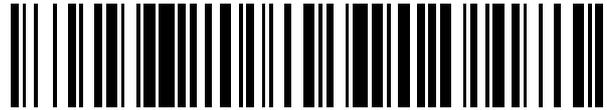


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 533 541**

51 Int. Cl.:

**G01V 1/00** (2006.01)

**G08B 21/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.08.2003 E 03791768 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.01.2015 EP 1540616**

54 Título: **Aparato sensor y método para detectar las ondas p generadas por un terremoto y generar una señal de control sensible**

30 Prioridad:

**30.08.2002 US 407128 P**

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

**10.04.2015**

73 Titular/es:

**SEISMIC WARNING SYSTEMS, INC. (100.0%)  
5619 SCOTTS VALLEY DRIVE, SUITE 180  
SCOTTS VALLEY, CA 95066, US**

72 Inventor/es:

**WEBB, CRAIG y  
GUTE, JEAN-PIERRE**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

**ES 2 533 541 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

Aparato sensor y método para detectar las ondas p generadas por un terremoto y generar una señal de control sensible

Campo de la invención

- 5 La presente invención se refiere a aparatos y métodos para la detección de terremotos inminentes y más concretamente, a un detector y un método mejorados para discriminar entre las vibraciones sísmicas generales y aquellas que se pueden identificar como precursoras de un terremoto.

Antecedentes de la invención

- 10 Todos los años, los terremotos en todo el mundo son responsables de la pérdida de miles de vidas y de una cantidad de miles de millones de dólares de daños estructurales, tanto directa como indirectamente, consecuencia de las secuelas de daños colaterales. Los eventos sísmicos, así como los daños y pérdidas causados por los mismos han incrementado en frecuencia y magnitud en los últimos años. Por ejemplo, en 1989 en el terremoto de Loma Prieta que devastó zonas de la bahía de San Francisco, gran parte de los daños fueron causados por fallos de los sistemas después de que se produjo el terremoto. Aparte de los daños directos del terremoto real, se produjeron
- 15 pérdidas significativas de propiedad resultantes de la ruptura de tuberías de gas e incendio posterior del gas, fuegos eléctricos y las reservas de agua inaccesibles por nombrar solo algunas. En muchos casos, los vehículos de emergencia no fueron capaces de responder ante la crisis debido a queda atrapados detrás de puertas y portones atascados de garajes, consecuencia de los daños estructurales en sus edificios.

- 20 La magnitud de un terremoto se mide en términos de un valor de la escala de Richter. Introducida en 1935 por Charles F. Richter, la escala de Richter es una escala numérica para cuantificar la magnitud del terremoto – normalmente se refiere a la magnitud local, pero para terremotos más grandes, a menudo se refiere a la magnitud de ondas superficiales. (En la actualidad, a los grandes terremotos se les asigna generalmente una magnitud de momento, que se escala para ser similar, pero que está basada en el momento sísmico, y en una mejor medida de la energía de un terremoto). Puesto que la escala de Richter es logarítmica, los terremotos muy pequeños
- 25 (microsisimos) pueden tener una magnitud negativa. Mientras que la escala no tiene límite superior teórico, el límite superior práctico, dada la resistencia de los materiales de la corteza, está justo por debajo de 9 para magnitudes lo cales o de la onda de superficie (y justo por debajo de 10 para magnitudes de momento).

- 30 Es bien conocido que cuando ocurre un terremoto, emanan tres tipos de onda desde el punto de origen: P (primaria), S (cizallamiento) y R (Rayleigh). (También hay las ondas Love; una onda superficial de cizalla, además de la onda S, onda de volumen de cizallamiento. La velocidad de las ondas Love es intermedia entre las de las ondas S y R). La “onda P”, que no es destructiva e imperceptible para los humanos, es principalmente un movimiento vertical de la onda que viaja más rápido que las ondas destructivas S y R. Más concretamente, la onda P es una onda de cuerpo compresional; el movimiento de las partículas es paralelo a la dirección de propagación de la onda. Su velocidad es
- 35 de 5,5 a 7,2 Km/seg en la corteza y 7,8 a 8,5 Km/seg en el manto superior. Puesto que las ondas P viajan alrededor de dos veces más rápido que las ondas S, llegarán más pronto. Cuanto mayor es la distancia a la que se está del hipocentro de un terremoto, mayor es la diferencia de tiempo entre la llegada de las ondas P y S. En la costa oeste de América del Norte, por ejemplo, la velocidad de desplazamiento de las ondas P es de aproximadamente 6,2 millas por segundo. Por lo tanto, si el terremoto se produce a una profundidad de aproximadamente 10 millas y el epicentro estaba a una distancia de aproximadamente 50 millas del detector, sería posible tener un aviso en 8
- 40 segundos. Es evidente, por supuesto, que si el terremoto fuese significativamente más profundo, más grande en términos de magnitud y más lejano, se produciría un aviso en un tiempo más largo. Dependiendo de la distancia desde el punto de origen, es posible tener un aviso típico en el orden de 1 a 25 segundos.

- 45 Hablando en términos generales, las ondas P tienen una frecuencia natural de aproximadamente 5 Hercios (Hz) mientras que las ondas S tienen una frecuencia significativamente menor que las ondas P. Las ondas S tienen una amplitud significativamente mayor que las ondas P y por lo tanto son las ondas que están principalmente involucradas en la destrucción de las estructuras. Como se indicó anteriormente, las ondas P viajan normalmente a una velocidad más rápida desde el hipocentro a una localización dada en comparación con las ondas S. Por lo tanto, la detección de las ondas P puede proporcionar un aviso temprano de la inminente llegada de las ondas S a una localización dada distante del epicentro.

- 50 Una de las principales dificultades en la detección de un terremoto se refiere al factor tiempo implicado en la detección de las ondas P teja. Como se comprenderá, si las ondas P se pueden detectar lo antes posible, esto proporciona tiempo para la evacuación, etc., de edificios o área con el fin de evitar posibles daños a las personas causados por la llegada de las ondas S que, como se ha indicado anteriormente, son las ondas destructivas principales transmitidas por las formaciones geológicas.

- 55 Dispositivos y sistemas que proporcionan avisos anticipados de terremotos destructivos mediante la detección de ondas P (las ondas sísmicas no destructivas primarias) se describen en la patente de Estados Unidos nº 5.760.696 titulada “Detector discriminador de terremotos” y en la patente de Estados Unidos nº 6.356.204 titulada “Método y aparato para detectar terremotos inminentes”. Basados en la tecnología de detección avanzada, estos dispositivos

pueden hacer sonar una alarma y/o activar respuestas automáticas del sistema (ASR), lo que minimiza pérdidas de vidas y daños a la propiedad.

La técnica anterior también incluye varios detectores y otras instalaciones para medir las ondas P como un precursor para las siguientes ondas S. Sin embargo, utilizando instalaciones existentes, ha sido difícil detectar las ondas P a una distancia del epicentro de un terremoto sin incurrir en grandes costos. Un problema adicional es que a menudo es difícil resolver falsas alarmas de un terremoto real, debido a interferencias en la instrumentación por vibraciones locales extrañas u otras frecuencias. Es deseable proporcionar un detector capaz de discriminar entre ondas P y ordinariamente, temblores de tierra y de la construcción cotidianos no relacionados con un terremoto. En particular, los detectores instalados en un edificio deberían ser capaces de discriminar entre las frecuencias de vibración naturales de la estructura del edificio, que son una función de la estructura, y las frecuencias indicativas de las ondas P. Esto se puede conseguir mediante una unidad de procesamiento de la información que almacena datos de vibración y está programada para discriminar entre las frecuencias que se producen con frecuencia y las frecuencias que se producen no regularmente dentro de la gama de las ondas P.

Ejemplo típico de la técnica que ha sido patentada en este campo es el de la patente de Estados Unidos de Windisch, nº 4.689.997. La referencia proporciona un detector que emplea principalmente una lengüeta muelle vertical montada sobre un soporte. Un acoplador está soportado en el otro extremo de la lengüeta y este acoplador está conectado a través de un muelle helicoidal a una masa posicionada de forma concéntrica con la lengüeta y el acoplador. Los componentes del muelle y la masa se seleccionan para tener una frecuencia de resonancia natural correspondiente a la de un temblor sísmico o de otra vibración que se desea detectar. Se proporciona un circuito de conmutación para detonar una alarma una vez que se detecta la frecuencia del terremoto. Windisch no proporciona un mecanismo de circuito integrado para la detección de temblores de tierra, sino más bien se basa en una disposición mecánica en forma de un sistema de muelle y masa. Como es sabido, este tipo de sistemas son susceptibles a las fluctuaciones de temperatura que pueden alterar el punto en el que el aparato puede detectar la frecuencia del terremoto, y son a menudo delicados y por lo tanto difíciles o más costosos de instalar en gran volumen. Además, la disposición de Windisch no parece proporcionar un sistema que discrimine entre simples vibraciones extrañas y frecuencias del calibre de un terremoto.

Caillat et al., en la patente de Estados Unidos nº 5.101.195, proporcionan un detector discriminador sísmico. La instalación se basa en una combinación electromecánica que tiene un dispositivo en voladizo con una masa predeterminada en un extremo. Durante el movimiento de la viga, se genera una señal eléctrica que, a su vez, es útil para la detección de las ondas P y S. Al igual que los detectores mencionados en la técnica anterior, la disposición prevista en esta referencia parecería tener una utilidad limitada en que no existe previsión para una comparación entre las ondas del calibre del terremoto y las que son simplemente extrañas, como podrían ser las encontradas como resultado de las vibraciones del tráfico, las vibraciones mecánicas en un edificio, las vibraciones aeronáuticas, etc.

La patente de Estados Unidos nº 5.001.466, expedida el 19 de marzo de 1991 por Orlinsky et al., proporciona un detector sísmico empleando un interruptor líquido conductor eléctrico que significa entre otras variaciones de los mismos.

La solicitud de patente japonesa 56125680 (2 de octubre de 1981) titulada "Método de decisión para vibración terrestre" describe un receptor sísmico para detectar vibraciones en un punto donde se instala. Las señales eléctricas se pasan a través de un filtro de paso de banda de banda estrecha. Luego, las señales se introducen en un circuito de valor absoluto. Estas señales se toman como valores medios momentáneamente cada vez que se fija un tiempo extremadamente corto para una zona de tiempo (1-10 seg) en un circuito de valor medio. Cuando estas señales de valores medios superan un valor fijado son introducidas en un circuito de decisión temporal. Cuando continúan más tiempo que un tiempo fijado, la señal que indica el inicio de vibraciones terrestres se extrae. Cuando las señales de valor medio continúan por debajo del prescrito después de esto, la señal de final de vibración terrestre se extrae. Con otras vibraciones que las sísmicas, las señales de altos niveles no continuarán en la banda de frecuencias predeterminadas y por lo tanto la decisión de terremoto se toma con una gran precisión de dicha manera.

La solicitud de patente japonesa 56166481 (21 de diciembre de 1981) titulada "Método de decisión de terremoto" describe una señal de entrada digital que se envía desde un telémetro sísmico. Esta señal es introducida en un circuito filtro desde una terminal de entrada a través de un circuito de amplificación de ganancia variable con el fin de pasar solamente el componente a observar que es introducido en un circuito de valor absoluto. La señal del mismo se suministra a un circuito que promedia el movimiento en un instante, en el que se obtienen valores medios de movimiento mediante una muestra instantánea. Dicha señal se suministra también a un circuito de movimiento promedio de larga duración a través de un circuito 51 interruptor, en el que se obtiene un valor medio de movimiento mediante una muestra de larga duración. Este último, que se obtiene solamente cuando no hay terremoto a través del circuito que entonces está cerrado, es un ruido de base medio, que se multiplica mediante un circuito multiplicador y se compara con el anterior para decidir un terremoto.

La solicitud de patente japonesa 59195178 86 de noviembre de 1984) titulada "Método de decisión de terremoto" permite ser capaz de decidir el momento en el cual emerge la onda del terremoto con alta precisión mediante la

utilización de una decisión mediante la transformada de Fourier de alta velocidad en combinación con una decisión mediante movimiento medio.

5 La patente de Estados Unidos 4.661.939 titulada "Gama vehículo luz discriminador" se refiere al campo armamentístico y, particularmente a aparatos geóponos para usar en campos de minas. El documento EP 1 003 052 A1 se refiere a un sistema de vigilancia de minas enterradas.

El documento de Estados Unidos 6.356.204 B1 se refiere a un método y aparato para detectar terremotos inminentes.

El documento de Estados Unidos 3.696.369 se refiere a un sistema de detección de intrusión sísmica y más concretamente a un procesador de señal para tales sistemas.

10 El artículo "Proceso del sismograma basado en el conocimiento por imágenes mentales" (IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 24 de marzo de 1994, nº 3) se refiere al impacto de la representación del conocimiento pictórico.

15 Sin embargo, sigue habiendo una necesidad de un detector de alta precisión, relativamente barato, para medir con precisión las ondas P y generar una señal que pueda ser utilizada para conducir una variedad de tipos de anunciadores y actuadores.

20 Brevemente, una realización actualmente preferente de la invención incluye una placa de circuito impreso que tiene montados sobre el mismo de uno a tres sensores ortogonalmente dispuestos en miniatura piezoeléctricos que funcionan en modo voladizo como dispositivos de inercia de monitorización, una pluralidad de circuitos de amplificación y de filtración para amplificar y filtrar las salidas generadas por los sensores piezoeléctricos, y una  
25 unidad de procesamiento central que responde a las señales amplificadas y operativa para generar señales de salida que puedan ser utilizadas para activar anunciadores ópticos y acústicos y sistemas de dispositivos de accionamiento. Los sensores están formados por una película delgada piezo-eléctrica intercalada entre las capas de metalización y son transportados por una pequeña hoja rectangular de poliéster que tiene un borde montado en un tablero de PC. Una pequeña masa está unida cerca del extremo del voladizo, mejorando la capacidad de detección de la inercia del sistema.

Entre las ventajas de la presente invención es que incluye un pequeño detector que consume muy poca energía.

Otra ventaja de la presente invención es que proporciona un sensor de coste relativamente bajo que se puede colocar en múltiples ubicaciones con costes razonables.

30 Todavía otra ventaja de la presente invención es que proporciona una detección altamente precisa de la onda primaria (onda P) del terremoto relacionada con el movimiento y genera una salida que se puede transmitir a lugares remotos como parte de un sistema dedicado a anunciar la llegada inminente de un terremoto.

Estos y otros objetivos y ventajas de la presente invención como se establece en el aparato de la reivindicación 1 y el método de la reivindicación 9, sin duda, resultarán evidentes para los expertos en la técnica después de haber leído la siguiente descripción detallada de las realizaciones preferentes ilustradas en las diversas figuras del dibujo.

35 En el dibujo

La figura 1 es una vista en perspectiva que ilustra esquemáticamente un detector de ondas P según un sistema de ejes tridimensional según la presente invención;

La figura 2 es una vista en planta que ilustra detalles de un sensor piezoeléctrico del tipo representado en la figura 1;

40 La figura 3 es un diagrama de circuito que ilustra esquemáticamente los principales componentes de un canal de procesamiento del detector de la figura 1;

La figura 4 es un diagrama de flujo que ilustra la operación de la CPU representada en la realización de la figura 1; y

La figura 5 es un diagrama de bloques generalizado que ilustra la utilización de la presente invención en un detector múltiple, sistema de estación múltiple que tiene capacidad de rechazo de señal falsa.

En la especificación

45 En la figura 1, un conjunto detector de acuerdo con la presente invención se muestra en 10 e incluye de 1 a 3 elementos flexibles, películas delgadas, sensores piezoeléctricos que cada función en el modo de voladizo como un dispositivo de monitorización de la inercia con respecto a la onda primaria (onda P) relativa al terremoto de movimiento del dispositivo en cualquier dirección del espacio, incluyendo a lo largo de los ejes X e Y horizontales y el eje vertical Z, o cualquier combinación de los mismos. Si varios elementos sensores se utilizan como  
50 componentes de un módulo de sensor único, los ejes sensibles de los varios elementos se colocan ortogonales entre sí y los soportes para los elementos están fijados rigidamente entre sí, en virtud de su unión a una placa de

circuito impreso o en virtud de placas de circuitos impresos separados teniendo cada uno un único sensor montado unido a la misma estructura física (es decir, la pared de soporte de carga), con el fin de moverse como una unidad y proporcionar dos o tres ejes separados de detección del movimiento sísmico.

5 Como se representa en la figura 1, el conjunto detector incluye un circuito impreso principal (PC) placa 12 que ha formado el mismo una pluralidad de pistas 14 de señal para conducir señales eléctricas entre varios componentes de dispositivos fijados a la placa. Montados en la placa 12 hay tres subconjuntos de sensores piezoeléctricos 16, 18 y 20 orientados respectivamente para medir el movimiento en las tres direcciones ortogonales X, Y y Z, como se sugiere mediante las flechas de doble punta 22, 24 y 26. Téngase en cuenta que mientras que el subconjunto 16 está montado directamente sobre la placa 12, los subconjuntos 18 y 20 están montados sobre las placas secundarias 30 y 28 que están unidas a la placa principal 12 y asimismo tienen pistas de señal, tal como se indica en 32, que están conectadas óhmicamente a las pistas 14 mediante soldadura o interconexión mecánica apropiada.

15 Dentro de cada uno de los subconjuntos de sensores 16, 18 y 20, hay una película delgada, en voladizo, un elemento sensor piezoeléctrico 34 que tiene un par de pines 36 conectores montados en la placa asociada para apoyar, en forma de voladizo, y conectar eléctricamente el elemento sensor asociado a la placa en la que está montado el conjunto. De acuerdo con la presente invención, la película delgada piezoeléctrica incluida en cada elemento sensor es de aproximadamente 28  $\mu\text{m}$  de espesor y es alrededor de 16 mm de longitud y alrededor de 12 mm de anchura y forma la parte activa del sensor laminado que se describirá con más detalle a continuación. La importancia de estas dimensiones y los tipos de materiales utilizados no reside en su valor exacto tanto como en el equilibrio y la interacción de factores que surgen cuando se combinan con una pequeña masa con el fin de maximizar la flexibilidad (es decir, incrementar la señal a rango de ruido), mientras se mantiene la respuesta de movimiento a la señal de la onda P tan plana como sea posible dentro de la banda de la banda de frecuencia de interés, y al mismo tiempo mantener la señal de llamada (causada por las propiedades de resiliencia del material sensor) dentro de la banda de detección a un mínimo. Elementos sensores comercialmente disponibles similares a los que se describen en el presente documento incluyen la LDTM y la más reciente LDTC sensores tipo hechos por Measurements Specialties, Inc. de Norristown, PA. De acuerdo con la invención, una cierta masa 38 pequeña está unida cerca del extremo del voladizo del elemento sensor montado, mejorando la capacidad de detección de la aceleración/inercia del aparato. Otros detalles de la estructura del sensor de por sí serán comentados a continuación en el presente documento. Téngase en cuenta que cada uno de los sensores piezoeléctricos está encerrado en una pequeña caja de plástico hermética que permite el movimiento necesario para la detección del movimiento del terremoto aislado no obstante el sensor de la temperatura del aire y de fluctuaciones de movimiento del aire de baja intensidad que de otra manera podrían generar señal de ruido que podría afectar adversamente e interferir con las lecturas reales de movimiento relacionadas con el terremoto.

35 También montados en la placa 12 hay una pluralidad de amplificadores 40 de tamponamiento para recibir señales de salida eléctricas generadas por los sensores piezoeléctricos a través de la señal de las pistas 14, y una pluralidad de unidades 42 de amplificador/filtro incluyendo filtros de paso bajo y paso alto analógicos. Las señales de salida por las unidades 42 se introducen en una unidad de procesamiento central (CPU) 44 que procesa las señales, y si se detecta una onda P de amplitud apropiada, genera señales de salida para el accionamiento de un anunciador 46 audible, o un anunciador visual 48, y/o uno o más actuadores externos a través de la línea 50. El conjunto de procesamiento de señal de sensor está contenido dentro de un alojamiento adecuado fijado a la placa 12 como se sugiere mediante las líneas de trazos 52.

45 Volviendo ahora a la figura 2 del dibujo, se ilustran los detalles de un sensor piezoeléctrico del tipo representado en la figura 1 en 34. Como se sugirió anteriormente, el sensor se compone de una película delgada 60 (normalmente de 28  $\mu\text{m}$  o 52  $\mu\text{m}$  de espesor) de material piezoeléctrico intercalada entre metalización (tinta de plata compatible o aleación cobre níquel por deposición catódica) capas 62 y 64. Estas tres capas están a su vez dispuestas entre revestimientos (uretano) 66 y 68 de aislante plástico. Puesto que el sensor es muy flexible, cuando deba ser utilizado en modo flexión, estas varias capas de material, incluyendo la película piezoeléctrica, se fijarán a algún tipo de refuerzo. Por consiguiente, las varias capas se laminan a un 0,0025 pulgadas (125  $\mu\text{m}$ ) lámina de poliéster o la capa 69 que es de alrededor de 25 mm de longitud y 16 mm de anchura. Esta capa endurece la estructura en voladizo lo suficiente para que en reposo el sensor de laminado flexible se sitúe en un plano determinado por la posición de los pines de soporte 65 y 67. Y puesto que la película piezoeléctrica está ahora dispuesta fuera del eje neutro del nuevo laminado, además de experimentar deformación por flexión, la película también experimentará un ligero estiramiento y la compresión ya que el laminado se desvía y por lo tanto se desarrollará un voltaje de salida mucho mayor en comparación con el de la película sometida a la simple flexión que tendría que soportar si el material piezoeléctrico no se hubiese laminado a la capa de poliéster 69. Téngase en cuenta que la capa de metalización inferior 62 incluye una extensión 63, y la capa de metalización superior 64 incluye una extensión 61. La conexión eléctrica a las capas de metalización 62 y 64 se realiza por medio de los pines de conexión 65 y 67 que tienen lengüetas de soldadura 70 que se activan a través de las extensiones de laminado 61 y 63 respectivamente, y luego engarzadas al mismo. Para garantizar una buena conexión óhmica entre los pines y las capas de metalización, la soldadura se aplica normalmente a las lengüetas engarzadas. En el extremo opuesto del sensor, se fijan un par de pesos 72 de forma cilíndrica de 1,2 g, respectivamente, a la parte superior e inferior de la lámina mediante un único remache 74 de 0,1 g que se pasa a través del mismo. El centro de masas de los pesos combinados se coloca alrededor de 21 mm del extremo trasero 76 del laminado.

Por tanto, se aprecia que con el conjunto sensor montado en una placa de PC mediante fijación rígida de los pines 65-67 a la placa, el movimiento de la placa en la dirección del eje del remache 74 (es decir, la dirección normal a la superficie plana del laminado) tenderá a flexionar el laminado en voladizo forzando así el material piezoeléctrico y provocando un potencial eléctrico a ser desarrollado a través de los pines 65-67 que es proporcional a la tensión inducida.

En la figura 3 del dibujo, se presenta un diagrama esquemático simplificado que muestra un circuito sensor sensible al movimiento a lo largo de uno de los tres ejes representados en la figura 1. Debido a la cantidad de minutos de carga (en el rango de picoculombios), y la corriente muy pequeña (en microamperios) que se crea y se convierte en tensión por la flexión del sensor piezoeléctrico, la parte de detección del circuito requiere la utilización de un amplificador/tampón con una muy alta impedancia de entrada de al menos 100 megaohmios, y una resistencia de polarización de muy alto valor. Como se ha descrito anteriormente, el objeto de la invención utiliza un sensor flexible, piezoeléctrico en serie con la entrada a una impedancia extremadamente alta op-amp, junto con una muy gran resistencia conectada a tierra. El propio sensor piezoeléctrico, en conjunción con la resistencia, actúa como un paso alto analógico ( $\approx 0,5$  Hz y por encima) de filtro, con la frecuencia de esquina (punto de -3dB) estando en el límite inferior (aproximadamente 0,5 Hz) de las posibles frecuencias de onda primaria del terremoto.

En el circuito esquemático de la figura 3, el sensor X 16 se muestra conectado a través de un muy alto valor de la resistencia R1 que tiene un valor de resistencia superior a 10 megaohmios. La corriente que fluye desde el sensor a través de la resistencia proporciona una tensión de entrada proporcional al amplificador/tampón 40. La señal de salida resultante desarrollada en 41 se amplifica luego más y se filtra utilizando paso bajo analógico (0 a  $\approx 15$  Hz) y paso alto ( $\approx 0,5$  Hz y por encima) en filtros 42, y luego entra en 43 a una de las tres terminales de entrada de una CPU 34 después de lo cual se muestrea y se procesa en tiempo real como se describe a continuación.

La CPU 44 utiliza una fuente de tensión de una sola polaridad pero lee la entrada del sensor de movimiento como una corriente alterna (AC) de señal en tiempo real. Para hacer las mediciones tan precisas como sea posible y para maximizar también la resolución en el rango de entrada, la CPU controla la entrada sobre un período de tiempo prolongado. De estos datos se separa cualquier movimiento de la zona de no movimiento de la señal de entrada, calcula el valor medio de la señal, y lo fija como el AC punto cero desplazado de tiempo de actualización real para futuras lecturas del detector. El punto cero se actualiza en tiempo real para dar cuenta de las fluctuaciones de tensión de muy bajos desplazamientos de frecuencia tales como las variaciones de temperatura, o caída de tensión de la batería, con el tiempo.

Se proporcionan medios simples como un pulsador, la interfaz de programas de computador, y/o medios de programación remota para la entrada en 45 para permitir la modificación de la aceleración del suelo y espectral de potencia de los niveles de activación de densidad de salida ajustables, así como los valores de los filtros internos de procesamiento de señales digitales que son utilizados por el sistema para determinar la presencia (o no) de un terremoto inminente. Esta entrada (a) permite un ajuste preciso del dispositivo durante las pruebas del fabricante, y (b) facilitando la personalización de los niveles de activación para acomodar las peticiones de los clientes y/o las diferentes localizaciones geográficas y zonas sísmicas.

Con el fin de mantener la señal de amplitud con exactitud independientemente de la tensión de la batería que cae con el tiempo que de otro modo afectaría a la resolución del convertidor interno analógico-digital de la CPU, el dispositivo necesita una tensión de referencia. La CPU de la realización preferente utiliza un diodo emisor de luz roja (LED) 54 como referencia de tensión sencilla y barata, aunque se pueden sustituir por otros sistemas más estandarizados de referencia de tensión. El valor de la referencia depende del tipo/color de diodo utilizado. En este caso, un diodo rojo estándar proporciona una tensión de referencia de 1,5 V que se utiliza para calibrar la entrada de analógico a digital de la CPU. El LED también funciona como un "ON indicador" visual para el circuito y como una fuente de retroalimentación de programación para ajustar la sensibilidad de la unidad. El circuito incluye una resistencia R2 en serie con, y un pequeño condensados C en paralelo con, el LED 54. Cuando se enciende el LED, el condensador C se carga a la caída de tensión intrínseca del LED. La salida de la CPU se volcó luego en una entrada durante un corto período de tiempo (es decir antes de que la tensión a través del condensador se pueda descargar), mientras que la medición de referencia se hace de la tensión a través del par LED/condensador. Se requiere esta referencia de tensión fija para mantener la precisión de la amplitud de la señal independiente de la caída de tensión de la batería con el tiempo que de otro modo podría afectar a la resolución interna del convertidor de analógico a digital de la CPU.

Haciendo referencia ahora a la figura 4, que es un diagrama de flujo que ilustra los diversos pasos de procesamiento ejecutados por la CPU para cada canal ortogonal, después de que el sistema está encendido y el software del sistema se arranca y se deja sedimentar, el procesamiento de la señal digital en tiempo real se realiza sobre las señales de entrada amplificadas y parcialmente filtradas. Como se ha señalado anteriormente, el procesamiento incluye una reducción a cero automática compensada en tiempo real, como se indica en 80, de orden múltiple filtro (82) de paso bajo digital e integración (84) digital que mantiene una suma continua de unos pocos segundos anteriores de las lecturas de entrada y que provoca que la suma caiga a cero después de unos segundos de inactividad de la señal. El tiempo real de compensación automática de la reducción a cero se consigue haciendo un promedio de la señal durante un largo período ( $>10$  segundos) de manera continua y tomando la media en curso como punto cero.

- La señal procesada digitalmente se prueba, como se indica en 86, en tiempo real en dos modos diferentes (o una combinación de los dos) para ver si ha sido detectada o no una onda P de terremoto. El primer modo determina si la aceleración del suelo (es decir, la señal de entrada) se eleva por encima de un nivel predeterminado en el software programable, una aceleración de alguna parte entre aproximadamente 0,005 g y 0,1 g, y el segundo modo determina si la densidad espectral de potencia (PSD) de la señal procesada de entrada se eleva por encima de un valor de disparo seleccionado por software determinado dentro de una pequeña ventana de tiempo (tal como por ejemplo, un par de segundos).
- Si la densidad espectral de potencia (PSD) de la señal procesada de entrada aumenta por encima de un valor de activación todavía fácilmente reprogramable preseleccionado dentro de la ventana de tiempo, o si la aceleración del suelo (GA) se eleva por encima de un nivel predeterminado pero fácilmente reprogramable, o si alguna otra combinación de la PSD y GA alcanza un nivel predeterminado que indica la presencia de una onda P como se determina por el algoritmo de cálculo en tiempo real de la actividad sísmica del sistema, se genera una salida, como se indica en 88, para activar la alarma visual (LED), alarma de audio y/o control de cualesquiera de otros dispositivos adecuados.
- Por otro lado, si el nivel de aceleración del suelo no sube por encima del nivel predeterminado, y el valor de la densidad espectral de potencia de la señal procesada de entrada y/o una combinación de la GA y la PSD no se eleva por encima de un nivel de disparo preseleccionado dentro de la ventana de tiempo seleccionado, no se genera ninguna salida y, como se indica por la línea 92, el sistema se reinicia y la secuencia de procesamiento se reinicia en la señal entrante en aquel momento.
- Este método de detección de la onda P combinado es mucho mejor que los métodos anteriores para detectar diferentes tipos de terremotos en una mayor variedad de regiones geográficas en todo el mundo (especialmente las zonas con muy baja frecuencia de menor amplitud de las ondas P). Además, también ofrece la posibilidad de detección antes de la onda P (es decir, un mayor tiempo de advertencia) que cualquiera de los métodos podría por sí solo.
- Como se indicó anteriormente, una vez que la CPU decide que una señal de onda P de un terremoto potencialmente peligroso ha sido detectada, se desencadena una o más de las varias salidas, tales como el audio y alarmas visuales antes aludidas, así como cualquiera de una amplia variedad de otras alertas de respuesta de emergencia, dispositivos de seguridad/protección o sistemas (incluyendo otras instalaciones independientes de este sistema), y/o el apagado de equipos automatizados o copias de seguridad de datos, ya sea directamente por cable, infrarrojos, de forma inalámbrica a un vínculo AM o FM (o de manera modulada) ondas de radio, o conectados a través de Ethernet, teléfono, móvil, cableado del edificio existente, o a través de Internet. Además, después de la detección de movimiento relacionado con una onda primaria de terremoto (onda P), el dispositivo puede provocar la transmisión inmediata de uno o más mensajes digitales y analógicos de voz pregrabados o señales codificadas o no codificadas que desencadenen los mensajes de voz para reproducir en voz alta, ya sea directamente a través de altavoces, a través de una conexión con un intercomunicador, sistema de megafonía o módulo altavoz amplificado, a través de teléfono, móvil, radio AM o FM emisión de ondas, o cualquier tipo directamente por cable o sistema de transmisión inalámbrica de audio. Además, una vez que ha sido detectada una onda P válida, se puede utilizar la capacidad de respuestas automatizadas del sistema para disparar el cierre de una o más válvulas de gas y/o agua y/o apertura o cierre de cualquier otro tipo de gas, válvulas de líquido o producto químico o mecanismo de control.
- Alternativamente, después de la detección de movimiento relacionado con una onda primaria de terremoto, el dispositivo se puede utilizar para controlar directa o indirectamente un brazo u otro mecanismo de retención, y/o una barrera, escudo u otro mecanismo de protección o dispositivo que esté destinado a limitar el movimiento y/o posibles daños a objetos, personas, animales, etc., con el fin de reducir la posibilidad de que tales objetos, personas, animales, etc., sean dañados o heridos, ya sea por sí mismos o por ser golpeados o aplastados por la caída de material durante un terremoto. Del mismo modo, después de la detección de movimiento relacionado con una onda primaria de terremoto, el dispositivo puede operar controles que incluyen pero no se limitan a una puerta automática o la apertura de la puerta del garaje, el cierre, mecanismo de bloqueo o desbloqueo, la puesta en marcha de un generador eléctrico de reserva, la transmisión de una señal inalámbrica para arrancar un motor de un vehículo (esto último puede ser útil en países fríos), así como generar la grabación o la copia de seguridad de los datos almacenados electrónicamente o magnéticamente.
- Con el fin de evitar falsos eventos, se puede utilizar un sistema de sensores en una estación tal como se indica en 100 en la figura 5. El sistema incluye dos o más de las unidades de detección o módulos sensores 10 instalados en ubicaciones apropiadamente separados de una estructura monitorizada con sus salidas que alimentan a un controlador 98. El controlador está adaptado para comparar las salidas detectadas recibidas de los detectores 10 y determinar si los resultados son como probablemente habrían sido causados por una onda P de terremoto o son más propensos a haber sido causados por alguna perturbación local, un paso de camiones o un portazo, etc. Por ejemplo, mientras que una perturbación local es más probable que accione uno pero no ambos de los detectores, un terremoto es más probable que accione simultáneamente ambos detectores. Por consiguiente, en respuesta a las señales simultáneas y equivalentes recibidas desde ambos módulos detectores, el controlador 98 desarrollará señales de salida que luego pueden ser utilizadas para dirigir la alarma deseada u otra operación controlada. Tras la detección de movimiento sísmico posiblemente peligroso inminente, el controlador 98 activará una grabadora interna

para grabar toda la actividad sísmica medida detectada durante un período que se inicia un pequeño intervalo antes de que se percataste de dicho movimiento y se termina aproximadamente un minuto o dos después de la detección inicial del movimiento posiblemente peligroso. Este registro de la actividad sísmica se almacena internamente en una memoria no volátil físicamente protegida, de la que más tarde se podrá recuperar para la verificación del nivel preciso de la actividad en la ubicación exacta del sistema. En el caso en que ningún método de grabación externo está conectado al sistema, o en el caso de un terremoto muy perjudicial que destruya toda la instalación, equipos y todo, este registro interno puede actuar como la caja negra de un avión en el caso de accidente de un avión.

El controlador 98 calcula en tiempo real el retardo de propagación entre el movimiento detectado en cualquier módulo de un sensor dado de un sistema multisensor y el intervalo de tiempo entre el movimiento similar que aparece en otro sensor del mismo sistema, pero situado a cierta distancia del primer sensor. Este tiempo supervisado real de retardo de propagación es una información muy valiosa y puede utilizarse tanto para discriminar entre la actividad sísmica y el ruido de vibración extraño localmente producido (con el fin de reducir el sistema de falsos disparos), y también para permitir que el sistema discrimine entre movimiento sísmico (es decir, suelo) y fuerte movimiento de aire como se crea durante una explosión o violentas ráfagas de viento en una tormenta. Esto permite que el sistema actúe también como un detector de explosión fiable para su utilización como sistema de seguridad antiterrorismo. Además, cuando tres o más módulos de sensor de tres ejes están montados a una distancia suficiente uno del otro y el retardo de propagación de la actividad detectada se monitoriza entre cada sensor, el sistema puede realizar un cálculo avanzado utilizando el retardo de propagación y los ratios de actividad sísmica verticales/horizontales para determinar con cierto grado de precisión la dirección del terremoto en tiempo real, así como la profundidad de su hipocentro o punto de origen bajo la superficie de la tierra.

Otros sistemas de sensores en las estaciones de detectores 110, 120 en ubicaciones alejadas de la ubicación de la estación 100 también podrían unirse entre sí y a una estación de monitorización central 130 por una transmisión de señal adecuada o medios de comunicaciones o red, indicado en general por la línea discontinua 140, por lo que cada estación puede ser informada inmediatamente de un evento desencadenante en una estación en particular y podría tomar las medidas adecuadas, tal vez antes de haber experimentado el evento sísmico que se aproxima. Del mismo modo, las salidas detectadas de las varias estaciones se pueden grabar en tiempo real en una estación de monitorización central 130 para su posterior análisis.

Alternativamente, después de la detección de movimiento relacionada con una onda primaria de terremoto, el dispositivo de la presente invención se puede utilizar a través de una red ethernet y/o conexión a internet para enviar automáticamente correos electrónicos u otras comunicaciones electrónicas con información y/o datos pertenecientes al evento sísmico, así como de comunicarse directamente con otros sistemas situados a distancia, ya sea a través de ethernet, internet, teléfono, móvil, u otro método de transmisión inalámbrica para cualquier onda P que activan las propuestas de respuesta del dispositivo automatizado que se mencionan en el presente documento y/o para crear una red de los dispositivos de vigilancia que, trabajando conjuntamente, pueden calcular la ubicación en tiempo real y la dirección de un evento sísmico, así como proporcionar tiempo adicional de alerta temprana para la notificación de voz y la actuación del dispositivo automatizado para el seguimiento de los nodos en la red que aún no han detectado ninguna actividad sísmica significativa.

A modo de un ejemplo específico, un dispositivo de acuerdo con la presente invención y configurado adecuadamente para una instalación particular, podría ser programado para el personal de seguridad y mantenimiento meramente de alerta tras la detección de un nivel de 4,8-5,0 de la escala de Richter, poniendo en marcha un generador de energía reserva tras la detección de un nivel 5,5-6,0 y parando los procesos críticos tras la detección de un nivel de 7,0+ de terremoto. El razonamiento tras esta configuración podría ser que la alerta temprana y funciones preparatorias no tienen ningún inconveniente para la implementación temprana, mientras que la interrupción o cierre de los procesos de fabricación complejos, por ejemplo, que son más costosos y difíciles de reiniciar, deben iniciarse solamente a un nivel en el que hay verdaderamente potencial de daño grave. Estas salidas, y los diferentes niveles en los que se desencadenaron se determinan a través de los esfuerzos de colaboración de los equipos de ingeniería, tanto de la instalación protegida como del fabricante del dispositivo.

Como se indicó anteriormente, el aparato de acuerdo con la presente invención monitoriza constantemente el nivel de movimiento del suelo, calculando en tiempo real la densidad espectral de potencia de cualquier movimiento detectado, y comparando la aceleración del suelo y la PSD con niveles predeterminados válidos de activación de la onda P. Puesto que (a) la magnitud de las ondas P generalmente muestra cierta correspondencia con la magnitud del terremoto inminente, (b) la anterior onda P se considerará que se ha detectado, mayor será el tiempo de advertencia y el tiempo de activación del dispositivo automatizado antes de que lleguen las ondas más peligrosas de cizalla y Rayleigh, y (c) algunos tipos de alertas tempranas y dispositivos activados automáticamente son más críticos de disparar y tienen menos costes u otras repercusiones en el caso de falso o de bajo nivel de terremoto desencadenante, es deseable para ser capaz de desencadenar individualmente diferentes tipos de salidas a diferentes niveles de actividad de la onda P con el fin de maximizar la seguridad y, sin embargo reducir los costes asociados con la activación total de todas las salidas del sistema. Un ejemplo de esta aplicación sería en un hospital donde un nivel de activación de la onda P de bajo nivel activaría solo alertas de mensajes de voz para el personal del hospital, pero donde los niveles de actividad de las ondas P medias o altas también desencadenaría el cierre de válvulas de gas y las válvulas de flujo de agua, así como tal vez a partir de un generador de energía de reserva y desencadenar la activación de un dispositivo de copia de seguridad de datos del sistema informático. El sistema

5 descrito permite salida independiente y/o dependiente desencadenante basada en la lógica de disparo mediante ecuaciones definidas completamente por software que involucra variables que incluyen diferentes niveles de actividad sísmica en uno o varios sensores, los retrasos de tiempo asociados con la activación de ciertos dispositivos (como el cierre de puertas del parque de bomberos después de un evento sísmico), la situación de activado/no activado de otras salidas del sistema, y/o los datos recibidos de otros sistemas remotos del mismo tipo que están interconectados a través de internet u otras comunicaciones de enlace.

10 Aunque la presente invención ha sido descrita anteriormente en relación con un dispositivo que utiliza un único módulo en voladizo sensor piezoeléctrico que se aprovecha de la inercia de una o más masas móviles, flexibles o físicamente deformables ubicadas interna o externamente al dispositivo con el fin de supervisar el movimiento, la flexión o distorsión física de la masa, ya que varía en respuesta al sonido o las ondas de choque en el aire en el punto de detección en cualquier dirección del espacio, incluyendo ejes X e Y horizontales y el eje vertical Z, o cualquier combinación de los mismos, se apreciará por los expertos en la técnica que se pueden hacer diversas modificaciones a la realización descrita anteriormente, y que el método de vigilancia descrito, alternativamente, puede realizarse utilizando cualquiera de una amplia variedad de otros tipos de sensores analógicos o digitales o 15 una combinación de los mismos, incluyendo pero no limitado a sensores de infrarrojos o fotosensibles, sensores de presión, sensores magnéticos o de efecto hall, sensores de resistencia variable (incluyendo cualquier variedad de potenciómetro), sensores de capacitancia variable y sensores de inductancia variable. Por lo tanto se pretende que esta descripción se interprete en sentido amplio y que las reivindicaciones adjuntas deben interpretarse para cubrir

**REIVINDICACIONES**

1.- Aparato (10) para detectar ondas P generadas por terremotos, que comprende:

5 medios que forman un alojamiento adaptado para montarse a una estructura de soporte (28; 30) objeto de movimiento por las fuerzas sísmicas; medios sensores (16; 18; 20) fijados al citado alojamiento y operativos para generar señales eléctricas proporcionales al movimiento experimentado por la citada estructura de soporte, dichos  
 10 medios sensores (16; 18; 20) que incluyen múltiples elementos sensores (16; 18; 20) cada uno de los cuales es sensible al movimiento en una dirección normal a una de una pluralidad correspondiente de planos que se cortan mutuamente ortogonales y operativos para generar una señal eléctrica proporcional al mismo, cada uno de dichos  
 15 elementos sensores (16; 18; 20) que incluye una película delgada, en voladizo, estructura (34) piezoeléctrica que tiene un extremo proximal fijado rígidamente a dicho alojamiento y un extremo distal sin soporte;

medios (42) de amplificación y filtración de la señal que responden a dichas señales eléctricas y operativos para amplificar y pasar señales que tengan frecuencias dentro del rango de aproximadamente 0,5 a 15 Hz; y

15 medios (44) de procesamiento de señal dispuestos para el muestreo de las señales pasadas y para realizar una función de puesta a cero automática en tiempo real mediante el promedio de señales a través de sucesivos períodos de tiempo mayores de aproximadamente 10 segundos y para la toma de la media actual de señales pasadas promedio como el punto cero, pero haciendo que la suma de las señales pasadas por encima de cualquier dicho período de tiempo para caer a un valor cero después de pocos segundos de ninguna señal, y para determinar que la onda P se ha detectado si (a) la señal pasada promedio se eleva por encima de un nivel predeterminado, y/o (b) un  
 20 valor de densidad espectral se eleva por encima de un valor de activación predeterminado dentro de una ventana de tiempo predeterminado, y para generar una señal de salida con la misma proporción.

2.- Aparato para detectar ondas P generadas por terremotos como se cita en la reivindicación 1, en el que cada elemento sensor (34) citado tiene un peso (72) de una masa (38) predeterminada fijada a dicho extremo distal.

3.- Aparato para detectar ondas P generadas por terremotos como se cita en la reivindicación 1, en el que el citado alojamiento incluye una placa (12) de circuito impreso que incluye pistas eléctricas (14) que interconectan dichos  
 25 medios (16; 18; 20) de sensor que amplifican la citada señal y medios (42) que filtran y los citados medios (44) de procesamiento de señal.

4.- Aparato para detectar ondas P generadas por terremotos como se cita en la reivindicación 3, en el que cada elemento (16; 18; 20) sensor está encerrado en un recinto hermético.

5.- Aparato para detectar ondas P generadas por terremotos como se indica en la reivindicación 1, en el que los citados medios (44) de procesamiento de la señal incluyen una interfaz de usuario para permitir la modificación de la aceleración del suelo y los niveles de potencia de disparo de la salida de la densidad espectral y los valores de los filtros internos de procesamiento de señales digitales que son utilizados por el sistema para determinar la presencia de un terremoto inminente.  
 30

6.- Aparato para detectar ondas P generadas por terremotos como se cita en la reivindicación 1, en el que los citados medios (44) de procesamiento de la señal operan mediante el movimiento sísmico que se detecta y generar las señales de movimiento correspondientes;  
 35

amplificar y filtrar dichas señales de movimiento y pasar señales que tienen frecuencias dentro del rango de aproximadamente 0,5 a 15 Hz;

40 realizar un tiempo real de offset de la función de puesta a cero al promediar las señales a través de períodos sucesivos de tiempo mayor que aproximadamente 10 segundos y para la toma de la media continua de las señales promediadas como el punto cero, pero haciendo que la suma de las señales pasadas sobre cualquiera de dichos períodos de tiempo para caer a un valor cero después de unos segundos de la señal; y

45 determinar que una onda P se ha detectado si (a) la señal promediada pasada se eleva por encima de un nivel predeterminado, y/o (b) la suma de densidad espectral de potencia se eleva por encima de un valor de activación predeterminada dentro de una ventana predeterminada de tiempo durante el período en particular, y con ello la generación de una señal de salida proporcional.

7.- Aparato para detectar ondas P generadas por terremotos como se cita en la reivindicación 1, en el que la reducción a cero de desplazamiento en tiempo real se lleva a cabo repetidamente en el promedio de las señales pasadas durante períodos de tiempo de mayor que aproximadamente 10 segundos y tomando la media en curso como punto cero.  
 50

8.- Aparato para detectar ondas P generadas por terremotos como se cita en la reivindicación 7, en la que dichos medios (44) de procesamiento generan una primera señal si una onda P detectada tiene una magnitud que cae dentro de un primer rango de la escala de Richter, y genera una segunda señal si una onda P detectada tiene una magnitud que cae dentro de un segundo rango de la escala de Richter.

- 9.- Un método para detectar las ondas P de terremotos, utilizando elementos sensores múltiples cada uno de los cuales es sensible al movimiento en una dirección normal a uno de una pluralidad correspondiente de planos de intersección mutuamente ortogonales e incluye una película delgada, el elemento sensor piezoeléctrico en voladizo que tiene un extremo distal sin soporte y un extremo proximal rígidamente fijado a un alojamiento que comprende las siguientes etapas:
- 5 detectar el movimiento sísmico y generar señales de movimiento correspondientes utilizando los citados múltiples elementos sensores;
- amplificar y filtrar dichas señales de movimiento y pasar las señales que tengan frecuencias dentro del rango de aproximadamente 0,5 a 15 Hz;
- 10 realizar un tiempo real de offset de la función de puesta a cero al promediar las señales a través de períodos sucesivos de tiempo mayor que aproximadamente 10 segundos y para la toma de la medida continua de las señales promediadas como el punto cero, pero haciendo que la suma de las señales pasadas sobre cualquiera de dichos períodos de tiempo para caer en un valor cero después de algunos segundos sin señal; y
- 15 determinar que una onda P se ha detectado si (a) la señal promediada se eleva por encima de un valor de activación, y/o (b) la suma de densidad espectral de potencia se eleva por encima de un valor de activación predeterminado dentro de una ventana predeterminada de tiempo, y generando con ello una señal de salida proporcional.

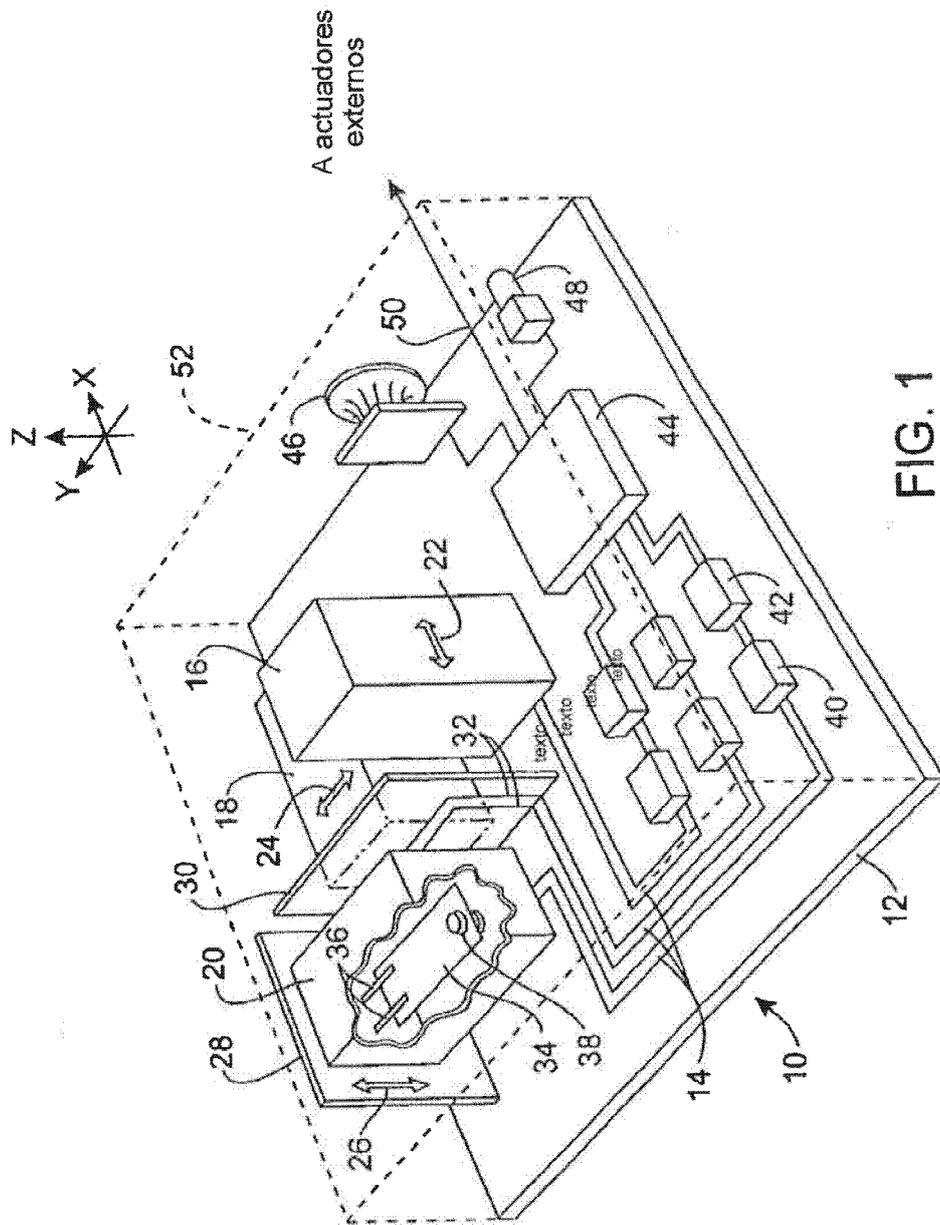


FIG. 1

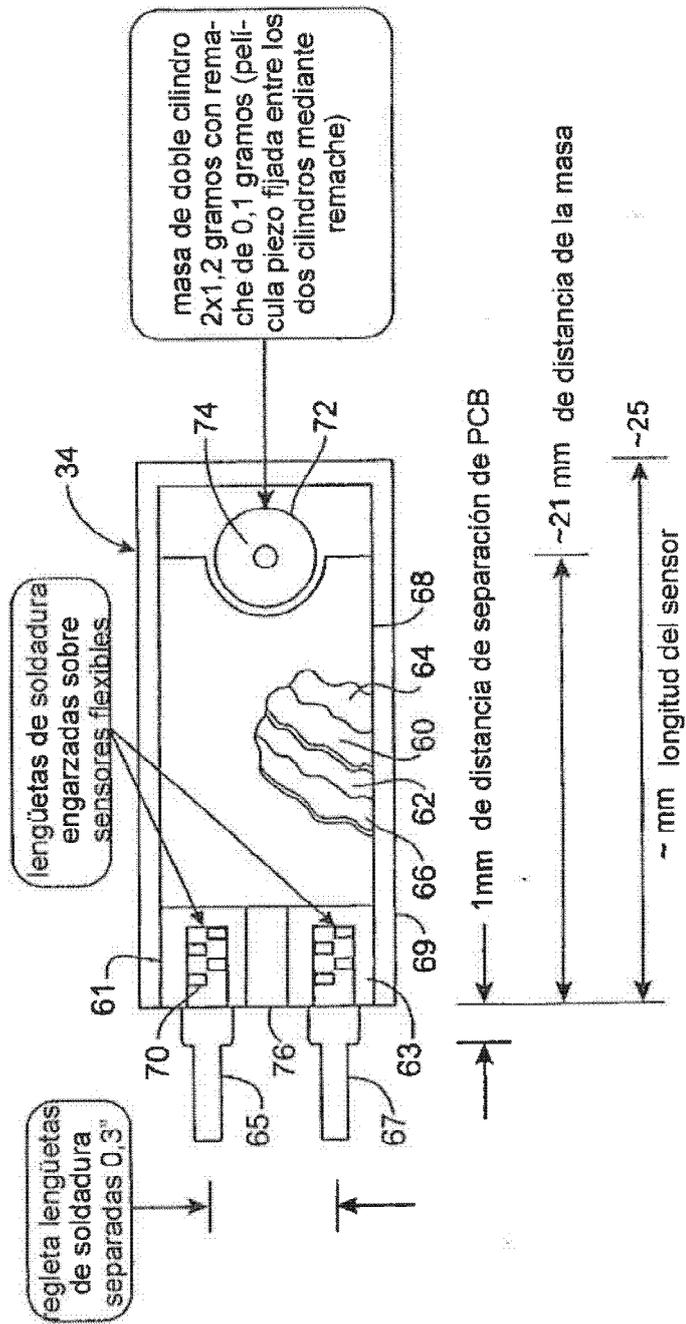


FIG. 2

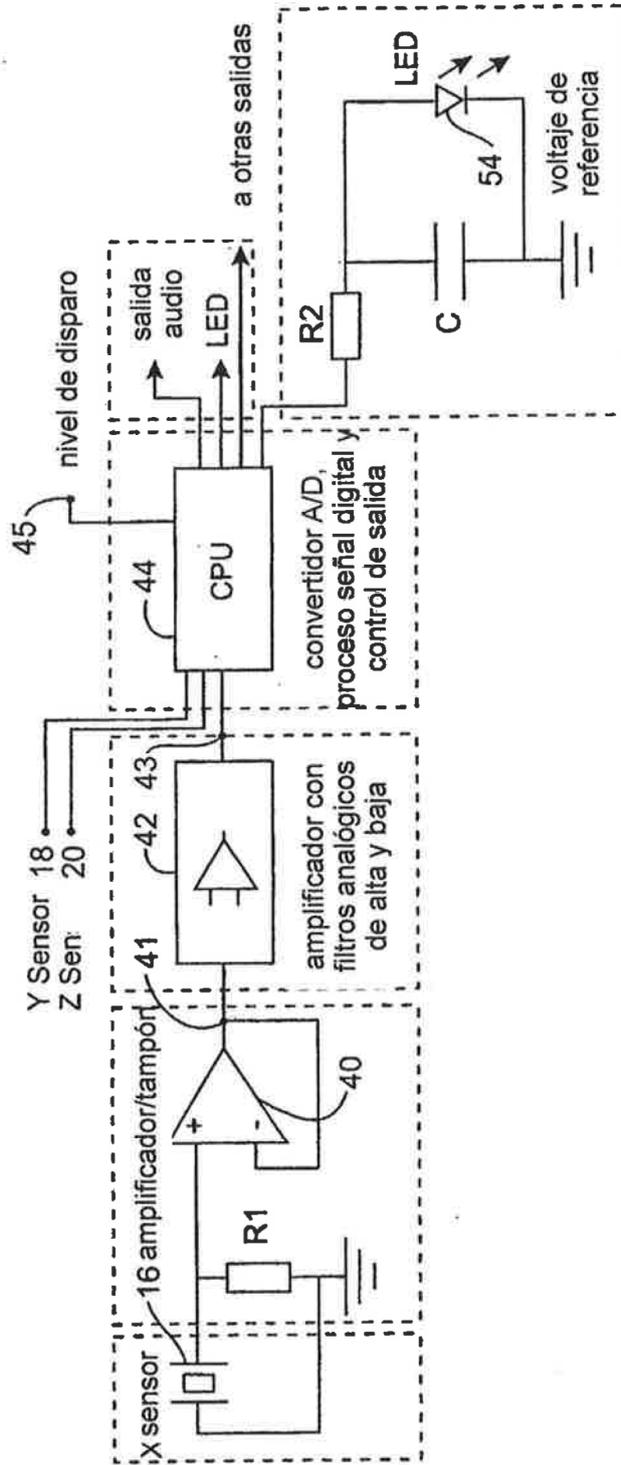


FIG. 3

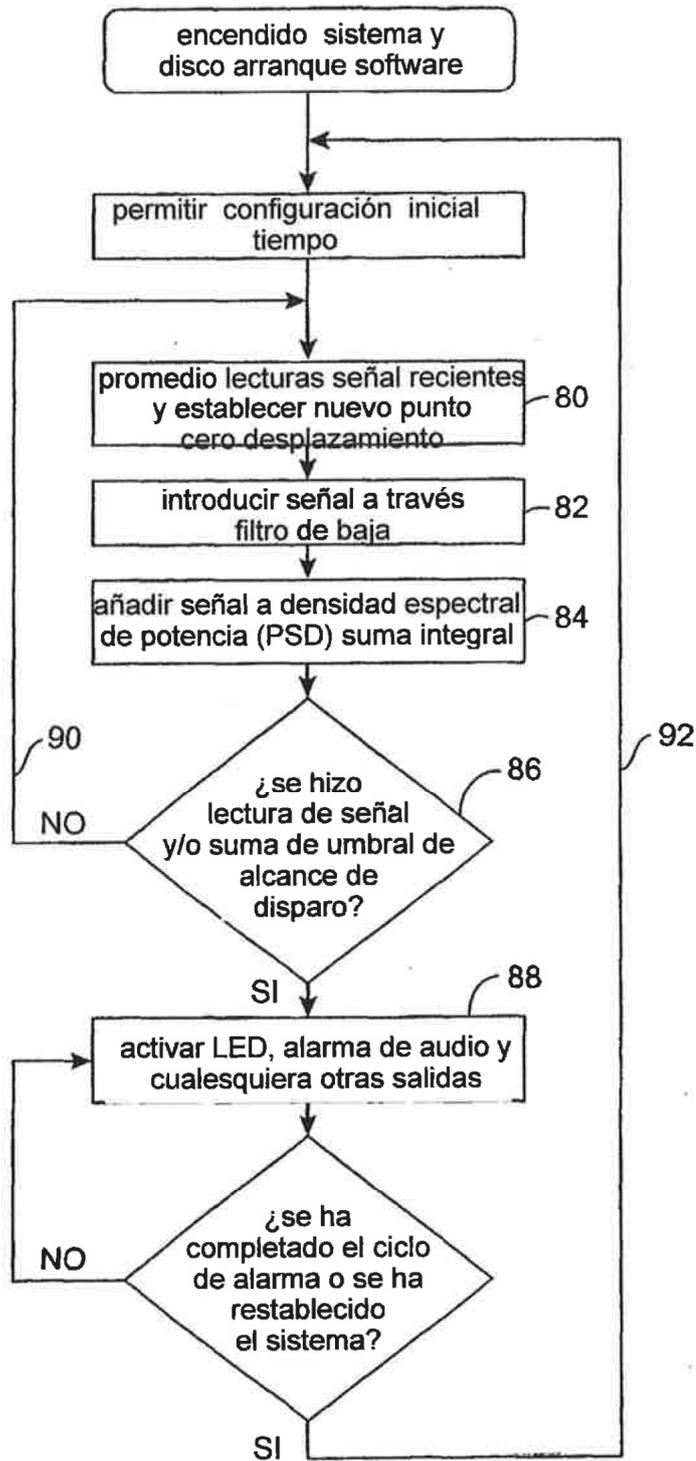


FIG. 4

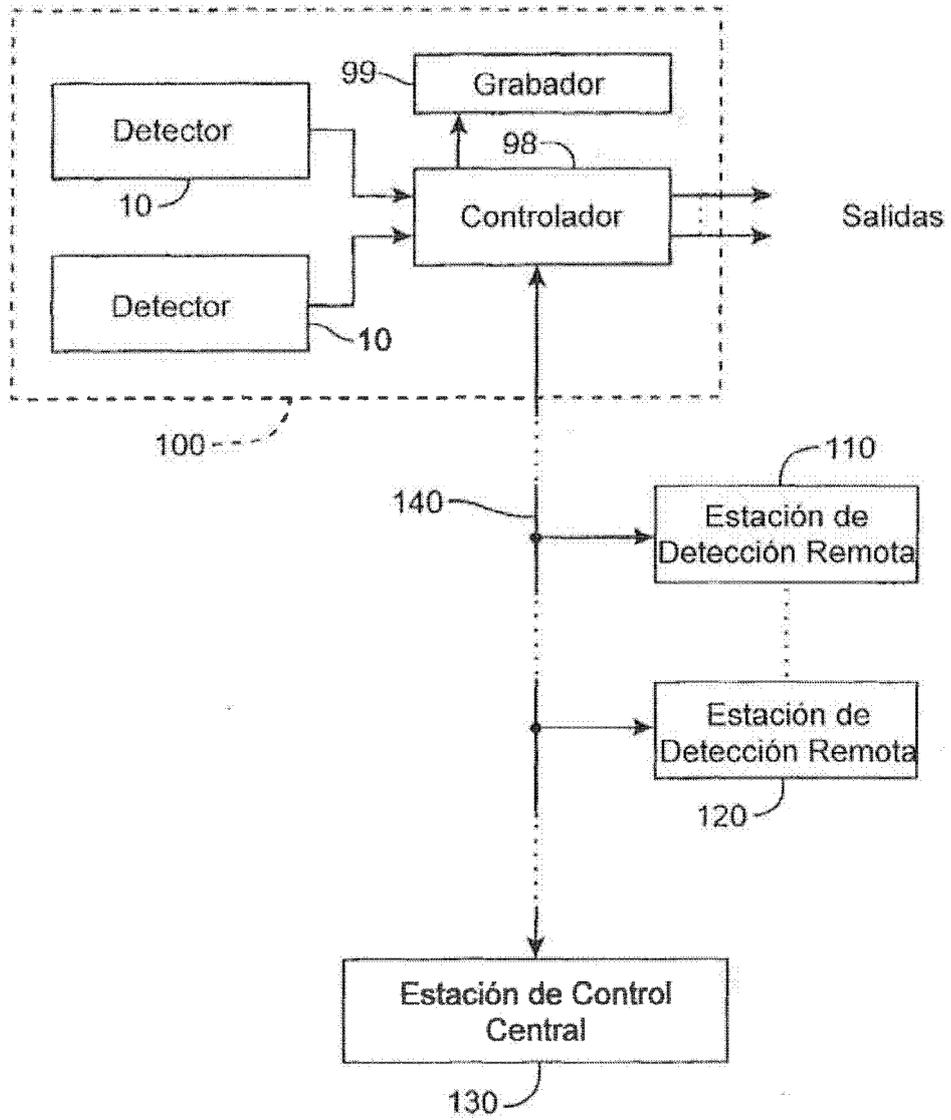


FIG. 5