

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 634 251**

51 Int. Cl.:

**A47L 9/28**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.11.2015** **E 15195610 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.06.2017** **EP 3058860**

54 Título: **Robot móvil para limpieza de suelos con detección del tipo de suelo**

30 Prioridad:

**13.02.2015 US 201514622613**

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

**27.09.2017**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**SANTINI, FABRIZIO**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

**ES 2 634 251 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**

Robot móvil para limpieza de suelos con detección del tipo de suelo

**CAMPO TÉCNICO**

Esta descripción se refiere a robots autónomos para limpieza de suelos.

**5 ANTECEDENTES**

Un robot es generalmente una máquina electromecánica guiada por un ordenador o una programación electrónica para realizar una tarea. Los robots autónomos que realizan funciones domésticas tales como la limpieza de suelos sin interacción humana son ahora productos de consumo fácilmente disponibles. Muchos robots de limpieza tienen la capacidad de llevar a cabo "misiones de limpieza" en las que los robots se desplazan y simultáneamente limpian (por ejemplo por vacío) la superficie del suelo de su entorno. La longitud de las misiones de limpieza que pueden ser completadas por un robot móvil de limpieza está limitada típicamente por la carga de la batería.

Un robot de limpieza según el preámbulo de la reivindicación 1 es ya conocido por ejemplo por el documento US-A-20050166354.

**RESUMEN**

En un aspecto de la presente descripción, un robot de limpieza incluye: un bastidor; un accionamiento conectado al bastidor y configurado para accionar el robot a través de la superficie del suelo; un conjunto de cabeza de limpieza acoplado al bastidor y posicionado para aplicarse a la superficie del suelo mientras el robot es maniobrado por el accionamiento; un sensor de movimiento que responde a cambios en el cabeceo, siendo transportado el sensor de movimiento por el bastidor; y un circuito controlador configurado para determinar un tipo de solado o revestimiento asociado con una característica de limpieza del robot y configurado para alterar la característica de limpieza del robot en función de una señal procedente del sensor de movimiento indicativa de un cambio en el cabeceo provocado por el robot al atravesar una discontinuidad del solado.

En algunas realizaciones, el conjunto de cabeza de limpieza incluye un rodillo motorizado montado giratoriamente paralelo a la superficie del suelo y configurado para hacer contacto y agitar la superficie del suelo durante su uso. En algunas implementaciones, el rodillo motorizado incluye un rodillo frontal, y la cabeza de limpieza además incluye un rodillo posterior montado paralelo a la superficie del suelo y separado del rodillo frontal por un pequeño espacio alargado.

En realizaciones, al menos uno de los rodillos frontal y posterior es un rodillo de elastómero adaptable que caracteriza un patrón de álabes en forma de cheurones distribuidos a lo largo de su exterior cilíndrico y los álabes de al menos el rodillo posterior hacen contacto con la superficie del suelo a lo largo de la longitud del rodillo de tal modo que el rodillo experimenta una fuerza de fricción aplicada de modo consistente durante la rotación.

En algunas realizaciones, el circuito controlador está además configurado para: detectar un cambio en el cabeceo del bastidor basado en una realimentación procedente del sensor de movimiento, estando causado el cambio en el cabeceo por el robot al atravesar una discontinuidad del solado; detectar un cambio en el funcionamiento del conjunto de cabeza de limpieza; e identificar un cambio en el tipo de solado de la superficie del suelo en respuesta a la detección del cambio en funcionamiento del conjunto de la cabeza de limpieza transcurrido un tiempo predeterminado de detección del cambio en el cabeceo. En algunas implementaciones, el circuito controlador está configurado para detectar un cambio en el funcionamiento del conjunto de la cabeza de limpieza como un cambio en la resistencia a la rotación de un rodillo motorizado de la cabeza de limpieza. En algunas aplicaciones, el circuito controlador está configurado para detectar un cambio en la resistencia a la rotación del rodillo como un cambio en la potencia generada por un motor que acciona el rodillo. En algunas realizaciones, el circuito controlador está configurado para vigilar la potencia del motor en función de una o más magnitudes tales como la corriente del motor, la tensión de la batería y la velocidad del motor.

En algunas realizaciones, el robot de limpieza incluye además un contenedor de limpieza llevado por el bastidor, y un ventilador accionado por el motor ubicado dentro del contenedor de limpieza para proporcionar una fuerza de succión que atrae los residuos al contenedor de limpieza, y alterar una característica de limpieza del robot incluye alterar la fuerza de succión. En algunas implementaciones, alterar la fuerza de succión incluye aumentar la fuerza de succión en respuesta a una identificación por el circuito controlador de un cambio al atravesar la discontinuidad del solado desde una superficie de suelo duro a una superficie de suelo blando. En algunas implementaciones, alterar la fuerza de succión incluye disminuir la fuerza de succión en respuesta a una identificación por el circuito controlador de un cambio al atravesar la discontinuidad del solado desde una superficie de suelo blando a una superficie de suelo duro.

En algunas realizaciones, el sensor de movimiento es una unidad de medición de inercia de seis ejes e incluye al menos uno de entre dos dispositivos, un giroscopio de tres ejes y un acelerómetro de tres ejes.

En algunas realizaciones, el circuito controlador está configurado para identificar un cambio en el tipo de solado al atravesar la discontinuidad de solado determinando un cambio en una clase de la superficie del suelo. En algunas

implementaciones, el circuito controlador está configurado para determinar una clase de la superficie del suelo basándose en una señal que representa el funcionamiento del conjunto de la cabeza de limpieza. En algunas aplicaciones, el circuito controlador está configurado para determinar una clase de la superficie del suelo dividiendo la señal basándose en una pluralidad de intervalos predeterminados. En algunas aplicaciones el circuito controlador está configurado para determinar una clase de la superficie del suelo basándose en un modelo clasificador probabilístico. En algunas realizaciones, el circuito controlador está configurado para alterar el modelo clasificador probabilístico en respuesta a una detección de un cambio en el cabeceo causado por el robot al atravesar una discontinuidad del solado. En algunas realizaciones, alterar el modelo clasificador probabilístico incluye aumentar la probabilidad de un cambio de tipo de suelo. En algunas realizaciones, alterar el modelo clasificador probabilístico incluye reiniciar un tipo de suelo actual. En algunas realizaciones, el modelo clasificador probabilístico incluye un filtro Bayesiano. En algunas implementaciones, el control está configurado para suspender una nueva clasificación de la superficie del suelo cuando el robot es accionado siguiendo un arco por el accionamiento. En algunas realizaciones, el controlador está configurado para determinar una clase de la superficie del suelo integrando datos procedentes de una pluralidad de entradas vigiladas, incluyendo las entradas al menos una señal de entre: una señal de estado de la cabeza de limpieza, una señal de movimiento, y una señal de unidad de medición de inercia.

En otro aspecto de la presente descripción un robot de limpieza incluye: un bastidor; un accionamiento conectado al bastidor y configurado para accionar el robo a través de una superficie del suelo; un conjunto de cabeza de limpieza acoplado al bastidor y posicionado para aplicarse a la superficie del suelo mientras el robot es maniobrado por el accionamiento; y circuito controlador en comunicación con el conjunto de cabeza de limpieza. El circuito controlador está configurado para: determinar una clase en bruto inicial de la superficie del suelo basándose en una señal de consumo de potencia correspondiente al conjunto de cabeza de limpieza; identificar un cambio en la clase de la superficie del suelo; y en respuesta a la identificación de un cambio de la superficie del suelo a partir de la clase en bruto inicial de la superficie del suelo, modular una característica de limpieza del robot. Identificar un cambio en la clase de superficie del suelo incluye integrar datos procedentes de una pluralidad de entradas vigiladas, incluyendo las entradas al menos una señal de entre: una señal de estado de la cabeza de limpieza; una señal de movimiento, y una señal de la unidad de medición de inercia (IMU).

En algunas realizaciones, la identificación de un cambio en la clase de la superficie del suelo incluye: determinar que el robot está girando a lo largo de una trayectoria curvada sobre la superficie del suelo basándose en la señal de movimiento; y en respuesta a la determinación de que el robot está girando, mantener la característica de limpieza en un estado actual.

En algunas realizaciones, identificar un cambio en la clase de la superficie del suelo incluye: determinar que el robot está girando en su sitio sobre la superficie del suelo basándose en la señal de movimiento; y en respuesta a la determinación de que el robot está girando y no moviéndose a través de una interconexión de la superficie del suelo, mantener la característica de limpieza en un estado actual. En algunas implementaciones, identificar un cambio en la clase de la superficie del suelo incluye: determinar un radio de giro del robot basándose en la señal de movimiento; y alterar la característica de limpieza en proporción a una magnitud del radio de giro.

En algunas realizaciones, el robot incluye además un contenedor de limpieza transportada por el bastidor, y un ventilador accionado por un motor situado dentro del contenedor de limpieza para proporcionar una puerta de succión que extrae residuos al contenedor de limpieza, y modular una característica de limpieza del robot incluye modular la fuerza de succión.

En algunas realizaciones, integrar datos procedentes de la pluralidad de entradas vigiladas incluye calcular una probabilidad de que un cambio en la señal de consumo de potencia corresponde a un cambio en la clase de la superficie del suelo basándose en cada una de las entradas. En algunas implementaciones, calcular una probabilidad basándose en la señal de movimiento incluye calcular la probabilidad de que el robot está realizando al menos uno de un giro en su sitio y un giro en arco. En algunas implementaciones calcular la probabilidad basándose en la señal de estado de la cabeza de limpieza incluye calcular la probabilidad de que un motor que acciona el conjunto de la cabeza de limpieza se ha detenido. En algunas implementaciones, calcular una probabilidad basándose en la señal de IMU incluye calcular la probabilidad de que el robot ha atravesado una discontinuidad del solado.

En algunas realizaciones, determinar una clase en bruto inicial de la superficie del suelo incluye determinar una clase de suelo más probablemente basándose en datos empíricos almacenados en la memoria del ordenador del controlador. En algunas implementaciones, determinar la clase de suelo más probable incluye calcular la distribución de probabilidad posterior sobre un conjunto de clases de tipo de suelo previamente definidas basándose en una pluralidad de opciones de densidad de probabilidad almacenadas en la memoria del ordenador.

En algunas realizaciones, el conjunto de cabeza de limpieza incluye un rodillo motorizado montado giratoriamente paralelo a la superficie del suelo y configurado para hacer contacto y agitar la superficie del suelo durante su uso. En algunas implementaciones, el rodillo motorizado incluye un rodillo frontal, y la cabeza de limpieza incluye además un rodillo posterior y separado del rodillo frontal por un pequeño espacio alargado.

En realizaciones, al menos uno de los rodillos frontal y posterior es un rodillo de elastómero adaptable que caracteriza un

diseño de álabes en forma de cheurones distribuidos a lo largo de su exterior cilíndrico y los álabes de al menos el rodillo posterior hacen contacto con la superficie del suelo a lo largo de la longitud el rodillo de tal manera que el rodillo experimenta una fuerza de fricción aplicada consistentemente durante la rotación.

- 5 Los detalles de una o más realizaciones de la invención son descritos en los dibujos adjuntos y en la descripción siguiente. Otras características, objetos, y ventajas de la invención resultarán evidentes a partir de la descripción y dibujos, y a partir de las reivindicaciones.

#### DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La fig. 1A es una vista en perspectiva de un robot móvil de limpieza del suelo.

La fig. 1B es una vista inferior del robot de la fig. 1A.

- 10 La fig. 2A es una vista lateral en sección transversal de una parte del robot móvil de limpieza del suelo que incluye un conjunto de cabeza de limpieza y un contenedor de limpieza.

La fig. 2B es una vista en perspectiva del contenedor de limpieza del robot de limpieza.

La fig. 3 es un diagrama que ilustra una arquitectura de control ejemplar para el funcionamiento de un robot móvil de limpieza del suelo.

- 15 La fig. 4 es un gráfico que ilustra el consumo de potencia de un motor de rodillo a lo largo del tiempo mientras se limpian distintos tipos de superficies del suelo.

La fig. 5 es un diagrama funcional que ilustra un protocolo ejemplar para identificar tipos de superficies del suelo.

La fig. 6 es un gráfico que ilustra un conjunto de funciones de probabilidad predeterminadas para identificar tipos de superficies del suelo de acuerdo con el diagrama de la fig. 5.

- 20 La fig. 7A es un diagrama de flujo que ilustra un primer método de hacer funcionar un robot móvil de limpieza basándose en un cambio detectado en el tipo de suelo.

La fig. 7B es un diagrama de flujo que ilustra un segundo método para hacer funcionar un robot móvil de limpieza basándose en un cambio detectado en el tipo de suelo.

- 25 La fig. 8 es un diagrama de flujo que ilustra un tercer método para hacer funcionar un robot móvil de limpieza basándose en un cambio detectado en el tipo de suelo.

Las figuras 9A y 9B son vistas en planta de un dispositivo móvil que ejecuta una aplicación de software que presenta información relacionada con el funcionamiento de un robot móvil de limpieza.

#### DESCRIPCIÓN DETALLADA

- 30 La presente descripción está relacionada con sistemas robóticos, y particularmente con robots móviles de limpieza. Los robots de limpieza descritos a continuación utilizan técnicas de detección del tipo de suelo como un elemento de activación para alterar de forma autónoma distintas características de limpieza del suelo. Por ejemplo, el robot puede estar configurado para detectar un cambio en el tipo de suelo basándose en un cambio en la fricción entre un elemento de limpieza, u otro elemento del robot, y las superficies del suelo sobre las que se desplaza y simultáneamente limpia.
- 35 Una superficie de baja fricción (por ejemplo una superficie sólida como madera o baldosa lisa) requiere menos succión de vacío y se beneficiaría de una característica de limpieza diferente que una superficie que requiere más succión de vacío (por ejemplo una superficie texturizada o que cede similar, piedra texturizada o moqueta de pelo largo) indicada por una fricción más elevada detectada entre la superficie del suelo y el elemento de limpieza. El robot optimiza los resultados de limpieza (por ejemplo aumenta o disminuye la potencia del ventilador de vacío) basándose en la resistencia detectada para distintos tipos de solado. En algunos ejemplos, el robot está configurado para determinar la naturaleza de fricción de una interacción entre el robot y la superficie del suelo basándose en una señal correspondiente
- 40 al consumo de potencia del motor que acciona un rodillo de limpieza giratorio en contacto con la superficie durante la limpieza. Un consumo de potencia relativamente elevado del motor puede indicar fricción elevada, y viceversa.

- En algunos ejemplos, cuando el robot de limpieza del suelo detecta un cambio de una superficie de suelo duro a una superficie de suelo blando, automáticamente aumenta su succión de vacío para mantener una efectividad de limpieza
- 45 consistente. En el caso opuesto - un cambio detectado desde la superficie de suelo blando a una superficie de suelo duro - el robot de limpieza del suelo puede disminuir automáticamente su succión de vacío para optimizar la duración de la misión y mejorar la experiencia del usuario sobre superficies que reflejan el sonido. Aumentando/disminuyendo selectivamente la potencia de vacío, el robot puede prolongar la vida de la batería y por ello realizar misiones de limpieza más largas entre sesiones de recarga y reducir el volumen de decibelios del motor del ventilador innecesario en superficies de solado sólido. Otros ejemplos y ventajas son proporcionados a continuación con referencia a realizaciones
- 50 ilustradas por las figuras.

Las figs. 1A-2B ilustran un robot móvil 100 de limpieza de suelo ejemplar, que puede estar diseñado para atravesar y limpiar autónomamente una superficie de suelo. El robot 100 incluye el bastidor principal 102 para transportar y soportar distintos componentes robóticos funcionales descritos a continuación (por ejemplo, componentes de limpieza, sensores, controladores, etc.). Una cubierta o tapa 104 desmontable se extiende a través de un techo del bastidor 102 para proteger el robot contra daños debido a objetos sólidos y líquidos que pueden ser dejados caer o derramados de manera no intencionada sobre la parte superior del robot 100 durante su uso.

El robot 100 puede moverse tanto en las direcciones de accionamiento hacia adelante como hacia atrás; consecuentemente, el bastidor 102 tiene extremos delantero y trasero correspondientes 102a, 102b. Un parachoques 106 está montado en el extremo delantero 102a y mira en la dirección de accionamiento hacia delante. Al identificar muebles y otros obstáculos (por ejemplo mediante sensores que forman imágenes del tiempo de desplazamiento, sensores de cámara, sonar, sensores de proximidad u otros sensores de ODOA), el robot 100 puede ralentizar su aproximación y tocar ligera y suavemente el obstáculo con su parachoques 106 y a continuación cambiar selectivamente la dirección para evitar otro contacto con el obstáculo siguiendo a lo largo las superficies exteriores y/o bordes del obstáculo en una rutina de seguimiento de una pared. En algunas realizaciones, el robot 100 puede navegar en sentido inverso con el extremo trasero 102b orientado en la dirección del movimiento, por ejemplo durante un escape, rebote, y comportamientos para evitar obstáculos en los que el robot 100 se mueve en marcha atrás.

Un conjunto 108 de cabeza de limpieza está situado en un alojamiento 109 de rodillo acoplado a una parte central del bastidor 102. El conjunto 108 de cabeza de limpieza está montado en un bastidor 107 de cabeza de limpieza (véase la fig. 2A) que se puede fijar al bastidor 102. El bastidor 107 de la cabeza de limpieza acopla el alojamiento 109 del rodillo al bastidor 102. En algunas realizaciones, el alojamiento 109 de rodillo está conectado al bastidor 107 de la cabeza de limpieza por un mecanismo de conexión que permite que el alojamiento de rodillo se mueva o "flote" dentro del bastidor cuando el robot 100 atraviesa el terreno de una superficie de suelo. Así, el alojamiento 109 de rodillo que transporta el conjunto 108 de cabeza de limpieza se mueve verticalmente durante el funcionamiento, por ejemplo para acomodar discontinuidades del solado mientras mantiene una altura de elevación consistente de la cabeza de limpieza en la superficie de solado. La publicación de los EE.UU N° 2012/0317744 describe una conexión de cuatro barras como mecanismo adecuado para soportar el alojamiento 109 de rodillo dentro del bastidor 107 de la cabeza de limpieza, permitiendo que el alojamiento de rodillo se mueva con relación al bastidor para ajustes verticales durante el funcionamiento del vacío robótico, sin pivotar de manera que haga que el alojamiento de rodillo pierda su posición paralela con respecto al suelo.

El conjunto 108 de cabeza de limpieza incluye un rodillo frontal 110 y un rodillo posterior 112 montado giratoriamente paralelo a la superficie del suelo y separados uno del otro por un pequeño espacio alargado. Los rodillos frontal 110 y posterior 112 están diseñados para hacer contacto y agitar la superficie del suelo durante su uso. En este ejemplo, cada uno de los rodillos 110, 112 es un rodillo de elastómero adaptable que caracteriza un patrón de álabes en forma de cheurones distribuidos a lo largo de su exterior cilíndrico y los álabes de al menos el rodillo posterior hacen contacto con la superficie del suelo a lo largo de la longitud del rodillo y experimentan una fuerza de fricción aplicada consistentemente durante la rotación que no está presente con los cepillos que tienen cerdas flexibles. Otras configuraciones adecuadas, sin embargo, también son contempladas. Por ejemplo, en algunas realizaciones, al menos uno de los rodillos frontal y posterior puede incluir cerdas y/o faldones flexibles alargados para agitar la superficie del suelo.

Cada uno de los rodillos frontal 110 y posterior 112 es accionado giratoriamente por un motor 113 de rodillo (véase la fig. 2A) para levantar dinámicamente (o "extraer") residuos agitados procedentes de la superficie del suelo. Una fuente de vacío 114 (véase la fig. 2B) dispuesta en un contenedor de limpieza 116 hacia el extremo trasero 102b del bastidor 102 incluye un ventilador accionado por motor (no mostrado) que extrae aire hacia arriba a través del espacio 115 (véase la fig. 2A) entre los rodillos 110, 112 para proporcionar una fuerza de succión que ayude a los rodillos a extraer residuos desde el suelo. El aire y los residuos que pasan a través del espacio 115 de rodillos es encaminado a través de una cámara de aspiración 117 (véase la fig. 2A) que conduce al interior del contenedor de limpieza 116. El aire evacuado desde la fuente de vacío 114 es dirigido a través de un puerto de evacuación 118. En algunos ejemplos, el puerto de evacuación 118 incluye una serie de lamas paralelas inclinadas hacia arriba, de modo que dirijan el flujo de aire lejos del suelo. Este diseño impide que el aire evacuado sople el polvo y otros residuos a lo largo del suelo cuando el robot 100 ejecuta una rutina de limpieza. El contenedor de limpieza 116 es desmontable del bastidor 102 mediante un mecanismo 120 de liberación cargado elásticamente.

Instalado a lo largo de la pared lateral del bastidor 102, próximo al extremo delantero 102a y delante de los rodillos 110, 112 en una dirección de accionamiento hacia delante, hay un cepillo 122 lateral accionado por motor giratorio alrededor de un eje perpendicular a la superficie del suelo. El cepillo lateral 122 se extiende más allá del cuerpo del robot 100 y permite que el robot 100 produzca un área de cobertura más amplia para limpiar a lo largo de la superficie del suelo. En particular, el cepillo lateral 122 puede accionar residuos desde el exterior de la huella del área del robot 100 al trayecto del conjunto de cabeza de limpieza situado centralmente.

Instalado a lo largo de cada lado del bastidor 102, soportando un eje longitudinal del alojamiento 109 del rodillo, hay ruedas motrices independientes 124a, 124b que movilizan el robot 100 y proporcionan los puntos de contacto con la superficie del suelo. El extremo delantero 102a del bastidor 102 incluye una rueda orientable 126 multidireccional, no accionada, que proporciona soporte adicional para el robot 100 como un tercer punto de contacto con una superficie del

suelo.

Un circuito controlador 128 (representado esquemáticamente) es llevado por el bastidor 102. En algunos ejemplos, el circuito controlador 128 incluye una placa de circuito impreso (PCB) que transporta varios componentes electrónicos y componentes informáticos (por ejemplo memoria de ordenador y chips de procesamiento de ordenador, componentes de entrada/salida, etc.), y está fijada al bastidor 102 en el compartimiento interior por debajo del techo del bastidor. En algunas realizaciones, el circuito controlador 128 incluye una red distribuida de microcontroladores, estando cada microcontrolador configurado para gobernar un subsistema respectivo del robot 100. El circuito controlador 128 está configurado (por ejemplo diseñado y programado apropiadamente) para gobernar otros distintos componentes del robot 100 (por ejemplo los rodillos 110, 112, el cepillo lateral 122, y/o las ruedas motrices 124a, 124b). Como ejemplo el circuito controlador 128 proporciona órdenes para operar las ruedas motrices 124a, 124b al unísono para maniobrar el robot 100 hacia adelante o hacia atrás. Como otro ejemplo, el circuito controlador 128 puede emitir una orden para accionar la rueda motriz 124a en una dirección hacia delante y la rueda motriz 124b en una dirección hacia atrás para ejecutar un giro en el sentido de las agujas del reloj. Similarmente, el circuito controlador 128 puede proporcionar órdenes para iniciar procesar el funcionamiento de los rodillos giratorios 110, 112 o del cepillo lateral 122. Por ejemplo, el circuito controlador 128 puede emitir una orden para desactivar o invertir los rodillos 110, 112 si resultan enredados. En algunas realizaciones, el circuito controlador 128 está diseñado para implementar un esquema de comportamiento-basado en robótica adecuado para emitir órdenes que hacen que el robot 100 navegue y limpie una superficie de suelo de una manera autónoma. El circuito controlador 128 está descrito en mayor detalle a continuación con referencia a la arquitectura de control ilustrada en la fig. 3. El circuito controlador 128, así como otros componentes del robot 100, es alimentado por un sistema de baterías 130 dispuesto sobre el bastidor 102 delante del conjunto 108 de la cabeza de limpieza.

El circuito controlador 128 implementa el esquema de comportamiento-basado en robótica en respuesta a la realimentación recibida desde una pluralidad de sensores distribuidos alrededor del robot 100 y acoplados de manera comunicativa con el circuito controlador 128. Por ejemplo, una agrupación de sensores de proximidad 131 (representados esquemáticamente en la fig. 1A) son instalados a lo largo de la periferia del robot 100, incluyendo el parachoques 106 de extremidad frontal. Los sensores de proximidad 131 son sensibles a la presencia de obstáculos potenciales que pueden aparecer enfrente de o al lado del robot 100 cuando el robot se mueve en la dirección de accionamiento hacia adelante. El robot 100 incluye además una agrupación de sensores 132 de pendiente vertical instalados a lo largo de la parte inferior del bastidor 102. Los sensores 132 de pendiente vertical están diseñados para detectar una pendiente vertical potencial, o caída de solado, cuando el robot 100 se mueve en la dirección de accionamiento (por ejemplo hacia adelante, hacia atrás, girando, etc.). Más específicamente, los sensores 132 de pendiente vertical son sensibles a los cambios súbitos en las características del suelo indicativas de un borde o pendiente vertical de la superficie del suelo (por ejemplo un borde descendente de una escalera). En este ejemplo, el robot 100 incluye también un sensor visual 134 alineado con una ventana 135 sustancialmente transparente de la cubierta protectora 104. En implementaciones, el sensor visual 134 tienen la forma de una cámara digital que tiene un eje óptico de un campo de visión orientado en la dirección de accionamiento hacia delante del robot, para detectar características y marcas en el entorno operativo y construir un mapa virtual, por ejemplo, utilizando tecnología VSLAM.

En implementaciones, un módulo 136 de comunicaciones de baliza está montado en el extremo delantero 102a del bastidor 102 y acoplado de manera comunicativa al circuito controlador 128. En algunas realizaciones, el módulo de comunicaciones de baliza es accionable para enviar señales a un dispositivo remoto y recibirlas desde él. Por ejemplo, el módulo 136 de comunicaciones de baliza puede detectar una señal de navegación proyectada desde un emisor de una baliza de navegación o de pared virtual o una señal de retorno a posición original proyectada desde el emisor de una base de conexión. Base de conexión, de confinamiento, doméstica, y tecnologías de retorno a posición original están descritas en las Patentes de los EE.UU. N° 7.196.487; 7.188.000, Publicación de Solicitud de Patente de los EE.UU. N° 20050156562, y la Publicación de Solicitud de Patente de los EE.UU. N° 20140100693. En este ejemplo, el robot 100 incluye además un módulo 137 de comunicaciones inalámbricas. Como se ha descrito en la Publicación de Patente de los EE.UU. 2014/0207282, el módulo 137 de comunicaciones inalámbricas (representado esquemáticamente) facilita la comunicación de información que describe un estado del robot 100 sobre una red inalámbrica adecuada (por ejemplo una red de área local inalámbrica) con uno o más dispositivos móviles (por ejemplo el dispositivo móvil 900 mostrado en las figs. 9A y 9B).

Volviendo ahora a la fig. 3, del circuito controlador 128 está acoplado de manera comunicativa a distintos subsistemas del robot 100, incluyendo un sistema de comunicaciones 205, un sistema de limpieza 210, un sistema de accionamiento 215, y un sistema 220 de sensor de navegación. El circuito controlador 128 incluye una unidad de memoria 222 que contiene datos e instrucciones para procesar por un procesador 224. El procesador 224 recibe instrucciones de programa y datos de realimentación desde la unidad de memoria 222, ejecuta operaciones lógicas solicitadas por las instrucciones de programa, y genera señales de mando para operar los componentes respectivos del subsistema del robot 100. Una unidad 226 de entrada/salida transmite las señales de mando y recibe realimentación desde los distintos componentes ilustrados.

En este ejemplo, el sistema de comunicaciones 205 incluye el módulo 136 de comunicaciones de baliza y el módulo 137 de comunicaciones inalámbricas, cada uno de los cuales funciona como se ha descrito anteriormente. El sistema de

limpieza 210 incluye el motor 113 del rodillo, un motor 154 del cepillo lateral que acciona el cepillo lateral 122, y un motor 156 del ventilador de succión que acciona la fuente de vacío 114 en el contenedor de limpieza 116. El sistema de limpieza 210 incluye además múltiples sensores 157 del motor que vigilan el funcionamiento del motor 113 de rodillo, del motor 154 del cepillo lateral, y del motor 156 del ventilador de succión para facilitar el control en bucle cerrado de los motores por el circuito controlador 128. En algunas realizaciones, el motor 113 del rodillo es accionado por el circuito controlador 128 (o un microcontrolador adecuado) para accionar los rodillos 110,112 de acuerdo con un ajuste de velocidad particular mediante una técnica de modulación de anchura de impulsos (PWM) en bucle cerrado, donde la señal de realimentación es recibida desde un sensor 157 de motor que vigila una señal indicativa de la velocidad de giro del motor 113 de rodillo. Por ejemplo, tal sensor 157 del motor puede estar previsto en forma de un sensor de corriente del motor (por ejemplo, una resistencia en derivación, un transformador de detección de corriente, y/o un sensor de corriente de efecto Hall).

El sistema de accionamiento 215 incluye un motor 158 de la rueda motriz derecha y un motor 160 de la rueda motriz izquierda para hacer funcionar las ruedas motrices 124a, 124b respectivas en respuesta a órdenes de accionamiento o señales de control procedentes del circuito controlador 128, así como múltiples sensores 161 del motor de accionamiento para facilitar el control en bucle cerrado de las ruedas motrices (por ejemplo, mediante una técnica de PWM adecuada y descrita anteriormente). En algunas implementaciones, un microcontrolador asignado al sistema de accionamiento 215 está configurado para descifrar órdenes de accionamiento que tienen componentes  $x$ ,  $y$ , y  $\Theta$ . El circuito controlador 128 puede emitir señales de control individuales a los motores 158, 160 de las ruedas motrices. En cualquier caso, el circuito controlador 128 puede maniobrar el robot 100 en cualquier dirección a través de una superficie de limpieza controlando de manera independiente la velocidad de giro y la dirección de cada rueda motriz 124a, 124b mediante los motores 158, 160 de ruedas motrices.

Aún con referencia a la fig. 3, el circuito controlador 128 acciona el sistema de accionamiento 215 en respuesta a señales recibidas desde el sistema sensor 220 de navegación. Por ejemplo, el circuito controlador 128 puede utilizar el sistema de accionamiento 215 para redirigir el robot 100 para evitar obstáculos y trastos encontrados mientras está tratando una superficie de suelo. En otro ejemplo, si el robot 100 resulta atascado o enredado durante su uso, el circuito controlador 128 puede operar el sistema de accionamiento 215 de acuerdo con uno o más comportamientos de escape. Para conseguir un movimiento autónomo fiable, el sistema sensor 220 de navegación puede incluir varios tipos diferentes de sensores que pueden ser utilizados en combinación entre sí para permitir que el robot 100 tome decisiones inteligentes acerca de un entorno particular. En este ejemplo, el sistema sensor 220 de navegación incluye los sensores de proximidad 131, el sensor 132 de pendiente vertical y el sensor visual 134, cada uno de los cuales se ha descrito anteriormente. El sistema sensor 220 de navegación incluye además un sensor táctil 162 sensible a la activación del parachoques 106 y una unidad de medición de inercia (IMU) 164.

La IMU 164 es, en parte, sensible a los cambios de posición del robot 100 con respecto a un eje vertical sustancialmente perpendicular al suelo y detecta cuando el robot 100 es hecho cabecear en una interconexión de tipos de suelo que tienen una diferencia de altura, que puede atribuirse potencialmente a un cambio de tipo de solado. En algunos ejemplos, la IMU 164 es una IMU de seis ejes que tiene un sensor giroscópico que mide la velocidad angular del robot 100 con relación al eje vertical. Sin embargo, se han contemplado también otras configuraciones adecuadas. Por ejemplo, la IMU 164 puede incluir un acelerómetro sensible a la aceleración lineal del robot 100 a lo largo del eje vertical. En cualquier caso, la salida procedente de la IMU 164 es recibida por el circuito controlador 128 y procesada (como se ha descrito más abajo con referencia a la fig. 5) para detectar una discontinuidad en la superficie del suelo a través del cual se está desplazando el robot 100. Dentro del contexto de la presente descripción, los términos "discontinuidad del solado" y "umbral" se refieren a cualquier irregularidad en la superficie del suelo (por ejemplo, un cambio en el tipo de solado o un cambio en elevación en una interconexión de solados) que puede ser atravesada por el robot 100, pero que causa un evento de movimiento vertical discreto (por ejemplo un "salto" hacia arriba o hacia abajo). El evento de movimiento vertical podría referirse a una parte del sistema de accionamiento (por ejemplo una de las ruedas motrices 124a, 124b) o al bastidor 102, dependiendo de la configuración y colocación de la IMU 164. La detección de un umbral de solado o de una interconexión de solados, puede promover que el circuito controlador 128 espere un cambio en el tipo de suelo. Por ejemplo, el robot 100 puede experimentar un salto vertical significativo hacia abajo cuando se mueven desde una moqueta de pelo largo (una superficie de suelo blando) a un suelo de baldosas (una superficie de suelo duro) y un salto hacia arriba en el caso opuesto.

Una amplia variedad de otros tipos de sensores, aunque no se han mostrado o descrito en conexión con los ejemplos ilustrados, puede ser incorporada en el sistema sensor 220 de navegación (o cualquier otro subsistema) sin salir del marco de la presente descripción. Tales sensores pueden funcionar como unidades de detección de obstáculos, sensores para evitar obstáculos con detección de obstáculos (ODOA), sensores de caída de la rueda, sensores de seguimiento de obstáculos, unidades detectoras de detención, unidades codificadoras de rueda motriz, sensores de parachoques, y similares.

El robot 100 puede estar configurado para detectar un cambio en el tipo de suelo basándose en la naturaleza de la fricción de una interacción entre el robot y el suelo. Como se ha indicado anteriormente, el motor 113 del rodillo es hecho funcionar para accionar los rodillos 110, 112 de acuerdo con un ajuste de velocidad particular mediante una técnica de PWM de bucle cerrado. El PWM es implementado por el circuito controlador 128 emitiendo señales alternativas de

5 activado/desactivado al motor 113 del rodillo. El término "ciclo de servicio" describe la proporción de tiempo "activado" al intervalo regular o "período" de tiempo; un ciclo de servicio bajo corresponde a un bajo consumo de potencia, debido a que la alimentación está desconectada durante la mayor parte del tiempo, y viceversa. Las pérdidas por fricción entre los rodillos 110, 112 y la superficie del suelo pueden hacer que el circuito controlador 128 aumente el ciclo de servicio del PWM para mantener un ajuste de velocidad. Así, la naturaleza de fricción de una interacción con la superficie del suelo puede ser determinada basándose en una señal correspondiente al consumo de potencia del motor 113 del rodillo. Como se ha mostrado en el gráfico de la fig. 4, un consumo de potencia elevado sugiere una interacción con una superficie de fricción elevada, y un consumo de potencia bajo sugiere una interacción con una superficie de fricción baja. En algunos ejemplos, la señal de potencia puede ser calculada basándose en la tensión medida en el sistema de baterías 130, la corriente medida del motor 113 del rodillo, y las características de señal de control de PWM (por ejemplo la frecuencia de conmutación y el ciclo de servicio) alimentada al motor del rodillo. Por ejemplo, la señal de potencia puede ser calculada de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{Tensión de batería} * \text{Corriente del Motor} * (\text{PWM medida} / \text{PWM máxima})$$

15 El gráfico 400 de la fig. 4 ilustra múltiples señales de potencia observadas a través de 15,000 muestras a una tasa de 5 ms a 25 ms (por ejemplo, aproximadamente una tasa de muestreo de 15) mientras el robot ha atravesado diferentes tipos de superficies de suelo. Obsérvese que las señales de potencia de la fig. 4 están trazadas como curvas promedio con bandas de desviación estándar. La señal de potencia 402, a un promedio de entre aproximadamente 11700 mW y 9500 mW con una desviación estándar de aproximadamente 2000 mW, corresponde a un periodo de muestreo en el que el robot ha atravesado una superficie "blanda" generando una fricción relativamente elevada con el rodillo de limpieza. La señal de potencia 404, a un promedio de entre aproximadamente 3500 mW y 2000 mW con una desviación estándar de aproximadamente 700 mW, corresponde a un periodo de muestreo donde el robot ha atravesado una superficie "dura" generando una fricción relativamente baja con el rodillo de limpieza. La señal de potencia 406, a un promedio de aproximadamente 1800 mW con una desviación estándar de aproximadamente 700 mW, corresponde a un periodo de muestreo en el que los rodillos 110, 112 no estaban en contacto con la superficie del suelo atravesada por el robot. Este estado, en el que el consumo de potencia por el motor del rodillo es excepcionalmente bajo debido a que no hay pérdidas por fricción en la superficie del suelo, es denominado un "estado bajo". Cuando los rodillos de limpieza están funcionando consistentemente en el estado bajo, es probable que se hayan desgastado o dañado. Inversamente, un estado en el que el consumo de potencia por el motor del rodillo es excepcionalmente elevado (por ejemplo por encima de 12000 mW en este ejemplo) es denominado un "estado en exceso". Cuando los rodillos de limpieza están funcionando en el estado en exceso durante un periodo de tiempo prolongado, es probable que hayan resultado enredados u obstruidos de otro modo, lo que eleva el consumo de potencia ya que el controlador intenta operar el motor del rodillo en el ajuste de velocidad establecido.

35 En algunos ejemplos, el circuito controlador 128 distingue entre diferentes tipos de superficies de suelo (por ejemplo superficies blandas y duras) y estados del rodillo (por ejemplo estados en exceso y bajo) basándose en intervalos de señal de potencia predeterminados almacenados en la unidad de memoria 222. Esta aproximación a la clasificación de señal puede implicar aplicar técnicas de estimación paramétrica para seleccionar los intervalos de señal de potencia predeterminados basándose en datos de ensayos históricos. La detección del tipo de suelo basándose en los intervalos predeterminados puede ser ejecutada por el circuito controlador 128 con un algoritmo de decisión muy simple (por ejemplo un árbol de decisión binario). Sin embargo, como se ha mostrado en el gráfico ejemplar de la fig. 4, la señal de potencia del motor 113 del rodillo es inherentemente ruidosa y hay un solapamiento significativo entre el intervalo de señal observado a través de las diferentes condiciones operativas (por ejemplo suelo duro, suelo blando, estado bajo y estado en exceso), lo que introduce una cantidad significativa de falta de certeza en el proceso de clasificación de señal. El ruido puede proceder de varias fuentes incluyendo escobillas del motor, retardo mecánico en cajas de engranajes, texturas en el suelo, tolerancia de fabricación, algoritmos de control de PWM, etc. Puede utilizarse un filtrado pesado para procesar la señal de potencia en bruto, pero puede introducir retardos elevados en el tiempo de respuesta. Esto retardos impactarán en la resolución espacial de los sensores (por ejemplo la menor longitud de suelo que puede ser clasificada por tipo de suelo). La presente invención contempla superar este retardo y el ruido (que no puede ser eliminado completamente por ningún filtro) utilizando el aprendizaje de la máquina para el tipo de suelo y proporcionando al robot 100 con distribuciones de potencia aprendidas para asociar una señal de potencia en bruto con un tipo de solado en bruto.

50 Volviendo ahora a la fig. 5, el diagrama funcional 500 ilustra un enfoque de aprendizaje de máquina para implementar la detección del tipo de suelo por el circuito controlador 128. Como se ha mostrado, el diagrama funcional 500 incluye un módulo 502 de detección del tipo de suelo, un módulo 504 de detección de interconexión de solados, un módulo 506 de integración, y un módulo 507 de comportamiento, la totalidad de los cuales son módulos de software que se ejecutan en el robot 100 y procesados por el circuito controlador 128. Las señales de datos 508, 510 y 512 correspondientes a la corriente del motor, la tensión de la batería y las señales de control del motor, respectivamente, son alimentadas a un calculador 514 de potencia del módulo 502 de detección del tipo de suelo. El calculador 514 de potencia calcula el consumo de potencia en tiempo real del motor 113 de rodillo y alimenta la señal 515 de potencia a un filtro 516 de potencia. El filtro 516 de potencia estima el valor de la corriente del consumo de potencia dada la observación de la corriente del motor, de la tensión de la batería y de las señales de control del motor proporcionadas en las señales de datos 508, 510 y 512. En algunos ejemplos, el filtro 516 de potencia incluye un filtro rápido de Kalman, que es un tipo



específico de un filtro Bayesiano.

La señal 518 de potencia filtrada es alimentada a un clasificador 520 del tipo de suelo que realiza la clasificación del tipo de suelo y alimenta una clase 522 del tipo de suelo en bruto a un integrador 524 que considera varios estados del robot diferentes en la determinación de si la clase del tipo de suelo ha cambiado y ha garantizado un cambio en la potencia al ventilador 114 de vacío. La clase de tipo de suelo en bruto es una entrada al integrador 524 y está calculada basándose simplemente en la señal de potencia filtrada (por ejemplo nivel de potencia del rodillo principal filtrada) de los motores 113 del rodillo. En algunos ejemplos, el clasificador 520 de tipo de suelo es un clasificador probabilístico diseñado para calcular una distribución de probabilidad posterior sobre un conjunto de clases de tipo de suelo (por ejemplo, suelo duro, suelo blando, estado bajo, y estado en exceso) basándose en la señal 518 de potencia filtrada. Por ejemplo, el clasificador 520 del tipo de suelo puede incluir un filtro Bayesiano (también conocido como un estimador Bayesiano recursivo) que predice estadísticamente el tipo de suelo actual (por ejemplo suelo duro o suelo blando) o el estado del rodillo (por ejemplo estado bajo o estado en exceso) con un nivel de certeza calculado (por ejemplo, la probabilidad posterior). En algunas implementaciones, las funciones de densidad de probabilidad basadas en datos empíricos para cada tipo de suelo y el estado del rodillo pueden ser almacenados en la unidad de memoria 222 del circuito controlador 128 para utilizar en cálculos realizados por el clasificador 520 del tipo de suelo. El gráfico 600 de la fig. 6 ilustra un conjunto de funciones de densidad de probabilidad 602, 604, 606 y 608 que describen la probabilidad relativa para la clase del tipo de suelo (una variable aleatoria desde la perspectiva del controlador) para tomar un valor dado (por ejemplo estado bajo, suelo duro, suelo blando y estado en exceso) basándose en la señal 518 de potencia filtrada. Estas funciones de densidad de probabilidad fueron derivadas haciendo funcionar treinta robots muestreados de forma aleatoria a través de una pluralidad de lotes de fabricación en doce tipos de solado (por ejemplo, baldosa pequeña, baldosa media, mármol, linóleo, bambú, roble, estratificado, tatami, moqueta de pelo muy corto, moqueta de densidad baja de pelo corto, moqueta de bucle del nivel de pelo corto, moqueta de pelo medio, y moqueta de pelo largo). Las funciones de densidad de probabilidad son almacenadas en la memoria del robot 100 de manera que el clasificador pueda determinar la probabilidad de que una señal de potencia medida caiga dentro de una distribución de tipo de solado o de otra.

Volviendo de nuevo a la fig. 5, en algunos ejemplos, el clasificador 520 del tipo de suelo es parametrizado de modo conservador para limitar falsas determinaciones positivas de un cambio en el tipo de suelo, de tal manera que sólo una fuerte evidencia de un cambio del tipo de suelo deducida a partir de la señal 518 de potencia filtrada causará una alteración de la clase 522 de tipo de suelo en bruto. Por ejemplo, el clasificador 520 de tipo de suelo puede abstenerse de alteración de la clase 522 del tipo de suelo en bruto a menos que la probabilidad de la nueva clase exceda de un límite de confianza relativamente elevado (por ejemplo una probabilidad posterior de aproximadamente 90%). Como otro ejemplo, el clasificador 520 de tipo de suelo puede ser parametrizado de modo que pondere la evidencia pasada del tipo de suelo más fuertemente que la evidencia reciente, de tal modo que una clase de tipo de suelo de larga duración resulte crecientemente más resistente al cambio.

El integrador 524 recibe la clase 522 de tipo de suelo en bruto y hace una determinación final 530 del tipo de suelo en vista de una o más entradas adicionales vigiladas: una señal 526 de interconexión de solados, una señal 528 de movimiento, y/o el estado 529 de la cabeza de limpieza (por ejemplo un estado detenido del rodillo 110, 112 de la cabeza de limpieza o una velocidad de rodillo medida real que no coincide con la velocidad ordenada). En una implementación, el circuito controlador 128 vigila la totalidad de las tres entradas adicionales e integra los datos colectivos haciendo una determinación final del tipo de suelo. La determinación final 530 del tipo de suelo es recibida por el módulo 507 de comportamiento para influir en futuras órdenes por el circuito controlador 128. Por ejemplo, el circuito controlador 128 puede alterar una característica de limpieza del robot 100 basándose en la determinación final 530 del tipo de suelo, como se ha descrito a continuación, mediante una señal de realimentación 531. En algunos ejemplos, el integrador 524 realiza una clasificación del tipo de suelo de segundo nivel (por ejemplo, una clasificación probabilística tal como un filtrado Bayesiano, árbol de decisión simple, etc.) que incorpora cada una de las clases 522 de tipo de suelo en bruto, la señal 526 de interconexión de solados, y la señal 528 de movimiento para producir la determinación final 530 del tipo de suelo. Sin embargo, como se ha descrito a continuación, el integrador 524 puede también estar configurado para efectuar alteraciones sustanciales del clasificador 520 del tipo de suelo basándose en la señal 526 de interconexión de solados y en la señal 528 de movimiento, y promoviendo una nueva clasificación de primer nivel del tipo de suelo.

La señal 526 de interconexión de solados es proporcionada por un módulo 504 de detección de interconexión de solados, que está configurado para procesar una señal 532 de datos procedente de la IMU 164 (por ejemplo, un cambio en el cabeceo cuando es detectado por un giroscopio en la IMU de seis ejes) para determinar si el robot 100 ha atravesado un umbral de superficie de suelo, o una interconexión del tipo de suelo. En implementaciones, la interconexión de tipos de suelo puede ser un umbral de entrada elevada o la interconexión entre el solado de madera y una alfombra de área, por ejemplo. De manera similar al modelo 502 de detección del tipo de suelo, el módulo 504 de detección de interconexión de solados puede incluir un clasificador 534 de interconexión de solados. El clasificador 534 de interconexión de solados puede incluir un clasificador probabilístico (por ejemplo un filtro Bayesiano) que es capaz de predecir una distribución de probabilidad posterior sobre un conjunto de clases (por ejemplo, umbral, o interconexión de solados, presente o umbral no presente) basado en la señal 528 de movimiento. Como se ha indicado anteriormente, la detección de un umbral (o discontinuidad del solado, puede sugerir un cambio en el tipo de suelo). Así, cuando la señal 526 de interconexión de solado indica que el robot 100 ha atravesado un umbral, o discontinuidad de solado, el proceso

de clasificación del integrador 524 es más probable que produzca una determinación final 530 del tipo de suelo que indica un cambio en el tipo de suelo. Además, en algunos ejemplos, cuando la señal 526 de interconexión de solados indica que el robot 100 ha atravesado un umbral, o discontinuidad de solado, el integrador 524 puede instigar un cambio en el clasificador 520 de tipo de suelo para superar temporalmente su naturaleza conservadora inherente. Por ejemplo, el clasificador 520 del tipo de suelo puede ser alterado para que sea más liberal reduciendo el límite de confianza (por ejemplo disminuyendo el límite de confianza desde una probabilidad posterior de aproximadamente 90% aproximadamente 30%) y/o descontando o eliminando evidencia pasada del tipo de suelo.

La señal 528 de movimiento incluye datos que describen un estado de movimiento del robot 100 (por ejemplo velocidad, orientación, etc.), y es considerada por el integrador 524 en combinación con el estado 529 de la cabeza de limpieza (por ejemplo rodillos detenidos 110, 112, velocidad de rodillo mandada en función de la velocidad de rodillo medida). Por ejemplo, la señal 528 de movimiento puede incluir las órdenes de accionamiento utilizadas para operar los motores 158, 160 de ruedas motrices. En algunos ejemplos, el integrador 524 instiga un cambio en el clasificador 520 del tipo de suelo basándose en la señal 528 del movimiento para limitar las determinaciones de falsos positivos de un cambio de tipo de suelo y/o basándose en el estado 529 de la cabeza de limpieza. Por ejemplo, el clasificador 520 del tipo de suelo puede ser alterado para ser crecientemente conservador cuando la señal 528 de movimiento indica que el robot 100 está girando en su sitio o girando gradualmente para trazar una trayectoria curva o si los rodillos 110, 112 están detenidos. Como ejemplo, el límite de confianza del clasificador 520 del tipo de suelo puede ser incrementado en proporción al radio de giro del robot indicado por la señal 528 de movimiento, correspondiendo un radio de giro más corto a un límite de confianza más elevado, y viceversa. Como otro ejemplo, si el robot 100 está girando en su sitio, el circuito controlador puede asumir de modo seguro que el robot 100 ha permanecido en su sitio y no se ha movido sobre un tipo de solado diferente. En implementaciones, la clasificación del tipo de suelo puede ser suspendida temporalmente cuando el radio de giro cae por debajo de un límite de giro predeterminado. El umbral para suspender la clasificación es calculado dinámicamente basándose en la velocidad del robot 100. Para evitar la suspensión de la clasificación a una velocidad superior de (306 mm/s) el robot 100 gira más cerrado (por ejemplo 2-8 grados por segundo y preferiblemente 5 grados por segundo). En otras implementaciones, el robot 100 puede girar más gradualmente sin suspender la clasificación del tipo de suelo si el robot se está moviendo más lentamente.

Una vez que el integrador 524 recibe la clase 522 de tipo de suelo en bruto, la señal 526 de interconexión de solado, la señal 528 de movimiento, y el estado 529 de cabeza de limpieza, el integrador 524 hace una determinación final 530 del tipo de suelo ajustando la probabilidad de un cambio de tipo de solado basándose en que el movimiento del robot 100, el estado de la cabeza de limpieza del robot 100 y/o cualquier indicación de un umbral o discontinuidad de solado, es detectado por la IMU 164. Si el integrador 524 ha determinado que el tipo de suelo ha cambiado, por ejemplo de solado duro a solado blando, el circuito controlador 128 aumentará la velocidad del motor del ventilador 114 en el contenedor de limpieza 116 y por ello aumentará la succión de vacío para extraer residuos más efectivamente desde el pelo de la moqueta. Si el integrador 524 ha determinado que el tipo de suelo ha cambiado por ejemplo desde un solado de superficie texturizada o que cede a una superficie de solado maciza, el circuito controlador 128 disminuirá la velocidad del motor en el ventilador 114, silenciando el robot 100 y reduciendo la tasa de uso de batería debido a que la retirada de los residuos desde un tipo de suelo duro requiere menos succión que extraer residuos de las fibras de una moqueta, particularmente densa y/o una moqueta de pelo largo.

Las figs. 7A y 7B ilustran procesos ejemplares 700a, 700b para hacer funcionar un robot móvil 100 de limpieza de acuerdo con una o más técnicas de detección del tipo de suelo. Los procesos 700a, 700b pueden ser realizados por un dispositivo informático incorporado, por ejemplo el circuito controlador 128 de la fig. 3. Así, con propósitos de ilustración, los procesos 700a, 700b serán descritos como siendo realizados por el circuito controlador 128 y otros distintos componentes del robot 100.

De acuerdo con el proceso 700a, el controlador vigila (702) múltiples señales de sensor y señales de potencia para determinar un cambio del tipo de suelo, incluyendo una señal procedente de la IMU 164. La señal de la IMU puede incluir datos que describen la velocidad angular, o cabeceo, del robot 100 con relación a un eje vertical (tal como puede ser producido por un sensor giroscópico de una IMU de seis ejes), datos que describen la aceleración lineal del robot 100 a lo largo del eje vertical (tal como puede ser producido por un acelerómetro de una IMU de seis ejes) o una combinación de tales datos. El integrador 524 considera entonces esta señal de IMU y determina (704) si ha habido un cambio en el tipo de suelo basado, en parte, en la señal de IMU que indica que el robot 100 ha cabeceado y/o se ha inclinado mientras está desplazándose sobre una discontinuidad de solado o umbral. Así, en algunos ejemplos, el controlador recibe una determinación desde el integrador 524 de que ha habido un cambio en el tipo de suelo si la señal de IMU refleja una magnitud del movimiento vertical (por ejemplo, un cabeceo hacia arriba o hacia abajo, y/o una inclinación lateral causada por una rueda motriz que cae más baja que otra) que es mayor que un valor predeterminado indicativo de una probabilidad elevada de cambio en el tipo de suelo. En algunos ejemplos, el circuito controlador 128 implementa una rutina de clasificación (por ejemplo un filtro Bayesiano) basado en la señal de IMU para determinar una probabilidad de que el robot 100 ha atravesado un umbral de solado, o discontinuidad de solado. En algunos ejemplos, el circuito controlador 128 vigila además una señal procedente del sensor táctil del parachoques frontal para determinar si el robot 100 ha atravesado un umbral de solado o una discontinuidad de solado, o una interconexión de solados elevada entre tipos de solado (por ejemplo una interconexión entre pelo corto, dura y pelo largo, blanda). En particular, un cambio detectado en el cabeceo del robot sin un contacto detectado correspondiente con un obstáculo en el parachoques frontal

106 puede servir como una señal fiable de una interconexión de solado transversal indicativa de un cambio potencial en el tipo de solado.

Una vez que el integrador 524 hace una determinación del tipo de suelo, el circuito controlador 128 determina (704) si el tipo de suelo ha cambiado y si alterar (706) una característica de limpieza del robot 100. Alterar una característica de limpieza puede incluir alterar la velocidad del motor de cepillo lateral que acciona el cepillo lateral 122 y/o alterar la velocidad del motor de ventilador de succión que acciona el ventilador de vacío 114 en el contenedor de limpieza. En algunos ejemplos, el circuito controlador 128 puede alterar una característica de limpieza del robot 100 para aumentar la potencia de limpieza (por ejemplo aumentando la velocidad del motor de cepillo lateral 122 y/o aumentando la velocidad del ventilador 114 de vacío) cuando el cambio de tipo de suelo es de una superficie dura a una superficie blanda, y disminuir la potencia de limpieza (por ejemplo, disminuyendo la velocidad del motor del cepillo lateral 122 y/o aumentando la velocidad del ventilador 114 de vacío) cuando el cambio en el tipo de suelo es de una superficie blanda o que cede a una superficie dura o maciza. Aumentando selectivamente la potencia de limpieza sobre una superficie blanda o que cede, que puede ser más difícil de limpiar que una superficie dura o maciza debido a los residuos atrapados y enredados en las fibras largas y/o grietas texturizadas, y disminuyendo la potencia de limpieza sobre una superficie dura, el circuito controlador 128 puede optimizar el consumo de batería del robot 100 para aumentar la longitud de misiones de limpieza entre sesiones de recarga. Como otra ventaja, disminuir la potencia de limpieza cuando el robot 100 atraviesa una superficie maciza puede impedir el daño en un material de solado delicado (por ejemplo, una superficie de suelo de tatami) y/o reducir el ruido producido por el robot 100 durante la limpieza de la superficie.

De acuerdo con el proceso 700b, el circuito controlador 128 vigila (752) una pluralidad de señales de sensor del motor. Las señales del sensor del motor pueden incluir datos correspondientes a la corriente del motor, tensión de la batería, y señales de control del motor del rodillo. El circuito controlador 128 calcula entonces (754) una señal de potencia basándose en las señales de sensor del motor, y determina (756) si ha habido un cambio en el tipo de suelo basándose en la señal de potencia. En algunos ejemplos, el controlador determina que ha habido un cambio en el tipo de suelo comparando la señal de potencia a un conjunto de intervalos de señal de potencia predeterminados. En tales ejemplos, el controlador puede identificar positivamente un cambio de suelo cuando la señal de potencia cae dentro de un intervalo correspondiente al tipo de suelo que difiere del tipo de suelo actual. En algunos ejemplos, el controlador implementa una rutina de clasificación (por ejemplo un filtro Bayesiano) basándose en la señal de potencia para determinar una probabilidad de que ha habido un cambio en el tipo de suelo. Si el controlador determina (756) que no ha habido un cambio en el tipo de suelo, reanuda la vigilancia (752) de las señales de sensor del motor. Si el controlador determina (756) que ha habido un cambio en el tipo de suelo, altera de manera apropiada (758) una característica de limpieza del robot (como se ha descrito anteriormente), y reanuda entonces la vigilancia (752) de las señales del sensor del motor.

La fig. 8 ilustra aún otra proceso ejemplar 800 para operar un robot móvil de limpieza de acuerdo con las técnicas de detección del tipo de suelo. El proceso 800 puede ser realizado por un dispositivo informático incorporado, por ejemplo, el circuito controlador 128 de la fig. 3. Así, con propósitos de ilustración, el proceso 800 será descrito como siendo realizado por el circuito controlador 128 y otros distintos componentes del robot 100.

De acuerdo con el proceso 800, el controlador vigila (802) simultáneamente una pluralidad de entradas. El circuito controlador 128 vigila una pluralidad de señales (804) de sensor del motor que pueden incluir datos correspondientes a la corriente del motor, la tensión de la batería y las señales de control del motor del rodillo. El controlador calcula entonces (806) una señal de potencia basándose en las señales del sensor del motor, filtra (808) la señal de potencia de los motores del rodillo y determina (810) una clase de tipo de suelo en bruto basándose en la señal de potencia. Como se ha descrito anteriormente, el circuito controlador 128 puede determinar la clase de tipo de suelo en bruto implementando una rutina de clasificación probabilística (por ejemplo un filtro Bayesiano) para calcular la probabilidad posterior del tipo de suelo actual (por ejemplo, suelo duro o suelo blando) o el estado del rodillo (por ejemplo estado bajo o estado en exceso).

El circuito controlador también vigila (812) una o más señales del movimiento y calcula (814) la probabilidad de que el robot 100 esté realizando una orden de movimiento indicativa de que no hay cambio de tipo de solado, tal como un giro en el movimiento en su sitio o un giro siguiendo un arco cerrado. El circuito controlador también vigila (816) el estado de la cabeza de limpieza y calcula (818) la probabilidad de que el estado de la cabeza de limpieza indique un cambio de señal de potencia basándose en una razón distinta de un cambio de tipo de suelo, por ejemplo una parada del motor de rodillo o una velocidad del rodillo medida real que no corresponde a la velocidad ordenada.

El circuito controlador 128 también vigila (820) una señal procedente de la IMU 164. La señal de la IMU puede incluir datos que describen la velocidad angular del robot 100 con relación a un eje vertical (tal como puede ser producido por un sensor giroscópico que detecta un cambio en el cabeceo del robot 100), datos que describen la aceleración lineal del robot 100 a lo largo del eje vertical (tal como puede ser producido por un acelerómetro) o una combinación de tales datos. El circuito controlador 128 calcula entonces (822) la probabilidad de que el robot 100 haya atravesado un umbral de solado o una interconexión de solado elevada (por ejemplo una interconexión entre una moqueta de pelo corto, dura y una moqueta de pelo largo, blanda). Como se ha descrito anteriormente, el controlador puede implementar una rutina de clasificación probabilística (por ejemplo, un filtro Bayesiano) basándose en la señal de IMU para calcular una probabilidad de que el robot 100 ha atravesado un umbral de solado o una interconexión de solado elevada.

En una implementación, si el circuito controlador 128 determina (810) que el robot ha atravesado un umbral de suelo o una interconexión de solados elevada, el integrador 524 considera esto en la determinación de si el tipo de suelo ha cambiado y si el circuito controlador 128 necesita alterar (812) la rutina de clasificación del tipo de suelo. Por ejemplo, el circuito controlador 128 puede alterar la rutina de clasificación del tipo de suelo para disminuir el carácter conservador de la rutina, de tal modo que el clasificador es menos resistente a cambiar. En otra implementación, el controlador integra simultáneamente (824) datos procedentes de una o más de cada una de las entradas vigiladas determinando si el tipo de suelo ha cambiado y si el circuito controlador 128 necesita alterar la clasificación del tipo de suelo y una característica de limpieza del robot 100. En una implementación, el circuito controlador 128 integra simultáneamente (824) la determinación del tipo de suelo en bruto, la probabilidad calculada de que el robot 100 está realizando una orden de movimiento indicativa de que no hay cambio de tipo de solado, la probabilidad calculada de que el estado de la cabeza de limpieza indica un cambio de señal de potencia del motor del rodillo basándose en una razón distinta del cambio del tipo de suelo, y la probabilidad calculada de que el robot 100 ha atravesado un umbral/interconexión de solados elevada. Aún en otras implementaciones, el circuito controlador 128 vigila el consumo de corriente del cepillo lateral 122 y/o el consumo de corriente de los motores del rodillo y compara los datos a las distribuciones de probabilidad aprendidas que asocian estos consumos de corriente con tipos de solado particulares. El circuito controlador 128 hace (826) una determinación final del tipo de suelo y considera (828) si ha habido un cambio en la clasificación del tipo de suelo basándose en los datos integrados. Si el circuito controlador 128 determina que no ha habido un cambio en el tipo de suelo, el circuito controlador 128 reanuda la vigilancia (802) de las entradas. Si el circuito controlador 128 determina que ha habido un cambio en el tipo de suelo, altera de manera apropiada (830) una característica de limpieza del robot 100 (como se ha descrito anteriormente), y a continuación reanuda (832) la vigilancia (802) de las señales del sensor del motor.

Volviendo de nuevo a la fig. 3, en algunos ejemplos el circuito controlador 128 está configurado para operar el módulo 137 de comunicaciones inalámbricas para comunicar información que describe un estado del robot 100 a un dispositivo móvil remoto adecuado, tal como uno operado por un usuario. Por ejemplo, el circuito controlador 128 puede operar el módulo 137 de comunicaciones inalámbricas para notificar a un usuario que opera el dispositivo móvil de que los rodillos de limpieza 110, 112 están funcionando mal (por ejemplo, los rodillos pueden estar desgastados o atascados). Como se ha descrito anteriormente, el circuito controlador 128 puede determinar el estado de los rodillos 110, 112 basándose en una señal correspondiente al consumo de potencia del motor 113 del rodillo. Por ejemplo, cuando el controlador detecta un estado por encima basándose en la señal de consumo de potencia, puede determinar que los rodillos han resultado atascados; y cuando el controlador detecta un estado bajo, puede determinar que los rodillos están desgastados o dañados. El dispositivo móvil adecuado puede ser cualquier tipo de dispositivo informático móvil (por ejemplo, teléfono móvil, teléfono inteligente, PDA, ordenador tipo tableta, u otro dispositivo portátil), y puede incluir, entre otros componentes, uno o más procesadores, medios legibles por ordenador que almacenen aplicaciones de software, dispositivos de entrada (por ejemplo, teclados, pantallas táctiles, micrófonos y similares), dispositivos de salida (por ejemplo pantallas de presentación, altavoces, y similares), e interfaces de comunicaciones.

En el ejemplo representado en las figs. 9A-9C, el dispositivo móvil 900 está previsto en forma de un teléfono inteligente. Como se ha mostrado, el dispositivo móvil 900 es operable para ejecutar una aplicación de software que presenta información de estado recibida desde el robot 100 sobre una pantalla de presentación 902. En la fig. 9A, se presenta un aviso de que los rodillos de limpieza 110, 112 pueden estar desgastados o dañados en la pantalla de presentación 902 mediante elementos de interfaz de usuario tanto de texto 904 como gráficos 906. Elementos similares de interfaz de usuario puede ser desplegados sobre la pantalla de presentación 902 para indicar que los rodillos 110, 112 han resultado atascados. Además, en la fig. 9B, la pantalla de presentación 902 proporciona una o más opciones 908 de selección con "un clic" para comprar nuevos rodillos de limpieza para reemplazar el conjunto actual que ya no funciona apropiadamente. Además en el ejemplo ilustrado, los elementos 910 de interfaz de usuario de texto presentan una o más opciones de precio representadas junto con el nombre de un vendedor correspondiente en línea.

En los ejemplos anteriores, la aplicación de software ejecutada por el dispositivo móvil 900 está mostrada y descrita como que proporciona indicaciones del tipo de alerta a un usuario de que se requiere mantenimiento del robot 100. Sin embargo, en algunos ejemplos, la aplicación de software está configurada para proporcionar actualizaciones de estado a intervalos de tiempo predeterminados. Además, en algunos ejemplos, el circuito controlador 128 detecta cuando el dispositivo móvil 900 entra en la red, y en respuesta a esta detección, proporciona una actualización de estado de uno o más componentes para que sea presentado en la pantalla de presentación 902 mediante la aplicación de software. Aún más, la aplicación de software puede ser operable para proporcionar otros tipos distintos de pantallas y elementos de interfaz de usuario que permitan a un usuario controlar el robot 100, tal como se ha mostrado y descrito en la Publicación de Patente de los EE.UU 2014/0207282, y en la Publicación de Patente de los EE.UU 2014/0207280, cuya totalidad está incorporada por referencia.

Aunque esta memoria contiene muchos detalles específicos, estos no deberían ser considerados como limitaciones del marco de la descripción o de lo que puede ser reivindicado, sino en su lugar como descripciones de características específicas a implementaciones particulares de la descripción. Ciertas características que están descritas en esta memoria en el contexto de implementaciones separadas pueden también ser implementadas en combinación en una única implementación. En sentido contrario, distintas características que están descritas en el contexto de una única implementación pueden también ser implementadas en múltiples implementaciones por separado o en cualquier sub-

combinación adecuada. Además, aunque pueden ser descritas características anteriormente como que actúan en ciertas combinaciones e incluso inicialmente reivindicadas como tal, una o más características procedentes de una combinación reivindicada pueden en algunos casos ser extirpadas de la combinación, y la combinación reivindicada puede ser dirigida a una sub-combinación o variación de una sub-combinación.

- 5 De manera similar, aunque se han representado operaciones en los dibujos en un orden particular, esto no debería entenderse como que se requiere que tales operaciones sean realizadas en el orden particular mostrado o en orden secuencial, o que sean realizadas todas las operaciones ilustradas, para conseguir resultados deseables. En ciertas circunstancias, el procesamiento multitarea y en paralelo puede ser ventajoso. Además, la separación de distintos componentes del sistema de las realizaciones descritas anteriormente no debería entenderse como que requiere tal separación en todas las realizaciones, y debería entenderse que los componentes y sistemas del programa descritos pueden ser integrados generalmente juntos en un único producto de software o empaquetados en múltiples productos de software.
- 10

**REIVINDICACIONES**

1. Un robot (100) de limpieza que comprende:  
un bastidor (102);  
un accionamiento (215) conectado al bastidor y configurado para accionar el robot a través de la superficie del suelo;
- 5 un conjunto (108) de cabeza de limpieza acoplado al bastidor y posicionado para aplicarse a la superficie del suelo mientras el robot es maniobrado por el accionamiento;  
caracterizado por un sensor (164) de movimiento que responde a cambios en el cabeceo, siendo transportado el sensor de movimiento por el bastidor; y
- 10 un circuito controlador (128) en comunicación con el conjunto (108) de cabeza de limpieza y el sensor (164) de movimiento, estando configurado el circuito controlador para determinar un tipo de solado o revestimiento asociado con una característica de limpieza del robot y configurado para alterar la característica de limpieza del robot en función de una señal procedente del sensor de movimiento indicativa de un cambio en el cabeceo provocado por el robot al atravesar una discontinuidad del solado.
2. El robot (100) de limpieza de la reivindicación 1, en el que el conjunto (108) de cabeza de limpieza comprende:
- 15 un rodillo frontal (110) motorizado montado giratoriamente paralelo a la superficie del suelo y configurado para hacer contacto y agitar la superficie del suelo durante su uso, y  
un rodillo posterior (112) montado giratoriamente paralelo a la superficie del suelo y separado del rodillo frontal por un pequeño espacio alargado (115).
3. El robot (100) de limpieza de la reivindicación 1 o 2, en el que el circuito controlador (128) está además configurado para:
- 20 detectar un cambio en el cabeceo del bastidor (102) basado en una realimentación procedente del sensor (164) de movimiento, estando causado el cambio en el cabeceo por el robot al atravesar una discontinuidad del solado;  
detectar un cambio en el funcionamiento del conjunto (108) de cabeza de limpieza; e
- 25 identificar un cambio en el tipo de solado de la superficie del suelo en respuesta a la detección del cambio en funcionamiento del conjunto (108) de la cabeza de limpieza transcurrido un tiempo predeterminado a partir de detección del cambio en el cabeceo.
4. El robot (100) de limpieza de la reivindicación 3, en el que el circuito controlador (128) está configurado para detectar un cambio en el funcionamiento del conjunto (108) de la cabeza de limpieza como un cambio en la resistencia a la rotación de un rodillo motorizado (110, 112) de la cabeza de limpieza correspondiente a un cambio detectado en la potencia generada por un motor (113) que acciona el rodillo.
- 30 5. El robot (100) de limpieza de la reivindicación 4, en el que el circuito controlador (128) está configurado para vigilar la potencia del motor en función de una o más magnitudes tales como la corriente del motor, la tensión de la batería y la velocidad del motor.
6. El robot (100) de limpieza de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además un contenedor de limpieza (116) llevada por el bastidor (102), y un ventilador accionado por el motor ubicado dentro del contenedor de limpieza para proporcionar una fuerza de succión que atrae los residuos al contenedor de limpieza, y
- 35 en el que alterar una característica de limpieza del robot comprende alterar la fuerza de succión.
7. El robot (100) de limpieza de la reivindicación 6, en el que alterar la fuerza de succión comprende al menos uno de:
- 40 aumentar la fuerza de succión en respuesta a una identificación por el circuito controlador (128) de un cambio al atravesar la discontinuidad del solado desde una superficie de suelo duro a una superficie de suelo blando; y  
disminuir la fuerza de succión en respuesta a una identificación por el circuito controlador (128) de un cambio al atravesar la discontinuidad del solado desde una superficie de suelo blando a una superficie de suelo duro.
8. El robot (100) de limpieza de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el sensor (164) de movimiento es una unidad de medición de inercia de seis ejes y comprende al menos un dispositivo de entre un giroscopio de tres ejes y un acelerómetro de tres ejes.
- 45 9. El robot (100) de limpieza de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el circuito controlador (128) está configurado para identificar un cambio en el tipo de solado al atravesar la discontinuidad de solado determinando un

cambio en una clase de la superficie del suelo.

10. El robot (100) de limpieza de la reivindicación 9, en el que el circuito controlador (128) está configurado para determinar una clase de la superficie del suelo basado en una señal que representa el funcionamiento del conjunto (108) de la cabeza de limpieza.
- 5 11. El robot (100) de limpieza de la reivindicación 10, en el que el circuito controlador (128) está configurado para determinar una clase de la superficie del suelo por al menos una de las siguientes acciones:
- dividir la señal basada en una pluralidad de intervalos predeterminados; y
- aplicar un modelo clasificador probabilístico.
- 10 12. El robot (100) de limpieza de la reivindicación 11, en el que el circuito controlador (128) está configurado para alterar el modelo clasificador probabilístico en respuesta a una detección de un cambio en el cabeceo causado por el robot al atravesar una discontinuidad del solado, y en el que alterar el modelo clasificador probabilístico comprende aumentar una probabilidad de un cambio de tipo de suelo y/o reiniciar un tipo de suelo actual.
13. El robot (100) de limpieza de la reivindicación 11 o de la reivindicación 12, en el que el modelo clasificador probabilístico comprende un filtro Bayesiano.
- 15 14. El robot (100) de limpieza de la reivindicación 9, en el que el circuito controlador (128) está configurado para determinar una clase de la superficie del suelo integrando datos procedentes de una pluralidad de entradas vigiladas, incluyendo las entradas al menos una de entre: una señal de estado de la cabeza de limpieza, una señal de movimiento, y una señal de unidad de medición de inercia.
- 20 15. El robot de limpieza de cualquiera de las reivindicaciones 9-14, en el que el circuito controlador (128) está configurado para suspender una nueva clasificación de la superficie del suelo cuando el robot es accionado siguiendo un arco por el accionamiento (215).

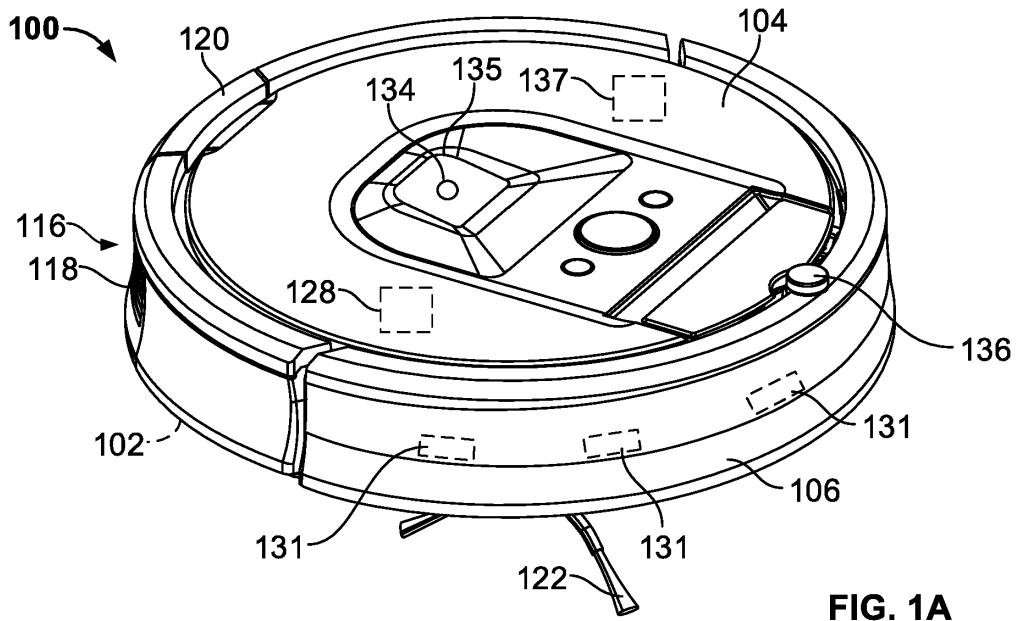


FIG. 1A

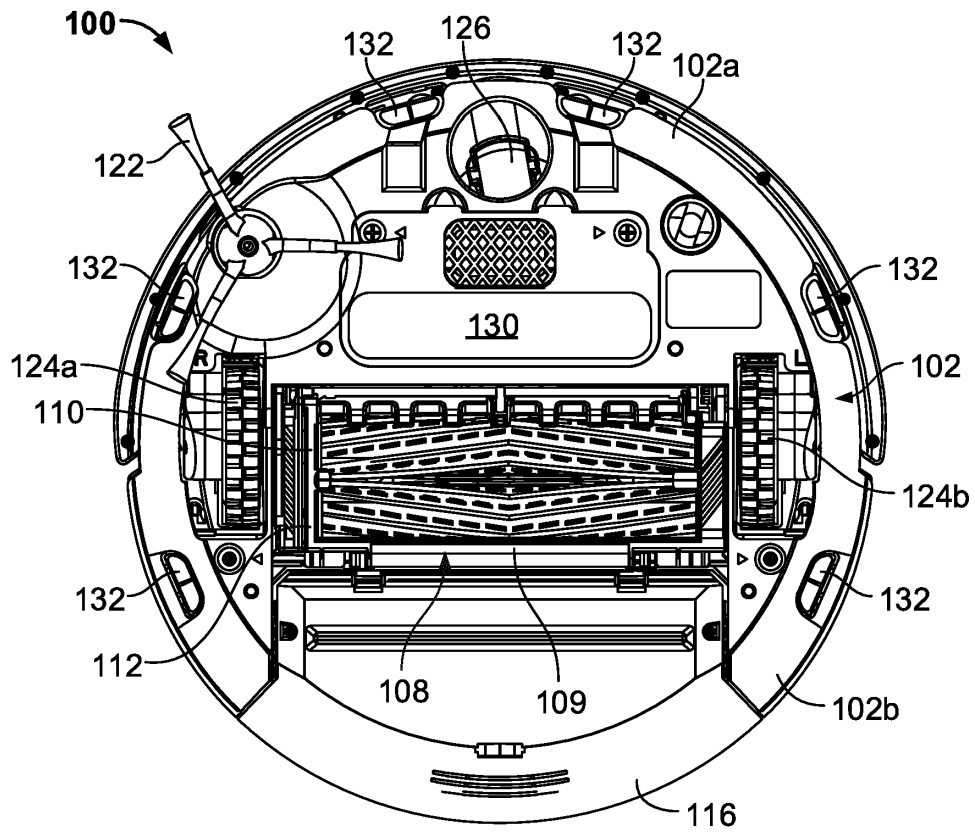


FIG. 1B



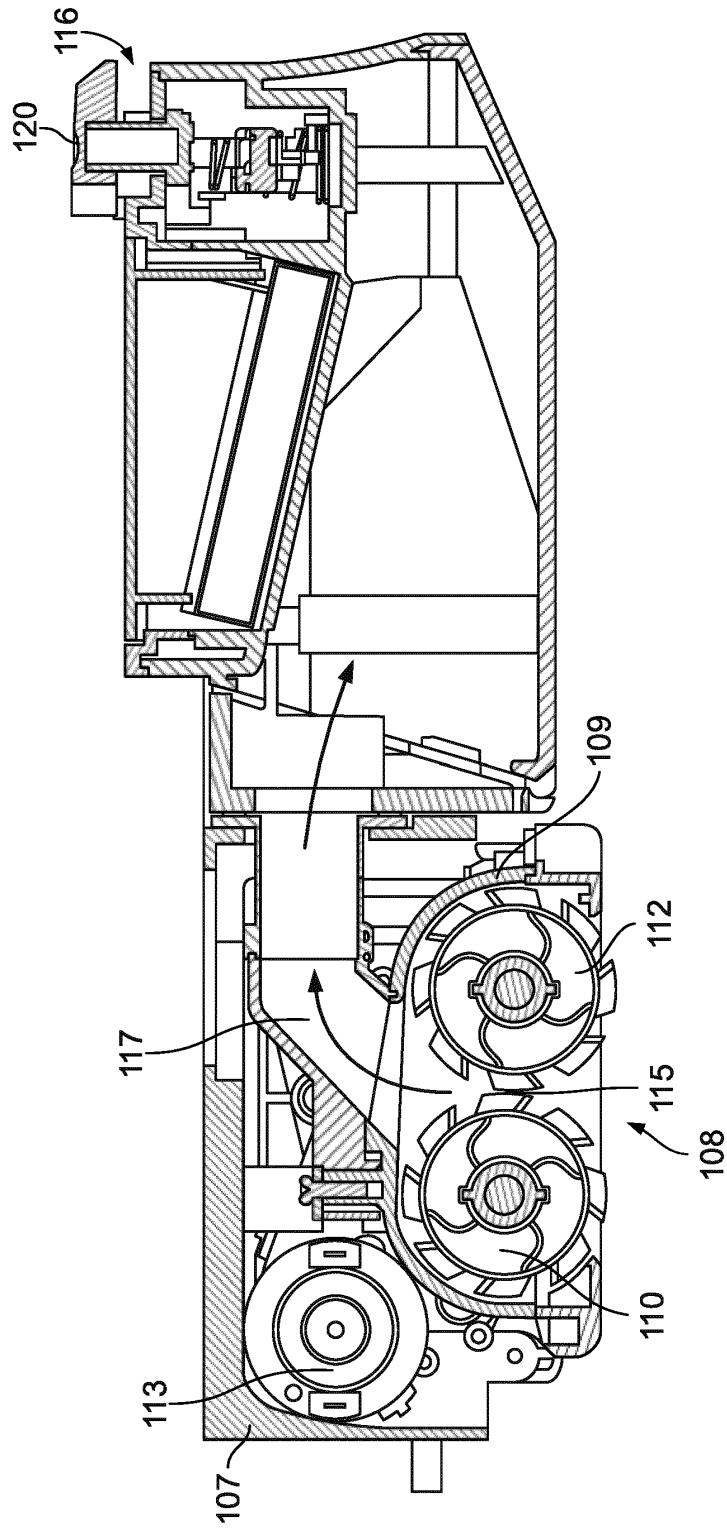


FIG. 2A

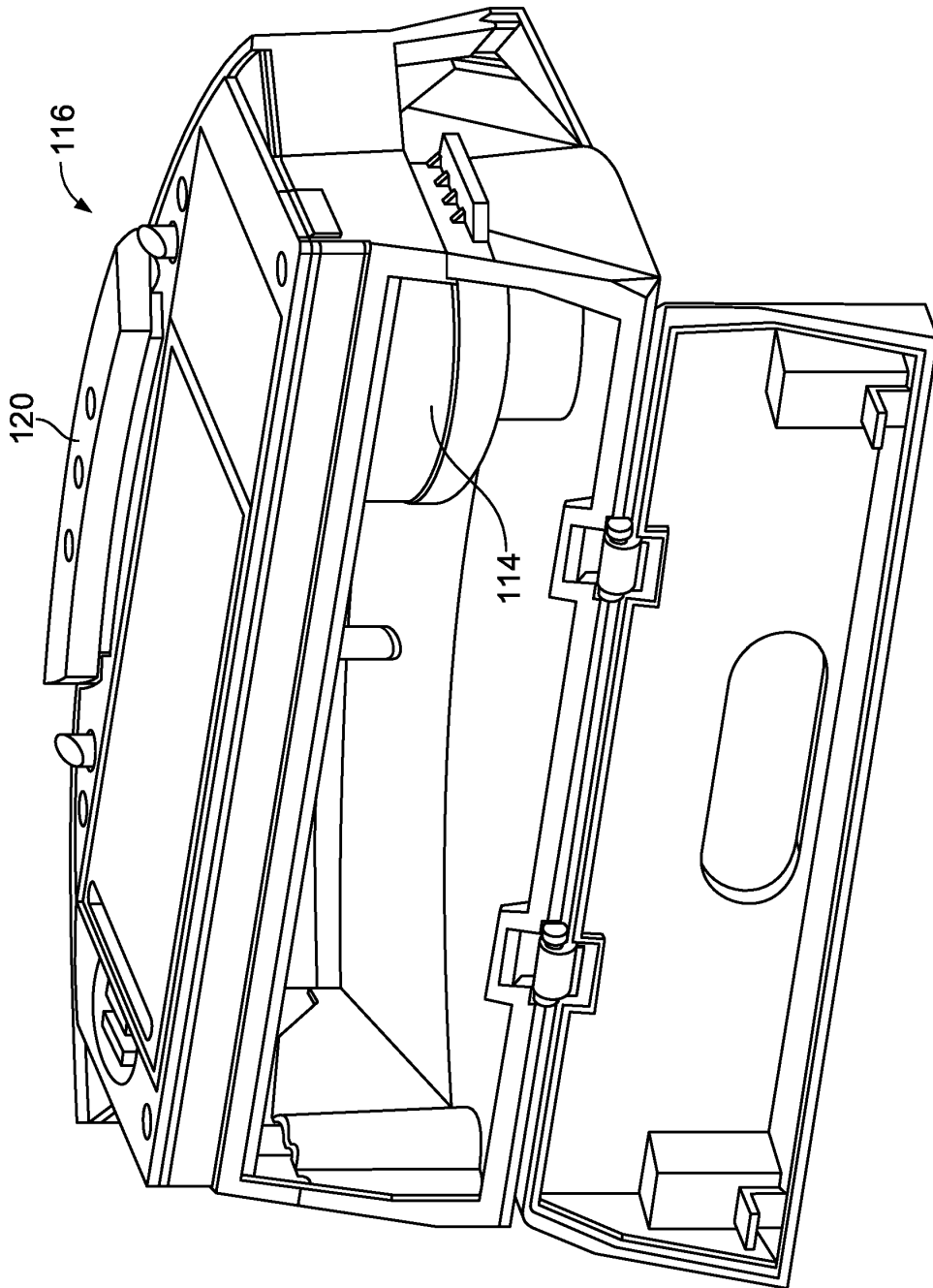


FIG. 2B

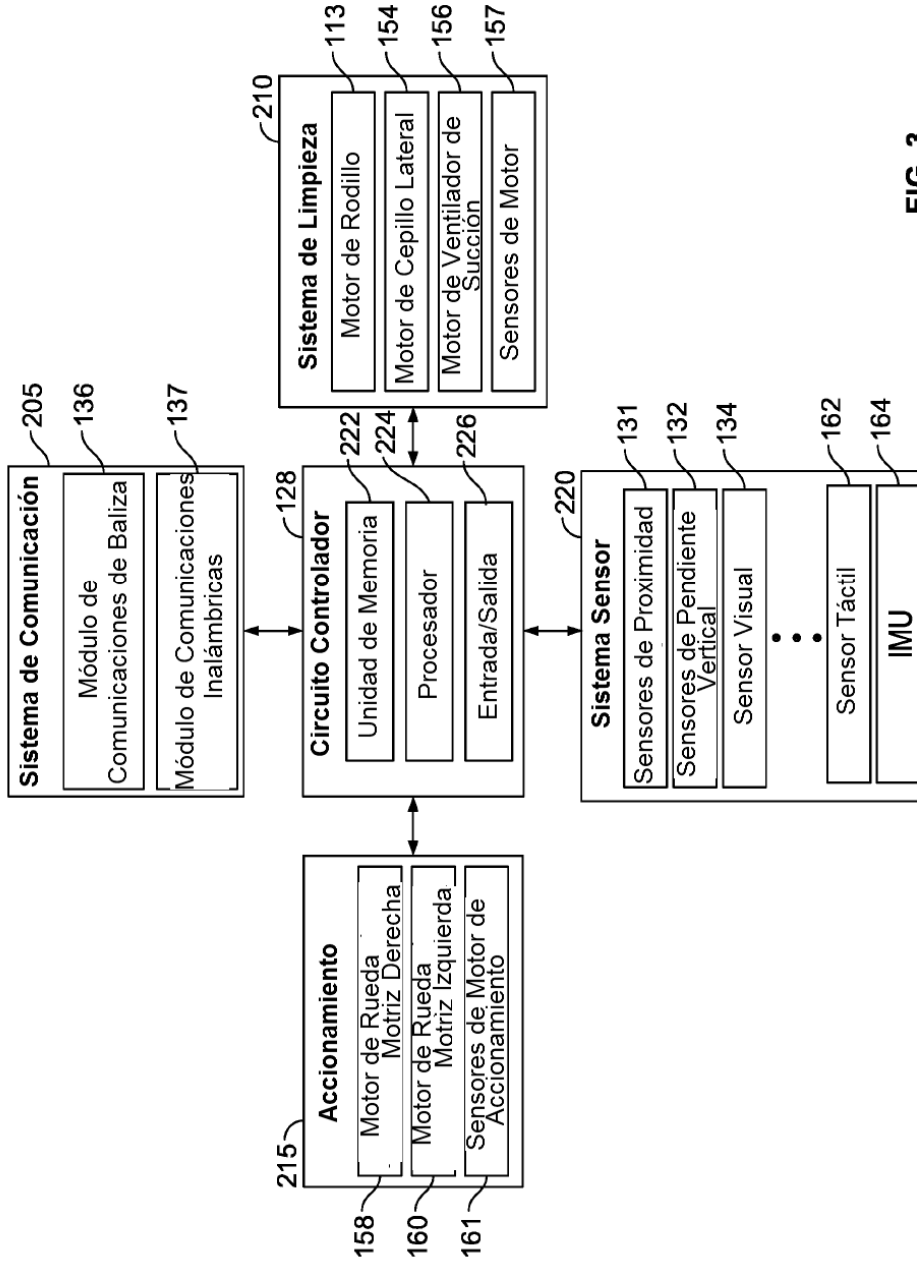


FIG. 3

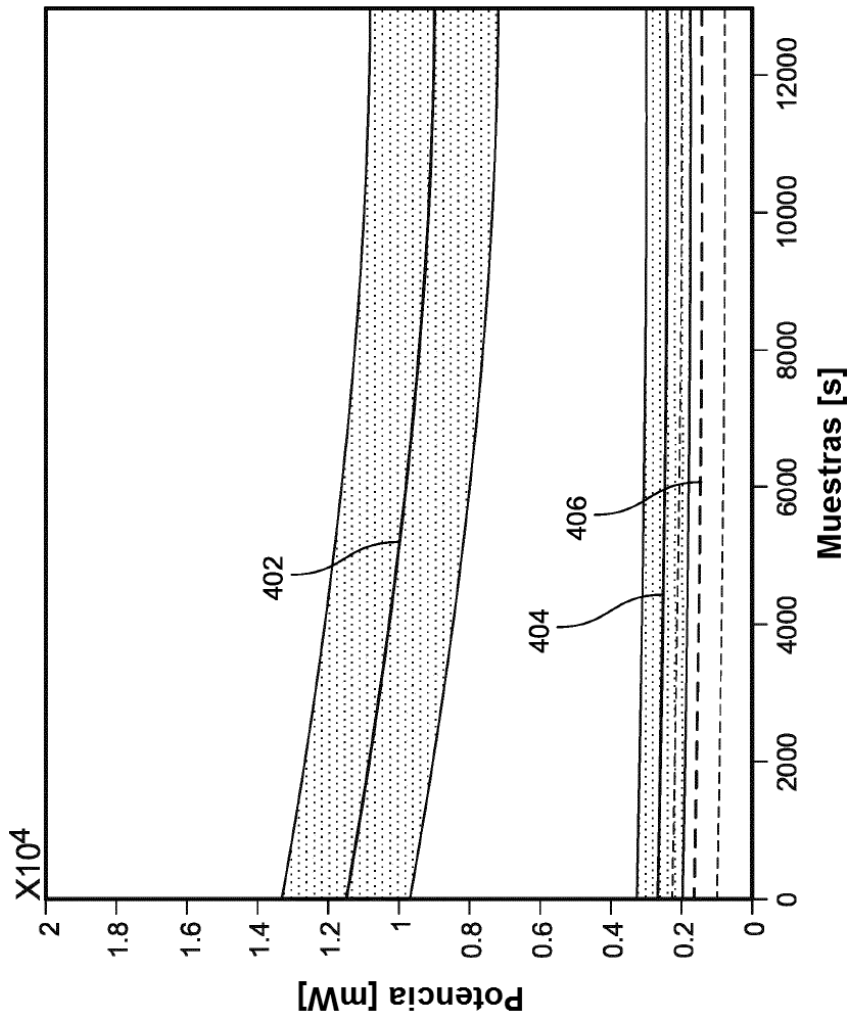


FIG. 4

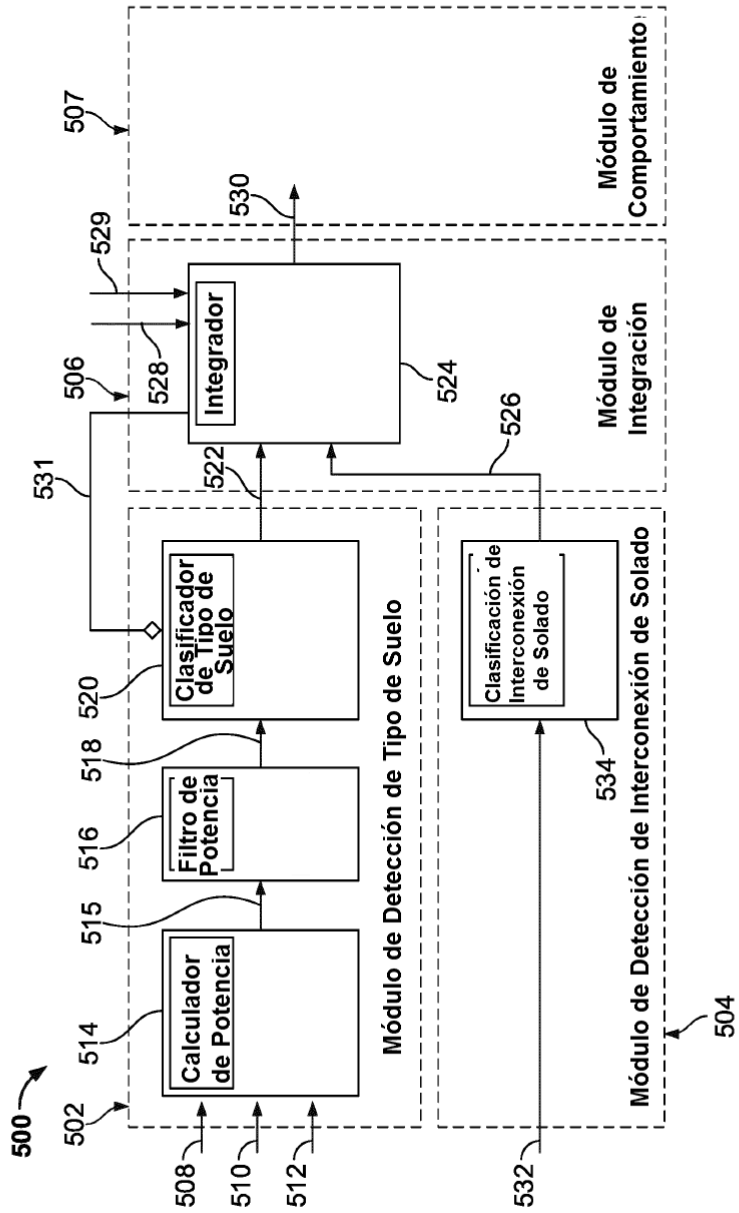


FIG. 5

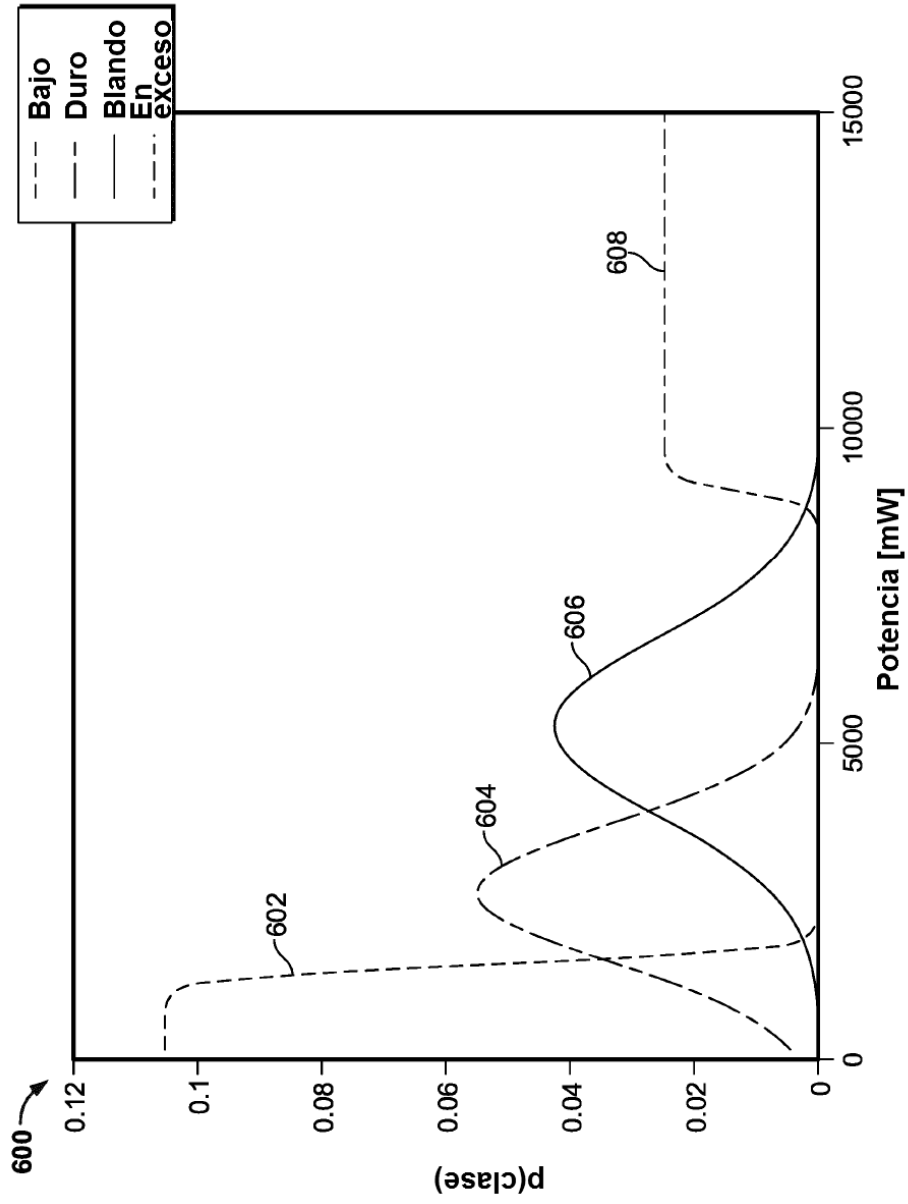


FIG. 6

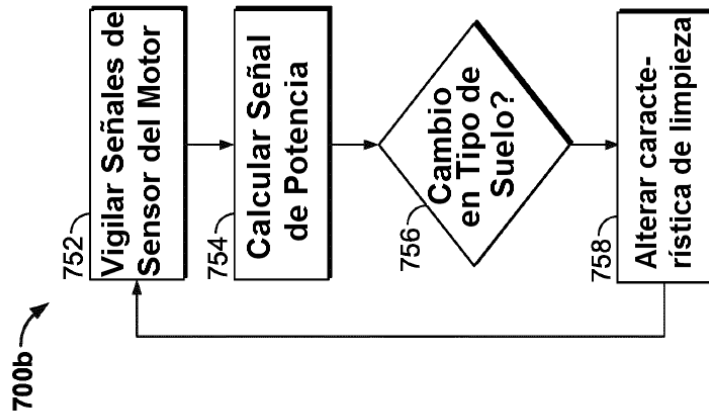


FIG. 7B

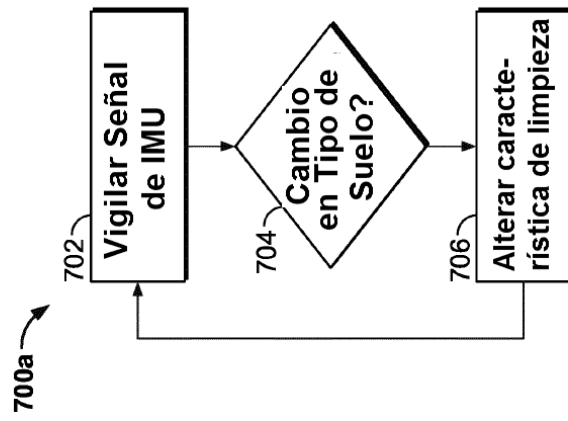


FIG. 7A

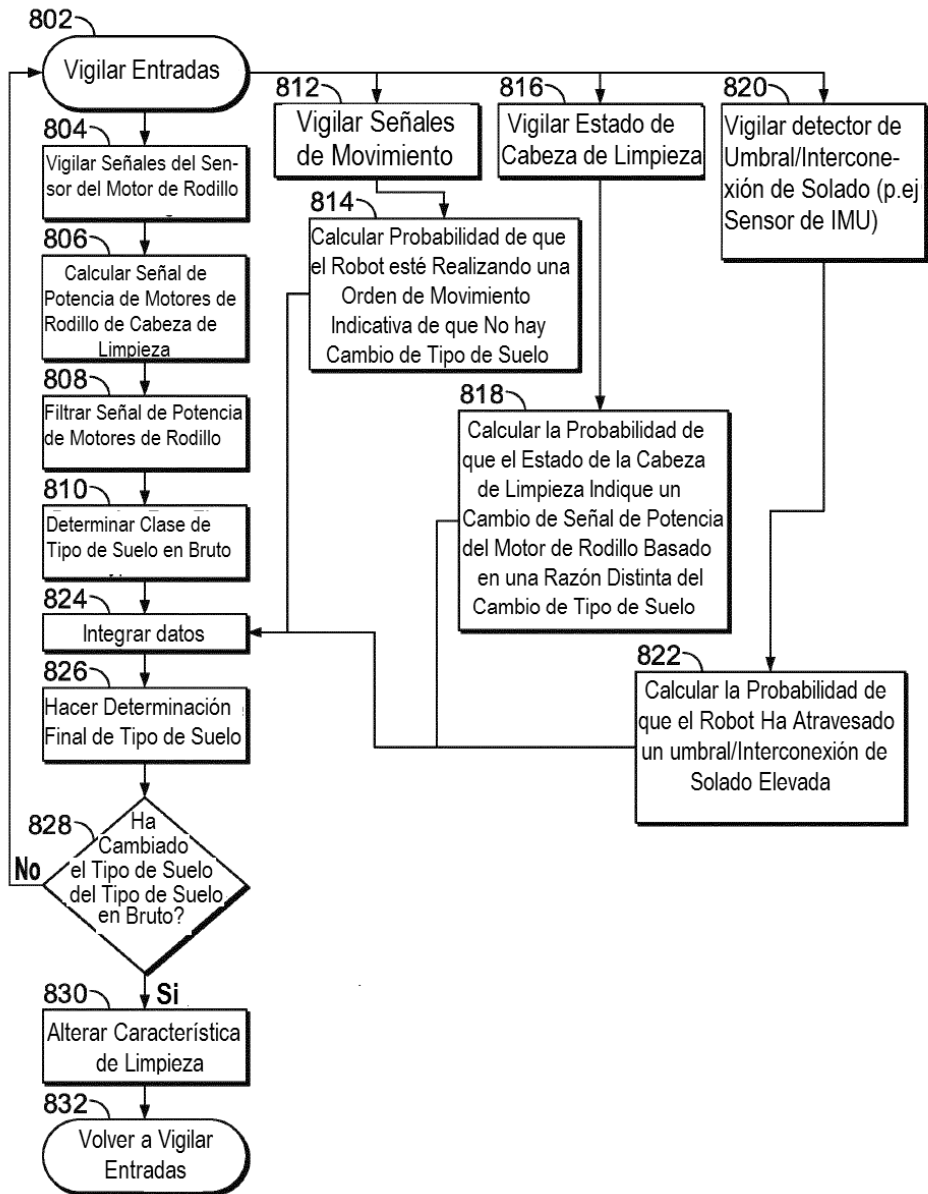


FIG. 8



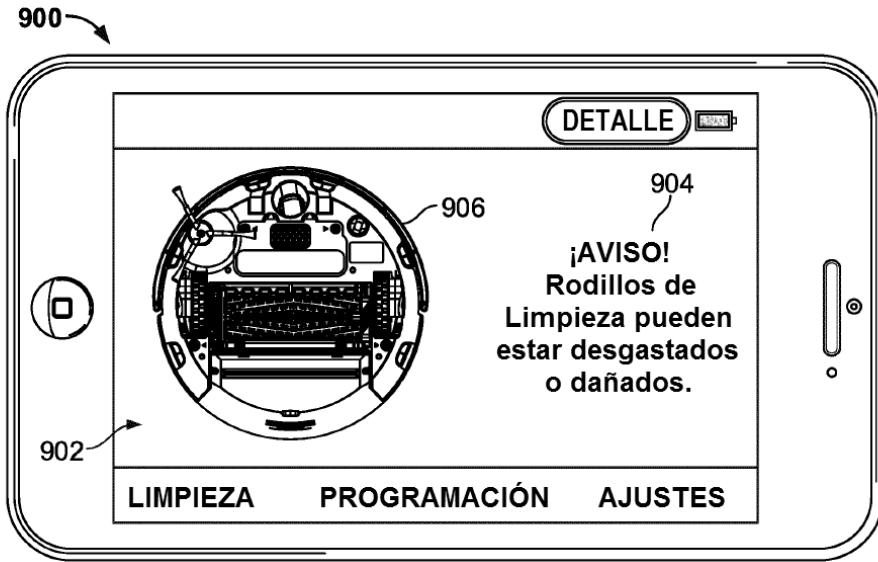


FIG. 9A

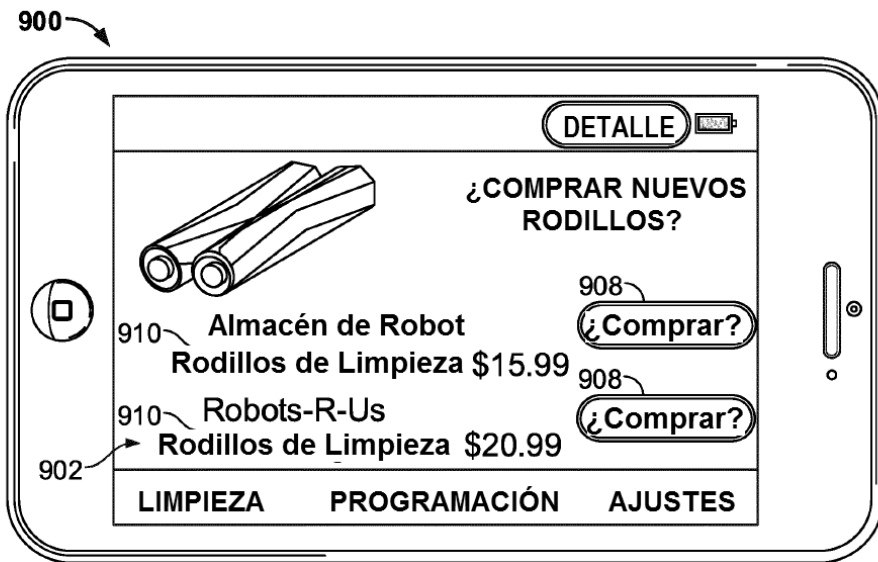


FIG. 9B