

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 742 028**

51 Int. Cl.:

**G01C 5/06** (2006.01)

**A61B 5/11** (2006.01)

**G08B 21/04** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.03.2013 PCT/IB2013/051910**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.09.2013 WO13136251**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.03.2013 E 13718228 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.05.2019 EP 2825840**

54 Título: **Monitorización del cambio de altura de un dispositivo que usa un sensor de presión de aire**

30 Prioridad:

**13.03.2012 US 201261609977 P**

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

**12.02.2020**

73 Titular/es:

**KONINKLIJKE PHILIPS N.V. (100.0%)  
High Tech Campus 5  
5656 AE Eindhoven , NL**

72 Inventor/es:

**TEN KATE, WARNER RUDOLPH THEOPHILE**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

ES 2 742 028 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**

Monitorización del cambio de altura de un dispositivo que usa un sensor de presión de aire

## 5 Campo técnico de la invención

La invención se relaciona con un dispositivo que incluye un sensor de presión de aire, y en particular se relaciona con un método para monitorizar el cambio de altura del dispositivo que tiene una precisión mejorada y con un aparato que implementa el método.

10

## Antecedentes de la invención

La caída es un problema importante en el cuidado de los ancianos que puede conducir a la morbilidad y la mortalidad. Desde una perspectiva física, las caídas causan lesiones, mientras que desde la perspectiva mental, las caídas causan miedo a caer, lo que a su vez conduce al aislamiento social y la depresión.

15

Están disponibles sistemas de detección de caídas que pueden proporcionar un medio automatizado y confiable para detectar cuándo un usuario ha caído. Si se detecta una caída, el sistema emite una alarma que solicita ayuda para el usuario. Esto asegura al usuario que se tomarán las medidas adecuadas en caso de que ocurra una caída.

20

En general, los detectores de caídas se basan en un acelerómetro (usualmente un acelerómetro 3D que mide la aceleración en tres dimensiones) que forma parte de un dispositivo que se debe conectar al cuerpo del usuario. Las señales del acelerómetro se procesan para determinar si se ha producido una caída. Este procesamiento se puede realizar en el propio dispositivo o en una unidad base asociada.

25

La confiabilidad de la detección de caídas se puede mejorar haciendo uso de sensores adicionales que se pueden usar para detectar varias características diferentes que son características de una caída. Las características importantes incluyen el impacto del usuario con el suelo durante la caída (que también puede ser detectado por el acelerómetro) y un cambio de orientación a medida que el usuario cae (que puede ser detectado por el acelerómetro y/o por un magnetómetro y/o un giroscopio).

30

Como una caída puede definirse como "un evento que hace que una persona descanse involuntariamente en el suelo u otro nivel inferior", otra característica que puede detectarse es un cambio (principalmente una reducción) en la altura del dispositivo por encima del suelo. Con este fin, el documento EP 1642248 propone el uso de un sensor de presión de aire para detectar un cambio en la altura relativa medida por el dispositivo. Algunos sensores de presión de aire disponibles actualmente hacen uso de una membrana o diafragma para medir la presión de aire y son lo suficientemente sensibles para poder resolver los cambios de presión equivalentes a los cambios de altura del orden de 0.1 metros.

35

Típicamente, la presión  $P$  de aire medida por un sensor de presión en un dispositivo se convierte a la altitud  $H$  de acuerdo con

40

$$H = H_0 + 44330 \left( 1 - \left( \frac{P}{P_0} \right)^{0.19} \right), \quad (1)$$

donde  $H_0$  y  $P_0$  son la altitud y la presión del aire al nivel del mar respectivamente. Se comparan dos mediciones posteriores para determinar el cambio en la altura del dispositivo.

45

Sin embargo, esta fórmula de conversión es una fórmula complicada de implementar en un dispositivo electrónico. Típicamente, la conversión se debe ejecutar para cada muestra de medición, lo que supone una carga significativa para el consumo de energía de la batería. Aunque es posible simplificar esta ecuación aproximándola a un polinomio, cada muestra de medición debe pasar la rutina de conversión. Además, la expansión polinomial es una aproximación precisa al nivel del mar, pero se desvía cuando el sensor funciona a altitudes más altas (por ejemplo, más de 1000 m sobre el nivel del mar).

50

Es importante corregir estas y otras inexactitudes en el procesamiento, ya que los cambios de altura que un intento de detección de caída u otro algoritmo intentan monitorizar están cerca de la exactitud de detección del sensor de presión de aire (es decir, a menudo alrededor de 0.5 metros que ocurre cuando el sensor se usa en la muñeca o la cintura, donde el usuario es relativamente pequeño y/o cuando controla las caídas, o todo lo contrario, si se levanta desde una cama o una silla).

55

Por ejemplo, el documento DE 10 2008 049750 divulga la determinación de una caída de una persona si el valor de medición de un sensor de presión usado por la persona cumple con un criterio predeterminado.

60

Por lo tanto, existe la necesidad de una forma mejorada de procesar las mediciones de un sensor de presión de aire para determinar el cambio en la altura de un dispositivo que evite las imprecisiones presentes en los métodos de la técnica anterior.

5 Resumen de la invención

La invención proporciona que, en lugar de calcular la altitud H de acuerdo con la ecuación (1) para cada muestra de medición del sensor de presión de aire y comparar las altitudes calculadas para determinar si se ha excedido un cambio predeterminado en la altura del dispositivo, el umbral de detección para el cambio de altura se cambia a un umbral de cambio de presión correspondiente, y la diferencia entre dos mediciones de presión de aire se evalúa utilizando el umbral de cambio de presión.

Sin embargo, se sabe que hay una densidad diferente de aire a diferentes altitudes, lo que significa que hay un incremento de peso (presión) diferente con la disminución de la altura. Este efecto se explica en la conversión de altitud convencional (ecuación (1)), pero no se tiene en cuenta simplemente al evaluar el cambio de altura en el dominio de presión como se describe anteriormente. Por lo tanto, para superar este problema, la invención proporciona además que el umbral de cambio de presión se ajusta periódicamente o intermitentemente con base en la presión del aire ambiental en el dispositivo. En algunas realizaciones, se puede determinar un valor predeterminado para el umbral de cambio de presión utilizando, por ejemplo, la presión del aire a nivel del mar (típicamente 1013.25 hPa), o algún otro valor de presión de aire que esté preestablecido con base en la altitud típica a la que el dispositivo se va a usar. Este umbral de cambio de presión predeterminado se puede usar cuando el dispositivo se activa por primera vez y se puede actualizar a medida que el dispositivo recopila las mediciones reales de presión de aire.

En particular, de acuerdo con un primer aspecto de la invención, se proporciona un método para monitorizar un cambio en la altura de un dispositivo, de acuerdo con la reivindicación 1.

De este modo, este método evita la necesidad de convertir cada medición de presión de aire a una altitud, como en la técnica anterior, reduciendo el consumo de energía del proceso. En cambio, el umbral de cambio de presión se puede determinar en una etapa inicial (por ejemplo, durante la fabricación, la prueba o el inicio) a partir del cambio de altura requerido que se va a monitorizar y se puede determinar un valor predeterminado para la presión de aire ambiental, o el umbral de cambio de presión dinámicamente, a partir del cambio de altura requerido que se va a monitorizar y la presión del aire ambiental, permitiendo que el proceso tenga en cuenta las variaciones en la forma en que la presión cambia con la altitud. Como es poco probable que la altitud del dispositivo cambie en una cantidad significativa (es decir, del orden de 100 metros o más) en un corto espacio de tiempo, la adaptación del umbral de cambio de presión se puede realizar de manera relativamente infrecuente (es decir, a una tasa mucho menor que la tasa de muestreo de la presión del aire y, por ejemplo, cada minuto, cada 10 minutos, cada 30 minutos, cada hora, cada 90 minutos, etc.). Además, dado que un valor de diferencia de altura se debe convertir al dominio de presión, en lugar de un valor que representa la altura absoluta, se obtiene una mayor precisión en el cálculo.

Un problema adicional con los sensores de presión de aire, en particular los que hacen uso de una membrana o diafragma para medir la presión de aire, es que sus mediciones son sensibles a las aceleraciones experimentadas por el dispositivo, tal como la gravedad, y por lo tanto son sensibles a la orientación del dispositivo.

En particular, la gravedad y otras aceleraciones arrastran y empujan la membrana del sensor de presión y, por lo tanto, la medición de la presión depende de la magnitud y la dirección de la aceleración que actúa sobre el dispositivo que incorpora el sensor de presión. En particular, después de un cambio en la orientación, que, como se describió anteriormente, comúnmente ocurre durante una caída, este efecto de tracción/empuje puede resultar en que la diferencia de altura medida sea bastante diferente a la altura física real que se ha atravesado entre dos mediciones de presión de aire. Por lo tanto, para mediciones precisas, la altitud calculada debe corregirse o calibrarse para el efecto de las aceleraciones en la membrana.

Están disponibles técnicas que determinan un factor de calibración durante un paso de calibración que se realiza durante la fabricación o la prueba inicial del sensor. Sin embargo, también se ha encontrado que la calibración requerida es sensible a la presión en el entorno alrededor del sensor. En particular, cuando la presión ambiental es más baja (como en altitudes más altas), el efecto de tracción/empuje es relativamente mayor. Se ha observado que cuando, por ejemplo, se requiere una corrección debida a un cambio en la dirección de la gravedad a la medición de altitud de 0.2 metros cuando el sensor está a nivel del mar, se requiere una corrección debida a un mismo cambio de dirección a la medición de altitud de 0.3 metros cuando el sensor está a una altitud de aproximadamente 1600 metros.

Por lo tanto, para superar este problema, en algunas realizaciones de la invención, las mediciones de presión de aire se corrigen (calibran) para la orientación del dispositivo en el punto en que se tomó la medición. Al igual que la compensación de la presión de aire ambiental, esta calibración para la sensibilidad a las aceleraciones, tal como la gravedad, se realiza en el dominio de la presión, lo que hace que la corrección sea independiente de la altitud. En

particular, se determina la presión efectiva que la gravedad u otras aceleraciones superponen en la medición de la presión del aire, y esta presión efectiva se corrige en cada una de las mediciones de presión.

5 Por lo tanto, en realizaciones preferidas de la invención, el método comprende además los pasos para determinar la presión efectiva que la gravedad y/u otras aceleraciones superponen en cada una de las mediciones de presión de aire por el sensor y corrigen cada una de las mediciones de presión de aire para la presión efectiva determinada.

10 Preferiblemente, determinar la presión efectiva, que la gravedad y/u otras aceleraciones superponen en una medición de presión de aire, comprende obtener una medición de la aceleración que actúa sobre el dispositivo en o alrededor del momento en que se realizó la medición de la presión de aire en el dispositivo por el sensor y que determina la presión efectiva usando la medición de la aceleración y un factor de calibración.

15 Preferiblemente, el método comprende además los pasos para obtener una primera medición de la presión del aire en el dispositivo y una primera medición de la aceleración experimentada por el dispositivo mientras el dispositivo está en una primera orientación y no está sujeto a ninguna aceleración diferente a la gravedad, obteniendo una segunda medición de la presión del aire en el dispositivo y una segunda medición de la aceleración experimentada por el dispositivo mientras el dispositivo está en una segunda orientación que es opuesta a la primera orientación y no está sujeto a ninguna aceleración distinta de la gravedad y que determina el factor de calibración de las mediciones primera y segunda de la presión de aire y las mediciones primera y segunda de la aceleración.

20 Preferiblemente, el paso para determinar el factor de calibración comprende evaluar:

$$r = \frac{P_{\text{hacia arriba}} - P_{\text{hacia abajo}}}{a_{\text{hacia arriba}} - a_{\text{hacia abajo}}}$$

25 donde  $P_{\text{hacia arriba}}$  y  $P_{\text{hacia abajo}}$  son las mediciones primera y segunda de la presión del aire respectivamente, y  $a_{\text{hacia arriba}}$  y  $a_{\text{hacia abajo}}$  son las mediciones primera y segunda de la aceleración, y  $r$  es el factor de calibración.

30 De este modo, al calibrar las mediciones de la aceleración experimentada por el sensor y al adaptar el umbral de cambio de presión para la presión ambiental, la calibración y el cambio de presión observado se hacen independientes de la altitud.

35 Otro problema con las mediciones de la presión del aire es que la presión del aire depende de la temperatura ambiental. Una temperatura diferente implica una densidad diferente de la masa de aire. A la misma presión, pero menor densidad (es decir, temperatura más alta), un cambio de altitud dará como resultado un cambio de presión más pequeño o, después de la conversión (utilizando una fórmula de conversión que usa una temperatura fija), un cambio de altura más pequeño. Esta dependencia de la temperatura es menos severa para la calibración de orientación y aceleración anterior, pero puede ser relevante cuando se necesita la detección de diferencias de altura críticas (tal como en una aplicación de detector de caídas) y el sensor debe usarse tanto en el exterior como en el interior (ya que puede haber diferencias significativas de temperatura entre el interior y el exterior de los edificios).

40 Si bien es computacionalmente complicado tener en cuenta la temperatura en la conversión a altitud, se ha encontrado que es bastante sencillo hacerlo en el cálculo del umbral de cambio de presión. Dado que es necesario conocer la temperatura ambiental, la detección no puede incluirse en la misma carcasa que el sensor de presión de aire, ya que está cerca del cuerpo del usuario y las mediciones de temperatura no serán representativas de la temperatura ambiental. Por lo tanto, la información externa de ya sea un sensor de temperatura independiente o una base de datos u otra fuente de información se puede utilizar para determinar el umbral de cambio de presión.

45 En realizaciones preferidas, el método descrito anteriormente comprende además el paso de obtener una estimación o una medición de la temperatura del entorno alrededor del dispositivo y en el que el paso de determinar un umbral de cambio de presión comprende determinar el umbral de cambio de presión desde el umbral cambio de altura, al menos una de la pluralidad de mediciones de la presión del aire en el dispositivo y la estimación o medición de la temperatura del ambiente alrededor del dispositivo.

50 En las realizaciones preferidas, el paso de determinar un umbral de cambio de presión comprende evaluar  $\Delta P = -\gamma\Delta H$  donde  $\Delta P$  es el umbral de cambio de presión,  $\gamma$  depende de la presión del aire y la temperatura del entorno alrededor del dispositivo y  $\Delta H$  es el cambio de altura predeterminado.

En realizaciones particulares,  $\gamma$  está dado por  $\gamma = 0.13 \frac{P^{0.81}}{T}$  donde P es la medición de la presión del aire en el dispositivo y T es la estimación o medición de la temperatura del ambiente alrededor del dispositivo. Alternativamente,  $\gamma$  se aproxima usando una dependencia lineal,  $\gamma \propto \frac{P}{T}$ .

5 Algunas realizaciones preferidas adicionales del método se exponen a continuación.

En algunas realizaciones, el paso de determinar el umbral de cambio de presión comprende determinar el umbral de cambio de presión a partir del cambio de altura predeterminado y una estimación de la presión de aire a una altitud predeterminada. Este paso típicamente se puede realizar durante la fabricación, las pruebas o un procedimiento de configuración inicial para el dispositivo.

En otras realizaciones, el paso de determinar el umbral de cambio de presión comprende determinar un umbral de cambio de presión a partir del cambio de altura predeterminado y al menos una medición de la presión de aire en el dispositivo.

De acuerdo con la invención, el umbral de cambio de presión se actualiza periódicamente o de manera intermitente utilizando al menos una nueva medición de la presión de aire en el dispositivo.

En algunas realizaciones, el paso de determinar un umbral de cambio de presión se repite después de la expiración de un intervalo de tiempo predeterminado.

El paso de determinar un umbral de cambio de presión comprende preferiblemente evaluar  $\Delta P \propto -\gamma \Delta H$  donde  $\Delta P$  es el umbral de cambio de presión,  $\gamma$  depende de la presión y  $\Delta H$  es el cambio de altura predeterminado.

Preferiblemente,  $\gamma$  está dado por  $\gamma = (4.42 \times 10^{-4}) P^{0.81}$  donde P es la medida de la presión de aire en el dispositivo. Alternativamente,  $\gamma$  se aproxima usando una dependencia lineal,  $\gamma \propto P$ .

En realizaciones preferidas, el método comprende además el paso de promediar una pluralidad de mediciones para determinar una presión de aire promedio y en la que el paso de determinar un umbral de cambio de presión utiliza el cambio de altura predeterminado y la presión de aire promedio determinada.

En realizaciones preferidas, el paso de determinar si la altura del dispositivo ha cambiado más que el cambio de altura predeterminado comprende comparar el cambio determinado en la presión del aire con el umbral de cambio de presión determinado.

En realizaciones alternativas, el paso de determinar si la altura del dispositivo ha cambiado más que el cambio de altura predeterminado comprende normalizar el cambio determinado en la presión del aire y determinar la probabilidad de que la altura del dispositivo haya cambiado en más que el cambio de altura predeterminado del cambio normalizado en la presión del aire.

De acuerdo con un segundo aspecto de la invención, se proporciona un aparato para monitorizar un cambio en la altura de un dispositivo, de acuerdo con la reivindicación 9.

En realizaciones adicionales de la invención, el procesador en el aparato puede configurarse para realizar cualquiera de los otros pasos del método descritos anteriormente.

De acuerdo con un tercer aspecto de la invención, se proporciona un dispositivo de usuario que está configurado para ser usado por un usuario, comprendiendo el dispositivo de usuario un sensor de presión de aire que mide la presión de aire en el dispositivo de usuario; y un aparato como se describe anteriormente.

De acuerdo con un cuarto aspecto de la invención, se proporciona un sistema que comprende un dispositivo de usuario que está configurado para ser usado por un usuario, donde el dispositivo de usuario comprende un sensor de presión de aire que mide la presión de aire en el dispositivo de usuario; y una unidad base u otro dispositivo electrónico que está alejado del dispositivo del usuario y que está configurado para comunicarse con el dispositivo del usuario para recibir mediciones de la presión del aire en el dispositivo, donde la unidad base u otro dispositivo electrónico comprende un aparato como se describe anteriormente.

De acuerdo con un quinto aspecto de la invención, se proporciona un producto de programa de ordenador, que comprende un medio legible por ordenador que tiene incorporado un código de programa de ordenador, estando configurado el código de programa de ordenador de tal manera que, cuando se ejecuta mediante un ordenador o procesador adecuado, el ordenador o el procesador realiza el método descrito anteriormente.

Breve descripción de los dibujos

Las realizaciones de la invención se describirán ahora, solo a modo de ejemplo, con referencia a los siguientes dibujos, en los que:

5 La Fig. 1 es un diagrama de bloques de un dispositivo que comprende un sensor de presión de aire de acuerdo con una realización de la invención;

La Fig. 2 es un diagrama de bloques del algoritmo de procesamiento ejecutado para determinar un cambio en la altura de acuerdo con una realización de la invención; y

10 La Fig. 3 es un diagrama de flujo que ilustra un método para monitorizar el cambio de altura de un dispositivo de acuerdo con una realización de la invención.

Descripción detallada de las realizaciones preferidas

15 Aunque la invención se describirá a continuación en términos de su uso en un sistema para detectar caídas por parte de un usuario (en la que una reducción detectada en la altura de un dispositivo usado por el usuario que es mayor que un cambio de altura predeterminado es indicativo de que puede haberse producido una caída), se apreciará que la invención se puede utilizar en otros tipos de dispositivos o sistemas, tales como dispositivos para monitorizar la actividad física de los usuarios (por ejemplo, que calculan la energía consumida o la energía ejercida durante la actividad, o que monitorizan el tipo de actividad tal como caminar, estar sentado, acostado y de pie), dispositivos para detectar y evaluar una transferencia de asiento a pie (quizás para proporcionar una indicación de riesgo de caídas) y dispositivos para detectar si un usuario se está parando de la cama (especialmente para pacientes postoperatorios en un entorno hospitalario). También se apreciará que las técnicas que se describen a continuación no se limitan a identificar una reducción en la altura del dispositivo, sino que se pueden usar fácilmente para identificar un aumento correspondiente en la altura del dispositivo (que podría ser útil para, por ejemplo, determinar si un usuario se ha levantado después de una caída sospechada o detectada y, por lo tanto, está provocando que se revoque una alarma de caída). Finalmente, se apreciará que la invención es aplicable a cualquier tipo de dispositivo o sistema que use un sensor de presión de aire para monitorizar los cambios de altura.

30 La Figura 1 ilustra un sistema 2 de detección de caída a manera de ejemplo que implementa un método para monitorizar cambios de altura de acuerdo con la invención. El sistema 2 de detección de caída comprende un dispositivo 4 de usuario que debe ser usado por un usuario. El dispositivo 4 de usuario se puede proporcionar en forma de colgante con un cordón para el cuello para colocarlo alrededor del cuello del usuario, pero alternativamente, el dispositivo 4 de usuario se puede configurar para usar en o sobre una parte diferente del cuerpo del usuario, tal como la muñeca, la cintura, el tronco, la pelvis o el esternón, y comprenderán una disposición adecuada para sujetar el dispositivo 4 de usuario a esa parte del cuerpo (por ejemplo, un cinturón o una correa).

35 El dispositivo 4 de usuario se utiliza para medir la presión del aire en el dispositivo 4 de usuario y para procesar esas mediciones para determinar si la altura del dispositivo del usuario ha cambiado en más de una cantidad establecida. En esta realización ilustrada, el dispositivo 4 de usuario también se usa para medir las aceleraciones experimentadas por el usuario, y estas mediciones se procesan para determinar si exhiben varias características asociadas con una caída, tal como un impacto de caída libre (con el suelo) y un estado inmóvil tras el impacto.

45 Por lo tanto, el dispositivo 4 de uso del sistema 2 de detección de caída comprende un sensor 6 de presión de aire que mide la presión de aire en el dispositivo 4. El sensor 6 de presión de aire típicamente comprende una membrana o diafragma que se flexiona o se desplaza a medida que cambia la presión del aire, siendo usado el grado de flexión o desplazamiento para generar una señal eléctrica indicativa de la presión del aire que se está midiendo. El sensor 6 de presión de aire puede ser un sensor de presión de aire del sistema microelectromecánico (MEMS). El sensor de presión de aire típicamente produce muestras de medición a una frecuencia de alrededor de 1.8 o 2 Hz, aunque se apreciará que se pueden usar muchas otras frecuencias de muestreo (por ejemplo, 50 o 100 Hz). Las medidas de presión pueden expresarse en cualquier métrica adecuada.

50 El sensor 6 de presión de aire envía sus mediciones a un procesador 8 que procesa las mediciones de acuerdo con la invención.

55 El dispositivo 4 de usuario también comprende un acelerómetro 10 que mide la aceleración a lo largo de tres ejes ortogonales. Las señales emitidas por el acelerómetro 10 se proporcionan al procesador 8 para su análisis. El acelerómetro 10 puede ser un acelerómetro de sistema microelectromecánico (MEMS). La aceleración experimentada por el acelerómetro 10 puede muestrearse a una tasa de 30 Hz, aunque se apreciará que se pueden usar muchas otras frecuencias de muestreo (por ejemplo, 50 o 100 Hz).

60 En esta realización, el dispositivo 4 de usuario comprende además el circuito 12 transmisor o transceptor y la antena 14 asociada que pueden usarse para transmitir los resultados del procesamiento a una unidad remota (base) o para realizar una llamada de emergencia a un centro de atención (ya sea a través de la unidad base o directamente) para solicitar ayuda en caso de que se detecte una caída. En cualquier caso, el circuito 12 transmisor o transceptor puede

hacer uso de cualquier protocolo de comunicación inalámbrica adecuado, que incluye, pero no se limita a, WiFi, Bluetooth, Zigbee, infrarrojos (IR), GSM, CDMA y LTE.

5 En esta realización ilustrada, el dispositivo 4 de usuario también comprende una memoria 16 que se utiliza para almacenar mediciones desde el sensor 6 de presión de aire y/o acelerómetro 10, y para almacenar los resultados del procesamiento por parte del procesador 8.

10 Aunque no está ilustrado, el dispositivo 4 de usuario puede comprender opcionalmente una unidad de alarma audible que puede ser activada por el procesador 8 si se detecta una caída. Esta alarma puede convocar ayuda para el usuario. De hecho, en los sistemas de detección de caídas de gama baja, se podría omitir el circuito 12 transmisor o transceptor, con el procesador 8 convocando ayuda para el usuario utilizando la unidad de alarma audible.

15 Un componente opcional adicional es un botón de ayuda (no ilustrado) que puede ser presionado por un usuario para convocar ayuda sin importar si se ha detectado una caída.

20 En otras realizaciones, el sistema 2 de detección de caída (particularmente el dispositivo 4 de usuario) puede contener otros sensores, como un giroscopio, un magnetómetro y/o un sensor de flujo de aire, cuyas señales se pueden procesar para determinar, o para ayudar a determinar, altura, orientación u otras características asociadas con una caída o actividad del usuario.

25 Se apreciará que solo los componentes del sistema 2 de detección de caída que se requieren para explicar la invención se han ilustrado en la Figura 1, y un sistema 2 de detección de caída de acuerdo con la invención puede incluir componentes y funcionalidad adicionales a los descritos aquí. Por ejemplo, se apreciará que un dispositivo 4 de usuario en un sistema 2 de detección de caída incluirá alguna forma de fuente de alimentación o suministro y circuitos para controlar el funcionamiento del dispositivo 4.

30 Aunque en la realización ilustrada de la invención, el procesamiento de las mediciones del sensor se realiza por el procesador 8 en el dispositivo 4 de usuario, es posible en realizaciones alternativas que la parte principal del procesamiento de las mediciones del sensor se realice de forma remota desde el dispositivo 4 de usuario, lo que puede tener el efecto de reducir el consumo de energía computacional y/o la complejidad computacional del dispositivo 4 de usuario (que puede ser necesario negociar contra la potencia de transmisión y la complejidad del sistema total). En estas realizaciones alternativas de un sistema 2 de detección de caída, el procesamiento de las mediciones del sensor 6 de presión de aire y/o acelerómetro 10 se puede realizar en una unidad base que está separada del dispositivo 4 de usuario que lleva el usuario (no se muestra en la Figura 1). En ese caso, las mediciones del sensor de presión de aire y/o acelerómetro se pueden transmitir o comunicar (tal vez con cierta compresión o preprocesamiento) desde el dispositivo 4 de usuario a la unidad base a través de los circuitos 12 de transceptor (permitiendo que el procesador 8 y/o módulo 16 de memoria sean omitidos). En una realización alternativa adicional, el dispositivo 4 de usuario puede realizar algunos de los pasos de procesamiento inicial en el sensor de presión de aire y/o medidas del acelerómetro antes de transmitir los resultados a una unidad base que, por ejemplo, completa el procesamiento y determina si la altura del dispositivo 4 de usuario ha cambiado en más de una cantidad predeterminada.

45 Antes de que la invención se describa en detalle, a continuación se proporciona información de antecedentes sobre el efecto de la altitud en las mediciones de presión barométrica.

50 La columna de aire sobre un dispositivo 4 tiene un peso que, cuando se expresa como fuerza/área, se traduce en presión. Una disminución en la altitud conduce a un aumento en el peso total, que se puede sentir en términos de presión del aire. El aumento de peso es proporcional a la disminución de la altura y proporcional a la densidad de masa (local). Para un gas ideal, su presión es proporcional a su densidad (más partículas por unidad de volumen conducen a un aumento de la presión) y proporcional a la temperatura (el calentamiento del volumen hace que la presión aumente). En otras palabras, la densidad de masa es proporcional a la presión del aire e inversamente proporcional a la temperatura. Entonces, en primer orden, el incremento de peso y, por lo tanto, el aumento de presión dP, debido a un pequeño descenso de altura -dH es proporcional a la presión actual, inversamente proporcional a la temperatura y proporcional al descenso de altura:

55 
$$dP \propto \rho \cdot -dH \propto (P/T) \cdot -dH \quad (2)$$

60 donde  $\rho$  es la densidad de masa del aire, y P y T son la presión y la temperatura, respectivamente. Al resolver la ecuación (2) se obtiene una dependencia exponencial cuando se asume que T es constante. Sin embargo, dado que la temperatura disminuye a mayor altitud, se produce una dependencia más sofisticada como se muestra en la ecuación (1), pero aquí se repite para facilitar la referencia:

$$H = H_0 + 44330 \left( 1 - \left( \frac{P}{P_0} \right)^{0.19} \right) \quad (3)$$

donde  $H_0$  y  $P_0$  son la altitud y la presión del aire al nivel del mar (típicamente 1013.25 hPa y 0 metros, respectivamente). Se utiliza una temperatura de 288K al nivel del mar.

5 Como se describió anteriormente, hay algunos problemas con el uso de un sensor de presión de aire para la estimación de la altura.

En primer lugar, la presión barométrica fluctúa constantemente, lo que se traduce en variaciones en la altura estimada.

10 En segundo lugar, a diferentes altitudes, hay una densidad de aire diferente y, por lo tanto, un incremento de peso (presión) diferente con la disminución de la altura. Este efecto se tiene en cuenta en la ecuación (3) de la fórmula de conversión, pero se trata con menos precisión cuando se utiliza una aproximación de la fórmula.

15 En tercer lugar, la aceleración experimentada por el sensor de presión de aire afecta la medición de la presión. La causa más importante y frecuente de estos errores se debe a la aceleración debida a la gravedad, acompañada de un cambio en la orientación del sensor entre las mediciones. Este efecto también depende de la altitud -es decir, las aceleraciones tienen un efecto mayor en altitudes más altas.

20 En cuarto lugar, la presión del aire también depende de la temperatura ambiental. Como consecuencia, la cantidad a la que cambian las presiones de aire con un cambio de altura también depende de la temperatura. El gradiente de temperatura se tiene en cuenta en la ecuación (3). Sin embargo, al detectar cambios, se necesita la dependencia en la ecuación (2). Cuando el sensor se usa normalmente dentro de un edificio, la temperatura está dentro de un intervalo pequeño y puede tratarse como una constante. Sin embargo, cuando el sensor también se puede usar en el exterior, puede haber una mayor gama de diferencias entre las temperaturas internas y externas y, por lo tanto, este efecto es mayor. Se puede obtener mayor precisión teniendo en cuenta este efecto. Se apreciará que este problema se relaciona con la "temperatura ambiental", es decir, la temperatura del aire en el espacio que rodea al usuario, no necesariamente la temperatura en el sensor de presión de aire. Por ejemplo, cuando el sensor se usa afuera durante el invierno y el sensor se coloca debajo del abrigo del usuario, la temperatura del aire en el sensor estará cerca de la temperatura corporal, pero es probable que la "temperatura ambiental" sea mucho más cercana a 273K. Es la temperatura ambiental que debe tenerse en cuenta al evaluar cualquier corrección requerida a la medición de la presión del aire por el sensor.

35 En quinto lugar, la medición de presión por el sensor de presión de aire depende de la temperatura del propio sensor. Sin embargo, esto ya está compensado en la aplicación informática de lectura del sensor de acuerdo con las especificaciones del fabricante del sensor.

40 Finalmente, el sensor de presión de aire se puede usar en un dispositivo que se usa en entornos donde la presión es artificialmente más alta que en el ambiente, como en un avión o en una ducha (causada por el calor y el flujo de aire restringido). Al suponer una presión ambiental natural, un algoritmo de estimación de altura puede determinar cambios de altura imprecisos. Por ejemplo, si el usuario cae en la ducha, el cambio de presión de aire detectado puede ser de diferente magnitud de lo que sería (por ejemplo) en la sala de estar. El algoritmo puede considerar la diferencia de altura detectada (que por las suposiciones en el algoritmo de conversión está muy alejada) como un "valor atípico", interpretándolo como un indicador de una probabilidad reducida de presenciar un evento de caída. Por lo tanto, el evento es rechazado y se considera una falsa alarma.

50 Las fluctuaciones barométricas son fundamentales. En la teoría de detección se comprueba si el valor medido supera un umbral. Ese umbral se elige sobre la base de la relación entre la probabilidad de que el valor medido supere ese umbral si el evento está presente y la probabilidad de que el valor medido supere ese umbral cuando el evento no está presente. Esas probabilidades dependen de la magnitud del cambio de valor (cuando el evento está presente y no está presente) y la varianza en ese valor (y el umbral elegido). Un cambio de valor más grande y una varianza más pequeña mejoran la calidad de detección. Viceversa, si se conocen la varianza y el cambio del valor esperado, entonces se puede estimar la probabilidad de que un cambio en el valor observado se deba a la casualidad o al hecho de que un evento esté presente. Junto con la probabilidad de las otras características (impacto, cambio de orientación) se puede tomar una decisión sobre si el evento está presente. Por lo tanto, a mayor varianza en la presión del aire, el algoritmo se puede configurar para un cambio de altura mayor antes de que se decida que se está presenciando una caída.

60 De acuerdo con las realizaciones de la invención, muchos de los problemas anteriores se pueden abordar expresando la sensibilidad de altura (y opcionalmente la aceleración) en términos de presión (fuerza/área), detectando cambios de presión en lugar de cambios de altura, y actualizando regularmente el umbral de detección de cambio de presión a la situación ambiental actual. La presión ambiental se puede medir fácilmente con el sensor de presión de aire. En realizaciones adicionales, la temperatura ambiental se mide mediante un sensor de temperatura que se ubica de manera separada al dispositivo 4 de usuario (por ejemplo, en una unidad base en realizaciones que incluyen dicha unidad) o se estima a partir de la información en una base de datos u otra fuente utilizando las condiciones climáticas conocidas, la temporada actual (es decir, primavera, verano, otoño o invierno)

y/o información sobre si el dispositivo 4 está dentro o fuera de un edificio, y la temperatura también se usa para actualizar el umbral de detección de cambio de presión.

En la Figura 2 se ilustra un diagrama de bloques de un algoritmo 30 a manera de ejemplo para implementar una realización de la invención. Este algoritmo 30 se puede implementar dentro del procesador 8, o dentro de un procesador en una unidad base u ordenador que está alejado del dispositivo 4 de usuario. Aunque este algoritmo 30 se describe para ser usado en la detección de una caída (es decir, correspondiente a un aumento de presión), se apreciará que el algoritmo 30 se adapta fácilmente para detectar adicionalmente o alternativamente un aumento de altura.

En primer lugar, se define el cambio de altura umbral  $\Delta H$  que el algoritmo 30 pretende detectar. Esto se puede definir en la etapa de fabricación o montaje del dispositivo 4 de usuario, o se puede adaptar alternativamente a las características específicas del usuario (tal como su altura y el lugar del cuerpo donde se lleva el dispositivo 4 de usuario). Un valor típico para el cambio de altura umbral  $\Delta H$  es de 0.5 metros, pero se apreciará que se pueden usar otros valores, dependiendo de la posición en el cuerpo del usuario que el dispositivo 4 debe usar y/o los tipos de actividad/movimiento que se van a monitorizar. Un intervalo adecuado de valores podría ser de más de 0.1 metros, por ejemplo, el intervalo de 0.1 metros a 1.2 metros. El valor del cambio de altura umbral  $\Delta H$  se puede almacenar en el módulo 16 de memoria.

También se define una escala de tiempo  $\Delta t$  sobre la cual se va a detectar este cambio de altura umbral y se puede almacenar en el módulo 16 de memoria. Una escala de tiempo  $\Delta t$  típica es de 0.5-2 segundos, pero se apreciará que otros valores pueden usarse, por ejemplo, hasta 5, 8, 10 o 12 segundos, dependiendo de los tipos de actividad/movimiento que se monitorizan.

Como se describió anteriormente, el cambio de altura umbral  $\Delta H$  (en metros) se convierte en un cambio de presión umbral  $\Delta P$ . En particular, el bloque 32 de procesamiento recibe el cambio de altura umbral  $\Delta H$  y una o más mediciones de la presión  $P$  del sensor 6 de presión de aire y deriva el cambio de presión umbral  $\Delta P$  del mismo. Este umbral se puede calcular a una rata baja en comparación con la rata de muestreo del sensor 6 de presión de aire, por ejemplo, cada minuto, cada 10 minutos, cada 30 minutos, cada hora, cada 90 minutos, etc. De esta manera, el procesamiento requerido en el algoritmo se reduce (y se reduce el consumo de energía), ya que no es necesario convertir cada medición de presión de aire en una altura respectiva. En algunas realizaciones, el cambio de altura umbral a la fórmula de conversión de cambio de presión umbral se deriva de la siguiente manera. En primer lugar, la ecuación (3) se reescribe como

$$P = P_0 \left( 1 - \frac{H - H_0}{44330} \right)^{5.255} \quad (4)$$

Luego, la aproximación de primer orden (serie) de la ecuación (4) se toma de la cual  $H - H_0$  se elimina utilizando la ecuación (3) para llegar a

$$\Delta P \propto -\gamma \Delta H \quad (5)$$

dónde

$$\gamma = \left( 1.19 \times 10^{-4} \right) P_0^{0.19} P^{0.81} = \left( 4.42 \times 10^{-4} \right) P^{0.81} \quad (6)$$

Se conocerá  $P$  a partir de las mediciones recientes del sensor 6 de presión de aire, por ejemplo, promediando las mediciones obtenidas en un período de tiempo  $t_p$ , por ejemplo, el último minuto:

$$P = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} P[k] \quad (7)$$

donde  $P[k]$  es la medición de presión del aire en el instante  $k$ , y  $N = f_s t_p$  el número de muestras en el período de tiempo  $t_p$  y  $f_s$  es la frecuencia de muestreo del sensor 6 de presión de aire. Se apreciará que en realizaciones alternativas se pueden tomar otros promedios (es decir, la estimación del punto central) de las mediciones obtenidas durante un período de tiempo  $t_p$ , como el modo o la mediana.

También se apreciará que pueden tomarse aproximaciones alternativas de la ecuación (4) que proporcionarán diferentes representaciones de  $\gamma$  a las dadas en la ecuación (6). Por ejemplo,  $\gamma = (1.19 \times 10^{-4}) P$  podría ser tal aproximación.

Por lo tanto, el criterio de detección en las ecuaciones (5) y (6) tiene en cuenta la altitud ambiental. En comparación con los algoritmos convencionales, la evaluación de la ecuación (3) para cada muestra se reemplaza por una

evaluación de menor rata de la ecuación (6), que, como se describió anteriormente, podría evaluarse, por ejemplo, cada minuto, cada 10 minutos, cada 30 minutos, cada hora, cada 90 minutos, etc. Opcionalmente, la evaluación de la ecuación (6) se puede simplificar utilizando técnicas de aproximación, posiblemente utilizando diferentes aproximaciones para diferentes intervalos de la P medida.

5 En algunas realizaciones de la invención, se puede determinar un valor umbral de cambio de presión inicial o predeterminado a partir del cambio de altura predeterminado  $\Delta H$  usando un valor preestablecido para la presión del aire a nivel del mar (por ejemplo 1013.25 hPa) o cualquier otra altitud a la que se espera que el dispositivo 4 sea utilizado típicamente. Este valor umbral de cambio de presión inicial podría incluso determinarse durante la  
10 fabricación o prueba del dispositivo 4 y almacenarse en el módulo 16 de memoria. Este umbral de cambio de presión predeterminado se puede usar cuando el dispositivo 4 se activa por primera vez y se puede actualizar a medida que las mediciones de presión de aire real son recogidas por el dispositivo 4.

15 Como se describió anteriormente, la gravedad y otras aceleraciones se traducen en una fuerza en la membrana o el diafragma del sensor 6 de presión de aire. La fuerza es proporcional a la masa de la membrana o diafragma y a la magnitud y dirección de la gravedad/aceleración. El componente de gravedad/aceleración que es perpendicular al plano de la membrana o diafragma dividido por el área (efectiva) de la membrana o diafragma induce un desplazamiento en las mediciones de presión de aire.

20 Al medir la presión del aire mientras el sensor 6 de presión de aire no está sujeto a ninguna otra aceleración que no sea la gravedad con la membrana en una orientación 'hacia arriba' y con la membrana en la orientación opuesta 'hacia abajo', un factor de calibración r entre el desplazamiento de presión del aire y la aceleración se pueden calibrar desde

$$r = \frac{P_{\text{hacia arriba}} - P_{\text{hacia abajo}}}{a_{\text{hacia arriba}} - a_{\text{hacia abajo}}} \quad (8)$$

25 donde  $P_{\text{hacia arriba}}$  y  $P_{\text{hacia abajo}}$  son las mediciones de presión (o mediciones de presión promediadas) cuando el sensor 6 de presión de aire está en las orientaciones "hacia arriba" y "hacia abajo" respectivamente, y  $a_{\text{hacia arriba}}$  y  $a_{\text{hacia abajo}}$  son las aceleraciones correspondientes promediadas durante el mismo período de medición según se midió por un  
30 acelerómetro 10 que está en una relación fija (es decir, sin movimiento) con el sensor 6 de presión de aire. Las mediciones proporcionadas por el acelerómetro 10 en este procedimiento son valores 'calibrados', es decir, las mediciones de aceleración se pasan a través de una rutina de calibración (típicamente una multiplicación de matriz) y aquellos valores calibrados utilizados para establecer el valor de r en la ecuación (8). Los expertos en la técnica apreciarán que es posible utilizar una rutina de calibración simplificada que no implique una multiplicación de  
35 matrices, sino que aplique una corrección de desplazamiento y ganancia por eje (ya que una multiplicación de matrices también tiene en cuenta los efectos de interferencia entre los ejes: por ejemplo, la aceleración a lo largo del eje x afecta la medición del eje y). El desplazamiento establece el punto de aceleración cero, la ganancia de la escala. Usualmente, la ganancia es cercana a 1, pero el desplazamiento no se puede descuidar. Si  $a_{\text{hacia arriba}}$  tiene un desplazamiento positivo,  $a_{\text{hacia abajo}}$  tendrá un desplazamiento negativo, y el uso de la ecuación (8) sin la  
40 calibración proporcionará un resultado erróneo.

Si se asume que la rigidez de la membrana es constante, es decir, independiente de la presión ambiental, entonces el factor de calibración r es independiente de la altitud ambiental.

45 El factor de calibración r puede determinarse durante la fabricación o prueba del dispositivo 4 de usuario y almacenarse en el módulo 16 de memoria del dispositivo 4.

En el algoritmo 30, un bloque 34 de procesamiento calcula la corrección de la medición de la presión del aire multiplicando la aceleración (calibrada) en la dirección perpendicular al plano de la membrana medida ( $a_z$  que tiene  
50 el mismo signo que  $a_{\text{hacia arriba}}$ ) por el acelerómetro 10 por el factor de calibración r y combina la corrección con las mediciones del sensor 6 de presión de aire para dar las correcciones correctas del sensor de  $P_{\text{corregida}}$ . En forma de ecuación,

$$P_{\text{corregida}} = P - r \cdot a_z \quad (9)$$

55 En el algoritmo 30 ilustrado, la ecuación (9) se implementa con un bloque 36 de filtro de suavizado, pero se apreciará que la ecuación (9) se puede implementar en un bloque separado al filtro de suavizado.

Como un enfoque alternativo, el factor de calibración r puede considerarse como un vector 3D, en cuyo caso no es necesario determinar directamente el componente de la aceleración que es perpendicular a la membrana, y la

presión efectiva aplicada por la aceleración/gravedad puede estar dada por el punto de vector producto de  $r$  y el vector de aceleración.

5 El bloque 36 de filtro de suavizado filtra las mediciones del sensor de presión corregidas obtenidas,  $P_{\text{corregida}}$ , utilizando un filtro de suavizado, como un filtro de paso bajo, un filtro de promedio móvil (MA), un filtro de mediana o una combinación de ambos, con el fin de eliminar o suprimir el ruido en las mediciones de presión de aire.

10 Las medidas de presión de aire corregidas y suavizadas,  $P_{\text{corregida}}$ , se proporcionan al bloque 38 que determina la diferencia entre dos medidas del sensor de presión que están  $\Delta t$  separadas. En particular, el bloque 38 calcula el cambio en la presión,  $dP$ , para cada instante de tiempo  $t$ , como sigue

$$dP = P[t] - P[t - \Delta t] \quad (10)$$

15 El cambio determinado en la presión  $dP$  se compara por el bloque 40 con el cambio de presión umbral  $\Delta P$  determinado en el bloque 32, y si el cambio en la presión  $dP$  excede el cambio de presión umbral  $\Delta P$  se detecta un cambio en la altura de al menos  $\Delta H$  (bloque 42). Si el cambio en la presión  $dP$  no excede el cambio de presión umbral  $\Delta P$ , no se detecta ningún cambio en la altura mayor que  $\Delta H$  y el algoritmo evalúa el siguiente par de mediciones del sensor de presión corregido en el bloque 38.

20 Por lo tanto, se puede ver que las mediciones de presión de aire corregidas,  $P_{\text{corregida}}$ , son independientes de la altitud ambiental, mientras que el umbral se adapta de acuerdo con la altitud (a través de  $P$  en la ecuación (6)). Esto significa que, por ejemplo, a una altitud más alta se produce un cambio de presión umbral inferior. En consecuencia, si bien la compensación de gravedad  $r_{az}$  se mantiene igual, tiene un efecto relativamente mayor.

25 Como se describió anteriormente, en otras realizaciones de la invención, es deseable que la evaluación del cambio de altura sea independiente de la temperatura ambiental  $T$ . La temperatura ambiental  $T$  es necesaria, no la temperatura del sensor 6 de presión de aire (que es utilizado internamente para corregir las mediciones del sensor), ni una temperatura obtenida cerca del cuerpo del usuario. La medición de la temperatura ambiental plantea requisitos adicionales en el diseño del dispositivo/sistema y, por lo tanto, debe intercambiarse con la ganancia (y necesaria) de precisión que se puede obtener. La diferencia de temperatura que puede ocurrir entre el interior y el exterior, por ejemplo, cuando se congela o durante periodos de calor estacionales extremos, sin embargo, puede ser lo suficientemente importante como para justificar una corrección (también dependiendo del cambio de altura que se va a detectar). La temperatura puede medirse con un sensor que está separado del dispositivo 4 de usuario (por ejemplo, ubicado en una unidad base asociada con el dispositivo 4 de usuario) o puede obtenerse de una base de datos (tal como una base de datos meteorológica remota o una base de datos en el dispositivo 4, unidad base o ubicación remota que almacena temperaturas estacionales desde las cuales el dispositivo 4 de usuario puede seleccionar el valor apropiado con base en la hora y fecha actuales y/o con base en si el dispositivo 4 está actualmente dentro o fuera de un edificio).

40 El efecto de la temperatura a una presión dada, por ejemplo inducido por una altitud dada, es cambiar la densidad del aire, es decir, la densidad de la masa. Por lo tanto, el efecto (local) de la temperatura sobre el cambio en la presión debido a un cambio de altura se expresa mediante la ecuación (2), y se puede ver que  $\gamma$  es inversamente proporcional a  $T$ . Por lo tanto, podemos modificar la ecuación (6) a

$$45 \quad \gamma = 1.19 \cdot 10^{-4} \frac{T_0}{T} P_0^{0.19} P^{0.81} = 0.034 \frac{P_0^{0.19} P^{0.81}}{T} = 0.13 \frac{P^{0.81}}{T} \quad (11)$$

50 donde  $T_0 = 288.15$  K, y  $T$  es la temperatura actual (ambiental) (en K). Como  $T_0$  es la temperatura al nivel del mar, la ecuación (11) no es completamente precisa para altitudes más altas. Sin embargo, para uso práctico, se puede usar  $T_0$ . También se apreciará que pueden tomarse aproximaciones que proporcionarán diferentes representaciones de  $\gamma$

a las que se dan en la ecuación (11). Por ejemplo,  $\gamma = 0.034 \frac{P}{T}$  podría ser una aproximación tal.

55 Como se describió anteriormente, en un entorno de avión, la presión está controlada artificialmente y puede desviarse de los 1000 hPa supuestos. El aumento de la presión debido a una disminución particular de la altitud viene dado por el peso (aumento) de la columna de aire atravesado. Este peso es proporcional a la densidad del aire y, por lo tanto, a la presión local (ambiental). Por lo tanto, cuando se usan las ecuaciones (5) y (6) para detectar un cambio de altura, el cambio de altura se observa independientemente de los efectos debidos al entorno presurizado.

60 También como se describió anteriormente, cuando el usuario está en una ducha, se deben tener en cuenta los efectos de la presión ambiental y temperatura ambiental. Al hacerlo, los cambios de altura que ocurren en circunstancias como una ducha deben detectarse de manera más fácil y confiable.

La figura 3 es un diagrama de flujo que ilustra un método realizado de acuerdo con una realización de la invención. Como el método generalmente corresponde al algoritmo que se muestra en la Figura 2, el método no se describirá en detalle.

5 El método comienza en el paso 101, en el que se determina o establece el cambio de altura  $\Delta H$  que debe detectarse, junto con el período de tiempo  $\Delta t$  durante el cual se debe observar ese cambio de altura. El paso 101 es un paso que normalmente se realiza durante una fase de fabricación o configuración por el usuario inicial.

10 Luego, durante el uso del dispositivo 4 de usuario, al menos una medición de la presión del aire en el dispositivo 4 se obtiene utilizando el sensor 6 de presión de aire (paso 103).

15 A continuación, en el paso 105, se determina un cambio de presión umbral  $\Delta P$  a partir del cambio de altura umbral  $\Delta H$  predeterminado y al menos una medición de la presión de aire obtenida en el paso 103. El  $\Delta P$  umbral se determina como se establece en las ecuaciones (5) y (6) arriba.

El tiempo en el que se determina/actualiza el umbral de cambio de presión  $\Delta P$  se almacena como  $t_{\text{umbral actualizado}}$  en el módulo 16 de memoria (paso 107). Sin embargo, se apreciará que se pueden concebir implementaciones alternativas, tales como iniciar un reloj de cuenta regresiva o de cuenta ascendente.

20 En el paso 109, el sensor 6 de presión de aire obtiene una serie de mediciones de presión de aire en el dispositivo 4.

25 Las medidas obtenidas en el paso 109 se corrigen para la orientación de la aceleración que actúa sobre el dispositivo 4 en el momento en que se tomó cada medida (paso 111). Este paso hace uso de las mediciones de la aceleración que actúan sobre el dispositivo 4 que se obtuvieron durante el mismo período de tiempo que la serie de mediciones de presión de aire. Como se describió anteriormente, la corrección a las mediciones de presión del aire se determina multiplicando el componente medido de la aceleración que es perpendicular al plano de la membrana o diafragma en el sensor 6 de presión de aire por un factor de calibración  $r$  que se determinó durante la fabricación o prueba del dispositivo 4.

30 Una vez que las mediciones de la presión del aire se han corregido en el paso 111, el cambio en la presión  $dP$  durante el período de tiempo  $\Delta t$  predeterminado se determina para dos de las mediciones del sensor de presión de aire corregidas.

35 En el paso 115, el cambio determinado en la presión  $dP$  se compara con el umbral de cambio de presión  $\Delta P$  actualizado, y si el cambio en la presión  $dP$  excede el umbral de cambio de presión  $\Delta P$ , entonces se detecta un cambio en la altura mayor que el cambio de altura  $\Delta H$  predeterminado (paso 117). En algunos casos, el dispositivo 4 puede emitir inmediatamente una alarma o alerta de que el usuario del dispositivo 4 puede haberse caído. En implementaciones alternativas, la detección de un cambio de presión mayor que  $\Delta P$  se puede usar para desencadenar el cálculo o detección de otras características asociadas con una caída en otras mediciones de la actividad o movimiento del usuario. Si se detectan una o más características (las características dependiendo del algoritmo específico utilizado para detectar una caída), entonces el dispositivo 4 puede emitir una alarma o alerta de que el usuario del dispositivo 4 puede haber caído. Los expertos en la técnica apreciarán que se pueden usar muchos algoritmos diferentes para detectar una caída a partir de un cambio de altura detectado y una o más características son detectadas (además de apreciar que otra característica de una caída puede detectarse primero, y la detección de esta característica puede ser utilizada para activar la evaluación del cambio de altura utilizando las medidas del sensor de presión de aire).

50 Si el cambio en la presión  $dP$  no excede el umbral de cambio de presión  $\Delta P$ , entonces se ha detectado un cambio en la altura menor que el cambio de altura  $\Delta H$  predeterminado. El proceso de detección de caídas puede continuar en otras mediciones del movimiento o actividad del usuario, aunque esto depende del algoritmo de detección de caídas usado en el dispositivo 4.

55 Después de cualquiera de los pasos 115 y 117, el método pasa al paso 119 en el que se determina si el umbral de cambio de presión se actualizará nuevamente. En particular, se determina si la hora actual  $t$  supera la suma de la última hora de actualización del umbral ( $t_{\text{actualización de umbral}}$ ) y un intervalo de actualización  $t_{\text{actualización}}$  (que puede ser, por ejemplo, 1 minuto, 10 minutos, 30 minutos, 1 hora, 90 minutos, etc.). Aunque no se muestra en la Figura 3, se apreciará que puede haber otras razones para activar una actualización del umbral de cambio de presión. Por ejemplo, si el dispositivo 4 no se ha utilizado durante algún tiempo (por ejemplo, la aceleración medida muestra una varianza baja), comenzar a usar el dispositivo 4 de nuevo puede desencadenar un procedimiento de actualización del umbral de cambio de presión que requiere tomar una nueva medición de la presión de aire (asumiendo, por supuesto, que no se realiza un procedimiento de actualización del umbral de cambio de presión mientras no se está utilizando el dispositivo 4 de usuario -es decir, la aceleración medida muestra una varianza baja). Como otro ejemplo, la detección de que el dispositivo 4 se ha movido desde el interior de un edificio al exterior, o viceversa, puede desencadenar un procedimiento de actualización del umbral de cambio de presión.

65

Si no es el momento de actualizar el umbral de cambio de presión  $\Delta P$  (es decir, el tiempo actual es menor que el  $t_{\text{actualización de umbral}} + t_{\text{actualización}}$ ), entonces el método regresa al paso 113 para evaluar un par adicional de mediciones de presión de aire corregidas o al paso 109 para obtener mediciones adicionales de la presión del aire para su evaluación.

5 Si es hora de actualizar el umbral de cambio de presión  $\Delta P$ , el método regresa al paso 103 y se obtiene una nueva medición de la presión de aire y se usa para actualizar (recalcular) el cambio de presión umbral  $\Delta P$ . Aunque la Figura 3 muestra el procesamiento secuencial de la actualización del umbral de cambio de presión y las pruebas para el cambio de presión requerido, se apreciará que es posible que los procesos de actualización y prueba se ejecuten de manera independiente y en paralelo.

10 Se apreciará que aunque la invención se ha descrito comparando el cambio de presión determinado con un solo umbral de cambio de presión, es posible que el algoritmo determine y actualice múltiples umbrales de cambio de presión correspondientes a los cambios respectivos en la altura del dispositivo. 4. De esta manera, es posible que el algoritmo proporcione una indicación del cambio real en la altura atravesada por el dispositivo (por ejemplo, si se supera un umbral de cambio de altura de 0.5 metros pero no se supera un umbral de cambio de altura de 0.75 metros, entonces se puede determinar que el cambio real en la altura del dispositivo estaba entre esos dos valores umbral). Como los valores de cambio de presión umbral son relativamente sencillos de calcular, la monitorización para los múltiples cambios de altura no aumenta significativamente los requisitos computacionales del dispositivo 4 sobre una única solución umbral.

15 También se apreciará que, en lugar de realizar una comparación directa entre el cambio de presión detectado  $dP$  y el umbral de cambio de presión  $\Delta P$ , es posible en algunas realizaciones alternativas de la invención normalizar el cambio de presión detectado  $dP$  usando el umbral de cambio de presión  $\Delta P$  o  $\gamma$  a partir de las ecuaciones (6) o (11) (donde el uso de  $\gamma$ , o una parte proporcional de la misma, genera una probabilidad en el dominio de altura) y luego se usa el cambio de presión normalizado para estimar una probabilidad o una medida similar, para ingresar en un clasificador de detección de caídas que evalúa la probabilidad de que se haya producido una caída a partir de la probabilidad de que el cambio de altura exceda la cantidad predeterminada y, opcionalmente, otras características detectadas en los movimientos o actividades del usuario.

20 Por lo tanto, se proporciona una forma mejorada de procesar las mediciones de un sensor de presión de aire para determinar el cambio en la altura de un dispositivo (y en particular si el cambio en la altura es mayor o menor que un cambio de altura umbral) que evite las imprecisiones y requisitos computacionales de los métodos de la técnica anterior.

35

**REIVINDICACIONES**

1. Un método para monitorizar un cambio en la altura de un dispositivo, donde el dispositivo comprende un sensor para medir la presión de aire en el dispositivo, donde el método comprende:

- 5 determinar un umbral de cambio de presión;
- obtener una pluralidad de mediciones de la presión del aire en el dispositivo usando el sensor;
- 10 determinar un cambio en la presión del aire desde dos o más de la pluralidad de mediciones;
- caracterizado por
- determinar el umbral de cambio de presión a partir de un cambio de altura predeterminado y una estimación de la presión de aire a una altitud predeterminada o de un cambio de altura predeterminado y una medición de la presión de aire en el dispositivo obtenido usando el sensor;
- 15 determinar si la altura del dispositivo ha cambiado más que el cambio de altura predeterminado utilizando el cambio determinado en la presión del aire y el umbral de cambio de presión determinado;
- 20 en el que el método comprende además actualizar periódicamente o intermitentemente el umbral de cambio de presión usando al menos una nueva medición de la presión de aire en el dispositivo obtenido usando el sensor.

2. Un método como se reivindicó en la reivindicación 1, en el que el paso de determinar un umbral de cambio de presión comprende evaluar

25 
$$\Delta P \propto -\gamma \Delta H$$

donde  $\Delta P$  es el umbral de cambio de presión,  $\gamma$  depende de la presión y  $\Delta H$  es el cambio de altura predeterminado.

30 3. Un método como se reivindicó en la reivindicación 1 o 2, en el que el paso de determinar si la altura del dispositivo ha cambiado más que el cambio de altura predeterminado comprende comparar el cambio determinado en la presión del aire con el umbral de cambio de presión determinado.

35 4. Un método como se reivindicó en la reivindicación 1 a 3, en el que el paso de determinar si la altura del dispositivo ha cambiado más que el cambio de altura predeterminado comprende normalizar el cambio determinado en la presión del aire y determinar una probabilidad de que la altura del dispositivo ha cambiado más que el cambio de altura predeterminado del cambio normalizado en la presión del aire.

40 5. Un método como se reivindicó en cualquier reivindicación anterior, que comprende además los pasos de:  
determinar la presión efectiva que la gravedad y/u otras aceleraciones superponen en cada una de las mediciones de presión de aire por el sensor; y

45 corregir cada una de las medidas de presión de aire para la presión efectiva determinada.

6. Un método como se reivindicó en la reivindicación 5, en el que determinar la presión efectiva que la gravedad y/u otras aceleraciones superponen sobre una medición de presión de aire comprende:

50 obtener una medición de la aceleración que actúa sobre el dispositivo en o alrededor del momento en que el sensor realizó la medición de la presión de aire en el dispositivo; y

determinar la presión efectiva usando la medición de la aceleración y un factor de calibración.

55 7. Un método como se reivindica en cualquier reivindicación anterior, donde el método además comprende el paso de:

obtener una estimación o una medición de la temperatura del ambiente alrededor del dispositivo;

60 y en el que el paso de determinar un umbral de cambio de presión comprende determinar el umbral de cambio de presión a partir del cambio de altura umbral, al menos una de la pluralidad de mediciones de la presión del aire en el dispositivo y la estimación o medición de la temperatura del ambiente alrededor del dispositivo.

8. Un método como se reivindica en la reivindicación 7, en el que el paso de determinar un umbral de cambio de presión comprende evaluar:

65 
$$\Delta P = -\gamma \Delta H$$

donde  $\Delta P$  es el umbral de cambio de presión, y depende de la presión del aire y la temperatura del ambiente alrededor del dispositivo y  $\Delta H$  es el cambio de altura predeterminado.

- 5 9. Un aparato para monitorizar un cambio en la altura de un dispositivo, donde el aparato comprende:  
una unidad de procesamiento configurada para:  
determinar un umbral de cambio de presión;
- 10 recibir una pluralidad de mediciones de la presión de aire en el dispositivo que se miden usando un sensor de presión de aire comprendido en el dispositivo;  
determinar un cambio en la presión del aire de dos o más de la pluralidad de mediciones;
- 15 caracterizado porque la unidad de procesamiento está configurada además para:  
determinar el umbral de cambio de presión a partir de un cambio de altura predeterminado y una estimación de la presión de aire a una altitud predeterminada o a partir de un cambio de altura predeterminado y una medición de la presión de aire en el dispositivo obtenido usando el sensor de presión de aire comprendido en el dispositivo;
- 20 determinar si la altura del dispositivo ha cambiado más que el cambio de altura predeterminado utilizando el cambio determinado en la presión del aire y el umbral de cambio de presión determinado;
- 25 en el que la unidad de procesamiento está configurada además para actualizar periódicamente o intermitentemente el umbral de cambio de presión usando al menos una nueva medición de la presión de aire en el dispositivo obtenido que usa el sensor de presión de aire comprendido en el dispositivo.
10. Un dispositivo que está configurado para ser usado por un usuario, donde el dispositivo comprende:
- 30 un sensor de presión de aire que mide la presión de aire en el dispositivo; y  
un aparato como se reivindicó en la reivindicación 9.
11. Un sistema, que comprende:
- 35 un dispositivo que está configurado para ser usado por un usuario, donde el dispositivo comprende un sensor de presión de aire que mide la presión de aire en el dispositivo; y  
una unidad base u otro dispositivo electrónico que está alejado del dispositivo y que está configurado para comunicarse con el dispositivo para recibir mediciones de la presión del aire en el dispositivo, donde la unidad base u otro dispositivo electrónico comprende un aparato como se reivindicó en la reivindicación 9.
- 40 12. Un producto de programa informático, que comprende un medio legible por computadora que tiene un código de programa informático incorporado, donde el código de programa informático se configura de tal manera que, cuando se ejecuta mediante una computadora o procesador adecuado, la computadora o el procesador realiza el método como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8.
- 45

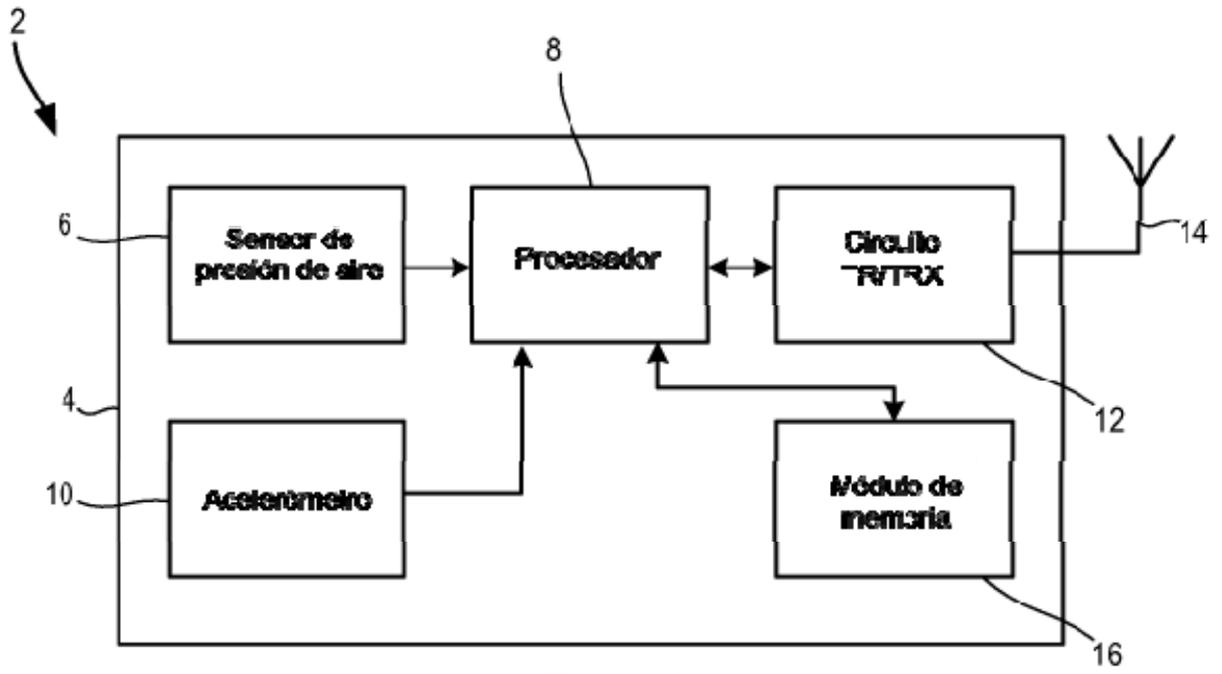


Figura 1

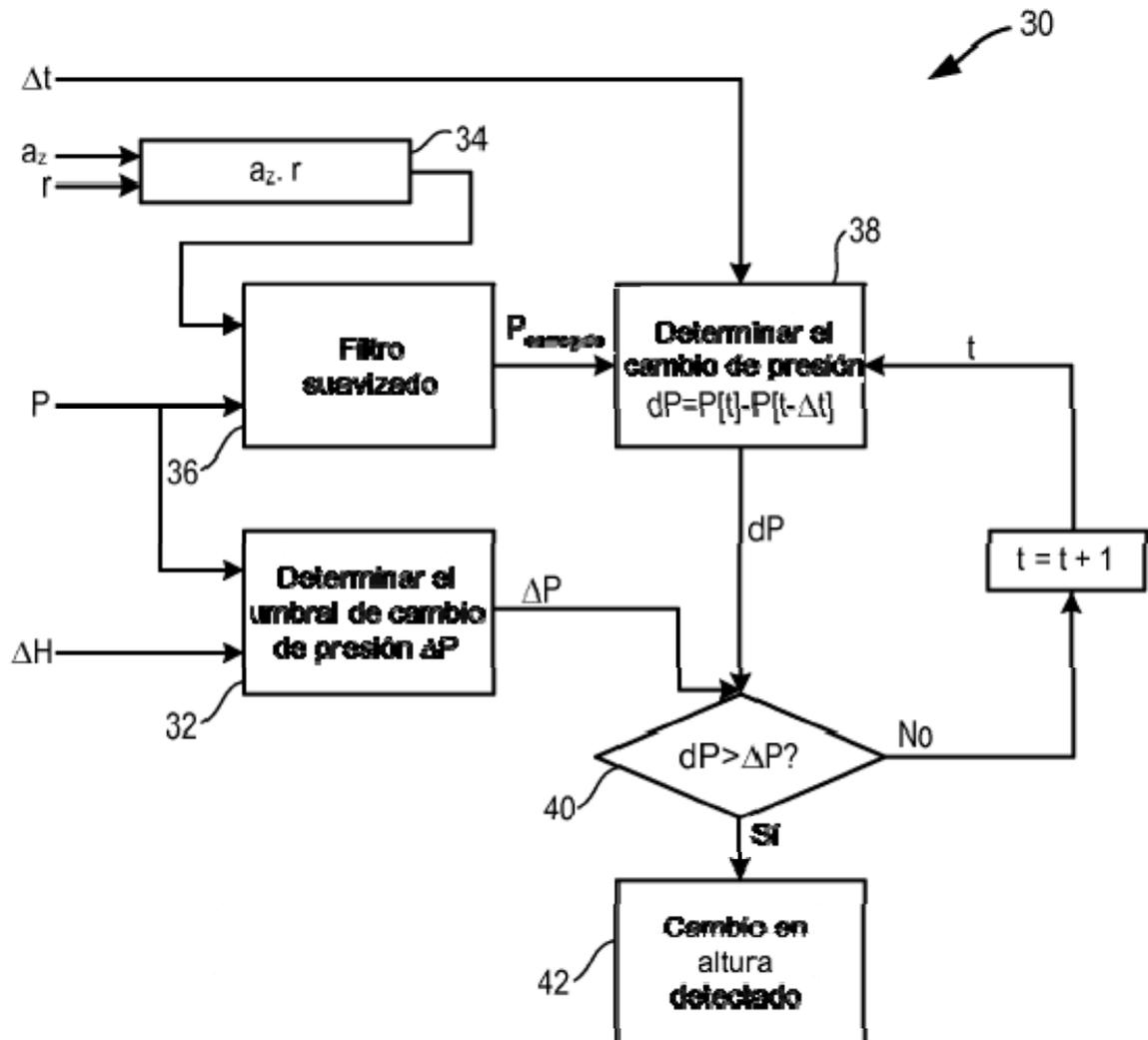


Figura 2

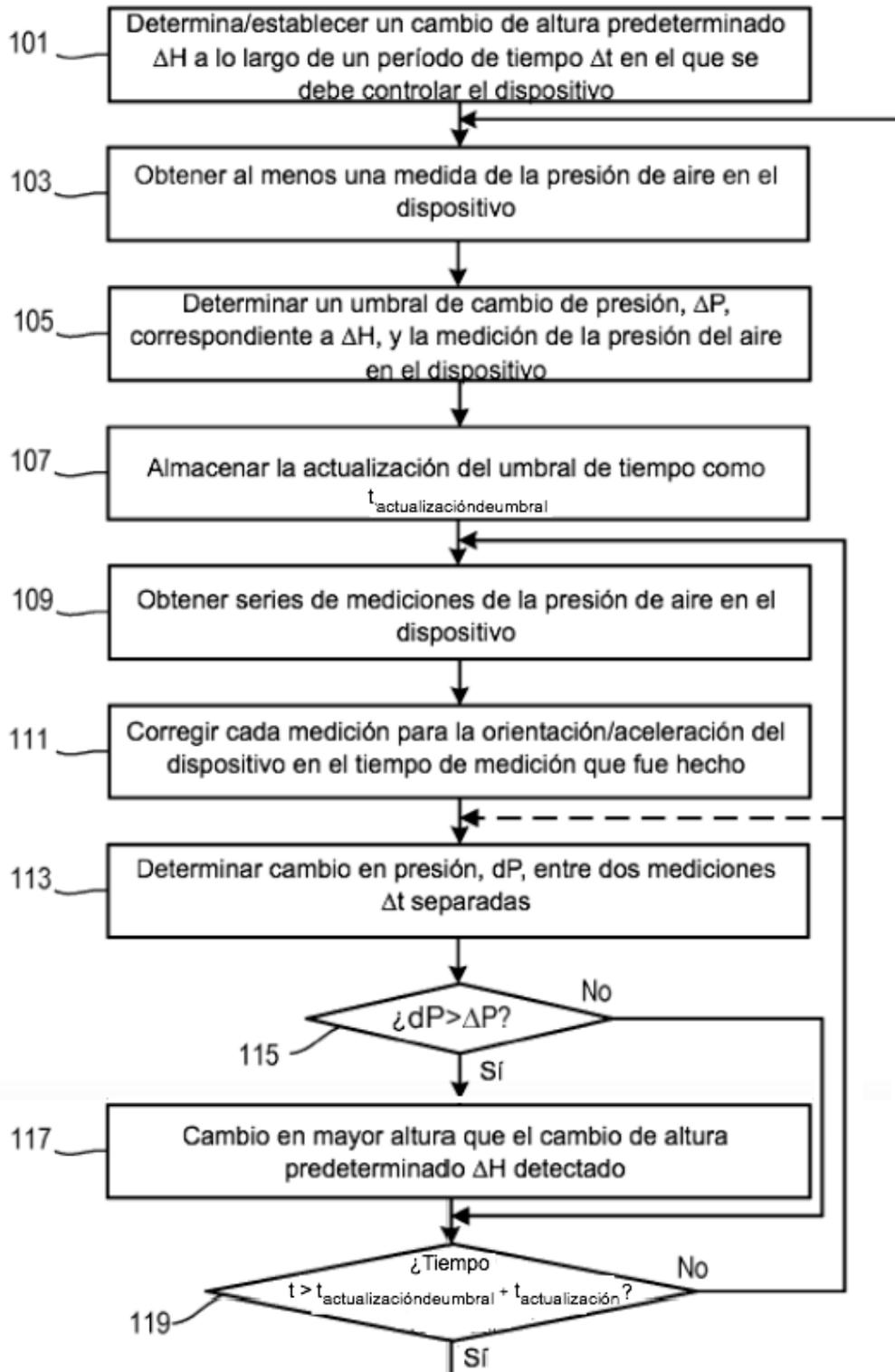


Figura 3