de obstáculos 120, unidades de detección de desniveles 122, sensores de caída de ruedas 124, una unidad de seguimiento de obstáculos 126, un detector omnidireccional de paredes virtuales 128, unidades de sensores de parada 130 y unidades de los codificadores de las ruedas principales 132.

50 Para la realización descrita, las unidades de detección de obstáculos ("choques") 120 son sensores de célula fotoeléctrica de IR montados en combinación con los pares de elementos de soporte desplazables del parachoques delantero 106. Estas unidades de detección 120 operan de modo que generen una o más señales que indican el desplazamiento relativo entre uno o más pares de elementos de soporte siempre que el dispositivo robótico 100 impacte con un obstáculo, de modo que se comprima el parachoques delantero 106. El módulo de control procesa estas señales para determinar un punto aproximado de contacto con el obstáculo, con relación al eje delantero trasero FA_x del dispositivo robótico 100 (y el(los) modo(s) de comportamiento a implementar).

60 Las unidades de detección de desniveles 122 se montan en combinación con el parachoques delantero 106. Cada unidad de detección de desniveles 122 comprende un par emisor-detector de IR configurado y que opera de modo que establezca un punto focal tal que esa radiación emitida hacia abajo por el emisor se refleje desde la superficie que recorre y se detecte en el detector. Si el detector no detecta la radiación reflejada, es decir, se encuentra una caída, la unidad de detección de desniveles 122 transmite una señal al módulo de control (que hace que se implementen uno o más modos de comportamiento).

Un sensor de caída de ruedas 124, tal como un interruptor de contacto, está integrado en combinación con cada uno de los conjuntos de ruedas motrices principales 112L, 112R y el conjunto de rueda delantera 108, y opera de modo que genere una señal siempre que cualquiera de los conjuntos de rueda esté en una posición extendida, es decir, no esté en contacto con la superficie que se recorre (lo que provoca que el módulo de control implemente uno o más modos de comportamiento).

La unidad de seguimiento de obstáculos 126, para la realización descrita, es un par emisor-detector de IR montado en el lado 'dominante' (lado derecho de la figura 1) del dispositivo robótico 100. El par emisor-detector es similar en configuración a las unidades de detección de desniveles 112, pero está situado de modo que el emisor emita la radiación lateralmente desde el lado dominante del dispositivo robótico 100. La unidad 126 opera de modo que transmita una señal al módulo de control siempre que se detecte un obstáculo, como resultado de una radiación reflejada desde el obstáculo y detectada por el detector. El módulo de control, en respuesta a esta señal, hace que se implementen uno o más modos de comportamiento.

Un sistema de detección de paredes virtuales a utilizar conjuntamente con la realización descrita del dispositivo robótico 100 comprende un detector omnidireccional 128 montado sobre el armazón externo 104 y una unidad de transmisión autónoma (no se muestra) que transmite un haz de confinamiento dirigido axialmente. La unidad de transmisión autónoma está situada de modo que el haz de confinamiento emitido bloquee un camino de acceso a un área de trabajo definida, lo que limita de ese modo el dispositivo robótico 100 a operaciones dentro del área de trabajo definida (p. ej., en una entrada para confinar el dispositivo robótico 100 dentro de una habitación específica a limpiar). Tras la detección del haz de confinamiento, el detector omnidireccional 128 transmite una señal al módulo de control (que hace que se implementen uno o más modos de comportamiento para alejar el dispositivo robótico 100 del haz de confinamiento generado por la unidad de transmisión autónoma).

Una unidad de sensores de parada 130 está integrada en combinación con cada motor eléctrico 114L, 114R, 116, 118 y opera de modo que transmita una señal al módulo de control cuando se detecta un cambio en la corriente del motor eléctrico asociado (que es indicativo de una condición de funcionamiento erróneo en el hardware impulsado correspondiente). El módulo de control opera en respuesta a dicha señal para implementar uno o más modos de comportamiento.

Una unidad de codificador de IR 132 (véase la figura 2) está integrada en combinación con cada conjunto de rueda principal 112L, 112R, y opera de modo que detecte la rotación de la rueda correspondiente y transmita señales correspondientes a esta al módulo de control (la rotación de la rueda se puede utilizar para proporcionar una estimación de la distancia recorrida por el dispositivo robótico 100).

El módulo de control comprende la unidad de microprocesamiento 135 ilustrada en la figura 2, que incluye puertos de E/S conectados a los sensores y al hardware controlable del dispositivo robótico 100, un microcontrolador y memorias ROM y RAM. Los puertos de E/S hacen funciones de interfaz entre el microcontrolador y las unidades de sensores y el hardware controlable, transfiriendo señales generadas por las unidades de sensores al microcontrolador y transfiriendo señales de control (instrucciones) generadas por el microcontrolador al hardware controlable para implementar un modo de comportamiento específico.

El microcontrolador opera de modo que ejecute conjuntos de instrucciones para procesar las señales de los sensores, implementar modos de comportamiento específicos, en función de dichas señales procesadas, y generar señales de control (instrucciones) para el hardware controlable en función de los modos de comportamiento implementados por el dispositivo robótico 100. Los programas de cobertura y control de la limpieza para el dispositivo robótico 100 se almacenan en la ROM de la unidad de microprocesamiento 135, que incluye los modos de comportamiento, los algoritmos de procesamiento de los sensores, los algoritmos de generación de señales de control y un algoritmo de jerarquización para determinar a que modo o modos de comportamiento se les debe dar el control del dispositivo robótico 100. La RAM de la unidad de microprocesamiento 135 se utiliza para almacenar el estado activo del dispositivo robótico 100, que incluye la ID del (de los) modo(s) de comportamiento conforme a los que el dispositivo robótico 100 opera en ese momento y las órdenes del hardware asociadas con estos.

El conjunto de cepillo lateral 140 se configura y opera de modo que arrastre materiales particulados en el exterior de la periferia de la infraestructura de carcasa y dirija dichos materiales particulados hacia el sistema de cabezal de limpieza autoajustable. El conjunto de cepillo lateral 140 proporciona al dispositivo robótico 100 la posibilidad de limpiar superficies adyacentes a placas base, cuando el dispositivo robótico opera en un modo de comportamiento de *Seguimiento de Obstáculos*. Tal como se muestra en la figura 1, el conjunto de cepillo lateral 140 se monta preferentemente en combinación con el chasis 102 en el cuadrante delantero del lado dominante del dispositivo robótico 100.

El sistema de cabezal de limpieza autoajustable 145, para el dispositivo robótico descrito 100, comprende un conjunto de cepillo de doble etapa y un conjunto aspirador, cada uno de los cuales está alimentado de manera independiente por un motor eléctrico (número de referencia 118 en la figura 1, en realidad identifica dos motores eléctricos independientes, uno para el conjunto de cepillo y uno para el conjunto aspirador). La capacidad de

limpieza del dispositivo robótico 100 se caracteriza habitualmente en términos de la anchura del sistema del cabezal de limpieza 145 (véase el carácter de referencia W en la figura 1).

El conjunto de cepillo de doble etapa y la entrada del conjunto aspirador se integran en combinación con una estructura de plataforma, que se monta con posibilidad de pivotar en combinación con el chasis 102 y se integra de manera operativa con el motor del conjunto de cepillo de doble etapa. En respuesta a una reducción predeterminada en la velocidad de rotación del motor del conjunto de cepillo, el motor del conjunto de cepillo proporciona la fuerza impulsora para hacer pivotar la estructura de plataforma con respecto al chasis 102. La estructura de plataforma pivotante proporciona la capacidad de autoajustarse al conjunto de cabezal de limpieza 145, que permite al dispositivo robótico 100 realizar fácilmente la transición entre superficies dispares durante las operaciones de limpieza, p. ej., de superficie alfombrada a superficie desnuda o viceversa, sin suspender la ejecución.

El conjunto de cepillo de doble etapa comprende unos cepillos asimétricos de rotación inversa que están situados (delante de la entrada del conjunto aspirador), configurados y operan de modo que dirijan los residuos de material particulado al interior de un cartucho desmontable para el polvo (no se muestra). El posicionamiento, la configuración y el funcionamiento del conjunto de cepillo dirigen de manera simultánea los residuos de material particulado hacia la entrada del conjunto aspirador, de modo que, como resultado del movimiento del dispositivo robótico 100, el conjunto aspirador pueda ingerir posteriormente las partículas que el conjunto de cepillo de doble etapa no barre.

El funcionamiento del conjunto aspirador de manera independiente al conjunto de cepillo autoajustable permite que el conjunto aspirador genere y mantenga una mayor fuerza de aspiración utilizando una fuente de alimentación de baterías, de lo que sería posible si el conjunto aspirador funcionara dependiendo del conjunto de cepillo.

Modos de comportamiento del dispositivo robótico

El dispositivo robótico 100 utiliza diversos modos de comportamiento para limpiar de manera eficiente un área de trabajo definida, donde los modos de comportamiento son capas de sistemas de control que pueden operar en paralelo. La unidad de microprocesamiento 135 opera de modo que ejecute un planteamiento de arbitraje priorizado para identificar e implementar uno o más modos de comportamiento dominantes para cualquier escenario dado en función de las entradas procedentes del sistema de sensores.

Los modos de comportamiento para el dispositivo robótico 100 descrito se pueden caracterizar como: (1) modos de comportamiento de cobertura; (2) modos de comportamiento de escape; y (3) modos de comportamiento de seguridad. Los modos de comportamiento de cobertura se diseñan principalmente para permitir que el dispositivo robótico 100 lleve a cabo sus operaciones de limpieza de una manera eficiente y eficaz, y los modos de comportamiento de escape y seguridad son modos de comportamiento prioritarios implementados cuando una señal procedente del sistema de sensores indica una alteración en el funcionamiento normal del dispositivo robótico 100, p. ej., se encuentra con un obstáculo, o es probable que se vea alterado, p. ej., una caída detectada.

Los modos de comportamiento de cobertura (limpieza) representativos e ilustrativos del dispositivo robótico 100 incluyen: (1) un patrón de *Cobertura Localizada*; (2) un patrón de *Cobertura de Seguimiento de Obstáculos* (o de *Limpieza de Bordes*), y (3) un patrón de *Cobertura de Habitaciones*. El patrón de *Cobertura Localizada* hace que el dispositivo robótico 100 limpie un área limitada dentro del área de trabajo definida, p. ej., un área de tránsito intensivo. En un ejemplo preferido, el patrón de *Cobertura Localizada* se implementa por medio de un algoritmo espiral (aunque se pueden utilizar otros tipos de algoritmos para áreas delimitadas, p. ej., poligonal). El algoritmo espiral, que provoca el movimiento en espiral hacia fuera o en espiral hacia dentro del dispositivo robótico 100 se implementa mediante señales de control procedentes de la unidad de microprocesamiento 135 a los conjuntos de ruedas principales 112L, 112R para cambiar su(s) radio/radios de giro en función del tiempo (lo que aumenta/disminuye de ese modo el patrón de movimiento en espiral del dispositivo robótico 100).

El dispositivo robótico 100 opera en el patrón de *Cobertura Localizada* durante un período de tiempo predeterminado o aleatorio, en una distancia predeterminada o aleatoria (p. ej., una distancia máxima en espiral) y/o hasta que se produzca un evento específico, p. ej., la activación de una o más de las unidades de detección de obstáculos 120 (colectivamente una condición de transición). Una vez que se produce una condición de transición, el dispositivo robótico 100 puede implementar o realizar una transición a un modo de comportamiento diferente, p. ej., un modo de comportamiento de *Línea Recta* (en un ejemplo preferido del dispositivo robótico 100, el modo de comportamiento de *Línea Recta* es un comportamiento por defecto de prioridad baja que propulsa el robot en una línea aproximadamente recta a una velocidad preestablecida de aproximadamente 0.306 m/s) o un modo de comportamiento de *Rebote* en combinación con un modo de comportamiento de *Línea Recta*.

Si la condición de transición es el resultado de que el dispositivo robótico 100 encuentre un obstáculo, el dispositivo robótico 100 puede adoptar otras acciones en lugar de realizar la transición a un modo de comportamiento diferente. El dispositivo robótico 100 puede implementar de manera momentánea un modo de comportamiento para evitar el obstáculo o escapar de este y reanudar su funcionamiento bajo el control del algoritmo espiral (es decir, continúa describiendo una espiral en la misma dirección). Como alternativa, el dispositivo robótico 100 puede implementar de

manera momentánea un modo de comportamiento para evitar el obstáculo o escapar de este y reanudar su funcionamiento bajo el control del algoritmo espiral (pero en la dirección opuesta, espiral reflejada).

5 El patrón de *Cobertura de Seguimiento de Obstáculos* provoca que el dispositivo robótico 100 limpie el perímetro del área de trabajo definida, p. ej., una habitación delimitada por paredes, y/o el perímetro de un obstáculo (p. ej., un mueble) dentro del área de trabajo definida. Preferentemente, el dispositivo robótico 100 utiliza una unidad de seguimiento de obstáculos 126 para mantener su posición de manera continua con respecto a un obstáculo, p. ej., una pared, un mueble, de modo que el movimiento del dispositivo robótico 100 haga que se desplace adyacente, y de manera simultánea limpie, a lo largo del perímetro del obstáculo. Se pueden utilizar distintas implementaciones de la unidad de seguimiento de obstáculos 126 para implementar el patrón de comportamiento de *Seguimiento de Obstáculos*.
10

15 En un primer ejemplo, la unidad de seguimiento de obstáculos 126 opera de modo que detecte la presencia o ausencia del obstáculo. En un ejemplo alternativo, la unidad de seguimiento de obstáculos 126 opera de modo que detecte un obstáculo y a continuación mantenga una distancia predeterminada entre el obstáculo y el dispositivo robótico 100. En el primer ejemplo, la unidad de microprocesamiento 135 opera, en respuesta a las señales procedentes de la unidad de seguimiento de obstáculos, de modo que implemente unos pequeños giros CW (en dirección horaria) o CCW (en dirección antihoraria) para mantener su posición con respecto al obstáculo. El dispositivo robótico 100 implementa un pequeño giro CW cuando el dispositivo robótico 100 realiza la transición de detección de obstáculos a no detección (de reflexión a no reflexión) o para implementar un pequeño giro CCW, cuando el dispositivo robótico 100 realiza la transición de no detección a detección (de no reflexión a reflexión). El dispositivo robótico 100 implementa unos comportamientos de giro similares para mantener la distancia predeterminada desde el obstáculo.
20

25 El dispositivo robótico 100 opera en el modo de comportamiento de *Seguimiento de Obstáculos* durante un período de tiempo predeterminado o aleatorio, en una distancia predeterminada o aleatoria (p. ej., una distancia máxima o mínima) y/o hasta que se produzca un evento específico, p. ej., la activación de una o más de las unidades de detección de obstáculos 120 un número de veces predeterminado (colectivamente una condición de transición). En cierto ejemplo, el microprocesador 135 hará que el dispositivo robótico implemente un modo de comportamiento de *Alineación* tras la activación de las unidades de detección de obstáculos 120 en el modo de comportamiento de *Seguimiento de Obstáculos*, donde implementa un giro CCW de mínimo ángulo para alinear el dispositivo robótico 100 con el obstáculo.
30

35 El dispositivo robótico 100 puede utilizar el patrón de *Cobertura de Habitaciones* para limpiar cualquier área de trabajo definida que esté delimitada por paredes, escaleras, obstáculos u otras barreras (p. ej., una unidad de pared virtual). Un ejemplo preferido del patrón de *Cobertura de Habitaciones* comprende el modo de comportamiento de *Rebote Aleatorio* en combinación con el modo de comportamiento de *Línea Recta*. Inicialmente, el dispositivo robótico 100 se traslada bajo el control del modo de comportamiento de *Línea Recta*, es decir, un algoritmo de línea recta (los conjuntos de ruedas motrices principales 112L, 112R operan a la misma velocidad de rotación en la misma dirección) hasta que se encuentra con un obstáculo. Tras la activación de una o más de las unidades de detección de obstáculos 120, la unidad de microprocesamiento 135 opera de modo que calcule un rango aceptable de nuevas direcciones en función de la(s) unidad(es) de detección de obstáculos 126 activada(s). La unidad de microprocesamiento 135 selecciona una nueva orientación dentro del rango aceptable e implementa un giro CW o CCW para alcanzar la nueva orientación con un movimiento mínimo. En algunos ejemplos, la orientación del nuevo giro puede estar seguida por un movimiento hacia delante para aumentar la eficiencia de la limpieza del dispositivo robótico 100. La nueva orientación se puede seleccionar de manera aleatoria en todo el rango aceptable de orientaciones, o en función de algún planteamiento estadístico de selección, p. ej., distribución Gaussiana. En otros ejemplos de modo de comportamiento de *Cobertura de Habitaciones*, la unidad de microprocesamiento 135 se puede programar de modo que cambie las orientaciones de manera aleatoria o en instantes predeterminados, sin entrada desde el sistema de sensores.
40
45
50

55 El dispositivo robótico 100 opera en el modo de comportamiento de *Cobertura de Habitaciones* durante un período de tiempo predeterminado o aleatorio, en una distancia predeterminada o aleatoria (p. ej., una distancia máxima o mínima) y/o hasta que se produzca un evento específico, p. ej., la activación de las unidades de detección de obstáculos 120 un número de veces predeterminado (colectivamente una condición de transición).

60 Una implementación preferida del dispositivo robótico 100 incluye cuatro modos de comportamiento de escape: un modo de comportamiento de *Giro*, un modo de comportamiento de *Borde*, un modo de comportamiento de *Caída de Rueda* y un modo de comportamiento de *Ralentización*. Alguien experto en la técnica apreciará que el dispositivo robótico 100 puede utilizar otros modos de comportamiento. Uno o más de estos modos de comportamiento se puede implementar, por ejemplo, en respuesta a un aumento de la corriente en uno de los motores eléctricos 116, 118 del conjunto de cepillo lateral 140 o a que el conjunto de cepillo de doble etapa está por encima de un umbral de parada alto o bajo, el parachoques delantero 106 está en una posición comprimida durante un período de tiempo determinado, la detección de un evento de caída de rueda.
65

5 En el modo de comportamiento de *Giro*, el dispositivo robótico 100 gira en el sitio en una dirección aleatoria, comenzando a una velocidad mayor (p. ej., el doble de la velocidad normal de giro) y disminuyendo hasta una velocidad menor (la mitad de la velocidad normal de giro), es decir, pequeños giros de pánico y grandes giros de pánico, respectivamente. Los pequeños giros de pánico están preferentemente en el rango de 45° a 90°, los grandes giros de pánico están preferentemente en el rango de 90° a 270°. El modo de comportamiento de *Giro* evita que el dispositivo robótico 100 se quede atascado en obstáculos de la habitación, p. ej., un sitio alto en la alfombra, una base de lámpara inclinada, se quede atascado debajo de obstáculos de la habitación, p. ej., debajo de un sofá o de quedar atrapado en un área confinada.

10 En el modo de comportamiento de *Borde* se sigue el borde de un obstáculo hasta que haya girado un número predeterminado de grados, p. ej., 60°, sin la activación de ninguna de las unidades de detección de obstáculos 120, o hasta que el dispositivo robótico haya girado un número predeterminado de grados, p. ej., 170°, desde el inicio del modo de comportamiento de *Borde*. El modo de comportamiento de *Borde* permite que el dispositivo robótico 100 se mueva a través de las aberturas más pequeñas posibles para escapar de áreas confinadas.

15 En el modo de comportamiento de *Caída de Rueda*, el microprocesador 135 invierte la dirección de los conjuntos de ruedas motrices principales 112L, 112R de manera momentánea, posteriormente los detiene. Si se desactiva el sensor de caída de rueda 124 activado dentro de un período de tiempo predeterminado, el microprocesador 135, a continuación, vuelve a implementar el modo de comportamiento que se estaba ejecutando antes de la activación del sensor de caída de rueda 124.

20 En respuesta a ciertos eventos, p. ej., la activación de un sensor de caída de rueda 124 o de un detector de desnivel 122, se implementa el modo de comportamiento de *Ralentización* para disminuir la velocidad del dispositivo robótico 100 a lo largo de una distancia predeterminada y a continuación aumentarla de nuevo hasta su velocidad normal de funcionamiento.

25 Cuando el subsistema de sensores detecta una situación de seguridad, p. ej., una serie de paradas del cepillo o las ruedas que hacen que los motores eléctricos correspondientes se desactiven por ciclos temporalmente, la activación de un sensor de caída de rueda 124 o un sensor de detección de desnivel 122 durante un período de tiempo mayor que el predeterminado, se hace pasar al dispositivo robótico 100 a un estado apagado. Además, puede generar una alarma audible.

30 La descripción anterior de los modos de comportamiento del dispositivo robótico 100 pretende ser representativa de los tipos de modos de funcionamiento que se pueden implementar mediante el dispositivo robótico 100. Alguien experto en la técnica apreciará que los modos de comportamiento descritos anteriormente se pueden implementar en otras combinaciones y/o circunstancias.

Sistema de control de navegación

35 La figura 3 es una representación esquemática de un sistema de control de navegación 10 para su utilización en combinación con un dispositivo robótico 100, con el fin de mejorar su eficiencia de limpieza añadiendo una componente determinista (en forma de una señal de control que controla de manera remota el movimiento del dispositivo robótico 100) a los algoritmos de movimiento, que incluye el movimiento aleatorio, implementado de manera autónoma mediante el dispositivo robótico 100. El sistema de control de navegación 10 comprende un subsistema de transmisión 12 y un subsistema de recepción 20 que operan conforme a la dirección de un algoritmo de control de navegación. El algoritmo de control de navegación incluye una definición de un evento de activación predeterminado. Las características y propiedades específicas del subsistema de transmisión 12 y el subsistema de recepción 20 dependen de si el subsistema particular está integrado en combinación con el dispositivo robótico 100, o funciona a modo de "estación base" para el sistema de control de navegación 10.

40 Descrito, *grosso modo*, el sistema de control de navegación 10 opera, conforme a la dirección del algoritmo de control de navegación, de modo que monitorice la actividad de movimiento del dispositivo robótico 100 dentro del área de trabajo definida. En un ejemplo preferido, la actividad de movimiento monitorizada se define en términos del "historial de posiciones" del dispositivo robótico 100, tal como se describe con mayor detalle a continuación. En otro ejemplo, la actividad de movimiento monitorizada se define en términos de la "posición instantánea" del dispositivo robótico 100, tal como se define con mayor detalle a continuación.

45 El evento de activación predeterminado es una ocurrencia o condición específica en la actividad de movimiento del dispositivo robótico 100. Después de que se produzca el evento de activación predeterminado, el sistema de control de navegación 10 opera de modo que genere y comunique una señal de control al dispositivo robótico 100. En respuesta a la señal de control, el dispositivo robótico 100 opera de modo que implemente o ejecute una conducta prescrita por la señal de control, es decir, la conducta prescrita. Esta conducta prescrita representa una componente determinista de la actividad de movimiento del dispositivo robótico 100.

50 En el ejemplo preferido del sistema de control de navegación 10 en función del historial de posiciones, el sistema 10 se configura y opera de modo que cree una "división" de cualquier área de trabajo definida, donde el dispositivo

robótico 100 deba operar, p. ej., una habitación a limpiar. División se utiliza en la presente en el sentido de que el área de trabajo definida está segmentada en un conjunto de celdas individuales, las cuales pueden o no tener el mismo tamaño. Por ejemplo, la figura 4 ilustra, a modo de ejemplo, la división polar de un área de trabajo definida en un conjunto de celdas individuales C (los caracteres de referencia BS_T identifican la "estación base") de tamaños desiguales. La posición de cada celda C (en términos de su centro) se identifica en términos de las coordenadas polares (r, θ) , referenciadas a la estación base BS_T como el origen $(0, 0)$. Un mapa reticulado de las celdas C que comprende el área de trabajo definida se almacena en la memoria del sistema de control de navegación 10. Alguien experto en la técnica apreciará que el sistema de control de navegación 10 puede utilizar otros sistema de coordenadas, p. ej., un sistema de coordenadas plano cartesiano, para definir la posición de las celdas individuales C dentro del área de trabajo predeterminada.

Preferentemente, el sistema de control de navegación 10 opera de modo que defina el tamaño de las celdas individuales C, de manera que las dimensiones de longitud y anchura de una celda individual C no sean mayores que una mitad de la anchura (W) del sistema de cabezal de limpieza 145 del dispositivo robótico 100 (véase la figura 1 y el análisis anterior correspondiente).

El sistema de control de navegación 10 opera de modo que genere un historial de posiciones del dispositivo robótico 100 dentro del área de trabajo definida en términos de dichas celdas individuales C (con el fin de minimizar los requisitos de memoria para el almacenamiento del historial de posiciones). El historial de posiciones comprende un conjunto de posiciones instantáneas y discretas (en términos de celdas individuales C) del dispositivo robótico 100 a lo largo de un intervalo de tiempo, donde el intervalo de tiempo es una variable que depende de la "condición de activación" del algoritmo de control de navegación implementado mediante el sistema de control de navegación 10.

Cada posición instantánea y discreta del dispositivo robótico 100 se determina operando el subsistema de transmisión 12 que transmite un conjunto de haces direccionales y operando el subsistema de recepción 20 de modo que detecte uno o más de dichos haces direccionales y procese un parámetro de señal del (de los) hace(s) detectado(s) para determinar un parámetro de rumbo absoluto y un parámetro de distancia, entre el subsistema de transmisión 12 y el subsistema de recepción 20 en un instante de tiempo. Cada par de parámetros de rumbo y distancia establece una posición instantánea y discreta del dispositivo robótico 100. Para el ejemplo de 'historial de posiciones' preferido, el sistema de control de navegación 10 opera de modo que correlacione cada posición instantánea y discreta con una celda individual C del mapa reticulado. Un conjunto de pares de rumbo y posición, es decir, un conjunto de posiciones instantáneas durante un intervalo de tiempo define un conjunto de celdas C, que se identifican en el subsistema de recepción 20 como el historial de posiciones del dispositivo robótico 100 para el intervalo de tiempo.

En un ejemplo preferido del sistema de control de navegación 10 en función de la posición instantánea, el sistema 10 procesa cada posición instantánea y discreta tal como se establece, conforme al control del algoritmo de control de navegación, para determinar si dicha posición instantánea y discreta es el evento de activación predeterminado definido mediante el algoritmo de control de navegación.

En un ejemplo avanzado del sistema de control de navegación 10, el sistema 10 se configura y opera de manera adicional de modo que determine un vector de traslación (que indica la dirección de movimiento del dispositivo robótico 100 dentro de una celda individual C o en la posición instantánea y discreta) en cada instante de tiempo. Estos vectores de traslación se pueden almacenar en memoria junto con las celdas C correspondientes como un componente del historial de posiciones del dispositivo robótico 100.

El sistema de control de navegación 10 opera además, conforme a la dirección del algoritmo de control de navegación, de modo que genere y comunique una señal de control al dispositivo robótico 100, siempre que el sistema de control de navegación 100 lleve a cabo el evento de activación predeterminado. En respuesta a cualquiera de dichas señales de control, el dispositivo robótico 100 se configura y opera de modo que inicie una conducta prescrita. La conducta prescrita comprende la componente determinista añadida a la actividad de movimiento del movimiento aleatorio del dispositivo robótico 100 por medio del sistema de control de navegación 10.

En una implementación posible de la invención, la conducta prescrita del dispositivo robótico 100 comprende una o más maniobras básicas, tales como giros CW y CCW, movimiento hacia delante o hacia atrás, disminución de la velocidad, aumento de la velocidad y parada. Los giros CW y/o CCW se pueden implementar utilizando las técnicas de giro del dispositivo robótico 100 descritas anteriormente, y los ángulos de giro pueden ser, por ejemplo, a lo largo de un espectro de 360° a intervalos predeterminados, p. ej., de 5° o 10° . Como alternativa, o además, los giros CW y/o CCW pueden ser hasta una orientación azimutal específica (referenciada a la estación base como el origen) donde el sistema de control de navegación 10 se configura y opera de modo que el vector de traslación sea una variable que se puede determinar. De estas maniobras básicas, el movimiento hacia delante (en línea recta) es habitualmente la maniobra a la que vuelve (implementa) automáticamente por defecto el dispositivo robótico 100 una vez que se han completado una o más de las demás maniobras básicas.

En otra posible implementación de la invención, la conducta prescrita del dispositivo robótico 100 comprende uno o más de los modos de comportamiento descritos en la presente. En otra posible implementación más de la invención,

la conducta prescrita del dispositivo robótico 100 comprende una combinación de las maniobras básicas y los modos de comportamiento descritos en la presente.

5 El subsistema de transmisión 12 opera de modo que transmita un número de haces dirigidos que tienen un patrón de emisión predeterminado a lo largo de un eje de propagación específico. Preferentemente, los haces dirigidos son planos, es decir, sustancialmente paralelos a la superficie del área de trabajo definida.

10 En ejemplos preferidos del sistema de control de navegación 10, el subsistema de transmisión 12 está integrado en combinación con el dispositivo robótico 100. El subsistema de transmisión 12 se configura y opera de modo que emule funcionalmente a una fuente de transmisión omnidireccional con respecto al área de trabajo definida, es decir, emitiendo una pluralidad de haces dirigidos que cubren el área de trabajo definida. Para estas implementaciones preferidas, el dispositivo robótico 100 incluye además una unidad de recepción 16 (véase la figura 3) que se configura y opera de modo que reciba señales de control desde el subsistema de recepción 20 (véase el análisis a continuación referente a la unidad de transmisión 32 del subsistema de recepción 20). Aunque la unidad de recepción 16 se representa como una unidad de recepción dedicada para las señales de control, es preferible que el detector omnidireccional 128 (del sistema de detección de paredes virtuales) descrito anteriormente esté adaptado para detectar y procesar dichas señales de control.

20 En un ejemplo preferido, el subsistema de transmisión 12 comprende un transmisor de barrido mecánico convencional, p. ej., un láser, que está integrado en combinación con un punto elevado de la infraestructura de carcasa del dispositivo robótico 100, de modo que ninguna de las características estructurales del dispositivo robótico 100 interfieran con su funcionamiento. El transmisor de barrido mecánico se configura y opera de modo que emita la pluralidad de haces dirigidos mientras redirige de manera simultánea (barrido mecánico) el elemento de transmisión de modo que cada haz dirigido tenga un eje de propagación diferente. A continuación, se describen otras características y propiedades del transmisor de barrido mecánico en términos de unidades de transmisión individuales 14_N para una descripción más simple.

30 Otro ejemplo preferido del subsistema de transmisión 12 comprende un conjunto de unidades de transmisión 14_N , donde N es un entero que define el número de unidades de transmisión individuales que comprende el conjunto para el sistema de control de navegación 10, que están integradas en combinación con el dispositivo robótico 100 en toda la periferia de su infraestructura de carcasa. Cada unidad de transmisión 14_N se configura y opera de modo que emita un haz dirigido con un patrón de emisión predeterminado a lo largo de un eje de propagación específico. Preferentemente, el subsistema de transmisión 12 se configura y opera de modo que los haces dirigidos emitidos sean planos.

35 En un ejemplo básico del subsistema de transmisión 12, las unidades de transmisión 14_N son fungibles/intercambiables, donde cada una opera de modo que emita un haz dirigido a una frecuencia operativa común. Preferentemente, la frecuencia operativa común de las unidades de transmisión 14_N se sitúa en el rango infrarrojo, es decir, entre aproximadamente 750 nm y aproximadamente 1.4×10^4 nm, preferentemente entre 880 nm y aproximadamente 980 nm, aunque alguien experto en la técnica apreciará que se pueden utilizar otras longitudes de onda, p. ej., en el rango de las frecuencias de radio, en el rango de las frecuencias de microondas, a la hora de llevar a la práctica el sistema de control de navegación 10.

45 Preferentemente, los haces dirigidos de frecuencia operativa común emitidos por las unidades de transmisión 14_N se modulan periódicamente, p. ej., a 10 KHz durante 50 ms y se desactivan durante 300 ms. La modulación de los haces dirigidos facilita su detección por parte del subsistema de recepción 20, es decir, el subsistema de recepción 20 puede discriminar fácilmente entre los haces dirigidos modulados emitidos por el subsistema de transmisión 12 y cualesquiera otras fuentes de radiación electromagnética que puedan estar activas en el área de trabajo definida, p. ej., las unidades de control remoto de la televisión, los teclados de ordenador inalámbricos, los microondas, la radiación ambiente, tal como la luz solar. Para el ejemplo básico, también se prefiere que la unidades de transmisión 14_N operen de manera secuencial de modo que cualquier unidad de transmisión 14_N se active por ciclos durante un período de tiempo predeterminado y a continuación se desactive por ciclos, a continuación se activa por ciclos la siguiente unidad de transmisión 14_N (adyacente) durante el período de tiempo predeterminado y se desactiva por ciclos, etc. Operar el subsistema de transmisión 12 de la manera anterior, es decir, la modulación del haz dirigido, la activación/desactivación de manera secuencial de las unidades de transmisión 14_N , minimiza los requisitos de alimentación del subsistema de transmisión 12 y reduce el ruido parásito/la energía colateral que podría impactar de forma negativa en el funcionamiento del sistema de control de navegación 10.

60 De manera ordinaria, un sistema de control de navegación 10 que emplea el ejemplo básico del subsistema de transmisión 12, es decir, todas las unidades de transmisión 14_N emiten de manera intercambiable haces dirigidos a una frecuencia operativa común, no se puede utilizar para determinar los vectores de traslación del dispositivo robótico 100 debido a que el subsistema de recepción 20 no puede diferenciar entre los haces dirigidos emitidos por las unidades de transmisión 14_N y por lo tanto no puede identificar ninguna unidad de transmisión 14_N particular. No obstante, los inventores han desarrollado dos maneras innovadoras de transmitir y procesar haces dirigidos emitidos por un subsistema de transmisión 12 que comprende unidades de transmisión 14_N intercambiables, de modo que el

subsistema de recepción 20 pueda identificar de manera individual una unidad de transmisión 14_N intercambiable, y, en función de dicha identificación, establecer un vector de traslación para el dispositivo robótico 100.

En consecuencia, en una versión mejorada del ejemplo básico del subsistema de transmisión 12, las unidades de transmisión 14_N intercambiables operan de una manera predeterminada que permite que el subsistema de recepción 20 procese los haces dirigidos detectados para identificar el haz dirigido que tiene la intensidad de señal máxima, lo que a su vez permite que el subsistema de recepción 20 identifique la unidad de transmisión 14_N intercambiable que emitió dicho haz dirigido. Esto a su vez permite que el subsistema de recepción 20 determine la orientación y, por tanto, el vector de traslación del dispositivo robótico 100.

Haciendo referencia a la figura 5A, en primer lugar se activa por ciclos el subsistema de transmisión 12 de modo que todas las unidades de transmisión 14_N emitan haces dirigidos durante un período de sincronización predeterminado, tal como se identifica mediante el carácter de referencia t_{SY} , y a continuación se desactiva por ciclos. El subsistema de recepción 20 opera de modo que detecte y procese uno o más haces dirigidos emitidos por las unidades de transmisión 14_N e identifique el período de sincronización predeterminado t_{SY} del subsistema de transmisión 12. Esta identificación permite que el subsistema de recepción 20 sincronice las operaciones entre el subsistema de transmisión 12 y el subsistema de recepción 20 al inicializar una secuencia temporizada al final del período de sincronización predeterminado t_{SY} (el carácter de referencia t_0 identifica el inicio de la secuencia temporizada en la figura 5A).

El subsistema de transmisión 12 opera además de modo que la unidad de transmisión individual 14_N se active y desactive por ciclos de manera secuencial en instantes predeterminados con respecto al inicio de la secuencia temporizada t_0 establecida por el subsistema de recepción 20. Por ejemplo, con respecto a la figura 5A, que ilustra un subsistema de transmisión 12 que comprende cuatro unidades de transmisión 14_N (identificadas de manera arbitraria como la primera unidad de transmisión 14_1 , la segunda unidad de transmisión 14_2 , la tercera unidad de transmisión 14_3 y la cuarta unidad de transmisión 14_4), donde el subsistema de transmisión 12 se configura y opera de modo que cada una de las unidades de transmisión 14_1 , 14_2 , 14_3 , 14_4 se active por ciclos de manera secuencial para emitir un haz dirigido que realiza la transición de una intensidad de señal cero (0), a una intensidad de señal máxima, a una intensidad de señal cero (0), y a continuación se desactive por ciclos (en la figura 5A se ilustra, a modo de ejemplo, un patrón de transición en diente de sierra, alguien experto en la técnica apreciará que se pueden utilizar otros patrones de transición de intensidad de señal a la hora de llevar a la práctica la invención descrita en la presente, p. ej., una intensidad de señal en rampa).

Es decir, se activa por ciclos la primera unidad de transmisión 14_1 y realiza la transición a una intensidad de señal máxima en el instante t_1 . La segunda unidad de transmisión 14_2 se activa por ciclos cuando el haz dirigido de la primera unidad de transmisión 14_1 alcanza su intensidad de señal máxima en el instante t_1 . La segunda unidad de transmisión 14_2 realiza la transición a una intensidad de señal máxima en el instante t_2 , momento en el cual la primera unidad de transmisión 14_1 ha realizado la transición a una intensidad de señal cero (0) y se desactiva por ciclos. La tercera unidad de transmisión 14_3 se activa por ciclos cuando el haz dirigido de la segunda unidad de transmisión 14_2 alcanza su intensidad de señal máxima en el instante t_2 . El patrón operativo anterior se repite para la segunda, tercera y cuarta unidad de transmisión 14_2 , 14_3 , 14_4 , según corresponda, de modo que en el instante t_3 se desactive por ciclos la segunda unidad de transmisión 14_2 , el haz dirigido emitido por la tercera unidad de transmisión 14_3 ha alcanzado su intensidad de señal máxima, y se activa por ciclos la cuarta unidad de transmisión 14_4 ; y en el instante t_4 se desactiva por ciclos la tercera unidad de transmisión 14_3 y el haz dirigido emitido por la cuarta unidad de transmisión 14_4 ha alcanzado su intensidad máxima. El subsistema de transmisión 12 opera de modo que repita el procedimiento de sincronización y transmisión secuencial descrito anteriormente durante el funcionamiento del sistema de control de navegación 10.

En otra versión mejorada del ejemplo básico del subsistema de transmisión 12, las unidades de transmisión 14_N intercambiables operan de una manera predeterminada diferente que permite que el subsistema de recepción 20 procese los haces dirigidos detectados para identificar el haz dirigido que tiene la intensidad de señal máxima, lo que a su vez permite que el subsistema de recepción 20 identifique la unidad de transmisión 14_N intercambiable que emitió dicho haz dirigido. Esto a su vez permite que el subsistema de recepción 20 determine la orientación y, por tanto, el vector de traslación del dispositivo robótico 100.

Haciendo referencia a la figura 5C, en primer lugar se activa por ciclos el subsistema de transmisión 12 de modo que todas las unidades de transmisión 14_N emitan haces dirigidos durante un período de sincronización predeterminado, tal como se identifica mediante el carácter de referencia t_{12} , y a continuación se desactiva por ciclos. El subsistema de recepción 20 opera de modo que detecte y procese uno o más haces dirigidos emitidos por las unidades de transmisión 14_N e identifique el período de sincronización predeterminado t_{12} del subsistema de transmisión 12. Esta identificación permite que el subsistema de recepción 20 sincronice las operaciones entre el subsistema de transmisión 12 y el subsistema de recepción 20 al inicializar una secuencia temporizada al final del período de sincronización predeterminado t_{SY} (el carácter de referencia t_0 identifica el inicio de la secuencia temporizada en la figura 5A).

El subsistema de transmisión 12 opera además de modo que la unidad de transmisión individual 14_N se active y desactive por ciclos de manera secuencial en instantes predeterminados con respecto al inicio de la secuencia temporizada t_0 establecida por el subsistema de recepción 20. Por ejemplo, con respecto a la figura 5C, que ilustra un subsistema de transmisión 12 que comprende cuatro unidades de transmisión 14_N (identificadas de manera arbitraria como la primera unidad de transmisión 14_1 , la segunda unidad de transmisión 14_2 , la tercera unidad de transmisión 14_3 y la cuarta unidad de transmisión 14_4), donde el subsistema de transmisión 12 se configura y opera de modo que cada una de las unidades de transmisión 14_1 , 14_2 , 14_3 , 14_4 se active por ciclos de manera secuencial para emitir un haz dirigido pulsado con una anchura de pulso predeterminada P_1 , P_2 , P_3 , P_4 , respectivamente, con una intensidad de señal predeterminada, y a continuación se desactive por ciclos.

Es decir, la primera unidad de transmisión 14_1 se activa por ciclos en t_{11} (donde el primer "1" identifica el número de unidad de transmisión y el segundo "1" indica que la unidad de transmisión está activa por ciclos) y se desactiva por ciclos en t_{12} (donde el "2" indica que la unidad de transmisión está desactivada por ciclos). De una manera similar, la segunda unidad de transmisión 14_2 se activa por ciclos en t_{21} y se desactiva por ciclos en t_{22} , la tercera unidad de transmisión 14_3 se activa por ciclos en t_{31} y se desactiva por ciclos en t_{32} y la cuarta unidad de transmisión 14_4 se activa por ciclos en t_{41} y se desactiva por ciclos en t_{42} . El subsistema de transmisión 12 opera de modo que repita el procedimiento de sincronización y transmisión secuencial descrito anteriormente durante el funcionamiento del sistema de control de navegación 10.

En un ejemplo más sofisticado del subsistema de transmisión 12, las unidades de transmisión 14_N son discretas e identificables, donde cada unidad de transmisión 14_N opera a una única frecuencia operativa para emitir un haz dirigido (el cual preferentemente es plano con respecto a la superficie del área de trabajo definida) que tiene un patrón de emisión predeterminado a lo largo de un eje de propagación específico. Preferentemente, estas frecuencias operativas también están moduladas para facilitar su detección por parte del subsistema de recepción 20 en un entorno donde operan otras fuentes de radiación electromagnética. Como cada haz dirigido se puede identificar fácilmente y de manera única, el subsistema de recepción 20 puede procesar los haces dirigidos detectados de una manera convencional para obtener no solo el rumbo absoluto del dispositivo robótico 100, sino también el vector de traslación del dispositivo robótico 10 en cualquier instante particular.

El subsistema de recepción 20 del sistema de control de navegación 10 comprende una unidad de procesamiento 22 que incluye un microprocesador 24, una unidad de procesamiento de señales 26, un módulo de memoria 28 y un conjunto de unidades de detección 30_M . De manera adicional, el subsistema de recepción 20 también puede incluir una unidad de transmisión 32 para aquellos ejemplos de sistema de control de navegación 10 donde el subsistema de recepción 20 opera o funciona como la estación base para el sistema de control de navegación 10.

El módulo de memoria 28 comprende la RAM 28A y la ROM 28B. Los datos relacionados con la operación en curso del dispositivo robótico 100 dentro del área de trabajo definida se almacenan en la RAM 28A. Dichos datos operativos en curso pueden incluir el mapa reticulado de celdas C, que definen el área de trabajo definida, y el historial de posiciones del dispositivo robótico 100, dentro del área de trabajo definida para la realización del 'historial de posiciones' del sistema de control de navegación 10. Almacenado en la ROM 28B hay uno o más algoritmos de control de navegación para el sistema de control de navegación 10, un conjunto de una o más señales de control asociadas con cada algoritmo de control de navegación y un algoritmo de procesamiento de señales para convertir señales generadas mediante la unidad de procesamiento de señales 26 en uno o más conjuntos de parámetros de posición instantáneos, es decir, un par rumbo, distancia (y vector de traslación si procede). Para el ejemplo del 'historial de posiciones' del sistema 10, un conjunto de parámetros de posición instantáneos que definen el historial de posiciones del dispositivo robótico 100, que están correlacionados con el mapa reticulado para identificar las celdas C que comprenden el historial de posiciones.

La expresión "algoritmo de control de navegación" tal como se utiliza en la presente engloba un conjunto de instrucciones que: (a) definen cómo el sistema de control de navegación 10 utiliza el historial de posiciones o la posición instantánea (p. ej., contar y comparar celdas visitadas, una determinación de verdadero o falso de las celdas visitadas, determinación de verdadero o falso si se ha producido el evento de activación predeterminado); (b) define el evento o los eventos de activación asociados con la utilización del historial de posiciones o la posición instantánea; y (c) identifica la(s) señal(es) de control a implementar cuando se produce el evento de activación. Por ejemplo, en un algoritmo de control de navegación representativo para el ejemplo del 'historial de posiciones' del sistema de control de navegación 10 que se puede utilizar en combinación con la presente invención, el microprocesador 24 opera de modo que cuente y almacene el número de visitas a cada celda y calcule el número total de visitas a celdas contiguas (vecinas) a cada una de dichas celdas visitadas (recuento de celdas). El microprocesador 24 opera además de modo que compare el número total de visitas a celdas vecinas, mientras se visita cada celda, con un valor umbral (véase, p. ej., la figura 4 donde " C_v " identifica una celda visitada y " C_c " identifica las ocho (8) celdas contiguas a la celda visitada C_v). Si el número total de visitas a vecinas (p. ej., quince (15) en el ejemplo de la figura 4) para cualquier celda visitada está por debajo del valor umbral (el evento de activación), el microprocesador 24 opera de modo que se comunique una señal de control al dispositivo robótico 100. La señal de control provoca que el dispositivo robótico 100 implemente uno o más modos de comportamiento especificados por la señal de control, p. ej., un patrón de *Cobertura Localizada*, tal como se describe anteriormente.

En otro algoritmo de control de navegación representativo para el ejemplo del 'historial de posiciones' del sistema de control de navegación 10, se identifican previamente una o más celdas en el mapa reticulado almacenado (es decir, antes de operar el dispositivo robótico 100) como "puntos críticos" en el área de trabajo definida. Mientras que el dispositivo robótico 100 visita cualquier celda C particular, el microprocesador 24 opera de modo que determine si la celda visitada se ha identificado como un "punto crítico" (determinación de verdadero o falso). Si el microprocesador 24 determina que la celda C visitada es un "punto crítico" (evento de activación), el microprocesador 24 opera de modo que se comuniquen una señal de control al dispositivo robótico 100 por medio de la unidad de transmisión de señales de control 32. La recepción de la señal de control hace que el dispositivo robótico 100 implemente la conducta prescrita especificada por la señal de control, p. ej., una o más de las maniobras básicas descritas anteriormente y/o un patrón de *Cobertura Localizada* o un modo de comportamiento de *Seguimiento de Obstáculos*, tal como se describe anteriormente.

Los ejemplos representativos anteriores de algoritmos de control de navegación para el ejemplo del 'historial de posiciones' del sistema de control de navegación 10 se implementan sin el conocimiento del vector de traslación del dispositivo robótico 100, es decir, en función únicamente de la identificación de las celdas visitadas por medio de los parámetros de rumbo y distancia obtenidos por el subsistema de recepción 20. Otro ejemplo representativo de un algoritmo de control de navegación para el ejemplo del 'historial de posiciones' del sistema de control de navegación 10 utiliza el vector de traslación como un elemento del historial de posiciones a la hora de enviar una señal de control.

El microprocesador 24 opera de modo que cuente y almacene el número de veces que se ha visitado una celda (recuento de celdas) y opere además de modo que compare este número con el número de veces que se ha visitado cada celda contigua (o vecina). Para este algoritmo de control de navegación, el evento de activación es una diferencia numérica entre el número de visitas a la celda visitada en ese momento y el número de visitas a cada una de las celdas vecinas, que identifica la celda o las celdas vecinas que han sido las menos visitadas en comparación con la celda visitada en ese momento. El evento de activación provocaría que el sistema de recepción 20 enviara una señal de control al dispositivo robótico 100 que hiciera moverse al dispositivo robótico 100 desde la celda visitada en ese momento hasta la celda vecina que ha sido la menos visitada, p. ej., mediante la implementación de una o más maniobras básicas, tal como se describe en la presente. Si dos o más celdas vecinas han sido las menos visitadas, la señal de control provocaría que el dispositivo robótico se moviera desde la celda visitada en ese momento hasta la celda vecina menos visitada que sea la más compatible con el vector de traslación de ese momento del dispositivo robótico 100, p. ej., mínima distancia de traslación.

Utilizando la figura 4 a modo de ejemplo, donde "C_v" identifica la celda visitada en ese momento y "C_c" identifica las ocho (8) celdas contiguas, o vecinas, a la celda visitada en ese momento C_v, las celdas vecinas C_c que se han visitado una sola vez son las celdas vecinas C_c menos visitadas. Si el vector de traslación en ese momento del dispositivo robótico 100 se indica mediante los caracteres de referencia TV, la señal de control provocaría que el dispositivo robótico 100 continuara moviéndose en una línea recta, es decir, el dispositivo robótico 100 ejecutaría la maniobra básica de movimiento hacia delante (o el modo de comportamiento de *Línea Recta*) (si el dispositivo robótico 100 estuviera operando en ese momento en algún otro modo de comportamiento).

Un algoritmo de control de navegación representativo para la 'posición instantánea' del sistema de control de navegación 10 utiliza un lapso de tiempo (tanto aleatorio como predeterminado) como el evento de activación predeterminado para hacer que el dispositivo robótico 10 se mueva a una posición predeterminada B en el entorno de trabajo definido. El microprocesador 24 opera, tras la finalización del lapso de tiempo (el evento de activación predeterminado), de modo que determine la posición instantánea (en adelante identificada como "posición A") del dispositivo robótico 100, tal como se describe en la presente. Como la posición A es una variable desconocida hasta que se produzca el evento de activación predeterminado, la conducta prescrita, es decir, las maniobras básicas necesarias para mover el dispositivo robótico 100 desde la posición A hasta la posición B también son desconocidas. Una vez que el sistema de control de navegación 10 ha determinado la posición A, se pueden determinar las maniobras básicas necesarias para mover el dispositivo robótico 100 desde la posición A hasta la posición B, ya que tanto la posición A como la posición B son variables conocidas (en términos de sus pares de rumbo, parámetros de distancia conocidos con respecto al subsistema de recepción 20). Se puede lograr una determinación de las maniobras básicas que implementará el dispositivo robótico 100 mediante cualquier técnica computacional convencional.

Otro algoritmo de control de navegación, a modo de ejemplo, para el ejemplo de 'posición instantánea' del sistema de control de navegación 10 es una variación del algoritmo de control de navegación de 'punto crítico' para el ejemplo de 'historial de posiciones' del sistema de control de navegación 10. En este ejemplo ilustrativo, tanto la posición A como la posición B son variables conocidas y, en consecuencia, la(s) maniobra(s) básica(s) para mover el dispositivo robótico 100 desde la posición A hasta la posición B son conocidas. En este ejemplo, el evento de activación predeterminado es una determinación VERDADERA de que la posición instantánea del dispositivo robótico 100 es igual a la posición A (la posición A se puede almacenar en la memoria 28 como una "zona" que define cierta área arbitraria centrada en torno a la posición A, en lugar de una posición puntual, para aumentar la probabilidad de que la posición instantánea del dispositivo robótico 100, en cierto instante, sea igual a la posición A).

El subsistema de recepción 20 comprende un conjunto de unidades de detección 30_M , donde M es un entero que define el número de unidades de detección individuales que comprende el conjunto para el sistema de control de navegación 10. El número y posicionamiento del conjunto de unidades de detección 30_M debería ser tal que tanta como sea posible del área de trabajo definida esté dentro del campo de visión del subsistema de recepción 20, y que el campo de visión de al menos dos (aunque preferentemente más) unidades de detección 30_M cubra la misma área dentro del área de trabajo definida.

En ejemplos preferidos del sistema control de navegación 10, el subsistema de recepción 20 funciona como una "estación base" para el sistema 10. En este papel funcional, el subsistema de recepción 20 es una unidad autónoma y portátil que se sitúa de manera estacionaria dentro del área de trabajo definida, preferentemente en contacto con una pared que delimita el área de trabajo definida (la configuración de 'unidad de pared'). Como alternativa, el subsistema de recepción 20 se puede situar dentro del área de trabajo definida de manera distal con respecto a las paredes que delimitan el área de trabajo definida (la configuración 'independiente'). El subsistema de recepción 20, como la estación base, establece y, para el ejemplo de 'historial de posiciones' del sistema de control de navegación 10, almacena el mapa reticulado de celdas que representa el área de trabajo definida y representa el origen (0, 0) del mapa reticulado de celdas descrito anteriormente.

Para aquellos ejemplos donde el subsistema de recepción 20 opera con una configuración de unidad de pared, las unidades de detección individuales 30_M tienen una relación de separación conocida y se configuran y operan de modo que tengan un campo de visión de 180° . Por ejemplo, la figura 2 ilustra un ejemplo del subsistema de recepción 20 que comprende dos unidades de detección 30_M ($M=2$) separadas por una distancia angular " φ " conocida. La figura 6C ilustra otro ejemplo del subsistema de recepción 20, que comprende tres unidades de detección 30_M ($M=3$), es decir, 30_{12} , 30_{23} , 30_{13} , que tienen unas separaciones angulares conocidas identificadas mediante " φ_{12} ", " φ_{23} ", y " φ_{13} ", respectivamente. Algunos ejemplos preferidos de la configuración de unidad de pared del sistema de control de navegación 10 incluyen tres unidades de detección 30_M para proporcionar datos de rumbo absolutos al dispositivo robótico 100. Se requiere un mínimo de dos unidades de detección 30_M para proporcionar la información de señal necesaria para el subsistema de recepción 20. Se pueden emplear más de tres unidades de detección 30_M para aumentar la resolución del subsistema de recepción 20, pero con un coste añadido por cada unidad de detección 30_M adicional y los circuitos de procesamiento de señal asociados (véase la figura 6C que ilustra los circuitos de procesamiento de señal representativos asociados con una unidad de detección 30_M).

Para aquellos ejemplos donde el subsistema de recepción 20 opera con una configuración independiente, las unidades de detección individuales 30_M , de manera similar, están separadas por unas distancias angulares conocidas y se configuran y operan de modo que tengan un campo de visión mayor de 180° . Un ejemplo representativo del subsistema de recepción 20 operado como una estación base independiente comprendería cuatro unidades de detección 30_M .

Las unidades de detección 30_M se configuran y operan de modo que detecten un parámetro de uno o más de los haces dirigidos emitidos por las unidades de transmisión 14_N , p. ej., las tensiones V que representan las intensidades de señal relativas del (de los) haz (haces) dirigido(s) detectado(s). En un ejemplo preferido, cada unidad de detección 30_M se configura y opera de modo que promedie el parámetro de intensidad de señal detectado (p. ej., la tensión) cuando la unidad de detección 30_M detecta dos haces dirigidos de manera simultánea. El subsistema de recepción 20 ejecuta un algoritmo de procesamiento de señales que procesa los parámetros detectados proporcionados por las unidades de detección 30_M , es decir, intensidades de señal relativas de los haces detectados, que utiliza una técnica convencional para determinar el rumbo absoluto entre el dispositivo robótico 100 y el subsistema de recepción 20.

Para proporcionar la capacidad de determinación de la distancia al subsistema de recepción 20, preferentemente, se calibra el subsistema de recepción 20 antes de utilizarlo. Esto conlleva situar el dispositivo robótico 100 a una distancia predeterminada del subsistema de recepción 20 y operar una (o más) de las unidades de transmisión 14_N para que emita un haz dirigido al subsistema de recepción 20. El parámetro del haz dirigido detectado por las unidades de detección 30_M , p. ej., una tensión que representa la intensidad de señal del haz dirigido según se detecta, está correlacionado con la distancia predeterminada y se utiliza para generar una tabla de consulta de intensidad de señal frente a distancia para el área de trabajo definida. Esta tabla de consulta se almacena en el módulo de memoria 28 del subsistema de recepción 20. A medida que se detectan las intensidades de señal de los haces dirigidos durante el funcionamiento del sistema de control de navegación 10, el subsistema de recepción 20 utiliza las intensidades de señal detectadas como punteros a la tabla de consulta para determinar las distancias correspondientes (entre el subsistema de recepción 20 y el dispositivo robótico 100).

Como alternativa, el subsistema de recepción 20 se podría configurar y operar de modo que implemente un algoritmo de procesamiento de señales que utiliza las propiedades de atenuación conocidas, es decir, la intensidad de señal frente a la distancia, de la frecuencia operativa de los haces dirigidos emitidos por las unidades de transmisión 14_N . Este ejemplo presupone que las unidades de transmisión 14_N están verificadas y emiten haces dirigidos de intensidad de señal conocida.

Para el ejemplo sofisticado del sistema de control de navegación 10 descrito anteriormente, donde las unidades de transmisión individuales 14_N del subsistema de transmisión 12 operan a una única frecuencia operativa, las unidades de detección 30_M del subsistema de recepción 20 se configuran de modo que exploren el conjunto de frecuencias operativas únicas utilizadas por las unidades de transmisión 14_N . El subsistema de recepción 20 se configura y opera de modo que haga que las unidades de detección 30_M exploren de manera secuencial estas frecuencias durante el funcionamiento del sistema de control de navegación 10.

Para el ejemplo del subsistema de transmisión 12 descrito anteriormente en relación con la figura 5A, la figura 5B ilustra las propiedades operativas del subsistema de recepción 20 complementario. El subsistema de recepción 20 se configura y opera de modo que detecte los haces dirigidos emitidos durante el período de sincronización predeterminado t_{SY} . Al final del período de sincronización predeterminado t_{SY} , el subsistema de recepción 20 opera de modo que inicie la secuencia de temporización t_0 . El subsistema de recepción 20 opera de modo que detecte los haces dirigidos tal como se describe en la presente. No obstante, el subsistema de recepción 20 opera además de modo que determine el instante en el que se detecta la intensidad de señal máxima, véase el carácter de referencia $t_{máxima}$ en la figura 5B. El subsistema de recepción 20 opera además de modo que correlacione el instante de detección de la intensidad de señal máxima $t_{máxima}$ con los instantes conocidos en los que la intensidad de señal del haz dirigido emitido por cada unidad de transmisión 14_N alcanza su máximo, para identificar la unidad de transmisión 14_N específica que transmitió el haz dirigido detectado como el que tiene la intensidad de señal máxima (para el ejemplo descriptivo presentado en las figuras 5A, 5B, la tercera unidad de transmisión 14_3).

Para el ejemplo del subsistema de transmisión 12 descrito anteriormente en relación con la figura 5C, la figura 5D ilustra las propiedades operativas del subsistema de recepción 20 complementario. El subsistema de recepción 20 se configura y opera de modo que detecte los haces dirigidos emitidos durante el período de sincronización predeterminado t_{SY} . Al final del período de sincronización predeterminado t_{SY} , el subsistema de recepción 20 opera de modo que inicie la secuencia de temporización t_0 . El subsistema de recepción 20 opera de modo que detecte los haces dirigidos tal como se describe en la presente (tal como se ilustra, a modo de ejemplo, mediante los pulsos de señal detectados DP_1 , DP_2 , DP_3 , DP_4 en la figura 5D). No obstante, el subsistema de recepción 20 opera además de modo que determine las dos intensidades de señal máximas de los haces dirigidos detectados, véanse los caracteres de referencia DP_3 y DP_2 en la figura 5D, que representan los dos pulsos de señal más elevados detectados, y los instantes en los que se detectaron las dos intensidades de señal más elevadas (t_{21} y t_{31} en la figura 5D).

Los instantes de detección de la intensidad de señal permiten identificar las unidades de transmisión 14_N particulares en el dispositivo robótico 100, es decir, las unidades de transmisión 14_3 y 14_2 en el ejemplo de la figura 5D. A continuación, el subsistema de recepción 20 opera además de modo que calcule la relación de amplitudes de estos pulsos de señal, p. ej., DP_3/DP_2 , y utilice dicha relación de amplitudes calculada como un puntero a una tabla de consulta que identifica la orientación angular de las unidades de transmisión identificadas 14_3 , 14_2 , lo que a su vez establece el vector de traslación del dispositivo robótico 100.

Aunque las unidades de transmisión 14_N montadas en combinación con el dispositivo robótico 100 sean intercambiables, la ubicación específica de cada unidad de transmisión individual 14_N en el dispositivo robótico 100 es una cantidad conocida. En función de la identificación de la unidad de transmisión 14_N que emitió el haz dirigido detectado por el subsistema de recepción 20, el subsistema de recepción 20 puede ejecutar unos cálculos geométricos bastante simples, en función de la ubicación de la unidad de transmisión 14_N identificada, para determinar el vector de traslación del dispositivo robótico 100.

Cuando el subsistema de recepción 20 funciona como la estación base, se requiere un medio para comunicar la señal de control al dispositivo robótico. En consecuencia, algunos ejemplos del subsistema de recepción 20 que opera como una estación base incluyen además una unidad de transmisión 32 (véase la figura 3). Una vez que el algoritmo de control de navegación implementado por el microprocesador 24 ha determinado la conducta prescrita a implementar por el dispositivo robótico 10, el microprocesador 24 opera de modo que seleccione del módulo de memoria 28 la señal de control apropiada para implementar dicha conducta prescrita. A continuación, el microprocesador 24 opera de modo que active la unidad de transmisión 32 para comunicar (mediante su transmisión) la señal de control a la unidad de recepción 16 del dispositivo robótico 100, donde la conducta prescrita definida por la señal de control se implementa por medio de la unidad de microprocesamiento 135.

Aunque el dispositivo robótico 100 se describe (y representa en la figura 3) como que se configura de modo que incluya una unidad de recepción 16 dedicada para recibir señales de control, transmitidas por la unidad de transmisión 32 de la unidad de recepción 20, es preferible que el detector omnidireccional 128 (del sistema de detección de paredes virtuales) esté adaptado para detectar y procesar dichas señales de control. En aquellos ejemplos del sistema de control de navegación 10 donde la unidad de recepción 20 está integrada en combinación con el dispositivo robótico 10, no se requiere la unidad de transmisión 32. En lugar de esto, la unidad de recepción 20 del sistema de control de navegación 100 está acoplada eléctricamente a la unidad de microprocesamiento 135 (a través de un puerto de E/S) del dispositivo robótico 100, de modo que la unidad de recepción 20 pueda comunicar señales de control directamente a la unidad de microprocesamiento 135.

Tal como se expone anteriormente, en los ejemplos del sistema de control de navegación 10, el subsistema de recepción 20 funciona como la estación base, es decir, la configuración de unidad de pared, y el subsistema de transmisión 12 está integrado en combinación con el dispositivo robótico 100. Un ejemplo preferido, que es ilustrativo de las características y funcionalidad del sistema de control de navegación 10 de acuerdo con la presente invención, se ilustra a modo de ejemplo en las figuras 6A-6C.

La figura 6A representa un dispositivo robótico 100 que opera en un área de trabajo definida WA, delimitada por las paredes W. Una unidad de pared virtual VWU está situada en la única entrada al área de trabajo WA y opera de modo que emita un haz de confinamiento CB, que confina el dispositivo robótico 100 a operaciones dentro del área de trabajo WA.

El subsistema de transmisión 12 del ejemplo ilustrado del sistema de control de navegación 10 está integrado en combinación con el dispositivo robótico 100 y comprende un conjunto de unidades de transmisión 14_N (ocho (8) para la realización descrita, de modo que N es igual a los enteros 1-8) que operan de modo que generen un conjunto de haces dirigidos DB_N correspondiente (donde N es igual a los enteros 1-8), tal como se ilustra en la figura 5B (en la figura 5B solo se ilustran dos haces dirigidos DB_3, DB_4). Los caracteres de referencia $BA_1 - BA_8$ identifican los ejes de propagación de los haces dirigidos DB_N emitidos por las unidades de transmisión $14_1 - 14_8$, respectivamente. Cada unidad de transmisión 14_N se configura y opera de modo que emita un haz dirigido DB_N que tiene un patrón de emisión θ_N predeterminado, centrado en torno al eje del haz BA_N correspondiente. Para el ejemplo ilustrado, el patrón de emisión θ_N de cada haz dirigido DB_N es de aproximadamente 100° .

Preferentemente, el patrón de emisión θ_N predeterminado de los haces dirigidos DB_N está correlacionado con el número de unidades de transmisión 14_N , de modo que el subsistema de transmisión 12 del sistema de control de navegación 10 emule a una fuente de transmisión omnidireccional. Una fuente de transmisión omnidireccional es necesaria para garantizar que el subsistema de recepción 20 detecta uno o más haces dirigidos DB_N , ya que la posición y orientación del dispositivo robótico 100 en el área de trabajo definida (p. ej., en términos de su movimiento hacia delante FM), con respecto a la estación de recepción 20, es una variable desconocida en cualquier instante particular. Preferentemente, los patrones de emisión θ_N de los haces dirigidos DB_N se superponen.

Tal como muestra un examen de las figuras 6A, 6B (y en particular de la figura 6B), los haces dirigidos DB_3, DB_4 emitidos por las unidades de transmisión $14_3, 14_4$, respectivamente, serán detectados por las unidades de detección $30_1, 30_2, 30_3$ del subsistema de recepción 20. Las unidades de detección $30_1, 30_2, 30_3$ operan de modo que detecten un parámetro representativo de las intensidades de señal relativas de los haces detectados DB_3, DB_4 , p. ej., V_1, V_2, V_3 , respectivamente (tal como se expone anteriormente, cada unidad de detección 30_N opera de modo que promedie las intensidades de señal cuando se detectan de manera simultánea dos haces dirigidos).

El subsistema de recepción 20 opera de modo que implemente el algoritmo de procesamiento de señales para calcular el rumbo y la distancia absolutos entre el subsistema de recepción 20 y el dispositivo robótico 100. A continuación, el subsistema de recepción 20 implementa el algoritmo de control de navegación para correlacionar el rumbo y la distancia calculados con una de las celdas que comprenden el mapa reticulado del área de trabajo definida WA almacenada en el módulo de memoria 28, y añade dicha celda al historial de posiciones del dispositivo robótico 100 para actualizar el historial de posiciones. A continuación, el subsistema de recepción 20 opera, conforme al algoritmo de control de navegación, de modo que determine si hay un evento de activación predeterminado asociado con este historial de posiciones actualizado. Si lo hay, el subsistema de recepción 20 opera de modo que seleccione la señal de control apropiada, según determina el algoritmo de control de navegación, y transmite dicha señal de control a la unidad de recepción 16 del dispositivo robótico 100 utilizando el sistema de transmisión 32 (véase la figura 3). La unidad de microprocesamiento 135 del dispositivo robótico 100 opera en respuesta a la recepción de la señal de control por medio del detector omnidireccional 128, para implementar la conducta prescrita, p. ej., una o más de las maniobras básicas y/o de los modos de comportamiento descritos a modo de ejemplo en la presente, especificada por la señal de control.

En la figura 7, se ilustra una implementación, a modo de ejemplo, del sistema de control de navegación 10' de acuerdo con la presente invención, donde el subsistema de transmisión 12 funciona como una estación base y el subsistema de recepción 20 está integrado en combinación con el dispositivo robótico 100. El subsistema de transmisión 12 comprende un conjunto distribuido de unidades de transmisión 14_N situadas de modo que estén en contacto con las paredes W del área de trabajo definida. Tal como se ilustra en la figura 7, el subsistema de transmisión 12 comprende una primera unidad de transmisión 14_1 , una segunda unidad de transmisión 14_2 y una tercera unidad de transmisión 14_3 situadas en contacto firme con las paredes W adyacentes, respectivamente.

Cada unidad de transmisión 14_N que comprende este conjunto distribuido se configura y opera de modo que emita un haz dirigido que tiene un patrón de emisión θ_N predeterminado a lo largo de un eje de haz DB_N predeterminado (DB_1, DB_2 y DB_3 en la figura 7 definen los ejes de haz predeterminados para las unidades de transmisión distribuidas $14_1, 14_2, 14_3$, respectivamente) a una única frecuencia operativa, preferentemente en el rango infrarrojo de frecuencias y preferentemente modulada, tal como se describe en la presente. Preferentemente, cada unidad de transmisión $14_1, 14_2, 14_3$ se configura y opera de modo que genere un patrón de emisión de haz θ_N predeterminado

que cubre de manera eficaz el área de trabajo definida WA, es decir, θ_N es aproximadamente 180° para el subsistema de transmisión distribuido 12 representado en la figura 7.

5 El subsistema de recepción 20 del sistema de control de navegación 10' comprende preferentemente una sola unidad de detección omnidireccional 30, la cual puede ser del tipo descrito en la solicitud de patente de EE. UU. pendiente de resolución y de propiedad conjunta con n.º de serie 10/056.804, presentada el 24 de enero de 2002, titulada *METHOD AND SYSTEM FOR ROBOT LOCALIZATION AND CONFINEMENT* (el sistema de paredes virtuales se describe de manera resumida en la presente). La unidad de detección omnidireccional 30 se configura y opera de modo que explore las frecuencias operativas únicas utilizadas por las unidades de transmisión distribuidas
10 14₁, 14₂, 14₃.

15 La unidad de detección omnidireccional 30 opera de modo que detecte los haces dirigidos DB₁, DB₂, DB₃ emitidos por las unidades de transmisión distribuidas 14₁, 14₂, 14₃. El subsistema de recepción se configura y opera de modo que procese las señales del haz dirigido detectado para determinar la posición absoluta del dispositivo robótico 100 dentro del área de trabajo definida WA. Esta posición absoluta se define en términos de una celda del mapa reticulado del área de trabajo definida WA. Una secuencia de posiciones absolutas, determinada tal como se describe anteriormente, identifica una secuencia de celdas que define el historial de posiciones del dispositivo robótico 100.

20 El subsistema de recepción 20 opera tal como se describe anteriormente para utilizar un algoritmo de control de navegación, con el fin de determinar si se ha producido un evento de activación en el historial de posiciones, y si se ha producido un evento de activación, el subsistema de recepción 20 opera de modo que comunique la señal de control asociada con el evento de activación/el algoritmo de control de navegación al dispositivo robótico 100. El dispositivo robótico 100 opera, en respuesta a la señal de control comunicada, de modo que implemente la conducta
25 prescrita especificada por la señal de control.

30 Según los principios anteriores se pueden realizar diversas modificaciones y variaciones de la presente invención. El sistema de control de navegación 10 se ha descrito anteriormente como que determina y utiliza la posición instantánea (o una secuencia de posiciones instantáneas) de un dispositivo robótico como un parámetro de control para alterar directamente al actividad de movimiento del dispositivo robótico. Alguien experto en la técnica apreciará que el sistema de control de navegación se puede utilizar con otros fines. Por ejemplo, el sistema de control de navegación se puede utilizar para corregir errores en la actividad de movimiento de dispositivos robóticos que dependen de la navegación por estima. Por lo tanto se debe sobreentender que, dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas, la presente invención se puede llevar a la práctica de un modo diferente al descrito de
35 manera específica en la presente.

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo robótico de limpieza (100) que comprende:

5 un chasis (102) y un armazón externo (104) asegurado al chasis (102) que define una cubierta estructural de una altura que facilita el movimiento del dispositivo robótico de limpieza por debajo de los muebles;

10 unos conjuntos izquierdo y derecho de ruedas motrices principales (112L, 112R) y unos motores eléctricos independientes (114L, 114R) respectivos, montados de manera independiente en combinación con el chasis (102) que se desplaza con el pivotamiento permitido, para un movimiento pivotante con respecto a este en extremos opuestos del diámetro transversal del chasis (102), y que se puede mover entre una posición retraída, sometida al peso del dispositivo robótico de limpieza (100) durante su funcionamiento, y una posición extendida, donde sus ejes de rotación están por debajo del plano inferior del chasis;

15 un sistema de control de navegación (10) que opera de modo que monitorice la actividad de movimiento del dispositivo robótico de limpieza (100) dentro de un área de trabajo definida, donde la actividad de movimiento monitorizada incluye al menos uno de un historial de posiciones del dispositivo robótico de limpieza y una posición instantánea del dispositivo robótico de limpieza (100); y

un subsistema de transmisión (12) que incluye un transmisor láser, donde el transmisor láser:

se configura de modo que redirija un elemento de transmisión del transmisor láser;

se configura de modo que cubra el área de trabajo definida mediante la transmisión de un haz sustancialmente paralelo a una superficie del área de trabajo definida; y

20 está integrado en combinación con un punto elevado de una infraestructura de carcasa del dispositivo robótico de limpieza (100), de modo que ninguna de las características estructurales del dispositivo robótico de limpieza (100) interfiera con el funcionamiento del elemento de transmisión del transmisor láser,

25 donde el limpiador robótico comprende además un sensor de caída de ruedas (124) integrado en combinación con cada uno de los conjuntos de ruedas motrices principales (112L, 112R) y que opera de modo que genere una señal siempre que cualquiera de los conjuntos de ruedas motrices principales (112L, 112R) esté en una posición extendida.

2. El dispositivo robótico de limpieza de la reivindicación 1, que comprende además una unidad de recepción (16) configurada de modo que reciba las señales de control.

30 **3.** El dispositivo robótico de limpieza de la reivindicación 1 o la reivindicación 2, donde el sistema de control de navegación (10) se configura de modo que cree una división del área de trabajo definida mediante segmentación del área de trabajo definida en un conjunto de celdas individuales.

35 **4.** El dispositivo robótico de limpieza de la reivindicación 3, donde el sistema de control de navegación (10) se configura de modo que defina un tamaño de cada celda individual, de modo que una dimensión de longitud y anchura de cada celda individual no sean mayores que una mitad de una anchura de un sistema de cabezal de limpieza (145) del dispositivo robótico de limpieza (100).

40 **5.** El dispositivo robótico de limpieza de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, que comprende además un juego de baterías recargables (110) que está integrado en combinación con el chasis (102).

45 **6.** El dispositivo robótico de limpieza de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, que comprende además un parachoques delantero (106) integrado en una combinación móvil con el chasis (102), donde el parachoques delantero (106) se configura de modo que cuando el dispositivo robótico de limpieza (100) impacte con un obstáculo, el parachoques (106) se desplace hacia el chasis (102) y vuelva a una posición extendida cuando finalice el contacto con el obstáculo.

50 **7.** El dispositivo robótico de limpieza de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, que comprende además una unidad de seguimiento de obstáculos (126) que comprende un par emisor-detector de IR, configurado de modo que transmita una señal a un módulo de control si se detecta un obstáculo como resultado de la radiación reflejada desde el obstáculo y detectada por el detector.

55 **8.** El dispositivo robótico de limpieza de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, que comprende además unas unidades de sensores de parada (130) respectivas integradas en combinación con cada motor eléctrico (114L, 114R) independiente respectivo y operativo, para transmitir una señal a un módulo de control cuando se detecta un cambio en la corriente del motor eléctrico (114L, 114R) independiente respectivo.

60 **9.** El dispositivo robótico de limpieza de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, que comprende además al menos una unidad de detección de desniveles (122) que comprende un par emisor-detector de IR, configurado de modo que transmita una señal a un módulo de control cuando se encuentra una caída.

10. El dispositivo robótico de limpieza de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, donde el transmisor láser se configura de modo que se active/desactive por ciclos de manera secuencial.

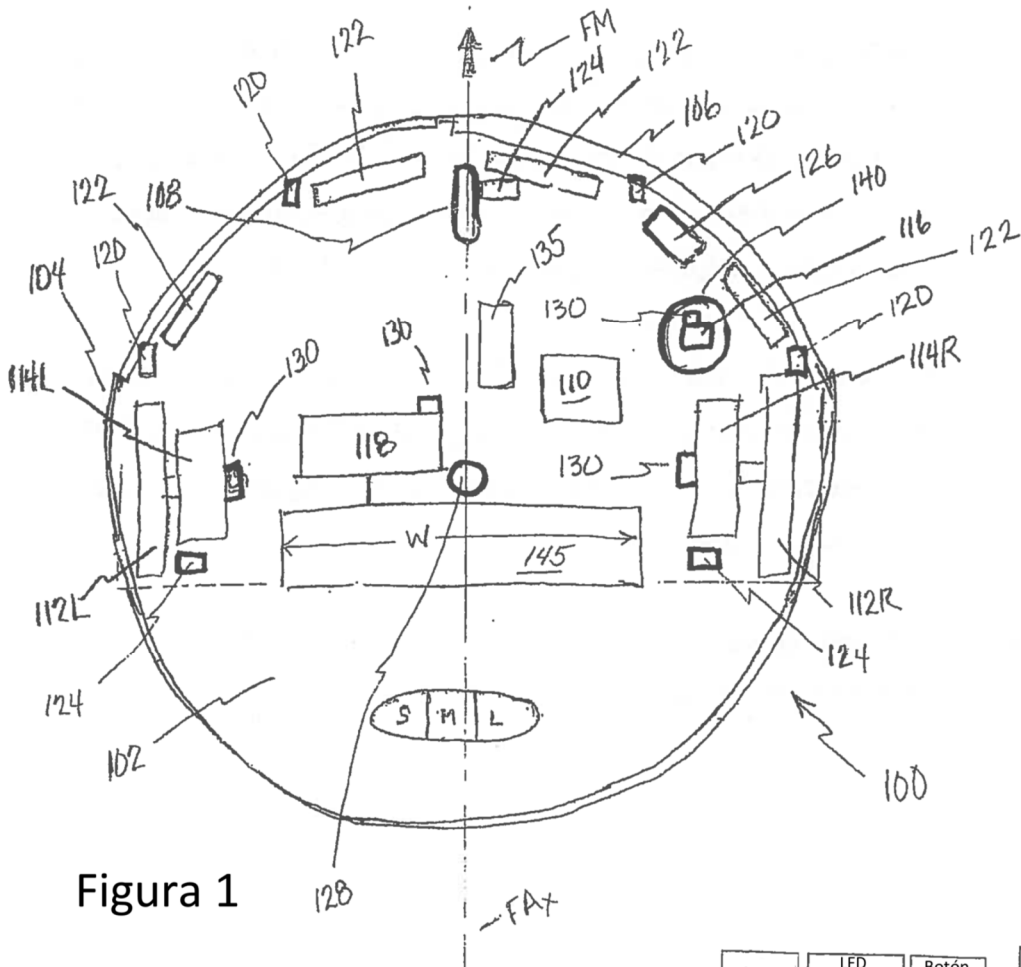


Figura 1

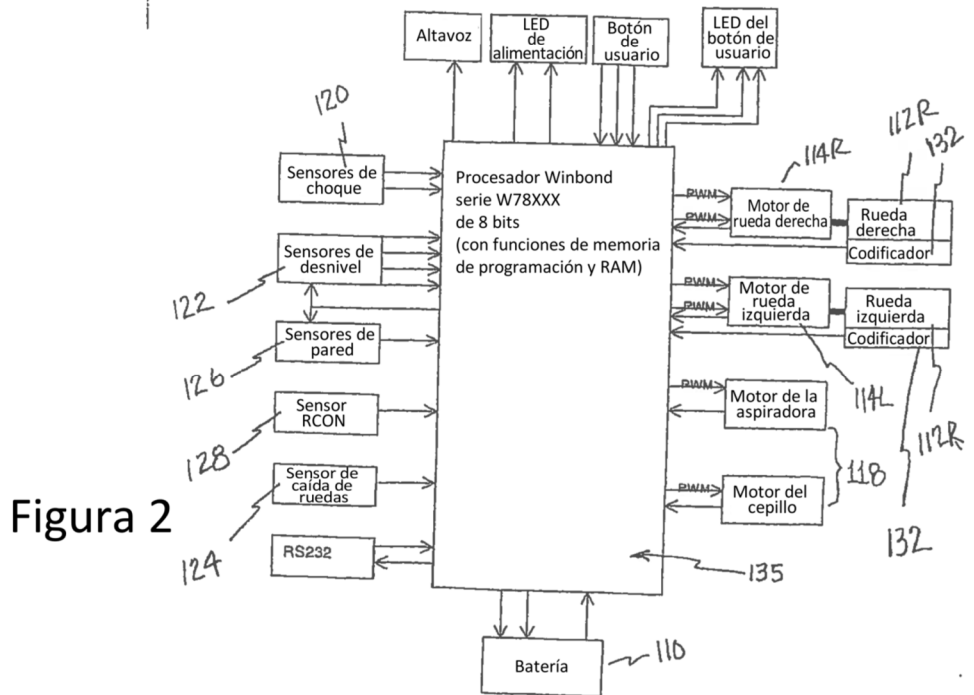


Figura 2

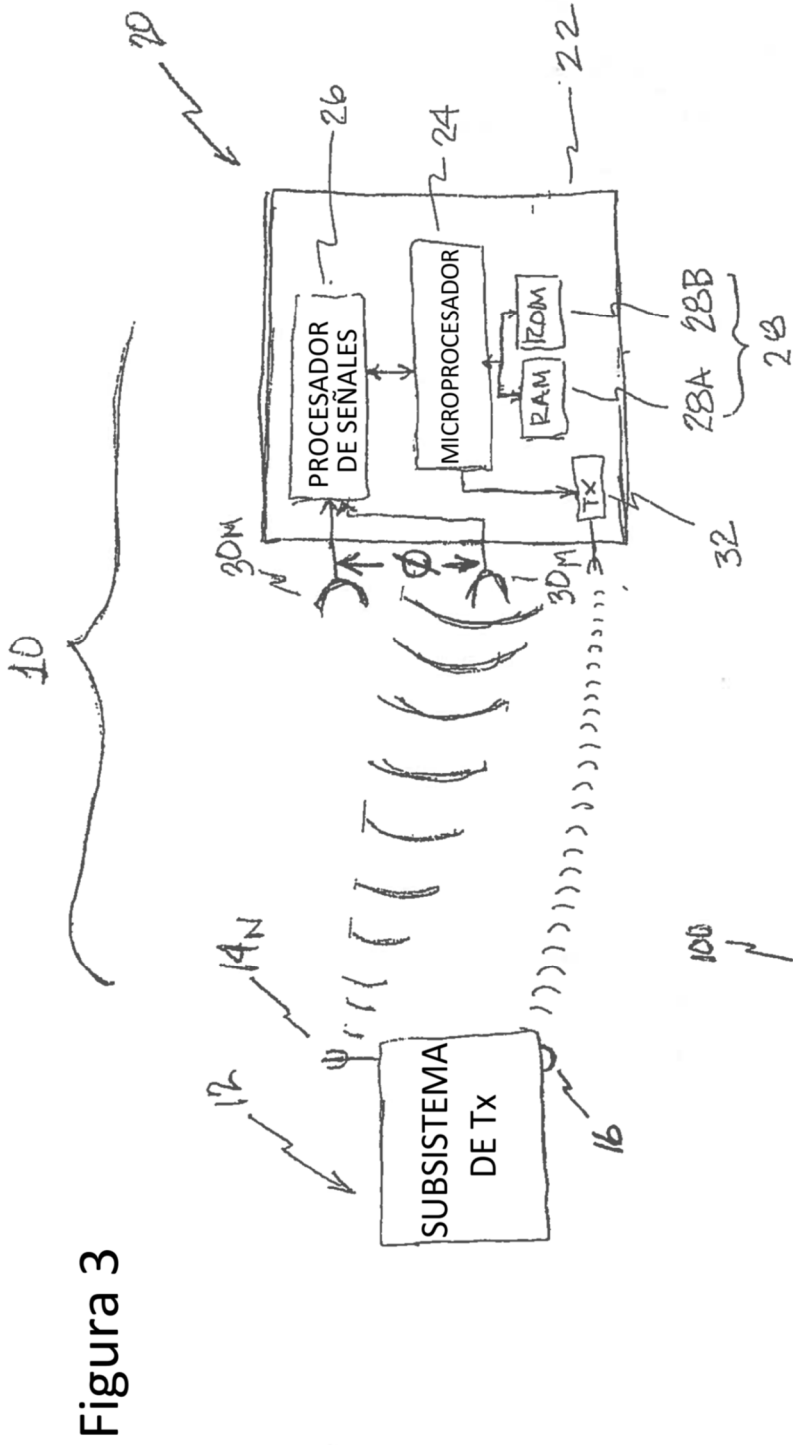


Figura 3

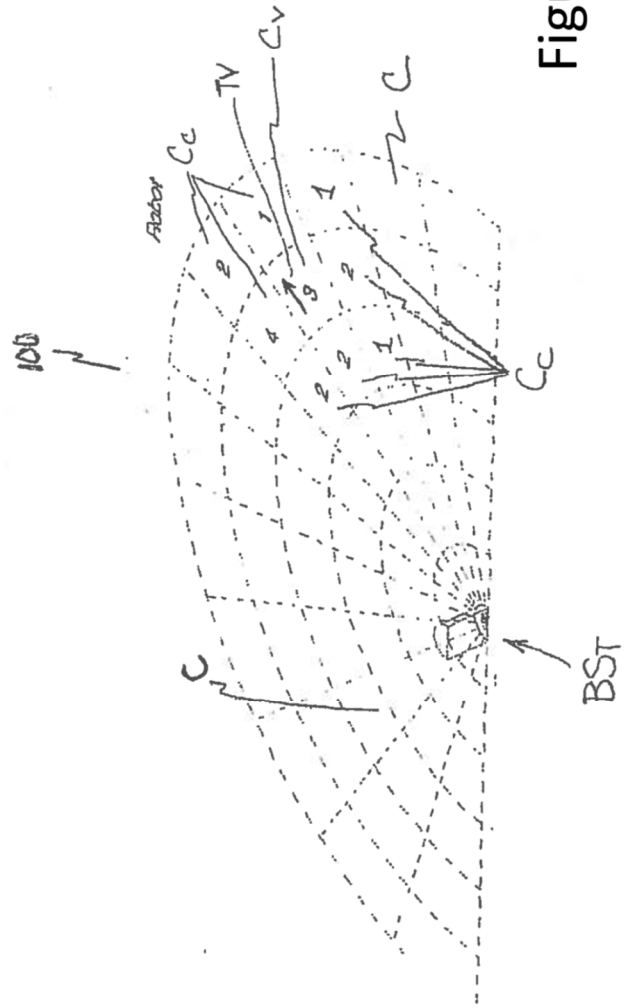


Figura 4

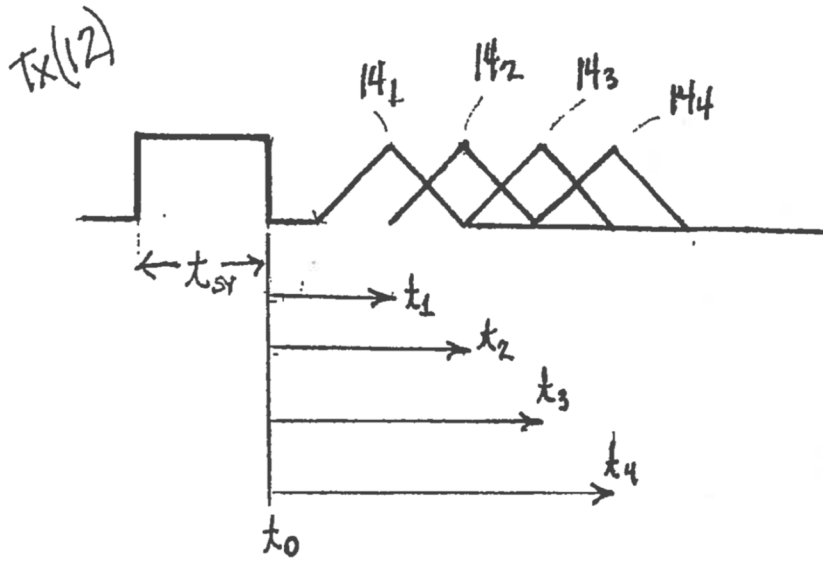


Figura 5A

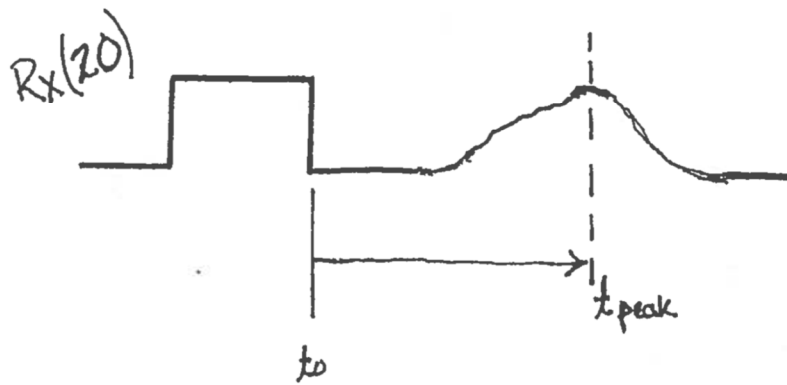


Figura 5B

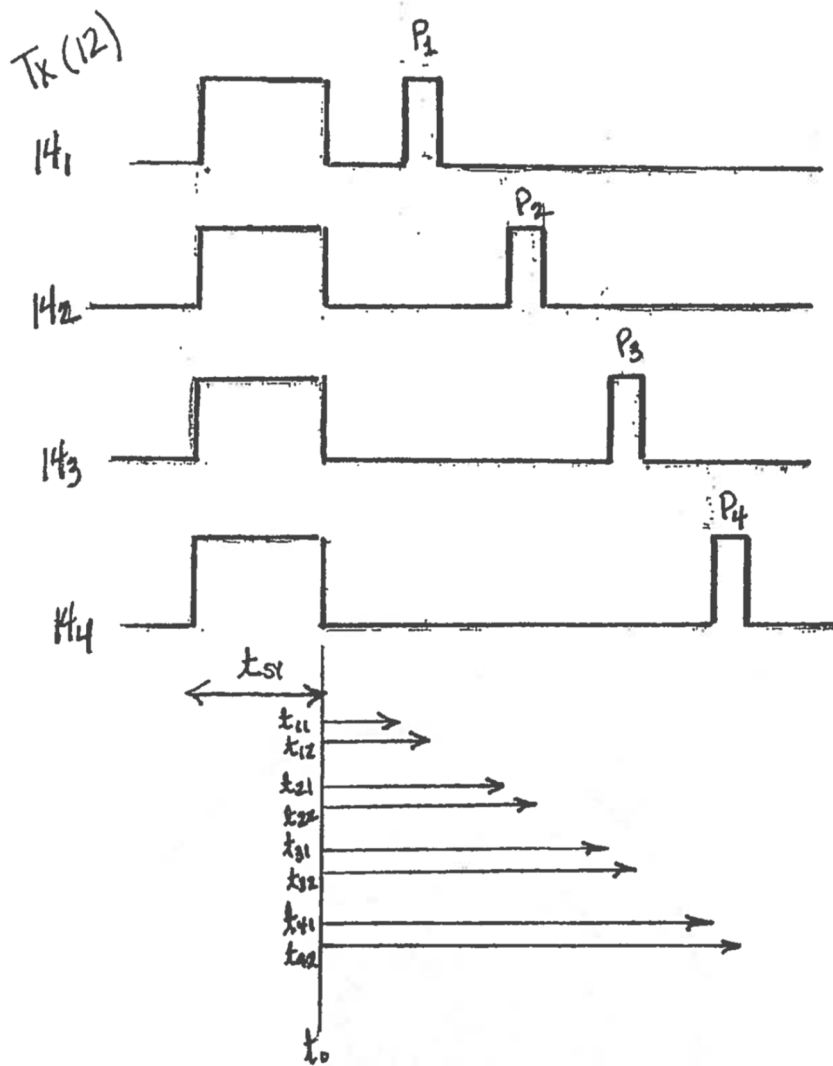


Figura 5C

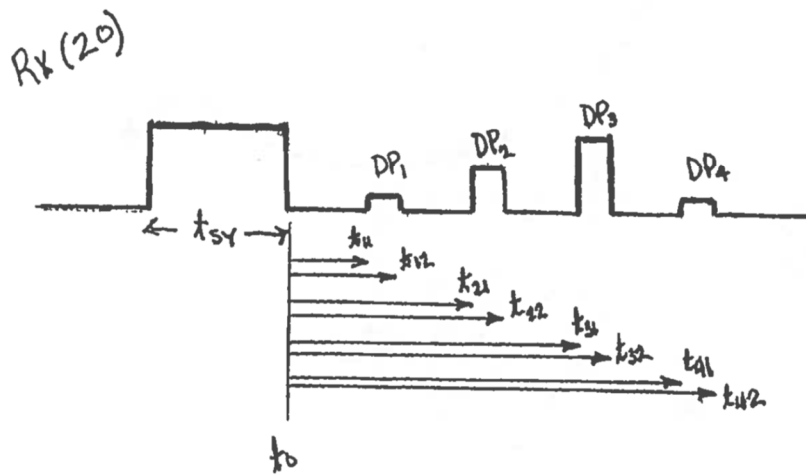


Figura 5D

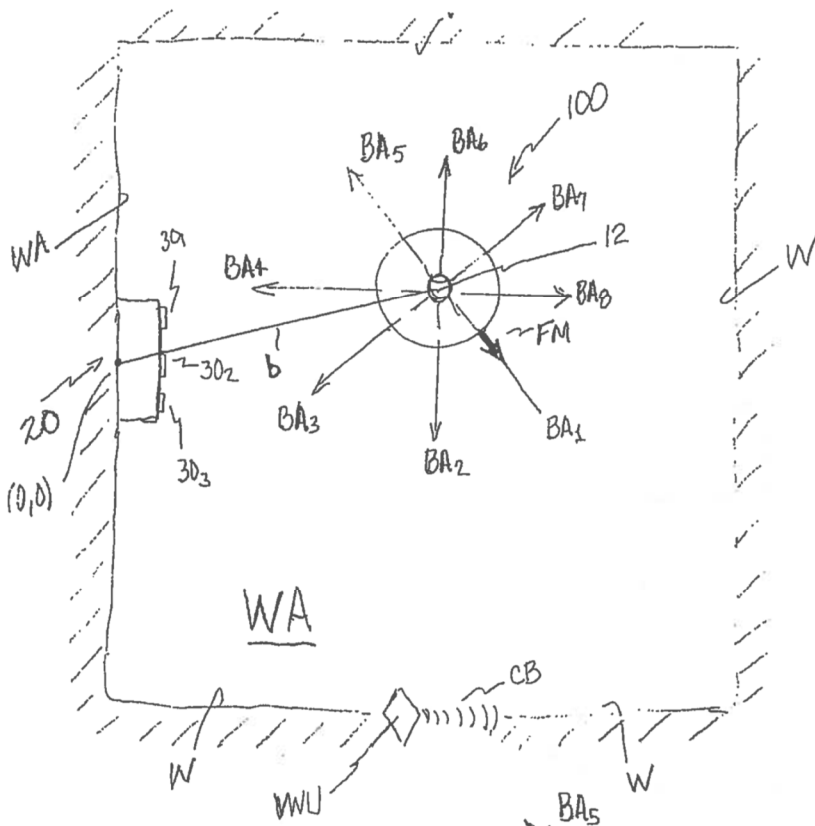


Figura 6A

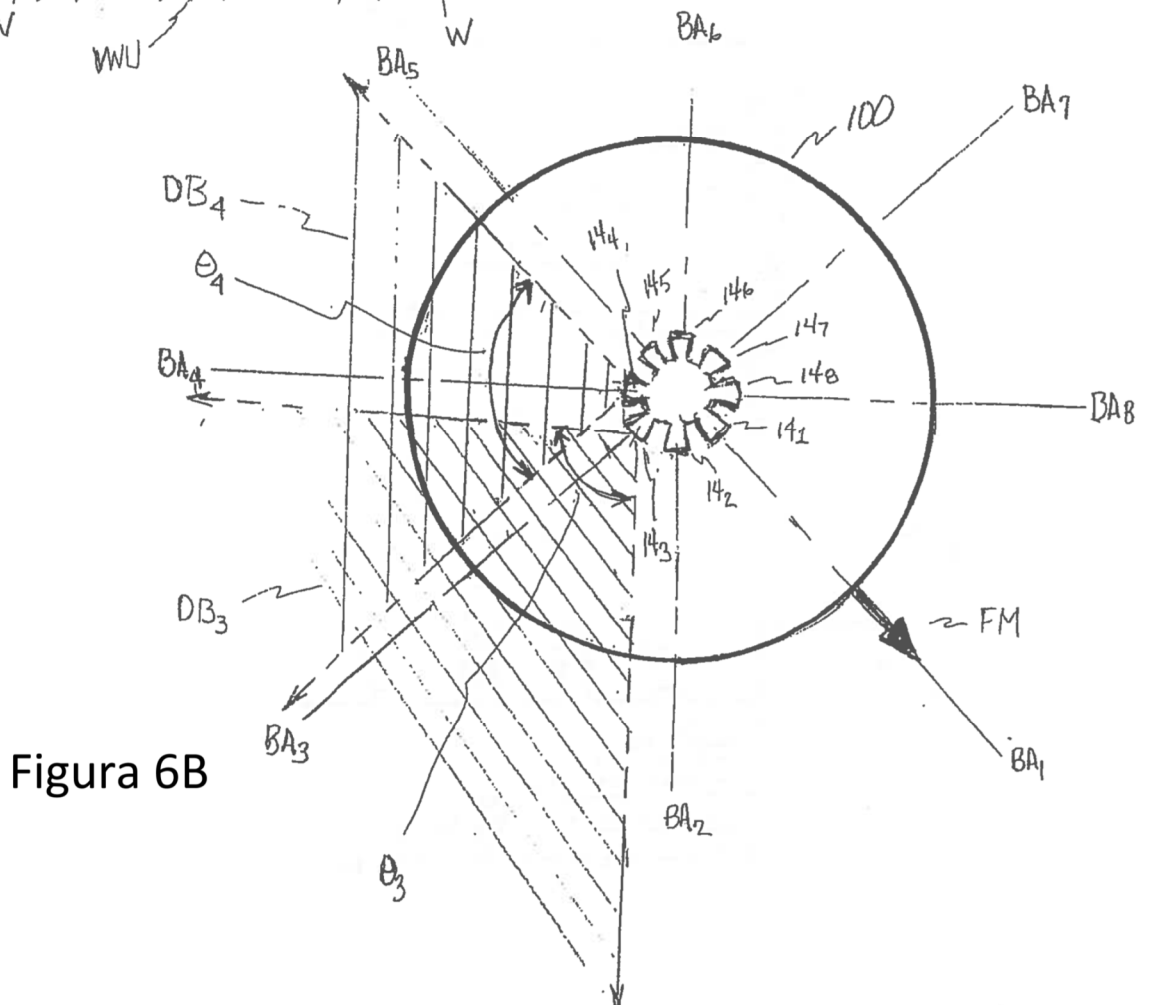


Figura 6B

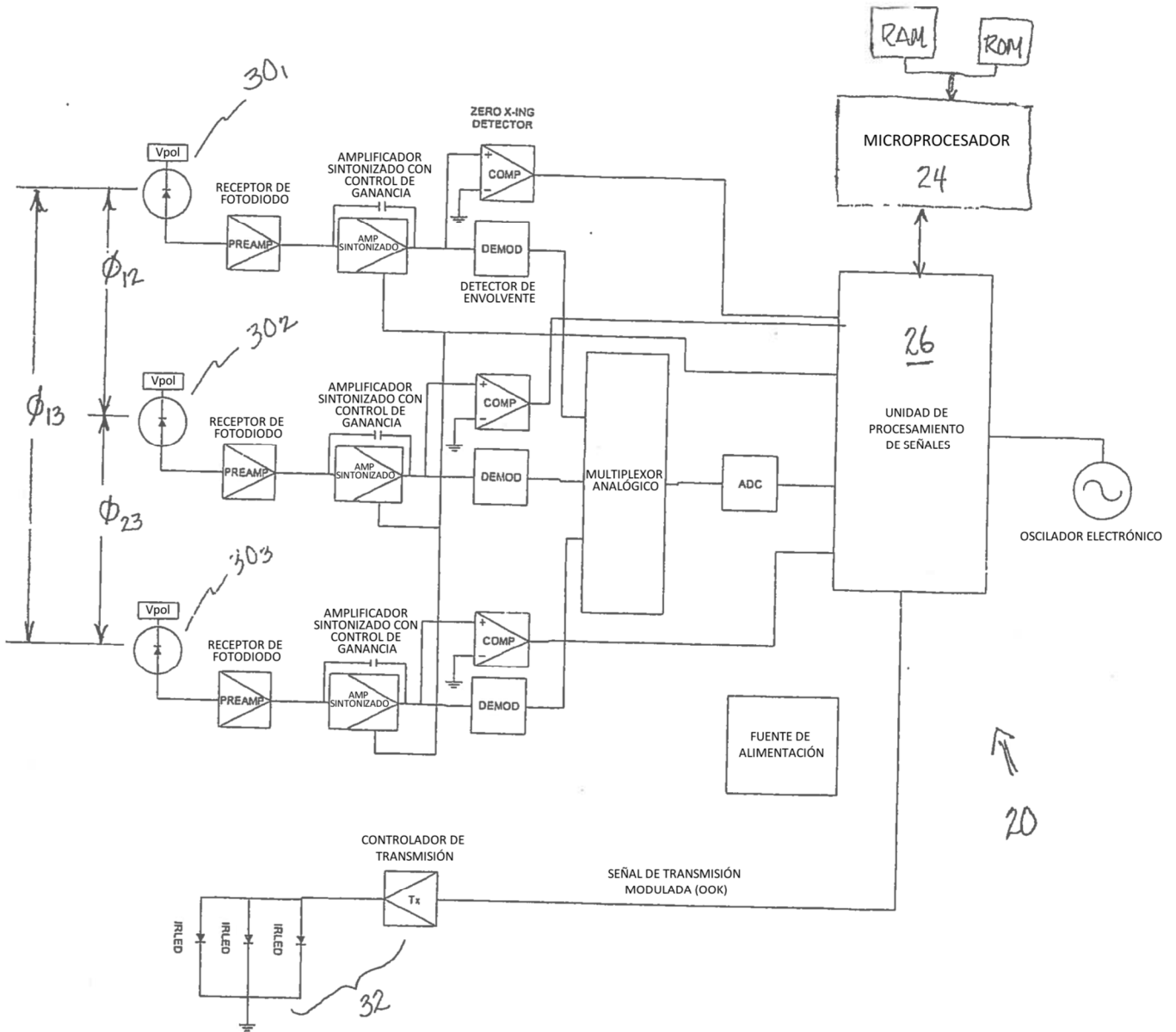


Figura 6C

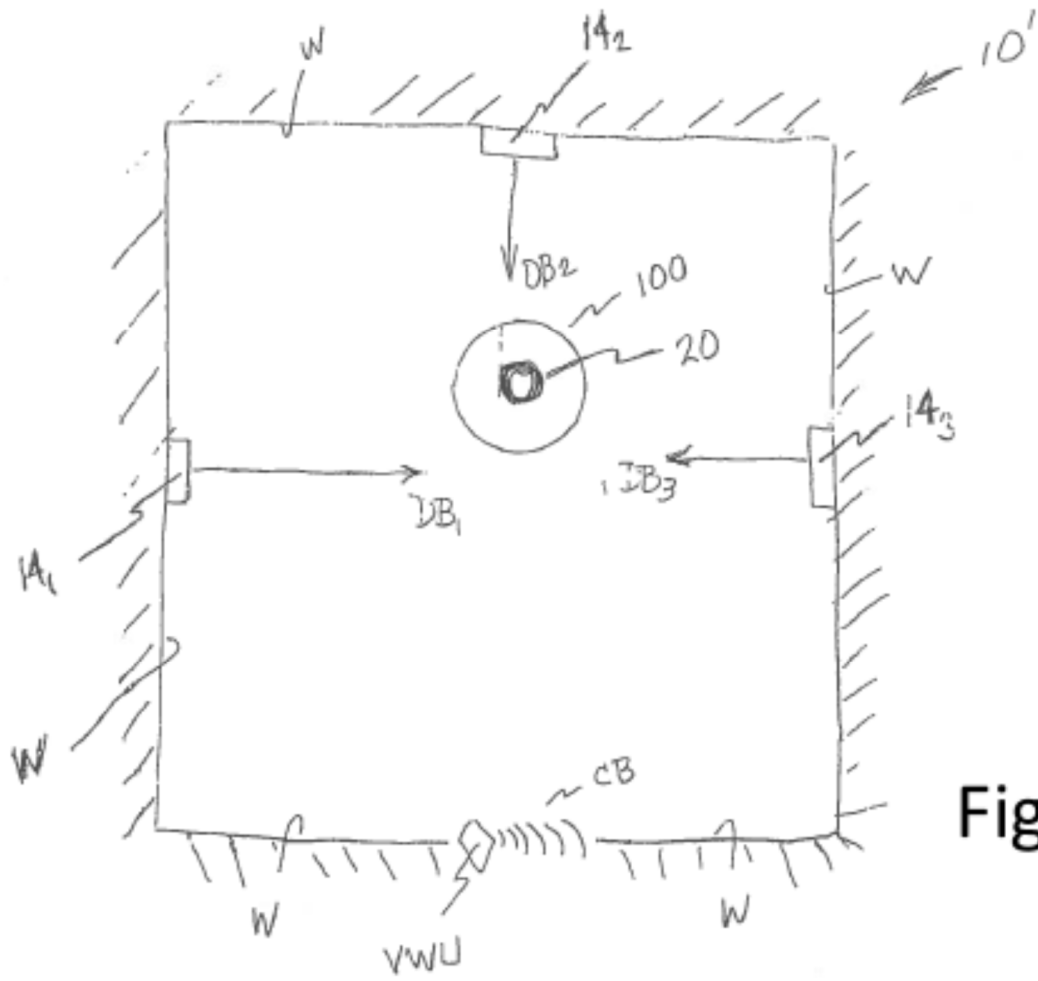


Figura 7