

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 624 786**

51 Int. Cl.:

G01N 29/44 (2006.01)

B61K 9/08 (2006.01)

B61L 23/04 (2006.01)

G01V 1/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.06.2009 PCT/CA2009/000837**

87 Fecha y número de publicación internacional: **14.01.2010 WO10003220**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.06.2009 E 09793736 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.01.2017 EP 2300299**

54 Título: **Sistema y procedimiento para detectar la caída de piedras**

30 Prioridad:

17.06.2008 US 73358

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
17.07.2017

73 Titular/es:

**WEIR - JONES ENGINEERING CONSULTANTS
LTD. (100.0%)
2040 West 10th Avenue
Vancouver, British Columbia V6J 2B3, CA**

72 Inventor/es:

**NEDILKO, BOHDAN y
WEIR-JONES, IAIN**

74 Agente/Representante:

LÓPEZ CAMBA, María Emilia

ES 2 624 786 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Sistema y procedimiento para detectar la caída de piedras

5 Solicitudes relacionadas

La presente solicitud reivindica el beneficio de la prioridad de la solicitud de EE.UU. nº 61/073.358 presentada el 17 de junio 2008 y titulada SISTEMA DE DETECCIÓN DE CAÍDA DE PIEDRAS SÍSMICA. Para los fines de los Estados Unidos, la presente solicitud reivindica el beneficio de la prioridad de los artículos 35 párrafo 119 del USC y/o 35 párrafo 120 del USC si llegara el caso.

Campo técnico

La presente invención se refiere a la detección de sucesos de caída de piedras. Las determinadas realizaciones proporcionan sistemas y procedimientos para la detección de caída de piedras.

Antecedentes

Los sucesos de caída de piedras y otros sucesos similares (por ejemplo, avalanchas y derrumbes) que tienen lugar cerca de las vías férreas pueden causar daños en las vías, pueden dañar a los trenes que pasan y, en algunos casos, pueden causar descarrilamientos de trenes que a su vez pueden provocar daños en el tren y en las personas y/o las propiedades transportadas por el tren. Los sucesos similares que tienen lugar en la proximidad de otras vías de transporte (por ejemplo, carreteras, puentes, vías del metro y similares) pueden provocar daños semejantes.

La tecnología de la técnica anterior para detectar la caída de piedras en la proximidad de vías férreas implica las denominadas "vallas deslizantes". Las vallas deslizantes incluyen cables conductores de corriente que se extienden entre postes de vallas a lo largo de la vía férrea. La piedra que cae puede golpear y romper alguno de estos cables, abriendo los circuitos correspondientes e impidiendo que circule corriente por ellos. Este cambio en el flujo de corriente puede ser detectado para generar un indicador de caída de piedras. Las vallas deslizantes son poco fiables, dado que la piedra que cae pudiera no golpear o romper un cable, pero aun así constituir un peligro para un tren en circulación. Las vallas deslizantes tienden también a generar falsos positivos, por ejemplo, cuando los cables son rotos por animales o similares. Además, si se activa una valla deslizante (es decir, se rompe un cable), es preciso reparar la valla deslizante (es decir, debe reponerse el cable roto) y el tráfico ferroviario podría retrasarse hasta que se reparara la valla deslizante.

Se conocen ejemplos de sistemas de vigilancia de caída de piedras o vandalismo por ejemplo en los documentos CA-2.197.365-A1 o CA-2.270.066-A1.

El documento US-2005/0.251.343-A1 desvela un sistema y un procedimiento para detectar, localizar y decidir la aproximación hacia una instalación en línea (por ejemplo, una línea de conducciones soterradas, una vía férrea, una valla, etc.) que incluye una pluralidad de unidades de detección colocadas en una configuración a lo largo de la instalación en línea, a cierta distancia unas de otras, en el que cada unidad incluye al menos un sensor para detectar interferencia o ruidos sísmicos o acústicos (de acuerdo con la configuración del sistema, ya sea un sistema soterrado o sobre rasante), y la emisión de una señal indicadora adecuada; un procesador de señales para analizar la señal y compararla con una referencia (banco de datos) de indicios de interferencia o ruido sísmicos o acústicos que está integrada en la unidad de sensor; y un dispositivo de comunicaciones para transferir datos desde la unidad de sensor a un centro alejado de mando y control.

Existe el deseo general de sistemas y procedimientos de detección de caída de piedras que resuelvan o mejoren estas y/u otras deficiencias en la técnica anterior.

Resumen de la invención

Un aspecto de la invención tal como se define mediante las características técnicas expuestas en la reivindicación de producto independiente 1 proporciona un sistema de detección de caída de piedras en la proximidad de un tramo de vía férrea. El sistema comprende:

una pluralidad de sensores de balasto separados a lo largo del tramo de vía, con cada sensor de balasto situado en un balasto próximo al tramo de vía pero separado de los carriles y las traviesas asociados con el tramo de vía y siendo cada sensor de balasto sensible a la energía acústica y configurado para generar una señal de sensor de balasto correspondiente en respuesta a la detección de energía acústica; y una unidad de tratamiento de señales conectada operativamente para recibir las señales de sensor de balasto a partir de la pluralidad de sensores de balasto, con la unidad de tratamiento de señales configurada para detectar sucesos de caída de piedras en la proximidad del tramo de vía basándose, al menos en parte, en las señales de sensor de balasto.

Otro aspecto de la invención tal como se define en las etapas expuestas en la reivindicación del procedimiento

independiente 8 proporciona un procedimiento de detección de caída de piedras en la proximidad de un tramo de vía férrea. El procedimiento implica: el suministro de una pluralidad de sensores de balasto separados a lo largo del tramo de vía y la localización de cada sensor de balasto en un balasto próximo al tramo de vía pero separado de los carriles y las traviesas asociados con el tramo de vía, siendo cada sensor de balasto sensible a la energía acústica y estando configurado para generar una señal de sensor de balasto correspondiente en respuesta a la detección de energía acústica; la recepción de las señales de sensor de balasto a partir de la pluralidad de sensores de balasto; y el tratamiento de las señales de sensor de balasto para detectar sucesos de caída de piedras en la proximidad del tramo de vía basándose, al menos en parte, en las señales de sensor de balasto.

10 Tal como se detalla a continuación, se proporcionan productos de programas informáticos que comprenden instrucciones informáticas que, cuando son ejecutadas por un procesador, hacen que el procesador lleve a cabo los procedimientos de la invención.

A continuación se describen otras características y aspectos de realizaciones específicas de la invención.

15 Breve descripción de los dibujos

En los dibujos que representan realizaciones no limitativas de la invención:

20 la Figura 1 es una representación esquemática de un sistema de detección de caída de piedras según una realización en particular configurado para detectar la caída de piedras en la proximidad de un tramo de vía férrea; la Figura 2A muestra una configuración de sensores según una realización en particular que es adecuada para su uso con el sistema de detección de caída de piedras de la Figura 1 y que incorpora un sensor de balasto; la Figura 2B muestra un sensor de carril que puede incorporarse en una cualquiera o más de las configuraciones de sensores del sistema de detección de caída de piedras de la Figura 1;

25 la Figura 3 es una ilustración esquemática de una unidad de tratamiento de señales según una realización en particular que es adecuada para su uso con el sistema de detección de caída de piedras de la Figura 1; la Figura 4A es una gráfica que muestra datos de sensor digitalizados y de sello de tiempo típicos para un suceso de caída de piedras pequeñas obtenidos en el procesador de datos de la Figura 3 para un conjunto de sensores;

30 la Figura 4B es una gráfica que muestra datos de sensor digitalizados y de sello de tiempo típicos para un tren en circulación obtenidos en el procesador de datos de la Figura 3 para un conjunto de sensores; la Figura 4C es una gráfica que muestra datos de sensor digitalizados y de sello de tiempo típicos para un vehículo de carril superior en circulación obtenidos en el procesador de datos de la Figura 3 para un conjunto de sensores; la Figura 4D es una gráfica que muestra datos de sensor digitalizados y de sello de tiempo típicos para la activación de un generador de potencia in situ obtenidos en el procesador de datos de la Figura 3 para un conjunto de sensores;

35 la Figura 4E es una gráfica que muestra datos de sensor digitalizados y de sello de tiempo típicos para un suceso de caída de piedras significativo obtenidos en el procesador de datos de la Figura 3 para un conjunto de sensores; la Figura 5 ilustra esquemáticamente una serie de parámetros de tratamiento que pueden determinarse a partir de los datos de sensor;

40 las Figuras 6A y 6B representan respectivamente datos de sensor digitalizados con sello de tiempo típicos para un suceso de caída de piedras y la relación MCP/MLP correspondiente; las Figuras 6C y 6D muestran respectivamente un segmento de 0,4 segundos de datos de sensor digitales con sello de tiempo y sus FFT correspondientes asociados con un suceso de caída de piedras típico;

45 las Figuras 6E y 6F muestran respectivamente un segmento de 0,4 segundos de datos de sensor digitales con sello de tiempo y sus FFT correspondientes asociados con un suceso de tren típico; las Figuras 6G y 6H muestran respectivamente un segmento de 1,0 segundos de datos de sensor digitales con sello de tiempo y sus FFT correspondientes asociados con un suceso de vehículo de carril superior típico; las Figuras 6I y 6J muestran respectivamente un segmento de 11 segundos de datos de sensor digitalizados con sello de tiempo y sus FFT correspondientes asociados con el funcionamiento de un generador en la proximidad del tramo de vía de la Figura 1;

50 la Figura 7A representa esquemáticamente un procedimiento para detección de sucesos según una realización en particular; la Figura 7B representa esquemáticamente un procedimiento para tratamiento después del suceso que puede realizarse como una parte del procedimiento de detección de sucesos de la Figura 7A según una realización en particular;

55 la Figura 7C representa esquemáticamente un procedimiento para estimar una posición de un suceso de caída de piedras que puede realizarse como una parte del procedimiento de detección de sucesos de la Figura 7A según una realización en particular;

60 la Figura 7D representa esquemáticamente un procedimiento para adoptar la acción apropiada con respecto a un suceso de caída de piedras que puede realizarse como una parte del procedimiento de detección de sucesos de la Figura 7A según una realización en particular; la Figura 8 es una representación esquemática del estado activado de un conjunto de sensores en el sistema de detección de caída de piedras de la Figura 1 en respuesta a un tren en circulación;

65 la Figura 9A muestra una respuesta típica de un conjunto de sensores del sistema de detección de caída de piedras de la Figura 1 a un suceso de caída de piedras;

la Figura 9B es una representación esquemática del estado activado de los sensores de la Figura 9A; la Figura 10 ilustra esquemáticamente un procedimiento para el despliegue del sistema de la Figura 1 según una realización de ejemplo; y la Figura 11 ilustra esquemáticamente un procedimiento para discriminar una serie de sucesos que pueden estar causados por un ser humano u otro animal según una realización en particular.

Descripción detallada

A lo largo de la siguiente descripción, los detalles concretos se exponen con el fin de proporcionar una comprensión más en profundidad de la invención. Sin embargo, la invención puede ponerse en práctica sin estas particularidades. En otros casos, los elementos bien conocidos no se han mostrado ni descrito en detalle para no complicar innecesariamente la invención. En consecuencia, la memoria descriptiva y los dibujos deben contemplarse con un sentido ilustrativo, en lugar de restrictivo.

Los aspectos de la invención proporcionan sistemas y procedimientos para el uso de sensores de balasto para detectar sucesos de caída de piedras en la proximidad de vías férreas o vías similares. Los sensores de balasto están separados de las vías. Las realizaciones permiten el uso de señales de los sensores de balasto para diferenciar los sucesos de caída de piedras de otros tipos de sucesos y para detectar el hipocentro de un suceso de caída de piedras.

La Figura 1 es una representación esquemática de un sistema de detección de caída de piedras 10 según una realización en particular configurada para detectar caída de piedras en la proximidad de un tramo de vía férrea 12. El tramo de vía 12 puede estar situado normalmente en una región en pendiente que puede presentar un riesgo de caída de piedras de arriba de la pendiente 14 hacia abajo de la pendiente 16. Esto no es obligatorio. El tramo de vía 12 puede estar situado en un valle y tener pendientes ascendentes en los dos lados del mismo. En algunas realizaciones, la longitud de tramo de vía 12 puede estar en un intervalo de 100 m-5 km. En otras realizaciones, el tramo de vía 12 puede tener otras longitudes. Para facilitar esta descripción, se usa un conjunto de convenciones de dirección. Tal como se muestra mediante los ejes esquemáticos mostrados en la Figura 1, la dirección z se refiere a la dirección vertical (es decir, la dirección de la gravedad), la dirección y está orientada a lo largo del tramo de vía 12 y la dirección x se refiere a la dirección que cruza el tramo de vía 12.

El sistema de caída de piedras 10 comprende una pluralidad de configuraciones de sensores 18 dispuestos a lo largo del tramo de vía 12. Tal como se expone en más detalle más adelante, las configuraciones de sensores 18 comprenden uno o más sensores para detectar energía acústica y/o vibratoria. En la realización ilustrada, existen *n* configuraciones de sensores 18 correspondientes al tramo de vía 12. En general, el número *n* puede ser cualquier número adecuado que proporcione la funcionalidad descrita más adelante y puede depender de las características geotécnicas del sustrato en la proximidad del tramo de vía 12.

Las configuraciones de los sensores 18 están separadas entre sí por distancias 20 en la dirección y. En algunas realizaciones, las distancias 20 están en un intervalo de 5-100 m. En otras realizaciones, este intervalo es de 10-50 m. En otras realizaciones más, este intervalo es de 10-30 m. Las distancias 20 pueden basarse en una serie de factores, que incluyen, a modo de ejemplos no limitativos: características de los sensores usados en las configuraciones de sensores 18 (por ejemplo, tipos de sensores, relación señal-ruido, etc.), características geotécnicas (por ejemplo, factor de calidad del sustrato geológico), requisitos de rendimiento (por ejemplo, magnitud de la caída de piedras que se desea que detecte el sistema 10) y/u otros factores (por ejemplo, patrones meteorológicos locales, fuentes de ruido locales naturales y/o artificiales). Las distancias 20 pueden ser uniformes en el sistema 10, aunque no es obligatorio. En general, las distancias 20 pueden diferir entre cada par adyacente de configuraciones de sensores 18.

Cada una de las configuraciones de sensores 18 genera una o más señales de sensor 22 correspondientes. En la realización ilustrada las señales de sensor 22 son señales analógicas, pero no es obligatorio. En algunas realizaciones, las configuraciones de sensores 18 pueden emitir señales de sensor digitales. Las señales de sensor 22 se transmiten a lo largo de líneas de transmisión 24 a la unidad central de tratamiento de señales 26. Las líneas de transmisión 24 pueden discurrir a través de conductos protectores (no mostrados en la Figura 1), tales como tuberías hechas de metales, plásticos, fibras o materiales similares adecuados. Las líneas de transmisión 24 pueden estar blindadas eléctricamente para prevenir interferencias eléctricas de fuentes eléctricas y/o para prevenir diafonía entre las señales 22. La ilustración esquemática de la Figura 1 muestra una única señal 22 y una única línea de transmisión 24 para cada configuración de sensores 18. Esta configuración no es obligatoria. En general, las configuraciones de sensores 18 pueden comprender múltiples sensores que generan una pluralidad de señales 22 correspondiente que a su vez pueden transmitirse a la unidad de tratamiento de señales 26 en una pluralidad de líneas de transmisión 24 correspondientes. Los expertos en la materia comprenderán que las señales 22 de las configuraciones de sensores 18 pueden estar multiplexadas en las líneas de transmisión 24 si se desea.

En la realización ilustrada, el sistema 10 comprende uno o más dispositivos de captura de imágenes 34 opcionales. Los dispositivos de captura de imágenes 34 pueden comprender cámaras de televisión en circuito cerrado, por ejemplo. En algunas realizaciones, los dispositivos de captura de imágenes 34 capturan imágenes digitales y/o vídeo

digital. Los dispositivos de captura de imágenes 34 pueden estar controlados por la unidad de tratamiento de señales 26 usando señales 38 que son suministradas a los dispositivos de captura de imágenes a lo largo de las líneas de transmisión 40. Los datos de imágenes 36 capturados por los dispositivos de captura de imágenes 34 pueden transmitirse a la unidad de tratamiento de señales 26 a lo largo de las mismas líneas de transmisión 40. Las líneas de transmisión 40 pueden representar más de una línea real. En algunas realizaciones, las líneas de transmisión 40 no son necesarias y las señales de control de las cámaras 38 pueden transmitirse de forma inalámbrica desde la unidad de tratamiento de señales 26 a los dispositivos de captura de imágenes 34 y los datos de imágenes 36 pueden transmitirse de forma inalámbrica desde los dispositivos de captura de imágenes 34 de nuevo a la unidad de tratamiento de señales 26.

10

La unidad de tratamiento de señales 26 puede estar alojada en un entorno cerrado de protección adecuado (no mostrado), por ejemplo una pequeña construcción o similar. En la unidad de tratamiento de señales 26, las señales de sensor 22 son digitalizadas y procesadas para detectar los sucesos de caída de piedras. El tratamiento de las señales 22 para detectar sucesos de caída de piedras, que se describe en más detalle más adelante, puede implicar la distinción de los sucesos de caída de piedras de otros sucesos. A modo de ejemplos no limitativos, dichos otros sucesos pueden incluir trenes en circulación, vehículos de carril superior en circulación (por ejemplo, vagones que se desplazan en el tramo de vía 12), otras fuentes de ruido naturales (por ejemplo, cascadas, árboles que caen o animales) y/u otras fuentes de ruido artificiales (por ejemplo, generadores eléctricos o peatones).

15

El sistema 10 puede incluir opcionalmente una conexión en red 28 con una estación de trabajo remota 30. La conexión en red 28 puede ser una conexión en red por cable, una conexión en red inalámbrica y/o una conexión en red por fibra óptica, por ejemplo. En algunas realizaciones, la estación de trabajo remota 30 puede estar conectada al sistema 10 por medio de la conexión en red 28 para realizar diversas funciones, que pueden incluir (a modo de ejemplos no limitativos): la supervisión del estado de sistema 10, la conexión o el almacenamiento de datos capturados por el sistema 10, el recalibrado o la reconfiguración del sistema 10, la actualización del software usado por el sistema 10 o similares. En algunas realizaciones, parte o la totalidad de los datos capturados por las configuraciones de sensores 18 pueden transmitirse por medio de la conexión en red 28 a la estación de trabajo remota 30 y dichos datos pueden procesarse en la estación de trabajo remota 30 para detectar sucesos de caída de piedras de una forma similar a la detección de los sucesos de caída de piedras por la unidad de tratamiento de señales 26, tal como se describe en más detalle más adelante.

20

El sistema 10 puede ser una parte modular de un sistema mayor (no mostrado) que incorpora otros sistemas 32 similares al sistema 10. Por ejemplo, la unidad de tratamiento de señales 26 puede estar conectada opcionalmente (por medio de la conexión en red 28 o de alguna otra conexión en red) con unidades de tratamiento de señales similares para otros sistemas 32 similares al sistema 10.

25

En la realización ilustrada de la Figura 1, las configuraciones de sensores 18 están situadas en el lado de pendiente ascendente 14 del tramo de vía 12. Esto no es obligatorio. En algunas realizaciones, las configuraciones de sensores 18 pueden estar situadas de forma adicional o alternativa en la parte de pendiente descendente 16 del tramo de vía 12. En algunas realizaciones, una única configuración de sensores 18 puede comprender una pluralidad de sensores de energía acústica o vibratoria, algunos de los cuales pueden estar situados en el lado de pendiente ascendente 14 y algunos de los cuales pueden estar situados en el lado de pendiente descendente 16.

30

Las configuraciones de sensores 18 pueden comprender cada una uno o más sensores de energía acústica. A modo de ejemplos no limitativos, los sensores de energía acústica adecuados pueden incluir: sensores basados en inducción electromagnética (que pueden referirse como geófonos), acelerómetros, sensores piezoeléctricos, sensores basados en polímeros electroactivos, sensores ópticos, sensores capacitivos, sensores micromecanizados o similares. Tal como se conoce en la técnica, algunos sensores de energía acústica pueden ser direccionales, por ejemplo algunos sensores acústicos pueden tener uno o más ejes en los que son más sensibles a la energía acústica. En algunas realizaciones, la salida de estos sensores de energía acústica puede estar correlacionada generalmente con (por ejemplo, ser proporcional a) la energía acústica detectada. En otras realizaciones, la salida de estos sensores de energía acústica puede estar correlacionada generalmente con (por ejemplo, ser proporcional a) otros parámetros, tales como el desplazamiento, la velocidad o la aceleración de un componente de sensor.

35

La Figura 2A ilustra una configuración de sensores 18 según una realización en particular que es adecuada para su uso con el sistema de detección de caída de piedras 10. En la realización de la Figura 2A, la configuración de sensores 18 comprende un único sensor de tipo inducción electromagnética uniaxial 50 que está situado en el lado de pendiente ascendente 14 del tramo de vía 12. El sensor 50 está situado en el balasto 52 que soporta el tramo de vía 12 y está separado del tramo de vía 12, es decir, el sensor 50 no está en contacto directo con las vías 54 o traviesas 56. En esta descripción, este tipo de sensor 50 (que está situado al menos en parte en el balasto 52 del tramo de vía 12 y está separado del tramo de vía 12) puede referirse como un sensor de balasto. El sensor 50 puede estar confinado en un alojamiento protector 58, que (en la realización ilustrada) comprende un recipiente lleno de cemento que puede estar hecho de un material adecuado tal como plástico, fibra, acero u otro material adecuado.

40

El alojamiento protector 58 (y sensor 50) puede estar situado en una zanja 60 que está excavada en el balasto 52 a lo largo del tramo de vía 12. En la realización ilustrada, la región 62 que rodea al alojamiento 58 está rellena de

45

50

arena compactada, que puede mejorar la conducción acústica y/o proteger el sensor 50 y la línea de transmisión 24 de las piedras afiladas que pudieran estar presentes en el balasto 52, y una región restante 64 de la zanja 60 se llena con balasto 52. En la realización ilustrada el sensor 50 está acoplado con una pica de anclaje 66 que puede insertarse en el sustrato por debajo del balasto 52 y/o por debajo de la región llena de arena 62. La pica 66 puede estar situada, modelada y/o configurada de otro modo de manera que proporcione un buen acoplamiento acústico con el sustrato geológico en una región de tramo de vía 12.

Tal como se menciona anteriormente, el sensor 50 de la realización de la Figura 2A es un sensor uniaxial. El eje de sensibilidad del sensor 50 es el eje z y el sensor 50 genera una única señal 22 correspondiente. En una realización en particular, la señal 22 está correlacionada generalmente con (por ejemplo, proporcional a) la velocidad detectada de un componente del sensor 50. Sin embargo, tal como se expone anteriormente, en otras realizaciones, la señal 22 puede estar correlacionada generalmente con (por ejemplo, proporcional a) otros parámetros, como el desplazamiento, la aceleración o la energía detectados de los componentes de sensor correspondientes. Los autores de la invención han determinado que los sensores uniaxiales (eje z) son suficientes para los fines de detectar la caída de piedras en pendientes con la inclinación adecuada. Se observará que los sensores uniaxiales son menos costosos que los multiaxiales. Sin embargo, en algunos entornos o en algunas aplicaciones, puede ser conveniente incluir sensores multiaxiales. En consecuencia, en algunas realizaciones, el sensor 50 puede ser multiaxial o la configuración de sensores 18 puede comprender una pluralidad de sensores uniaxiales orientados en diferentes direcciones. En dichas realizaciones, el número de señales 22 generadas por un sensor multiaxial puede corresponderse con su número de ejes o el número de señales 22 generadas por una pluralidad de sensores uniaxiales puede corresponderse con el número de sensores uniaxiales.

Tal como se expone anteriormente, el sensor 50 está conectado electrónicamente con la línea de transmisión 24 para la transmisión de una señal de sensor 22 correspondiente a la unidad de tratamiento de señales 26. Tal como se muestra en la Figura 2A, la línea de transmisión 24 puede discurrir a través de una conducción protectora adecuada 68, que puede estar hecha de un material adecuado tal como plástico, fibra, acero u otro material adecuado similar. En algunas realizaciones, la conducción 68 puede alojar también los cables 70 (por ejemplo, cables eléctricos y/u ópticos) que forman parte de la conexión en red 28 entre el sistema 10 y la estación de trabajo remota 30 y/u otros sistemas 32 (véase la Figura 1) y/o las líneas de transmisión 40 asociadas con los dispositivos de captura de imágenes 34 opcionales.

La Figura 2B ilustra un sensor 80 que puede incorporarse en una cualquiera o más de las configuraciones de sensores 18. En la realización de la Figura 2B, el sensor 80 es similar en muchos aspectos al sensor 50 (Figura 2A) en el sentido de que el sensor 80 es un sensor uniaxial de tipo inducción electromagnética. El sensor 80 se diferencia del sensor 50 en que el sensor 80 está montado (por medio de un hardware de montaje 82 adecuado) en la vía 54 en lugar de ser un sensor de balasto que está separado de la vía 54. Los sensores que están montados en un tramo de vía 12 (lo que incluye la vía o vías 54 y/o las traviesas 56) pueden referirse en esta descripción como sensores de carril. En otros aspectos, el sensor 80 puede ser similar al sensor 50 descrito anteriormente.

Los experimentos han determinado que los sensores de carril pueden ser más sensibles al contacto directo entre las piedras que caen y el tramo de vía 12 (por ejemplo, la vía o vías 54 y/o las traviesas 56) y pueden ser más sensibles a los trenes en circulación o a los vehículos de carril superior. En algunas realizaciones, por tanto, es conveniente incluir uno o más sensores de carril. Sin embargo, en algunas realizaciones, es conveniente incluir sensores de balasto más que sensores de carril o sólo sensores de balasto, dado que: los sensores de balasto pueden ser menos propensos a sufrir daños por los trenes que circulan a lo largo del tramo de vía 12, los sensores de balasto pueden ser más robustos durante el mantenimiento del tramo de vía 12 que puede implicar una manipulación física del tramo de vía 12 (por ejemplo, levantamiento del tramo de vía 12 del balasto 52), los sensores de balasto pueden producir más señales más uniformes, los sensores de balasto pueden mostrar mayores diferencias en la atenuación espacial y por tanto pueden aportar una posición más precisa del hipocentro de sucesos de caída de piedras y los sensores de balasto pueden ser menos sensibles a vibraciones de alta frecuencia lo que puede permitir mejores velocidades de muestreo y por consiguiente una mayor resolución de bits para el mismo hardware de adquisición de datos.

La Figura 3 es una ilustración esquemática de una unidad de tratamiento de señales 26 según una realización en particular que es adecuada para su uso con el sistema de detección de caída de piedras 10. En la realización ilustrada, la unidad de tratamiento de señales 26 comprende una pluralidad m de entradas 100 correspondientes a las líneas de transmisión 24 y las señales 22 de las configuraciones de sensores 18. Cada señal de entrada 100 se proporciona a circuitos de acondicionamiento de señal 102 correspondientes. Los circuitos de acondicionamiento de señal 102 adecuados son bien conocidos para los expertos en la materia y, a modo de ejemplos no limitativos, pueden comprender filtros de alisado y amplificadores. Las señales de sensor acondicionadas 104 se proporcionan a continuación a convertidores analógico-digitales (CAD) 106. Los CAD 106 muestran señales de sensor acondicionadas 104 y proporcionan señales de sensor digitales 108 correspondientes. En una realización en particular, los CAD 106 proporcionan 24 bits de resolución digital (es decir, las señales de sensor digitales 108 comprenden una secuencia de muestras de 24 bit), pero no es obligatorio. En otras realizaciones, los CAD 106 pueden producir señales de sensor digitales 108 que tienen otras profundidades de bits adecuadas. La velocidad de muestreo de CAD 106 puede seleccionarse de manera que sea suficientemente rápida para alojar las frecuencias de

interés, tal como se describe en más detalle más adelante.

Las señales de sensor digitales 108 emitidas desde los CAD 106 se proporcionan al registrador de datos 110. Además de recibir las señales de sensor digitales 108, el registrador de datos 110 recibe también una señal de sincronización temporal 112 de la fuente de sincronización temporal 114. En una realización en particular, la fuente de sincronización temporal 114 comprende un receptor de satélite de posicionamiento global (GPS) que recibe información de tiempo de una o más fuentes de satélite. Una fuente de sincronización temporal 114 basada en GPS es especialmente útil en realizaciones en las que el sistema 10 es un sistema de componentes modulares de un sistema mayor que incluye otro u otros sistemas de componentes 32 (Figura 1), en el que los otros sistemas de componentes 32 pueden tener sus propias unidades de tratamiento de señales 26 y sus propias fuentes de sincronización temporal 114. En estos sistemas, las fuentes de sincronización temporal 114 basadas en GPS podrían proporcionar señales de temporización síncronas 112 en todo el sistema de componentes modulares 10 y otros sistemas de componentes 32. En otras realizaciones, en las que existe sólo una unidad de tratamiento de señales 26, la fuente de sincronización temporal 114 puede comprender una o varias fuentes más de información de tiempos. A modo de ejemplos no limitativos, la fuente de sincronización temporal 114 puede acceder a información de tiempos a partir de un oscilador piezoeléctrico de cuarzo interno o externo, la fuente de sincronización temporal 114 puede comprender un reloj de tiempo real o un chip de temporización de hardware adecuado o similares.

Usando la señal de sincronización temporal 112 y las señales de sensores digitales 108, el registrador de datos 110 asigna sellos de tiempo, recoge y registra los datos generados por las configuraciones de sensores 118 (Figura 1). El registrador de datos 110 puede tener acceso a la memoria (no mostrado expresamente) y puede usar cualquier estructura de datos o protocolo de base de datos adecuados para registrar las señales de sensor digitales 108 y la información correspondiente de sellos de tiempo a partir de la señal de sincronización 112. El registrador de datos 110 puede almacenar información de una manera indexada, u otra accesible, por índices de sellos de tiempo, mediante el sensor correspondiente y/o por la aparición de un suceso (tal como se explica en más detalle más adelante). En algunas realizaciones, el registrador de datos 110 puede conectarse operativamente (por medio de la interfaz de red 122 y la conexión en red 28) a la estación de trabajo remota 30 y/o a otros sistemas 32 (véase la Figura 1). En la realización ilustrada, el registrador de datos 110 se conecta también operativamente (por medio de la interfaz 118) con el procesador de datos 120 integrado.

En algunas realizaciones, los circuitos de acondicionamiento de señal 102, los CAD 106 y/o el registrador de datos 110 pueden implementarse mediante una unidad de adquisición de datos (UAD) 116. Los expertos en la materia conocen varias UAD que están disponibles comercialmente en distintas fuentes. En algunas realizaciones, la UAD 116 puede incorporar también su propia fuente de sincronización temporal 114. En algunas realizaciones, la UAD 116 puede incluir otros componentes que no se muestran expresamente en la ilustración de la Figura 3. A modo de ejemplos no limitativos, dichos componentes pueden incluir componentes de tratamiento digital (por ejemplo, filtros digitales) o similares. Las UAD adecuadas incluyen, a modo de ejemplos no limitativos, la TMA-24 Microseismic Acquisition Unit disponible en Terrascience Systems Ltd. de Vancouver, Canadá y otras UAD adecuadas. En algunas realizaciones, es conveniente que la UAD realice el muestreo a una velocidad mayor o igual que 500 Hz con una resolución de 16 o más bits.

Las UAD 116 disponibles comercialmente pueden tener un número de entradas limitado o una capacidad de almacenamiento de datos limitada. En algunas realizaciones, por tanto, la unidad de tratamiento de señales 26 puede comprender una pluralidad de UAD 16, cada una de las cuales puede configurarse de una forma similar a la descrita en la presente memoria descriptiva.

El registrador de datos 110 está conectado operativamente (por medio de la interfaz 118) al procesador de datos 120. El procesador de datos 120 puede formar parte de un sistema informático configurado de manera adecuada (no mostrado) o puede formar parte de un sistema integrado. El procesador 120 mostrado esquemáticamente en la Figura 3 puede comprender más de un procesador de datos individual que puede estar localizado y/o distribuido centralmente. El procesador 120 puede comprender una memoria interna (no mostrada) y/o tener acceso a una memoria externa 128. El procesador 120 puede estar programado con, o tener acceso de otro modo a, el software 124. Tal como se explica en más detalle más adelante, el procesador 120 puede ejecutar el software 124 que puede a su vez hacer que el procesador 120 procese los datos obtenidos del registrador de datos 110 y genere una o más salidas 126. El procesador 120 puede también controlar el funcionamiento de la UAD 116, el registrador de datos 110 y/o el sistema 10 por medio de la interfaz 118. En algunas realizaciones, el procesador 120 puede conectarse operativamente (por medio de la interfaz de red 122 y la conexión en red 28) con la estación de trabajo remota 30 y/o con otros sistemas 32 (véase la Figura 1). El procesador 120 puede producir parte o la totalidad de las salidas 126 a la estación de trabajo remota 30 y/o a otros sistemas 32 por medio de la interfaz de red 122 y la conexión en red 28.

En las realizaciones en la que el sistema 10 incluye dispositivos de captura de imágenes 34 opcionales, la unidad de tratamiento de señales 26 puede comprender también la memoria de datos de imagen 130 para almacenar datos de imágenes 36 capturadas por los dispositivos de captura de imágenes 34. Los datos de imágenes 36 pueden suministrarse a la memoria de datos de imagen 130 a lo largo de las líneas de transmisión 40 tal como se muestra en la realización ilustrada o pueden ser suministrados de forma inalámbrica a la memoria de datos de imagen 130

usando un tranceptor inalámbrico (no mostrado). El procesador de datos 120 puede controlar también los dispositivos de captura de imágenes 34 usando señales de control de las cámaras 38 que pueden transmitirse a los dispositivos de captura de imágenes 34 a lo largo de las líneas de transmisión 40 y/o de forma inalámbrica. Las señales de control de las cámaras 38 pueden permitir que los dispositivos de captura de imágenes se muevan (por ejemplo, en forma panorámica), hagan zoom, enfoquen o similares y pueden controlar cuándo y cómo actúan los dispositivos de captura de imágenes 34 para capturar los datos de imágenes 36.

La Figura 4A es una gráfica que muestra datos de sensor digitalizados y de sello de tiempo obtenidos en el procesador 120 para un conjunto de sensores (por ejemplo, sensores 50) en las configuraciones de sensores 18. El eje vertical de la gráfica de la Figura 4A se mide en recuentos binarios (por ejemplo, valores digitales producidos por los CAD 106 y almacenados en el registrador de datos 110) y el eje horizontal de la gráfica de la Figura 4A se mide en milisegundos (ms). Tal como se expone anteriormente, los sensores de energía acústica en las configuraciones de sensores 18 pueden producir las señales 22 que en general están correlacionados con la velocidad detectada de un elemento de sensor. En dichas realizaciones, los recuentos binarios en el eje vertical de la gráfica de la Figura 4A también pueden estar correlacionados con esta velocidad. Cuando los sensores de energía acústica en las configuraciones de sensores 18 representan otros parámetros (por ejemplo, desplazamiento, aceleración, energía), los recuentos binarios en el eje vertical de la gráfica de la Figura 4A pueden estar correlacionados con dichos otros parámetros. Debe observarse que las escalas del eje vertical para las gráficas de sensor individuales de la Figura 4A son diferentes para cada sensor, es decir, las gráficas correspondientes a los sensores #1, #(m-1) y #m tienen intervalos de aproximadamente (-100,100) recuentos binarios, las gráficas correspondientes a los sensores #2 y #4 tienen intervalos de aproximadamente (-2500,2500) y la gráfica correspondiente al sensor #3 tiene un intervalo de aproximadamente (-5000,5000).

La Figura 4A muestra datos de sensores digitalizados y de sello de tiempo típicos obtenidos en el procesador 120 para un suceso pequeño que se detecta en una región de sensores #2, #3 y #4 en un tiempo de aproximadamente 3.000-7.000 ms. Puede observarse que, en el periodo de tiempo de 3.000-7.000 ms, la magnitud de las señales de sensores #2, #3 y #4 detectadas (en el orden de miles de recuentos binarios) es significativamente mayor que el ruido de fondo (en el orden de cientos de recuentos binarios). Este suceso es típico de una caída de piedras de pequeña escala, pero también puede ser típico de otros sucesos de pequeña escala, como (a modo de ejemplo no limitativo): desgaste de una cara rocosa, un aumento repentino de la actividad de una cascada contigua, uno o más animales, vegetación o vallas agitadas por el viento o similares. Para aplicaciones típicas a lo largo de las vías férreas, la escala del suceso de la Figura 4A puede interpretarse como suficientemente pequeña para no suscitar un interés destacado.

La Figura 4B muestra datos de sensores digitalizados y de sello de tiempo típicos obtenidos en el procesador 120 para un tren en circulación. Al igual que la Figura 4A, el eje vertical de la gráfica de la Figura 4B se mide en recuentos binarios y el eje horizontal se mide en milisegundos. Sin embargo en la gráfica de la Figura 4B, los ejes verticales para cada sensor están en la misma escala (-2×10^6 , 2×10^6). Puede verse que la duración del suceso de tren es significativamente más larga que el suceso de la Figura 4A.

La Figura 4C muestra datos de sensores digitalizados y de sello de tiempo típicos obtenidos en el procesador 120 para un vehículo de carril superior en circulación. El eje vertical de la gráfica de la Figura 4C se mide en recuentos binarios y el eje horizontal se mide en milisegundos. Aunque las escalas verticales varían entre las gráficas individuales de la Figura 4C para los sensores individuales, puede verse que las escalas de las gráficas individuales de la Figura 4C para el vehículo de carril superior tienen escalas que son menores que las de la Figura 4B para el tren.

En algunos entornos pueden existir fuentes adicionales de sucesos que pueden ser especiales del entorno en el que se despliega el sistema 10. Un ejemplo de dicho suceso es la activación de un generador de energía en la proximidad del sistema 10. Cuando se desea que el sistema 10 funcione en una posición remota, dicho generador puede usarse para alimentar el sistema 10 en sí. Sin embargo, dicho generador no es necesario y pueden usarse otras fuentes de energía (por ejemplo, baterías, energía solar o energía eólica) para alimentar el sistema 10. La Figura 4D muestra datos de sensores digitalizados y de sello de tiempo típicos obtenidos en el procesador 120 para la activación de un generador de energía en proximidad del sistema 10. El eje vertical de la gráfica de la Figura 4D se mide en recuentos binarios y el eje horizontal se mide en milisegundos. Los ejes verticales para cada sensor en las gráficas de la Figura 4D están a la misma escala (-4000,4000).

La Figura 4E muestra los datos de sensores digitalizados y de sello de tiempo típicos obtenidos en el procesador 120 para un suceso de caída de piedras que tiene un tamaño suficiente para tener interés en aplicaciones en ferrocarriles. El eje vertical de la gráfica de la Figura 4E se mide en recuentos binarios y el eje horizontal se mide en milisegundos. Se observará que las escalas verticales varían entre las gráficas individuales de la Figura 4E para los sensores individuales. La Figura 4E indica que el suceso de caída de piedras tuvo lugar entre aproximadamente 19.000-21.000 ms. En comparación con las escalas verticales de los diversos sensores y las magnitudes correspondientes de las señales detectadas, parecería que el suceso de caída de piedras se produjo relativamente más cerca del sensor #m que de cualquier otro de los sensores ilustrados. Comparando las escalas verticales y las magnitudes correspondientes de las señales detectadas entre el suceso de caída de piedras la Figura 4E y el

suceso a pequeña escala de la Figura 4A, puede verse que el suceso de caída de piedras de la Figura 4E tiene una magnitud significativamente mayor.

En algunas realizaciones, la detección de caída de piedras por el sistema 10 puede realizarse por unidad de tratamiento de señales 26 basándose en las señales 22 recibidas de las configuraciones de sensores 18 (véase la Figura 1). En determinadas realizaciones, la detección de caída de piedras por el sistema 10 puede implicar al procesador 120 de tratamiento de los datos del registrador de datos 110 (o UAD 116) para detectar sucesos de caída de piedras (véase la Figura 3). En otras realizaciones, la detección de la caída de piedras puede realizarse en la estación de trabajo remota 30 y/o en otros sistemas 32 que tienen acceso a los datos del registrador de datos 110 (o UAD 116) por medio de la conexión en red 28. Para el resto de esta descripción, se supone, sin pérdida de generalidad, que la detección de caída de piedras se realiza mediante el procesador 120 integrado que trata los datos recibidos del registrador de datos 110.

Una parte de la detección de caída de piedras realizada por el sistema 10 implica la diferenciación entre los sucesos de caída de piedras y otros tipos de sucesos que pueden tener menos interés y/o entre sucesos de caída de piedras importantes y sucesos de caída de piedras relativamente pequeños que pueden ser de menor interés. Un suceso que según determina el sistema 10 es un suceso de caída de piedras significativo, pero que en realidad es un suceso diferente (por ejemplo, un tren, un vehículo de carril superior y/o un generador de energía) o es un suceso de caída de piedras no significativo puede referirse en esta descripción como resultado de detección de falso positivo. En general, existe el deseo de reducir al mínimo los resultados de detección de falso positivo.

Para detectar sucesos de caída de piedras a la vez que se reducen al mínimo los resultados de detección de falso positivo, el procesador 120 puede procesar los datos recibidos desde el registrador de datos 110 para determinar una pluralidad de parámetros de tratamiento. Parte o la totalidad de estos parámetros de tratamiento puede usarse a su vez para diferenciar los sucesos de caída de piedras de otros sucesos. La Figura 5 ilustra esquemáticamente una serie de parámetros de tratamiento 150 que pueden determinarse mediante el procesador 120 usando los datos accedidos desde el registrador de datos 110. Todos estos parámetros de tratamiento 150 se explican más en detalle más adelante. En algunas realizaciones, el procesador 120 puede producir uno o más parámetros de tratamiento 150 como las salidas 126. Tal como se expone anteriormente, parte o la totalidad de las salidas 126 puede estar disponible para la estación de trabajo remota 30 y/u otros sistemas 32 por medio de la conexión en red 28.

El procesador 120 puede procesar los datos correspondientes a uno o más sensores para determinar una relación entre una media a corto plazo (MCP) y una media a largo plazo (MLP), que puede ser uno de los parámetros de tratamiento 150. Esta relación puede referirse como una media MCP/MLP y puede calcularse de acuerdo con:

$$\left(\frac{MCP}{MLP}\right)_n = \frac{\sum_{i=(n-(a-1))}^{i=n} |x_i|}{\sum_{i=(n-(b-1))}^{i=n} |x_i|} \quad \text{donde } b > a > 0 \text{ y } n \geq a, b \quad (1)$$

en la que: x_i representa el valor de la muestra i -ésima, n es el índice de la muestra actual x_n , a es la duración de MCP (número de muestras) y b es la duración de MLP (número de muestras). Al analizar la ecuación (1), se observará que las duraciones de MCP y MLP a y b pueden expresarse como números de muestras o de forma equivalente como duraciones temporales.

Las Figuras 6A y 6B representan respectivamente datos de sensor digitalizados con sello de tiempo típicos obtenidos en el procesador 120 para un suceso de caída de piedras y la relación MCP/MLP correspondiente. Para las gráficas de la Figura 6B, la duración de MCP a es 20 ms y la duración de MLP b es 1.000 ms. A partir de las gráficas de las Figuras 6A y 6B puede verse que el suceso de caída de piedras tiene lugar en torno al periodo de tiempo de 1.250-1.750 ms.

La relación MCP/MLP es útil para detectar el momento en que una señal cambia para aislarse del ruido de fondo y por tanto puede compararse frente a un umbral adecuado para activar el inicio y el fin de un suceso. Por ejemplo, cuando la relación MLP/MCP es mayor que un umbral de inicio de suceso ($umbr_inicio$), el procesador 120 puede determinar que se ha iniciado un suceso y el tiempo asociado t_{inicio} . Análogamente, cuando un suceso se ha iniciado y la relación MLP/MCP desciende por debajo de un umbral de fin de suceso umbral ($umbr_fin$), el procesador 120 puede determinar que un suceso ha terminado y el tiempo asociado t_{fin} . Los parámetros de umbral MCP/MLP $umbr_inicio$, $umbr_fin$ pueden determinarse experimentalmente como una parte del calibrado del sistema 10 y pueden depender, a modo de ejemplos no limitativos, de la duración media MCP a , la duración media MLP b , las características espectrales (por ejemplo, amplitud y frecuencias dominantes) del ruido de fondo en proximidad del tramo de vía 12 y/o las características espectrales esperadas (por ejemplo, amplitud y frecuencias dominantes) de

un suceso para cuya detección el sistema 10 está diseñado. Estos parámetros de umbral pueden ser, además o de forma alternativa, ajustables por el usuario.

Los tiempos de inicio y fin t_{inicio} , t_{fin} de un suceso pueden usarse también para determinar la duración del suceso t_{dur} como en los parámetros de tratamiento 150 de la Figura 5 de acuerdo con:

$$t_{dur} = t_{fin} - t_{inicio} \quad (2)$$

Una cuestión que puede surgir en la relación MCP/MLP es la llamada "memoria" asociada con la MLP. El valor de la MLP calculado por el procesador 120 lleva la información sobre las últimas b muestras (en las que b es la duración de MLP usada en la ecuación (1)). En algunos casos, las últimas b muestras estarán influidas por un suceso. Por ejemplo, cuando un tren circula por el tramo de vía 12, se necesita normalmente un periodo de tiempo para que pase el tren. En estos casos, las últimas b muestras usadas para calcular la MLP pueden estar influidas por la señal asociada con el tren en circulación, por ejemplo la MLP puede ser relativamente grande durante, o incluso después de, el paso de un tren. En estas circunstancias, el valor relativamente alto de MLP puede hacer que la relación MCP/MLP pierda sensibilidad, incluso si la MCP es relativamente alta.

En algunas realizaciones, por tanto, el procesador 120 procesa los datos del registrador de datos 110 para determinar una relación MCP/MLP modificada como uno de los parámetros de tratamiento 150. Esta relación MCP/MLP modificada puede implicar la sustitución de la MLP real por una constante c de acuerdo con:

$$\left(\frac{MCP}{MLP} \right)_{modn} = \frac{\sum_{i=(n-(a-1))}^{i=n} x_i}{c} \quad \text{donde } n > a > 0 \quad (3)$$

La constante c puede ser representativa de la MLP durante tiempos sin sucesos (por ejemplo, tiempos sin caída de piedras o trenes en circulación o similares) y, en algunas realizaciones, puede determinarse durante el calibrado del sistema 10. Por ejemplo, la constante c puede determinarse en un periodo relativamente libre de ruidos en el entorno en el que se despliega el sistema 10 antes del despliegue real del sistema 10. En una realización en particular, la constante c puede determinarse como una MLP real durante dicho periodo libre de ruidos (por ejemplo, determinado según el denominador de la ecuación (1)). La constante c puede ser ajustable por el usuario.

La relación MCP/MLP modificada (ecuación (3)) puede usarse sustancialmente de la misma manera que la relación MCP/MLP real (ecuación (1)) para determinar el inicio y el fin de un suceso y los tiempos asociados t_{inicio} , t_{fin} y para determinar la duración del suceso asociada t_{dur} . En algunas realizaciones, la relación MCP/MLP modificada puede usarse además de o como alternativa a la relación MCP/MLP real. En algunas realizaciones, la decisión de umbral asociada con el inicio y/o el fin de un suceso puede implicar una decisión compuesta en la que las relaciones MCP/MLP modificada y real estén sujetas a condiciones umbral. En algunas realizaciones, la decisión sobre si usar la relación MCP/MLP real, la relación MCP/MLP modificada o ambas (es decir, para determinar el inicio y el fin de un suceso y los tiempos asociados t_{inicio} , t_{fin} y para determinar la duración del suceso asociada t_{dur}) puede ser un parámetro seleccionable por el usuario.

Otro parámetro de tratamiento 150 que puede ser determinado por el procesador 120 basándose en los datos del registrador de datos 110 puede referirse como la velocidad de partículas máxima (VPM). La VPM puede representar la magnitud de la muestra con el valor absoluto máximo durante un suceso y puede determinarse de acuerdo con:

$$VPM = MAX \{ |x_i| \mid i \in t_{inicio} \dots t_{fin} \} \quad (4)$$

en la que $MAX\{\cdot\}$ es un operador que devuelve el valor máximo del operando y x_i representa el valor de la muestra i -ésima.

Tal como se expone anteriormente, en la realización ilustrada, las configuraciones de sensores 18 comprenden uno o más sensores de energía acústica (por ejemplo, sensores 50) que emiten señales 22 correlacionadas con la velocidad de un componente de sensor. De este modo, la VPM corresponde a la velocidad máxima o pico medida por dichos sensores, y de ahí el término velocidad de partículas máxima. Sin embargo, en general las configuraciones de sensores 18 pueden comprender sensores de energía acústica que emiten señales 22 relacionadas con otros parámetros (por ejemplo, energía, desplazamiento y/o aceleración). En dichas realizaciones, debe entenderse que la VPM representar la magnitud de la muestra con el valor absoluto máximo durante un suceso de acuerdo con la ecuación (4) y no necesita representar la velocidad en sentido estricto. En algunas realizaciones, el procesador 120 puede determinar también el tiempo t_{VPM} asociado con la VPM. En algunas realizaciones, el procesador 120 puede determinar también un valor global de VPM VPM_{global} que representa la magnitud de la

muestra con el valor absoluto máximo en todas las muestras registradas, es decir, una VPM que no se limita a los tiempos entre t_{inicio} y t_{fin} durante un suceso.

El sistema 10 puede usar la VPM para ayudar a diferenciar caídas de piedras significativas y otros tipos de sucesos.

5 En una realización en particular, la VPM se somete a un proceso de fijación de umbral que puede filtrar los sucesos de caída de piedras pequeños, otros sucesos de magnitud baja (por ejemplo, animales) y/o sucesos de ruido de fondo (por ejemplo, el funcionamiento de un generador de energía). Por ejemplo, si la VPM de un suceso es menor que una VPM umbral ($umbr_VPM$), entonces el procesador 120 puede determinar que el suceso tiene una magnitud insuficiente para ser una caída de piedras significativa. El parámetro de VPM umbral $umbr_VPM$ puede determinarse
10 experimentalmente como una parte del calibrado del sistema 10 y puede depender, a modo de ejemplos no limitativos, de la magnitud de la detección de caída de piedras mínima en particular requerida del sistema 10, la magnitud esperada de sucesos de baja magnitud (por ejemplo, animales o seres humanos), la magnitud esperada de los sucesos de fondo (por ejemplo, centrales eléctricas, cascadas, viendo) y/o similares. De forma adicional o alternativa, el parámetro de VPM umbral $umbr_VPM$ puede ser ajustable por el usuario.

15 Otro parámetro de tratamiento 150 que puede determinarse mediante el procesador 120 basándose en los datos del registrador de datos 110 puede referirse como una energía de señal E . En algunas realizaciones, la energía de señal E usada por el sistema 10 puede representar una media ventanizada de la amplitud de muestra al cuadrado y puede determinarse de acuerdo con:

20

$$E_n = \frac{\sum_{i=n-(d-1)}^n (x_i)^2}{d} \quad (5)$$

en la que: x_i representa el valor de la muestra i -ésima, n es el índice de la muestra actual x_n y d es la duración de ventana (número de muestras). Al analizar la ecuación (5), se observará que la duración d puede expresarse como
25 números de muestras o de forma equivalente como duraciones temporales.

Al igual que la relación MCP/MLP expuesta anteriormente, la energía de señal E es útil para detectar el momento en que una señal cambia para aislarse del ruido de fondo y por tanto puede compararse con umbrales adecuados para activar el inicio y el fin de un suceso. Por ejemplo, cuando la energía de señal E es mayor que un inicio de suceso
30 umbral (E_umbr_inicio), el procesador 120 puede determinar que se ha iniciado un suceso y el tiempo asociado t_{inicio} . Análogamente, cuando un suceso se ha iniciado y la energía de señal E está situada por debajo de un fin de suceso umbral (E_umbr_fin), el procesador 120 puede determinar que un suceso ha terminado y el tiempo asociado t_{fin} . Los parámetros umbral E_umbr_inicio , E_umbr_fin pueden determinarse experimentalmente como una parte del calibrado del sistema 10 y pueden depender, a modo de ejemplos no limitativos, de la duración d de la ventana de
35 energía, las características espectrales (por ejemplo, amplitud y frecuencias dominantes) del ruido de fondo en proximidad del tramo de vía 12 y/o las características espectrales esperadas (por ejemplo, amplitud y frecuencias dominantes) de un suceso para cuya detección está diseñado el sistema 10. De forma adicional o alternativa, estos parámetros umbral pueden ser ajustables por el usuario. Los tiempos de inicio y fin t_{inicio} , t_{fin} de un suceso pueden usarse también para determinar la duración del suceso t_{dur} tal como se describe anteriormente (ecuación (2)).

40

La energía de señal E puede usarse también además de o como alternativa a la relación MCP/MLP en otras circunstancias en las que podría ser apropiado usar la relación MCP/MLP. La energía de señal máxima $E_{m\acute{a}x} = \text{MAX}\{E_i \mid i \in t_{inicio}.. t_{fin}\}$ también muestra una correlación con la VPM expuesta anteriormente. En algunas realizaciones, la energía de señal máxima $E_{m\acute{a}x}$ puede usarse además de o como alternativa al valor de VPM en
45 circunstancias en las que podría ser adecuado usar el valor de VPM.

Otro parámetro de tratamiento 150 que puede determinarse mediante el procesador 120 basándose en datos del registrador de datos 110 es la distribución de potencias espectrales (por ejemplo, contenido de frecuencias) de una señal correspondiente a un suceso. En una realización en particular, el procesador emplea una técnica de
50 Transformada de Fourier Rápida (FFT) para los datos muestreados durante un suceso (es decir, entre t_{inicio} y t_{fin}). Por tanto, la potencia espectral puede referirse en esta descripción como FFT. Sin embargo, tal como se conoce en la técnica existe una serie de técnicas FFT y otras técnicas para determinar el contenido de tiempo-frecuencia de una señal muestreada digitalmente y puede usarse cualquiera de estas técnicas para determinar el contenido de tiempo-frecuencia de una señal.

55

Las Figuras 6C y 6D muestran respectivamente un segmento de 0,4 segundos de una señal de sensor digital con sello de tiempo recibida en el procesador 120 y una FFT correspondiente asociada con un suceso de caída de piedras típico. La Figura 6D muestra que la mayor parte de la potencia espectral de las señales de sensor digitales asociadas con un suceso de caída de piedras típico se concentra en la banda de frecuencias menor que 125 Hz. Las
60 Figuras 6E y 6F muestran respectivamente un segmento de 0,4 segundos de señal de sensor digital con sello de tiempo recibida en el procesador 120 y una FFT correspondiente asociada con un suceso de tren típico. La Figura 6F muestra que la potencia espectral de las señales de sensor digitales asociadas con un suceso de tren típico se

extiende en 0-400 Hz y tiene una potencia importante a frecuencias superiores a 200 Hz. Las Figuras 6G y 6H muestran respectivamente un segmento de 1,0 segundos de señal de sensor digital con sello de tiempo recibida en el procesador 120 y una FFT correspondiente asociada con un suceso de vehículo de carril superior típico. La Figura 6H muestra que la potencia espectral de las señales de sensor digitales asociadas con un suceso de vehículo de carril superior típico (al igual que un suceso de tren) se extiende en 0-400 Hz y tiene una potencia importante a frecuencias superiores a 200 Hz. Los datos de sensor mostrados en las Figuras 6C-6H se obtienen de sensores de carril representativos, pero los autores de la invención han concluido que pueden conseguirse resultados similares con sensores de balasto configurados de forma adecuada.

10 Las Figuras 6I y 6J muestran respectivamente un segmento de 11 segundos de señal de sensor digital con sello de tiempo recibida en el procesador 120 y una FFT correspondiente asociada con el funcionamiento de un generador en la proximidad del tramo de vía 12. La Figura 6J muestra que la potencia espectral de las señales de sensor digitales asociadas con el generador tiene una firma de frecuencia única con armónicos en 30,66 Hz, 45,95 Hz y 60 Hz.

15 La Figura 7A representa esquemáticamente un procedimiento 200 para la detección de sucesos según una realización en particular. El procedimiento 200 puede realizarse en parte o en su totalidad mediante el procesador 120 integrado. El procedimiento 200 puede hacer uso de los datos obtenidos del registrador de datos 110 y/o UAD 116 y también puede hacer uso de los parámetros de tratamiento 150. Tal como se expone anteriormente, en otras realizaciones, la detección de caída de piedras (que incluye el procedimiento 200 en parte o en su totalidad) puede realizarse por medio de otros procesadores, tales como los por procesadores asociados con la estación de trabajo remota 30 y/u otros sistemas 32.

El procedimiento 200 se inicia en el bloque 201. El procedimiento 200 puede incluir una serie de procedimientos que son similares para los datos asociados con cada sensor, por ejemplo para cada señal de sensor digital 108 en particular (Figura 3). En la realización ilustrada, estos procedimientos similares se muestran mediante los procedimientos de bloque 202 (asociados con el sensor #1) y bloque 204 (asociados con el sensor #m). Se observará que, dependiendo del número de sensores y del número de señales de sensor digitales 108 correspondientes, el procedimiento 200 puede comprender generalmente cualquier número de procedimientos adecuados similar al de los bloques 202, 204. A continuación se describe en más detalle el procedimiento del bloque 202, entendiéndose que el procedimiento asociado con el bloque 204 y otros bloques similares puede ser sustancialmente similar al del bloque 202.

El procedimiento del bloque 202 se inicia en el bloque 210 que implica la inicialización de una serie de parámetros. Por ejemplo, el bloque 210 puede implicar la obtención de un número suficiente de muestras de datos (a) para calcular la MCP (el numerador de la ecuación (1) y/o la ecuación (3)) y/o un número suficiente de muestras de datos (b) para calcular la MLP (el denominador de la ecuación (1)). Dichas muestras de datos pueden tomarse de la señal del sensor de la señal digital 108 asociada con el bloque 202. El bloque 210 puede implicar la reinicialización de una serie de los parámetros de tratamiento 150 que pueden haberse usado durante el tratamiento anterior después del suceso (descrito en más detalle más adelante). El bloque 210 puede implicar también la inicialización de uno o más parámetros de calibrado y/o parámetros configurables por el usuario. El procedimiento del bloque 202 avanza a continuación al bloque 215, que implica obtener la siguiente muestra de datos, por ejemplo la siguiente muestra de datos de la señal de sensor digital 108 asociada con el bloque 202.

En el bloque 220, el bloque 202 puede implicar la actualización de uno o más parámetros de tratamiento 150 basándose en los datos del bloque 215 recién recibidos y, en algunos casos, los datos históricos obtenidos antes de la iteración de bloque 215 actual. En determinadas realizaciones, los parámetros de tratamiento 150 en particular que se actualizan en el bloque 215 incluyen los asociados con criterios de activación de inicio de sucesos. Tal como se explica anteriormente, los parámetros de tratamiento 150 asociados con la activación del inicio de un suceso pueden incluir: la relación MCP/MLP (ecuación (1)), la relación MCP/MLP modificada (ecuación (3)) y/o la energía (ecuación (5)).

El bloque 225 implica la evaluación de los criterios de inicio de suceso. Los criterios de inicio de suceso del bloque 225 pueden implicar una evaluación de si uno o más parámetros de tratamiento (por ejemplo, la relación MCP/MLP (ecuación (1)), la relación MCP/MLP modificada (ecuación (3)) y/o la energía (ecuación (5)) son mayores que uno o más umbrales de inicio de suceso correspondientes (por ejemplo, $umbr_inicio_{(MCP/MLP)}$, $umbr_inicio_{(MCP/MLP)mod}$, $umbr_inicio_{(E)}$). Si la evaluación del bloque 225 de los criterios de inicio de suceso es negativa (resultado NO del bloque 225), entonces el procedimiento del bloque 202 vuelve al bloque 215 para obtener otra muestra de datos. Si por otra parte la evaluación del bloque 225 de los criterios de inicio de suceso es positiva (resultado SÍ del bloque 225), entonces el procedimiento del bloque 202 avanza al bloque 230.

El bloque 230 implica el ajuste de un valor para t_{inicio} . En determinadas realizaciones, el valor t_{inicio} del bloque 230 puede basarse en el tiempo asociado con la muestra de datos del bloque 215 actual. El procedimiento del bloque 202 avanza a continuación a los bloques 235 y 240 que implica la obtención de la siguiente muestra de datos y la actualización de uno o más parámetros de tratamiento de una forma similar a la de los bloques 215 y 220 descritos anteriormente.

El bloque 245 implica entonces la evaluación de los criterios de fin de suceso. Los criterios de fin de suceso del bloque 245 pueden implicar una evaluación de si uno o más parámetros de tratamiento (por ejemplo, la relación MCP/MLP (ecuación (1)), la relación MCP/MLP modificada (ecuación (3)) y/o la energía (ecuación (5)) son menores que uno o más umbrales de fin de suceso correspondientes (por ejemplo, $umbr_fin_{(MCP/MLP)}$, $umbr_fin_{(MCP/MLP)mod}$, $umbr_fin_{(E)}$). Si la evaluación del bloque 245 de los criterios de fin de suceso es negativa, entonces el procedimiento del bloque 202 vuelve al bloque 235 para obtener otra muestra de datos. Si por otra parte la evaluación del bloque 245 de los criterios de fin de suceso es positiva, entonces el procedimiento del bloque 202 determina que el suceso ha terminado y avanza al bloque 250, que implica el ajuste de un valor para el tiempo de fin del suceso t_{fin} . En determinadas realizaciones, el valor t_{fin} del bloque 250 puede basarse en el tiempo asociado con la muestra de datos del bloque 235 actual.

En la realización ilustrada, el procedimiento del bloque 202 avanza a continuación al bloque 255, que implica el tratamiento después del suceso. El tratamiento después del suceso del bloque 255 puede implicar la diferenciación entre tipos de sucesos o la determinación por otros medios de si un suceso en particular es un suceso de caída de piedras significativo. En la realización ilustrada del procedimiento 200, se muestra el tratamiento después del suceso del bloque 255 en el procedimiento del bloque 202, es decir, el tratamiento después del suceso del bloque 255 puede realizarse para cada sensor cuya señal digital 108 active la detección de un suceso. Esto no es obligatorio. En algunas realizaciones, el tratamiento después del suceso del bloque 255 puede realizarse fuera del procedimiento del bloque 202, por ejemplo el tratamiento después del suceso del bloque 255 puede realizarse según una base global y/o para un subconjunto de los sensores cuyas señales digitales 108 activan la detección de un suceso.

La Figura 7B representa esquemáticamente un procedimiento 300 para el tratamiento después del suceso que puede realizarse en el bloque 255 según una realización en particular. En la realización ilustrada, el tratamiento después del suceso del procedimiento 300 implica la diferenciación entre un número (por ejemplo, seis) de tipos de sucesos diferentes. En otras realizaciones, el tratamiento después del suceso puede implicar la diferenciación entre dos tipos de sucesos, es decir, sucesos de caída de piedras importantes y cualquier otra clase de suceso. En algunas realizaciones, el procedimiento 300 puede realizarse para cada sensor cuya señal de sensor digital 108 active la detección de un suceso. En otras realizaciones, el procedimiento 300 puede realizarse para un subconjunto de los sensores cuyas señales de sensor digitales 108 activan la detección de un suceso.

En la realización ilustrada, el procedimiento 300 se inicia en el bloque 305 que implica la determinación de uno o más parámetros de tratamiento 150 específicos de un suceso. Una vez que se determinan t_{inicio} y t_{fin} (por ejemplo, en los bloques 230, 250) para un sensor particular en el sistema 10, el procesador 120 puede obtener un subconjunto de la señal de sensor digital 108 asociada que tiene lugar entre t_{inicio} y t_{fin} . Este subconjunto de datos puede a su vez ser procesado para obtener los parámetros de tratamiento 150 específicos del suceso del bloque 305. Entre los ejemplos de parámetros de tratamiento específicos de un suceso que pueden determinarse en el bloque 305 se incluyen: la duración t_{dur} del suceso que puede determinarse según la ecuación (2); la VPM que puede determinarse según la ecuación (4); el tiempo (t_{VPM}) asociado con la VPM; la potencia espectral (FFT) de la señal discreta entre t_{inicio} y t_{fin} . En la medida en que la relación MCP/MLP, la relación MCP/MLP modificada o la energía no se determinan en el procedimiento del bloque 202, una cualquiera o más de estas cantidades (y/o sus máximos asociados, $MCP/MLP_{m\acute{a}x}$, $MCP/MLP_{mod_m\acute{a}x}$, $E_{m\acute{a}x}$ y los tiempos de sus máximos asociados) también puede determinarse en el bloque 305.

El procedimiento 300 avanza a continuación al bloque 310 que implica la evaluación de criterios de duración del suceso. La evaluación del bloque 310 puede implicar la comparación la duración del suceso t_{dur} con un umbral ($umbr_dur$) para determinar si la duración del suceso t_{dur} es menor que el umbral ($umbr_dur$). En algunas realizaciones, la duración del suceso umbral ($umbr_dur$) puede estar en un intervalo de 1-3 segundos. En otras realizaciones, este intervalo puede ser de 2-10 segundos. La magnitud de la duración del suceso umbral ($umbr_dur$) puede depender de la longitud típica de los trenes que circulan a través del tramo de vía 12.

Si t_{dur} es mayor que la duración del suceso umbral ($umbr_dur$), entonces el procedimiento 300 puede avanzar por el resultado NO del bloque 310 hasta el bloque 315. En la realización ilustrada, el bloque 315 implica la conclusión de que el suceso es un tren en circulación o un vehículo de carril superior en circulación. Desde el bloque 315, el procedimiento 300 avanza al bloque 320 que implica una evaluación de unos criterios de magnitud para determinar si el suceso fue activado por un tren en circulación (resultado SÍ del bloque 320 y conclusión del bloque 325) o el suceso fue activado por un vehículo de carril superior (resultado NO del bloque 320 y conclusión del bloque 330). La evaluación de la magnitud del bloque 320 puede implicar la comparación de la VPM de la señal de sensor digital 108 asociada con un umbral adecuado. Si la VPM es mayor que el umbral del bloque 320, entonces se determina que el suceso es un tren (resultado SÍ del bloque 320 y conclusión del bloque 325), mientras que si la VPM es menor que el bloque 320 umbral, entonces se determina que el suceso es un vehículo de carril superior (resultado NO del bloque 320 y conclusión del bloque 330). Dependiendo de las condiciones geológicas del lugar, en algunas realizaciones el bloque 320 puede implicar de forma adicional o alternativa una evaluación de criterios espectrales (por ejemplo, comparación de la FFT de un suceso con uno o más umbrales). Dichos criterios espectrales pueden usarse como una alternativa o un añadido a los criterios de magnitud del bloque 320 para diferenciar un suceso de tren de un

suceso de carril superior.

Volviendo a la evaluación del bloque 310, si t_{dur} es menor que la duración del suceso umbral ($umbr_dur$), entonces el procedimiento 300 puede avanzar por el resultado SÍ del bloque 310 al bloque 335 opcional. El bloque 335 implica la evaluación opcional de los criterios espectrales para determinar si un suceso fue activado por un tren en circulación o un vehículo de carril superior. Tal como se expone anteriormente, dependiendo de las condiciones geológicas en la proximidad del tramo de vía 12, los sensores configurados de forma adecuada (por ejemplo, el sensor de balasto 50 de la Figura 2A y/o el sensor de carril 80 de la Figura 2B) pueden generar características de frecuencia distintivas en respuesta a los trenes y/o vehículos de carril superior que recorren el tramo de vía 12. Estas características de frecuencia distintivas pueden usarse para diferenciar trenes o vehículos de carril superior de otros tipos de sucesos. En una realización en particular, los criterios espectrales del bloque 335 implican la determinación de si la FFT asociada con una señal de sensor digital 108 tiene una cantidad significativa (por ejemplo, x% o más) de su potencia a frecuencias superiores a un umbral de frecuencias ($umbr_frec$). En una realización en particular, este umbral puede estar en un intervalo de 100 Hz-300 Hz. En otra realización, este umbral puede estar en un intervalo de 125 Hz-200 Hz. En una realización en particular, la cantidad significativa (por ejemplo, x% o más) puede estar en un intervalo de 0%-25%. En otras realizaciones, la cantidad significativa (por ejemplo, x% o más) puede estar en un intervalo de 5%-15%.

Si la FFT del sensor de carril tiene una cantidad significativa (por ejemplo, x% o más) de su potencia a frecuencias mayores que un umbral de frecuencias ($umbr_frec$), entonces la evaluación del bloque 335 es positiva (resultado SÍ) y el procedimiento 300 avanza al bloque 340 que implica la conclusión de que el suceso es un tren en circulación o un vehículo de carril superior en circulación. Los bloques 340, 345, 350 y 355 pueden ser sustancialmente similares a los bloques 315, 320, 325 y 330 indicados anteriormente y pueden implicar la diferenciación entre un tren (conclusión del bloque 350) y un vehículo de carril superior (conclusión del bloque 355).

Si, por otra parte, la FFT del sensor de carril no tiene una cantidad significativa (por ejemplo, x% o más) de su potencia a frecuencias mayores que un umbral de frecuencias ($umbr_frec$), entonces la evaluación del bloque 335 es negativa (resultado NO) y el procedimiento 300 avanza al bloque 360 que implica la evaluación de criterios de magnitud para determinar si el suceso en cuestión es un suceso de caída de piedras significativo, es decir, un suceso de caída de piedras merecedor de interés. La evaluación de la magnitud del bloque 360 puede implicar la comparación de la VPM de la señal de sensor digital asociada con un umbral adecuado ($umbr_VPM$). En algunas realizaciones, este umbral de magnitud ($umbr_VPM$) puede estar en un intervalo de 500-5.000 bits. En otras realizaciones, este intervalo puede ser de 750-2.500 bits. Si la VPM es menor que el umbral del bloque 360 ($umbr_VPM$), entonces se determina que el suceso es un suceso no significativo (resultado NO del bloque 360 y conclusión del bloque 365).

Sin embargo, en la realización ilustrada el procedimiento 300 va más allá de la conclusión del bloque 365 de clasificación del suceso como un suceso no significativo. Tal como se expone anteriormente, puede ser conveniente diferenciar otros tipos de ruido natural o artificial que puede activar sucesos en la proximidad del tramo de vía 12. En una realización en particular, un generador (no mostrado) está situado en la proximidad del tramo de vía 12. Cuando se enciende el generador, puede activar un suceso en uno o más sensores del sistema 10. En la realización ilustrada, el procedimiento 300 avanza desde el bloque 365 al bloque 370 que implica la evaluación de criterios espectrales. Tal como se explica anteriormente, la potencia espectral asociada con el encendido y el funcionamiento del generador tiene un patrón espectral particular. En consecuencia, los criterios espectrales pueden diseñarse para la indagación del bloque 370 con el fin de determinar si el suceso fue activado por el generador. Dichos criterios espectrales pueden implicar la evaluación de si la FFT de la señal de sensor digital 108 asociada tiene una cantidad significativa (por ejemplo, y% o más) de su potencia a frecuencias dentro de la banda de frecuencias en particular asociadas con el encendido y el funcionamiento del generador. Si la evaluación del bloque 370 es positiva (resultado SÍ del bloque 370), entonces el procedimiento 300 concluye que el suceso fue activado por el generador en el bloque 375.

Debe observarse que la evaluación espectral del bloque 370 y la conclusión del bloque 375 de que el suceso fue activado por un generador representan un ejemplo no limitativo del tipo de criterios que pueden usarse para diferenciar otros tipos de ruido superficial natural o artificial que pueden activar sucesos en la proximidad del tramo de vía 12. En otras realizaciones, sería conveniente usar criterios adicionales o alternativos (por ejemplo, en el bloque 370 o en otras indagaciones similares) para diferenciar sucesos de ruido superficial adicionales o alternativos. Dichos sucesos de ruido superficial pueden incluir (por medio de un ejemplo no limitativo): ruido creado por agua en movimiento (por ejemplo, cascadas, ríos o similares); ruido creado por animales; ruido creado por tráfico cercano; ruido creado por árboles que caen o similares. Los tipos de criterios usados para diferenciar estos sucesos pueden incluir (un modo de ejemplos no limitativos): criterios de magnitud, criterios espectrales, criterios de duración o similares. No es necesario que la evaluación de estos criterios adicionales o alternativos tenga lugar en cualquier orden en particular con respecto a las otras evaluaciones de criterios del procedimiento 300. En general, las evaluaciones de criterios del procedimiento 300 pueden tener lugar en cualquier orden conveniente. Por ejemplo, si se sabe que es probable que el generador se inicie cada 10 minutos y esté en funcionamiento durante 2 minutos, entonces puede ser conveniente disponer la evaluación de los criterios espectrales del bloque 370 en un punto anterior dentro del procedimiento 300 para concluir rápidamente los sucesos de generador y conservar así potencia

de tratamiento.

Si la evaluación del bloque 370 es negativa (resultado NO del bloque 370), entonces el procedimiento 300 avanza al bloque 380 que implica una evaluación de los criterios de acumulación para determinar si ha existido una cantidad suficiente de caída de piedras de baja magnitud en un periodo de tiempo suficientemente breve para concluir que se ha producido una acumulación de caída de piedras que puede ser de interés. En una realización en particular, los criterios de acumulación del bloque 380 implican la consideración de si el procedimiento 300 ha llegado al bloque 380 (es decir, suceso de caída de piedras pequeñas) más que un número de veces el umbral ($umbr_#$) en un periodo de tiempo reciente ΔT . A modo de ejemplos no limitativos, el bloque 380 puede implicar la evaluación de si el procedimiento 300 ha llegado al bloque 380 más de 5 veces en la última hora. En algunas realizaciones, el número de veces umbral del bloque 380 ($umbr_#$) está en un intervalo de 3-50. En otras realizaciones, este intervalo es de 10-20. En algunas realizaciones, el periodo de tiempo ΔT del bloque 380 está en un intervalo de 30-900 minutos. En otras realizaciones, este intervalo es de 60-480 minutos.

Si la evaluación de los criterios de acumulación del bloque 380 es positiva (resultado SÍ del bloque 380), entonces el procedimiento 300 avanza al bloque 385 que concluye que ha habido una acumulación suficiente de caída de piedras para ser de interés. Si la evaluación de los criterios de acumulación del bloque 390 es negativa (resultado NO del bloque 380), entonces el procedimiento 300 avanza al bloque 390 que concluye que el suceso fue un suceso de caída de piedras no significativo.

Volviendo a la evaluación de magnitud del bloque 360, si la VPM es mayor que el umbral del bloque 360 ($umbr_VPM$), entonces el procedimiento 300 avanza (por medio del resultado SÍ del bloque 360) al bloque 392 que implica una indagación de si el suceso actual es seguido por un suceso de tren. Los autores de la invención han determinado que cuando pasa un tren por el tramo de vía 12, el tren en circulación puede activar una serie de sucesos (por ejemplo, el tren puede cumplir los criterios de inicio de suceso del bloque 225) antes de activar el suceso de tren principal. Estos sucesos que son activados antes del suceso de tren principal pueden referirse como sucesos de tren precursores.

La Figura 8 es una representación esquemática del estado activado de un conjunto de sensores en respuesta a un tren en circulación. En la Figura 8 puede verse que tiene lugar una serie de sucesos de tren precursores 303 para cada sensor en el tiempo que conduce a los sucesos de tren principales 304 persistentes. Los autores de la invención han determinado que el tiempo durante el cual es probable que se produzcan sucesos de tren precursores está dentro de una ventana de tiempo $\Delta t_{pre-tren}$ antes del inicio de los sucesos de tren principales. En algunas realizaciones, esta ventana de tiempo $\Delta t_{pre-tren}$ está en un intervalo de 5-30 segundos. En otras realizaciones, esta ventana de tiempo $\Delta t_{pre-tren}$ está en un intervalo de 10-20 segundos.

En algunas realizaciones, la indagación del bloque 392 sobre si el suceso se sigue de un suceso de tren puede implicar una indagación sobre si el suceso actual que está siendo procesado en el procedimiento 300 se sigue dentro de una ventana de tiempo $\Delta t_{pre-tren}$ por un suceso de tren persistente. Tal como se expone anteriormente, un suceso de tren persistente puede diferenciarse basándose en criterios de duración (por ejemplo, bloque 310), criterios espectrales (por ejemplo, bloque 335), criterios de magnitud (por ejemplo, bloque 320, bloque 330) o cualquier combinación adecuada de los mismos. Si la indagación del bloque 392 es positiva (por ejemplo, el suceso actual se sigue de un suceso de tren dentro de la ventana de tiempo $\Delta t_{pre-tren}$, resultado SÍ del bloque 392), entonces el procedimiento 300 avanza al bloque 394 que implica la conclusión de que el suceso actual es un suceso de tren precursor. Si, por otra parte, la indagación del bloque 392 es negativa (por ejemplo, el suceso actual no se sigue de un suceso de tren en la ventana de tiempo $\Delta t_{pre-tren}$, resultado NO del bloque 392), entonces el procedimiento 300 avanza al bloque 395, en el que se determina que el suceso actual es un suceso de caída de piedras significativo.

Tal como se expone anteriormente, el procedimiento 300 representa una posible realización del bloque 255 del procedimiento 200 (Figura 7A). Volviendo a la Figura 7A, en la conclusión del bloque 255 (por ejemplo, el procedimiento 300), el procedimiento 200 avanza al bloque 260 que implica una indagación sobre si el tratamiento del bloque 255 después del suceso asociado con cualquiera de los sensores alcanzó la conclusión de que el suceso era un suceso de caída de piedras (por ejemplo, la conclusión del bloque 390 del procedimiento 300 de que el suceso es un suceso de caída de piedras no significativo y/o la conclusión del bloque 395 del procedimiento 300 de que el suceso es un suceso de caída de piedras significativo). Si el suceso no fue un suceso de caída de piedras (resultado NO del bloque 260), entonces el procedimiento 200 avanza al bloque 265 que implica la adopción de una acción apropiada para la ausencia de un suceso de caída de piedras.

La naturaleza de la acción del bloque 265 puede depender de si algunos de los no sucesos de caída de piedras se consideran importantes por algún motivo. La acción del bloque 265 puede comprender el registro del no suceso de caída de piedras o no hacer nada. En una realización en particular, la acción del bloque 265 puede implicar la generación de un registro de suceso asociado con el no suceso de caída de piedras. El registro del no suceso de caída de piedras puede incluir la grabación de una serie de parámetros asociados con el suceso. En determinadas realizaciones, el registro del bloque 265 puede incluir uno o más entre: el tipo de suceso (por ejemplo, un suceso de tren del bloque 325, 350, un suceso de vehículo de carril superior del bloque 330, 355 o un suceso de ruido

superficial del bloque 375); un número de sensores activados; tiempos de inicio y fin del suceso que pueden incluir el tiempo de inicio (t_{inicio}) para el primer sensor activado y el tiempo de fin (t_{fin}) para el último sensor que queda sin activar; la VPM y el tiempo asociado t_{VPM} para cada sensor activado; los máximos (y tiempos asociados) de uno o más de otros parámetros específicos de sucesos del bloque 305 (por ejemplo, MCP/MLP_{máx}, $E_{máx}$ o similares); y cualquier otro parámetro que pueda ser conocido para el procesador de datos 120. En algunas realizaciones, el registro del bloque 265 puede incluir también una o más de las imágenes del tramo de vía 12 que pueden ser capturadas por las cámaras 34.

En algunas realizaciones, el bloque 265 puede implicar el almacenamiento del registro de suceso en la memoria local (por ejemplo, en el registrador de datos 110, la memoria 128 y/o la memoria de datos de imagen 130) hasta que la unidad de tratamiento de señales 26 pregunta por dicho tiempo de los sucesos (por ejemplo, por estación de trabajo remota 30 en conexión en red 28). Dependiendo de la disponibilidad de una memoria local, en otras realizaciones, el bloque 265 puede implicar la transmisión del registro de suceso (por ejemplo, a la estación de trabajo remota 30 en la conexión en red 28) para almacenamiento remoto.

Si, por otra parte, el suceso era un suceso de caída de piedras (resultado SÍ del bloque 260), entonces el procedimiento 200 avanza al bloque 270 que implica la estimación de una posición del suceso de caída de piedras. El bloque 270 puede implicar la estimación de una posición del suceso de caída de piedras con un grado de precisión que es más exacto que la separación mínima 20 entre las configuraciones de sensores 18 del sistema 10 (véase la Figura 1). La Figura 7C representa esquemáticamente un procedimiento 400 para estimar una posición de un suceso de caída de piedras que puede realizarse en el bloque 270 según una realización en particular. El procedimiento 400 comienza en el bloque 410 que implica la selección de un grupo de sensores que se considerará para estimar la posición de la caída de piedras. En algunas realizaciones, el bloque 410 puede implicar la determinación del grupo de sensores para incluir todos los sensores activados cuyos tiempos de inicio t_{inicio} están dentro de una ventana de tiempo ΔT_{inicio} del tiempo de inicio t_{inicio} de un primer sensor para activar un suceso de caída de piedras.

La determinación de este bloque 410 se muestra esquemáticamente en las Figuras 9A y 9B. La Figura 9A muestra una respuesta típica de un conjunto de sensores a un suceso de caída de piedras. Al igual que la Figura 4E, el eje vertical de la gráfica de la Figura 9A se mide en recuentos binarios y el eje horizontal se mide en milisegundos. Se observará que las gráficas para las señales de sensor individuales mostradas en la Figura 9A están en diferentes escalas verticales, pero que las escalas en particular de cada sensor se han omitido para mayor claridad. La Figura 9A también contrasta con la Figura 4E en que la Figura 9A se muestra en una escala de tiempos mucho menor, es decir, la Figura 4E se extiende a un periodo de tiempo de 30 s, mientras que la Figura 9A se extiende a un periodo de tiempo de 2,2 s.

Para cada sensor de la gráfica de la Figura 9A, la Figura 9B muestra cuando se activa el sensor, es decir, cuando el estado de activación del sensor ACTIVO. En la Figura 9A puede verse que el sensor #1 es el primero en activarse (en $t = t_{inicio_sensor\#1}$). Dado que las ondas acústicas necesitan un tiempo para recorrer el sustrato en la región del tramo de vía 12, puede suponerse que el sensor #1 es el más próximo al hipocentro del suceso de caída de piedras. El proceso del bloque 410 para la selección del grupo de sensores que se considerará para estimar la posición de la caída de piedras puede implicar la selección de todos los sensores que son activados dentro de una ventana de tiempo ΔT_{inicio} de $t_{inicio_sensor\#1}$.

Esta ventana de tiempo ΔT_{inicio} se muestra en la Figura 9B. En la Figura 9B puede verse que los sensores #2-8 y #12-13 también son activados en esta ventana de tiempo ΔT_{inicio} . En consecuencia, el bloque 410 puede implicar la selección de los sensores #1-8 y #12-13 como los sensores usados para estimar la posición de la caída de piedras. La Figura 9B también muestra que los sensores #9-11 y #14-15 no son activados. De este modo, los sensores #9-11 y #14-15 no se seleccionan para estimar la posición de la caída de piedras de acuerdo con la realización ilustrada. Aunque no se muestra explícitamente en la Figura 9B, puede suponerse que los sensores que son activados después de la ventana de tiempo Δt_{inicio} son indicativos de un suceso diferente.

La ventana de tiempo Δt_{inicio} del bloque 410 puede relacionarse con una predicción de la velocidad media de las ondas acústicas en la tierra cerca del tramo de vía 12 y la longitud de tramo de vía 12 considerado. Por ejemplo, si la longitud de tramo de vía 12 vigilada es de 1 km y se determina que la velocidad media de las ondas acústicas en el sustrato cerca de la vía 12 es de 300 m/s, entonces la ventana de tiempo del bloque 410 Δt_{inicio} puede ajustarse en 3,3 segundos.

Una vez seleccionado el grupo de sensores del bloque 410, el procedimiento 400 (Figura 7C) avanza al bloque 415 que implica la selección de un grupo de p posiciones posibles para el hipocentro del suceso de caída de piedras. Las p posiciones de hipocentro potenciales pueden separarse entre sí mediante un intervalo d adecuado que depende de la precisión de la detección de la posición deseada del sistema 10. El número p de posiciones de hipocentro potenciales puede depender, por ejemplo, de los recursos de tratamiento asociados con el sistema 10 (por ejemplo, asociados con el procesador 120 integrado). Tal como se expone anteriormente, es lógico suponer que el hipocentro de la caída de piedras puede ser el más próximo al sensor que se activa primero (por ejemplo, el sensor #1 en la

circunstancia de ejemplo de las Figuras 9A y 9B). En determinadas realizaciones, el grupo de p posiciones de hipocentro potenciales puede proporcionarse en una retícula alrededor de la posición del sensor que se activa primero y la retícula puede tener una separación de d entre las posiciones posibles. En algunas realizaciones, la separación d puede estar en un intervalo de 1-20 m. En algunas realizaciones, esta separación d está en un intervalo de 2-5 m. En algunas realizaciones, el número p de posiciones de hipocentro potenciales está en un intervalo de 5-100. En algunas realizaciones, este número p de posiciones de hipocentro potenciales está en un intervalo de 10-25.

El procedimiento 400 avanza a continuación al bucle 420. El bucle 420 implica la realización de una serie de procedimientos para cada una de las p posiciones de hipocentro potenciales determinadas en el bloque 415. En la realización ilustrada, el bucle 420 está indexado por la variable i , que puede referirse como contador de iteraciones. El contador de iteraciones i se inicia en $i=1$ en la primera iteración de bucle 420 y se incrementa en uno para cada iteración de bucle 420 hasta $i=p$ punto en el cual el procedimiento 400 sale del bucle 420. El bucle 420 comienza en el bloque 425 que implica la selección de la posición i -ésima de hipocentro potencial y la determinación de las distancias x_i entre la posición i -ésima de hipocentro potencial y las posiciones de los sensores del bloque 410. Se observará que el grupo de sensores del bloque 410 incluye N sensores, con lo que la cantidad x_i será una cantidad vectorial $1 \times N$ que tiene la forma $[x_{1_i}, x_{2_i}, \dots, x_{N_i}]^T$ en la que la notación x_{j_i} indica la distancia entre el sensor j -ésimo y la posición i -ésima de hipocentro potencial. Una vez conocida la posición de la posición i -ésima de hipocentro potencial, pueden determinarse las distancias x_i basándose en posiciones precalibradas o conocidas por otros medios de los sensores del sistema 10.

El procedimiento 300 avanza a continuación al bloque 430 que implica la determinación de los parámetros del modelo. En una realización en particular, la atenuación espacial de la VPM de un suceso de caída de piedras se modeliza según un modelo de desintegración exponencial:

25

$$y(x) = Ae^{-Bx} \quad (6)$$

en el que: $y(x)$ representa la amplitud de VPM a una distancia x del hipocentro del suceso de caída de piedras, A es un parámetro de modelo representativo de la VPM en el hipocentro y B es un parámetro de modelo de coeficiente de absorción que puede ser representativo de un factor de calidad del sustrato en la región de tramo de vía 12. De acuerdo con la notación descrita anteriormente, la ecuación del modelo (6) puede reescribirse como:

30

$$y_{j_i} = A_i e^{-B_i x_{j_i}} \quad (7)$$

en la que: y_{j_i} es la VPM esperada del sensor j -ésimo basándose en una caída de piedras en el i -ésimo hipocentro potencial, x_{j_i} es la distancia entre el sensor j -ésimo y la posición i -ésima de hipocentro potencial, A_i es un parámetro de modelo representativo de la VPM en el i -ésimo hipocentro potencial y B_i es un parámetro de modelo de coeficiente de absorción para el i -ésimo hipocentro potencial que puede ser representativo de un factor de calidad del sustrato en la región de tramo de vía 12. En otras realizaciones, pueden usarse otros modelos para la atenuación espacial de la VPM.

40

El bloque 430 implica así la solución para los parámetros del modelo reduciendo al mínimo una función de coste. En las realizaciones que hacen uso del modelo de ecuaciones (6) y (7), los parámetros del modelo que se determinarán en el bloque 430 son las cantidades A_i y B_i . Se observará que en las realizaciones que usan otros modelos de atenuación, los parámetros del modelo que se determinarán pueden ser diferentes. En un ejemplo realización en particular, la función de coste usada en el bloque 430 es una función de coste de mínimos cuadrados que, para la posición i -ésima de hipocentro potencial, puede estar dada por:

45

$$F_i = \sum_{j=1}^N w_{j_i} (r_{j_i})^2 = \sum_{j=1}^N w_{j_i} (y_j - A_i e^{-B_i x_{j_i}})^2 \quad (8)$$

50

en la que: F_i es la función de coste para la posición i -ésima de hipocentro potencial, N es el número de sensores del bloque 410, w_{j_i} es un coeficiente de ponderación opcional para el sensor j -ésimo y la posición i -ésima de hipocentro potencial, y_j es el sensor VPM real para el sensor j -ésimo y la cantidad $r_{j_i} = y_j - A_i e^{-B_i x_{j_i}}$ se refiere como residual para el sensor j -ésimo y la posición i -ésima de hipocentro potencial.

55

La función de coste de la ecuación (8) puede minimizarse cuando:

$$\frac{\partial F_i}{\partial A} = 0 \quad (9a)$$

60 y

$$\frac{\partial F_i}{\partial B} = 0 \quad (9b)$$

Las ecuaciones (9a) y (9b) pueden resolverse para la posición i -ésima de hipocentro potencial para producir los 5 parámetros A_i y B_i .

La resolución de las ecuaciones (9a) y (9b) es un problema no lineal que puede simplificarse (por ejemplo, por linealización) tomando el logaritmo natural en los dos miembros de la ecuación (7) para producir:

$$10 \quad \ln(y_{j-i}) = \ln(A_i) - B_i x_{j-i} = y'_{j-i} = A'_i - B_i x_{j-i} \quad (10)$$

en la que $y'_{j-i} = \ln(y_{j-i})$ y $A'_i = \ln(A_i)$. La ecuación (10) representa un modelo de regresión lineal (en oposición al modelo de regresión exponencial de la ecuación (7) y puede usarse para crear una función de coste de mínimos cuadrados, que a su vez puede minimizarse para producir las cantidades A'_i y B_i . El parámetro A_i puede obtenerse a 15 continuación según $A_i = e^{A'_i}$. La minimización de una función de coste de mínimos cuadrados para un modelo de regresión lineal tiene una solución en forma cerrada y es bien conocida para los expertos en la materia.

Al examinar más de cerca el modelo de la ecuación (6), puede verse que la cantidad A depende de la amplitud de la 20 ondícula de un suceso en el hipocentro y por tanto varía de un suceso a otro. En cambio, la cantidad B representa un factor de calidad que puede depender de las características geotécnicas del entorno alrededor del tramo de vía 12. Sería de esperar, por tanto, que la cantidad B fuera relativamente constante de un suceso a otro. Los autores de la invención han determinado experimentalmente (usando la técnica de ajuste de curvas por mínimos cuadrados descrita anteriormente) que el parámetro B para un tramo de vía 12 en particular se sitúa normalmente en el 5-10% de un cierto valor medio B_0 . En consecuencia, en algunas realizaciones, la cantidad B_0 puede determinarse durante 25 el calibrado y posteriormente el parámetro B_i puede tomarse como una constante $B_i = B_0$. En dichas realizaciones, las ecuaciones (8) y (9a) pueden usarse para resolver A_i , que viene dado por:

$$A_i = \frac{\sum_{j=1}^N w_{j-i} y_j e^{-B_0 x_{j-i}}}{\sum_{j=1}^N w_{j-i} e^{-2B_0 x_{j-i}}} \quad (11)$$

30 Para el modelo de atenuación de la ecuación (6), al concluir el bloque 430, el procedimiento 400 ha determinado los parámetros del modelo A_i y B_i para la posición i -ésima de hipocentro potencial. Para otros modelos, el bloque 430 puede producir diferentes parámetros de modelo para la posición i -ésima de hipocentro potencial. El procedimiento 400 avanza a continuación al bloque 435 que implica la determinación de un indicador de error asociado con la 35 posición i -ésima de hipocentro potencial. En general, el indicador de error del bloque 435 puede ser cualquier cantidad adecuada que sea representativa del error asociado con los parámetros del modelo determinado en el bloque 430 para el i -ésimo hipocentro potencial. El indicador de error del bloque 435 puede implicar un sumatorio de indicadores de error constituyentes en los N sensores del bloque 410. Cada indicador de error constituyente puede implicar una diferencia entre la VPM predicha por el modelo de la iteración 420 y la VPM medida por el sensor. En 40 las realizaciones que hacen uso de una función de coste de mínimos cuadrados (por ejemplo, la ecuación (8)), el indicador de error del bloque 435 (E_i) puede comprender una suma de los cuadrados de los restos para la posición i -ésima de hipocentro potencial en los N sensores del bloque 410 que puede venir dada por:

$$E_i = \sum_{j=1}^N (r_{j-i})^2 \quad (12)$$

45 en las realizaciones que hacen uso del modelo de regresión de la ecuación (7), ecuación (12) se convierte en:

$$E_i = \sum_{j=1}^N (y_i - y_{j-i})^2 \quad (13)$$

en la que y_i es el valor de VPM medido en el sensor j -ésimo e y_{j-i} es el valor de VPM predicho por la ecuación (7) del 50 modelo para el sensor j -ésimo y la posición i -ésima de hipocentro potencial.

Una vez determinado el indicador de error del bloque 435 (E_i), el procedimiento 400 avanza al bloque 440 que

implica la evaluación de una condición de salida de bucle. Si existen otras posiciones de hipocentro potenciales en el grupo de p posiciones de hipocentro potenciales del bloque 415 que ya hayan sido examinadas, entonces la indagación del bloque 440 es negativa (resultado NO) y el procedimiento vuelve al bloque 450, en el que el contador de iteraciones i se incrementa para referirse a la siguiente posición de hipocentro potencial y después regresa al bloque 425. Si los procedimientos de los bloques 425, 430 y 435 se han realizado para todos los grupos de p posiciones de hipocentro potenciales del bloque 415, entonces se cumple la condición de salida de bucle del bloque 440 (resultado Sí) y el procedimiento 400 avanza al bloque 445.

El bloque 445 implica la selección de uno de los grupos de hipocentro potencial del bloque 415 que será el hipocentro estimado del suceso de caída de piedras. En la realización ilustrada, la selección del bloque 445 se basa en el hipocentro que tiene el indicador de error mínimo (según se determina en el bloque 435). En las realizaciones que usan el indicador de error de la ecuación (12) o (13), el bloque 445 implica la selección de la posición estimada del hipocentro del suceso de caída de piedras que será el hipocentro potencial que tiene el mínimo valor de E_i .

En otras realizaciones, el procedimiento 400 puede implementarse con un modelo de atenuación diferente. Por ejemplo, en una realización alternativa, el modelo de atenuación de la ecuación (6) puede sustituirse por el siguiente modelo:

$$y(x) = \frac{Ae^{-Bx}}{\sqrt{x}} \quad (14)$$

20

que representa una combinación de absorción y dispersión geométrica. Para el modelo de la ecuación (14), el equivalente a la ecuación (7) es:

$$y_{j-i} = \frac{A_i e^{-B_i x_{j-i}}}{\sqrt{x_{j-i}}} \quad (15)$$

25 la función de coste de mínimos cuadrados equivalente a la ecuación (8) es:

$$F_i = \sum_{j=1}^N w_{j-i} (r_{j-i})^2 = \sum_{j=1}^N w_{j-i} \left(y_j - \frac{A_i e^{-B_i x_{j-i}}}{\sqrt{x_{j-i}}} \right)^2 \quad (16)$$

y el r_{j-i} residual para el sensor j -ésimo y la posición i -ésima de hipocentro potencial viene dado por:

30

$$r_{j-i} = y_j - \frac{A_i e^{-B_i x_{j-i}}}{\sqrt{x_{j-i}}} \quad (17)$$

La ecuación (15) puede linealizarse tomando el logaritmo natural en los dos miembros para obtener:

$$\ln(y_{j-i}) = \ln(A_i) - B_i x_{j-i} - \frac{1}{2} \ln(x_{j-i}) = y'_{i-j} = A'_i - B_i x_{j-i} - \frac{1}{2} \ln(x_{j-i}) \quad (18)$$

en la que $y'_{i-j} = \ln(y_{j-i})$ y $A'_i = \ln(A_i)$. Cuando se supone que $B_i \approx B_0$, las ecuaciones (9a) y (16) pueden usarse para resolver A_i de acuerdo con:

40

$$A_i = \frac{\sum_{j=1}^N w_{j-i} y_j \frac{e^{-B_0 x_{j-i}}}{\sqrt{x_{j-i}}}}{\sum_{j=1}^N w_{j-i} \frac{e^{-2B_0 x_{j-i}}}{x_{j-i}}} \quad (19)$$

Las variables usadas en el modelo de ecuaciones (14)-(19) pueden tener sustancialmente el mismo significado que el usado en el modelo anterior basado en las ecuaciones (6)-(11). El procedimiento 400 que usa el modelo expuesto en las ecuaciones (14)-(19) puede ser similar al procedimiento 400 descrito anteriormente que usa el modelo de las ecuaciones (6)-(11). Más en particular, el bloque 430 puede implicar la determinación de los parámetros del modelo A_i y B_i para el i -ésimo hipocentro potencial, el bloque 435 puede implicar la determinación de un indicador de error

asociado con el i -ésimo hipocentro potencial (por ejemplo, usando las ecuaciones (12) y (13), con la salvedad de que se usa el modelo de regresión de la ecuación (15) en lugar del modelo de regresión de la ecuación (7)) y el resto del procedimiento 400 puede ser sustancialmente similar al descrito anteriormente.

5 Tal como se expone anteriormente, el procedimiento 400 representa una posible realización de bloque 270 del procedimiento 200 (Figura 7A). La posición de hipocentro estimada del bloque 445 puede ser la estimación de la posición del suceso de la salida del bloque 270. En otras realizaciones, el bloque 270 puede implementarse por otros procedimientos. Volviendo a la Figura 7A, al concluir el bloque 270 (por ejemplo, el procedimiento 400), el procedimiento 200 puede avanzar al bloque 275 opcional que implica la estimación de la energía de un suceso. La
 10 estimación de la energía del bloque 275 opcional puede basarse también en el modelo espacial de atenuación usado en el bloque 270 para estimar el hipocentro de caída de piedras. En la realización de ejemplo en particular descrita en el procedimiento 400 anterior, el modelo de atenuación espacial se representa mediante las ecuaciones (6) y (7).

15 Si se supone que la trayectoria asociada con una piedra que cae es predominantemente vertical, entonces la energía cinética de la piedra puede expresarse como:

$$EC = mhg \quad (14)$$

20 en la que: m es la masa de la piedra, h es la altura desde la que cae la piedra y g es la aceleración debida a la gravedad. La estimación de la energía del bloque 275 puede implicar también la suposición de que la VPM de un suceso de caída de piedras en el hipocentro es proporcional a la energía cinética EC :

$$EC = kA \quad (15)$$

25 en la que: A es el valor del parámetro del modelo A_i determinado en el bloque 430 y asociado con el hipocentro seleccionado en el bloque 445 y k es una constante de proporcionalidad que puede determinarse experimentalmente durante el calibrado del sistema 10. La determinación de la energía del bloque asociada con un suceso de caída de piedras puede determinarse usando la ecuación (15).

30 El procedimiento 200 (Figura 7A) avanza al bloque 280 que implica la adopción de la acción apropiada para un suceso de caída de piedras. La Figura 7D ilustra esquemáticamente un procedimiento 500 para adoptar la acción apropiada con respecto a un suceso de caída de piedras que puede realizarse en el bloque 280 según una realización en particular. El procedimiento 500 comienza en el bloque 510 opcional que implica la obtención de una o
 35 más imágenes de la posición de suceso estimada. La posición de suceso estimada puede ser la posición de suceso determinada en el bloque 270 (por ejemplo, el hipocentro del bloque 445). El bloque 510 opcional puede implicar el control de uno o más dispositivos de captura de imágenes 34 usando las señales de control de las cámaras 38. El o los dispositivos de captura de imágenes 34 pueden estar controlados, de manera que se dirijan hacia la posición de suceso estimada y capturen los datos de imágenes 36 correspondientes. Tal como se expone anteriormente, los
 40 datos de imágenes 36 pueden almacenarse en la memoria de datos de imagen 130.

El procedimiento 500 avanza a continuación al bloque 515 que implica la generación de un registro del suceso de caída de piedras. El registro del suceso de caída de piedras puede incluir el registro de una serie de parámetros asociados con el suceso de caída de piedras. En determinadas realizaciones, el registro del bloque 515 puede incluir
 45 uno o más entre: el tipo de suceso (por ejemplo, un suceso de caída de piedras del bloque 395 o el bloque 390); una serie de sensores activados; una serie N sensores del bloque 410; los tiempos de inicio y fin del suceso que pueden incluir el tiempo de inicio (t_{inicio}) para el primer sensor activado y el tiempo de fin (t_{fin}) para el último sensor que queda activado; la posición estimada del hipocentro del suceso (por ejemplo, el hipocentro del bloque 445); la VPM estimada del suceso en el hipocentro (por ejemplo, el valor del parámetro del modelo A_i determinado en el bloque
 50 430 para el hipocentro seleccionado en el bloque 445); la energía estimada de un suceso (por ejemplo, la energía del bloque 275); la VPM y el tiempo asociado t_{VPM} para cada sensor activado; los máximos (y los tiempos asociados) de uno o más entre otros parámetros específicos del suceso del bloque 305 (por ejemplo, $MCP/MLP_{máx}$, $E_{máx}$ o similares); y cualquier otro parámetro que pudiera conocer el procesador de datos 120. En algunas realizaciones, el registro del bloque 515 puede incluir también una o entre las imágenes del bloque 510 de la posición de suceso
 55 estimada.

El procedimiento 500 avanza a continuación al bloque 520 que implica la evaluación de criterios de alarma. En una realización en particular, los criterios de alarma del bloque 520 pueden implicar una comparación para determinar si la VPM estimada del suceso en el hipocentro (por ejemplo, el valor del parámetro del modelo A_i determinado en el
 60 bloque 430 para el hipocentro seleccionado en el bloque 445) es mayor que un umbral de alarma de VPM ($umbr_VPM_alarm$). En otras realizaciones, los criterios de alarma del bloque 520 pueden implicar la comparación para determinar si la energía estimada de un suceso (por ejemplo, la energía del bloque 275) es mayor que un umbral de alarma de energía ($umbr_EC_alarm$). Basándose en la ecuación (15) anterior se observará que en la realización descrita anteriormente, estos dos criterios de alarma del bloque 520 son equivalentes y están
 65 relacionados por el factor de escala k determinado experimentalmente. En algunas realizaciones, los criterios de alarma del bloque 520 pueden basarse de forma adicional o alternativa en indagaciones en uno o más de otros

parámetros medidos o estimados por el sistema 10.

Si la indagación del bloque 520 es positiva (por ejemplo, la VPM estimada del suceso en el hipocentro es mayor que un umbral de alarma de VPM (*umbr_VPM_alarm*)), entonces el procedimiento 500 avanza por el resultado SÍ del bloque 520 al bloque 530 que puede implicar la activación de una alarma y/o la transmisión del registro de suceso del bloque 515 directamente de nuevo a la posición exterior (por ejemplo, por medio de la conexión en red 28 a la estación de trabajo remota 30). La alarma del bloque 530 puede implicar la activación de un estímulo sensorial en la estación de trabajo remota 30 y/o un mensaje de correo electrónico en la estación de trabajo remota 30 o similares. En algunas realizaciones, cuando se recibe la alarma del bloque 530 en la estación de trabajo remota 30, el registro de sucesos del bloque 515 (incluida cualquier imagen del bloque 510) puede ser evaluado por personal humano. Si el personal humano determina que el suceso recomienda interrumpir el servicio, puede evitarse el tráfico de vehículos por el tramo de vía 12 hasta que se investigue el suceso más a fondo y/o se esclarezca. En algunas realizaciones, la intervención humana puede no ser deseada o necesaria y la alarma del bloque 530 puede provocar que se dirija una comunicación a los operadores del vehículo de carril para alertarles del suceso y hacer que interrumpan la circulación en o hacia el tramo de vía 12.

Si la indagación del bloque 520 es negativa (por ejemplo, la VPM estimada del suceso en el hipocentro es menor que el umbral de alarma de VPM (*umbr_VPM_alarm*)), entonces el procedimiento 500 avanza por el resultado NO del bloque 520 al bloque 540. En la realización ilustrada, el bloque 540 implica la transmisión y/o el registro del suceso en el curso normal (es decir, sin activar una alarma). El bloque 540 puede implicar el almacenamiento del registro de suceso del bloque 515 en la memoria local (por ejemplo, en el registrador de datos 110, la memoria 128 y/o la memoria de datos de imagen 130) hasta que se investigue dicho tiempo por parte de la unidad de tratamiento de señales 26 para los sucesos (por ejemplo, mediante la estación de trabajo remota 30 en la conexión en red 28). Dependiendo de la disponibilidad de memoria local, en otras realizaciones, el bloque 540 puede implicar la transmisión del registro de suceso del bloque 515 (por ejemplo, a la estación de trabajo remota 30 en la conexión en red 28) sin activar una alarma.

La Figura 10 ilustra esquemáticamente un procedimiento 600 para el despliegue de sistema 10 según una realización de ejemplo. El procedimiento 600 comienza en el bloque 610 que implica la evaluación de las características geotécnicas del entorno en la proximidad del tramo de vía 12. El bloque 610 puede implicar la simulación de sucesos de caída de piedras usando caídas de pesos conocidos desde alturas conocidas en posiciones conocidas (es decir, caídas de prueba). El bloque 610 puede implicar el uso de configuraciones de sensores transportables (similares a las configuraciones de sensores 18) y unidades de tratamiento de señales 26 transportables. El bloque 610 puede implicar la evaluación de uno o más entre:

- características del ruido ambiente (lo que incluye, a modo de ejemplos no limitativos, ruidos característicos de fuentes como cascadas, fuentes de agua corriente, vientos, tráfico cercano y otras fuentes de ruido superficial);
- la velocidad de las ondas superficiales en el sustrato en la proximidad del tramo de vía 12;
- el factor de calidad del suelo (por ejemplo, el parámetro B_0 descrito anteriormente);
- el intervalo de precisión del procedimiento de estimación de la posición del bloque 270 (por ejemplo, los autores de la invención han determinado que la precisión del procedimiento 400 puede disminuir con la distancia entre los sensores y la posición de la caída de piedras);
- la evaluación de un conjunto de dispersión de datos resultante de la energía acústica que atraviesa un obstáculo (por ejemplo, la vía en circunstancias en las que se instalan sensores a ambos lados del tramo de vía 12 o si el tramo de vía 12 tiene una curvatura) y, si tiene lugar una pérdida de energía importante, la determinación de los datos de sensores "en sombra" que no deberían mezclarse con los demás sensores;
- la verificación de que los ajustes de ganancia asociados con los circuitos de acondicionamiento de señal 102 son adecuados para capturar los sucesos en un intervalo de interés; y/o
- elementos similares.

El procedimiento 600 avanza a continuación al bloque 620 que implica el uso de la información del bloque 610 para determinar la densidad de sensores para el sistema 10 y la determinación de la configuración del sistema asociada. El bloque 620 puede implicar la comparación de VPM asociadas con las caídas de prueba a diversas distancias con respecto al ruido de fondo. En algunas realizaciones, la VPM del menor suceso necesario para su detección debe ser mayor que 3 veces el nivel de ruido de fondo. En otras realizaciones, esta relación es de 4-5 veces.

El procedimiento 600 avanza a continuación al bloque 630 que implica la instalación del sistema 10 de acuerdo con la configuración del bloque 620. Las configuraciones de sensores transportables y las unidades de tratamiento de señales transportables pueden ser sustituidas por configuraciones de sensores 18 y unidades de tratamiento de señales 26 permanentes. Algunos de los parámetros geotécnicos determinados en el bloque 610 pueden reevaluarse usando los componentes del sistema permanentes. El bloque 640 opcional puede implicar la determinación de un nivel de ruido de fondo (y una constante c de MLP asociada) que, en algunas realizaciones, puede usarse para calcular la relación MCP/MLP modificada de acuerdo con la ecuación (3) descrita anteriormente.

El procedimiento 600 avanza a continuación al bloque 650 que implica la prueba del sistema 10 haciendo funcionar el sistema 10 durante un periodo de tiempo suficiente para capturar todos los tipos de sucesos detectables. El

sistema 10 (y en particular el software 124 usado por el procesador de datos 120) puede ajustarse según se necesite durante este periodo de prueba para optimizar el rendimiento. Las señales de sensor digitales asociadas con sucesos concretos pueden registrarse de manera que puedan usarse de nuevo para evaluar los cambios en el software 124. En el bloque 660, se encarga el funcionamiento del sistema 10, pero está sujeto a pruebas rutinarias
5 regulares y recalibrado según se desee.

En algunas realizaciones, puede ser conveniente intentar diferenciar los sucesos (y/o series de sucesos) provocados por el ser humano y/u otros animales de los sucesos causados por caída de piedras, tráfico en el carril y/u otras fuentes de ruido superficial. La Figura 11 ilustra un procedimiento 700 que puede usarse para diferenciar una serie
10 de sucesos que pueden deberse a un ser humano u otro animal según una realización en particular. El procedimiento 700 puede realizarse en el procedimiento 200 (Figura 7A) después de la detección de un suceso. Por ejemplo, el procedimiento 700 puede realizarse entre los bloques 260 y 265 y/o entre los bloques 275 y 280.

El procedimiento 700 comienza en el bloque 710 que implica la determinación de una correlación temporal entre el suceso actual y los M sucesos anteriores. El parámetro M puede basarse en evidencias empíricas y puede depender de la sensibilidad de los sensores, la importancia de la detección de animales en la proximidad del tramo de vía 12 o similares. La correlación temporal del bloque 710 puede determinarse usando una amplia variedad de técnicas conocidas para los expertos en la materia. Una de estas técnicas implica la determinación de un tiempo medio de los últimos M sucesos (por ejemplo, el tiempo medio de inicio t_{inicio} de los últimos M sucesos) y la comparación del
20 tiempo que esté más alejado del tiempo medio con el tiempo medio. De acuerdo con esta técnica, una gran diferencia indica una correlación temporal bastante baja y una diferencia pequeña indica una correlación temporal bastante alta. Otra técnica implica el cálculo de la desviación típica estadística σ de los tiempos de los últimos M sucesos (por ejemplo, los tiempos medios de inicio t_{inicio} de los últimos M sucesos). De acuerdo con esta técnica, una gran desviación indica una correlación temporal relativamente baja, mientras que una desviación pequeña indica una
25 correlación temporal relativamente alta.

Si la indagación del bloque 710 indica que la correlación temporal de los últimos M sucesos es menor que un umbral ($umbr_corr_temp$), entonces el procedimiento 700 puede avanzar por el resultado NO del bloque 710 al bloque 720 en la que el procedimiento 700 concluye que la serie de sucesos no fue producida por un animal. Si, por otra parte,
30 la indagación del bloque 710 indica que la correlación temporal de los últimos M sucesos es mayor que un umbral ($umbr_corr_temp$), entonces el procedimiento 700 puede avanzar por el resultado SÍ del bloque 710 al bloque 730. El bloque 730 implica la evaluación de una correlación espacial de los últimos N sucesos. En algunas realizaciones, el número de sucesos del bloque 710 M es igual al número de sucesos N del bloque 730. La correlación espacial del bloque 730 puede determinarse basándose, por ejemplo, en las posiciones de sucesos determinadas en el bloque
35 270 (por ejemplo, el procedimiento 400). Las correlaciones espaciales del bloque 730 pueden determinarse usando cualquiera de una gran variedad de técnicas conocidas para los expertos en la materia, incluidas las descritas anteriormente para el bloque 710.

Si la indagación del bloque 730 indica que la correlación espacial de los últimos N sucesos es menor que un umbral ($umbr_corr_esp$), entonces el procedimiento 700 puede avanzar por el resultado NO del bloque 730 al bloque 740 en el que el procedimiento 700 concluye que la serie de sucesos no fue producida por un animal. Si, por otra parte, la indagación del bloque 730 indica que la correlación espacial de los últimos N sucesos es mayor que un umbral ($umbr_corr_esp$), entonces el procedimiento 700 puede avanzar por el resultado SÍ del bloque 730 al bloque 750,
45 que implica la conclusión de que la serie de sucesos fue provocada muy probablemente por seres humanos u otros animales.

Como será evidente para los expertos en la materia a la luz de la descripción anterior, son posibles muchas alteraciones y modificaciones en la práctica de la presente invención sin apartarse del espíritu o el alcance de la misma. Por ejemplo:

- Las determinadas realizaciones de los procedimientos descritos anteriormente son de carácter ilustrativo. En otras realizaciones, partes de estos procedimientos pueden modificarse o cambiarse. En algunas realizaciones, los aspectos de estos procedimientos pueden realizarse en el orden adecuado diferente al orden descrito anteriormente. A modo de ejemplos no limitativos, en algunas realizaciones del procedimiento 300 (Figura 7B), los procedimientos de los bloques 360-390 pueden realizarse antes de los procedimientos de los bloques 310-330 y/o los bloques 335-355 o los procedimientos de los bloques 335-355 pueden realizarse antes de los procedimientos de los bloques 310-330. Los expertos en la materia observarán que existen otras circunstancias en las que el orden de las operaciones en particular puede modificarse en las circunstancias en las que sea conveniente.
- El procedimiento 300 de la realización ilustrada descrita anteriormente implica la diferenciación de una diversidad de distintos tipos de sucesos (es decir, sucesos de tren, sucesos de vehículos de carril superior, sucesos de ruido superficial, sucesos no significativo de caída de piedras y sucesos significativos de caída de piedras. Esto no es obligatorio. En algunas realizaciones, es conveniente diferenciar un número de sucesos inferior (por ejemplo, las dos categorías de sucesos de caída de piedras significativos y otros sucesos). En dichas realizaciones, el procedimiento 300 puede modificarse de la forma adecuada de manera que el resultado NO del bloque 310, el resultado SÍ del bloque 335 opcional, el resultado NO del bloque 360 y el resultado SÍ del bloque 392 llevan a la misma conclusión
65 (es decir, otro tipo de suceso) y el procedimiento 300 puede concluir que existe un suceso de caída de piedras

significativo cuando la indagación del bloque 392 es negativa (es decir, resultado NO del bloque 392). En otras de dichas realizaciones, algunos de los bloques 365-390 pueden mantenerse para diferenciar sucesos de caída de piedras pequeñas o acumulación de caída de piedras.

- En algunas realizaciones, el procedimiento 200 y/o el procedimiento 300 pueden modificarse para proporcionar una indagación sobre un retraso mínimo entre sucesos (Δ_{suceso}). Puede determinarse que los sucesos que tienen lugar en una separación de tiempo (y/o número de muestras) menor que el retardo mínimo Δ_{suceso} entre sí pertenecen al mismo suceso. En determinadas realizaciones, dichos sucesos con pequeña separación pueden fusionarse en un único suceso o bien puede ignorarse uno o más de dichos sucesos con escasa separación.
- En algunas realizaciones, el procedimiento 200 y/o el procedimiento 300 pueden modificarse para proporcionar una indagación sobre un número mínimo de sensores activados ($\#_{sensor_min}$). Si el número de sensores activados por un suceso es menor que este número mínimo de sensores ($\#_{sensor_min}$), entonces puede determinarse que el suceso es demasiado pequeño para ser de interés.
- La Figura 9B descrita anteriormente hace uso de un parámetro ΔT_{inicio} para determinar los sensores que se incluirán en el grupo de sensores del bloque 410. Este parámetro Δt_{inicio} o un parámetro temporal similar (posiblemente mayor) puede usarse para determinar una diferencia máxima de tiempo de llegada. Si se activa un primer sensor en un tiempo $t_{inicio_sensor\#1}$ y se activan uno o más sensores después de esta diferencia máxima de tiempo de llegada, entonces puede determinarse que los sensores activados posteriormente pertenecen a un suceso separado. La diferencia máxima del tiempo de llegada puede determinarse basándose al menos en parte de la velocidad de las ondas superficiales determinada experimentalmente en el sustrato en la proximidad del tramo de vía 12.
- Algunas de las realizaciones descritas anteriormente describen el uso de una media B_0 determinada experimentalmente para el parámetro del modelo B_i de la ecuación (7) y/o la ecuación (15). En algunas realizaciones, este parámetro B_0 puede ser el mismo para un tramo de vía 12 en particular, pero puede diferir entre cada uno de una pluralidad de tramos de vía modulares 12 que pueden incorporarse en un sistema global o bien este parámetro B_0 puede variar localmente dentro de un tramo de vía (12).
- Los procedimientos descritos anteriormente implican la discriminación de una serie de sucesos. Estos sucesos representan ejemplos de sucesos no limitativos que pueden ser diferenciados por el sistema 10. En otras realizaciones, el sistema 10 puede configurarse para diferenciar otros tipos de sucesos, tales como, a modo de ejemplos no limitativos: puntos de conmutación en movimiento, silbatos/bocinas de la locomotora y expansión térmica y la deformación propia del carril sobre las traviesas causada por el calentamiento solar del carril.

En consecuencia, el alcance de la invención debería determinarse de acuerdo con las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema (10) de detección de caída de piedras en la proximidad de un tramo (12) de vía férrea, comprendiendo el sistema:

- 5 una pluralidad de sensores de balasto (18) separados a lo largo del tramo de vía, con cada sensor de balasto situado en un balasto próximo al tramo de vía pero separado de los carriles y traviesas asociados con el tramo de vía y cada sensor de balasto sensible a la energía acústica y configurado para generar una señal de sensor de balasto (22) correspondiente en respuesta a la detección de energía acústica;
- 10 una unidad de tratamiento de señales (26) conectada operativamente para recibir las señales de sensor de balasto a partir de la pluralidad de sensores de balasto, con la unidad de tratamiento de señales configurada para detectar sucesos de caída de piedras en la proximidad del tramo de vía basándose, al menos en parte, en las señales de sensor de balasto;
- 15 en el que la unidad de tratamiento de señales está configurada de manera que detecte un suceso para uno de los sensores de balasto determinados basándose, al menos en parte, en su señal de sensor de balasto correspondiente; y
- 20 en el que la unidad de tratamiento de señales está configurada para detectar el inicio del suceso, para el sensor de balasto en particular, cuando un parámetro MCP/MLP, es decir, un parámetro de la relación entre una media a corto plazo y una media a largo plazo, asociado con la señal de sensor de balasto correspondiente o una aproximación del parámetro MCP/MLP asociado con la señal de sensor de balasto correspondiente es mayor que un umbral de activación de inicio, *umbr_inicio*, con el parámetro MCP/MLP dado por:

$$\left(\frac{MCP}{MLP} \right)_n = \frac{\sum_{i=(n-(a-1))}^{i=n} |x_i|}{a} \frac{b}{\sum_{i=(n-(b-1))}^{i=n} |x_i|}$$

25 en la que $b > a > 0$; $n \geq a$, b ; x_i representa a valor de la muestra i -ésima; n es un índice de la muestra actual x_n ; a es una duración de media a corto plazo (MCP); y b es una duración de media a largo plazo (MLP).

2. Un sistema según la reivindicación 1 en el que a y b representan números correspondientes de muestras en las duraciones de media a corto plazo y media a largo plazo.

30 3. Un sistema según la reivindicación 1 en el que la unidad de tratamiento de señales está configurada para detectar el inicio del suceso, para el sensor de balasto en particular, cuando un parámetro de energía asociado con la señal de sensor de balasto correspondiente es mayor que un umbral de activación de inicio, E_{umbr_inicio} , comprendiendo el parámetro de energía una media ventanizada de una amplitud cuadrada de la señal de sensor de balasto correspondiente.

4. Un sistema según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3 en el que la unidad de tratamiento de señales está configurada para determinar una duración t_{dur} asociada con el suceso para el sensor de balasto en particular basándose, al menos en parte, en su señal de sensor de balasto correspondiente y en el que la unidad de tratamiento de señales está configurada para comparar la duración del suceso t_{dur} con uno o más criterios de duración y para determinar basándose en esta comparación que el suceso no es un suceso de caída de piedras; o en el que la unidad de tratamiento de señales está configurada para determinar una distribución de potencias espectrales asociada con el suceso para el sensor de balasto en particular basándose, al menos en parte, en su señal de sensor de balasto correspondiente y en el que la unidad de tratamiento de señales está configurada para comparar la distribución de potencias espectrales con uno o más criterios espectrales y para determinar basándose en esta comparación que el suceso no es un suceso de caída de piedras.

5. Un sistema según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4 en el que la unidad de tratamiento de señales está configurada para verificar si el suceso tiene lugar dentro de una ventana de tiempo $\Delta t_{pre-tren}$ de un suceso en el tren posterior y si el suceso tiene lugar dentro de la ventana de tiempo $\Delta t_{pre-tren}$ para determinar que el suceso es un suceso de tren precursor.

6. Un sistema según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5 en el que la unidad de tratamiento de señales detecta una pluralidad de sucesos de caída de piedras asociados con una pluralidad de sensores de balasto correspondiente basándose en su pluralidad de señales de sensor de balasto correspondiente y en el que la unidad de tratamiento de señales está configurada además para estimar la posición del hipocentro de una caída de piedras basándose en el ajuste de uno o más parámetros determinados a partir de la pluralidad de señales de sensor de

balasto correspondiente a un modelo representativo de la atenuación espacial de una señal acústica asociada con la caída de piedras usando una técnica de optimización de ajuste de curvas.

7. Un sistema según la reivindicación 6 en el que la unidad de tratamiento de señales está configurada para implementar la técnica de optimización de ajuste de curvas mediante:

la iteración en una pluralidad de posiciones de hipocentro potenciales y en cada una de la pluralidad de posiciones de hipocentro potenciales;

el uso del o los parámetros determinados a partir de la pluralidad de señales de sensor de balasto correspondiente para determinar los parámetros del modelo que minimizan una función de coste asociada con el modelo; y la determinación de un indicador de error entre uno o más parámetros predichos por el modelo y el o los parámetros determinados a partir de la pluralidad de señales de sensor de balasto correspondiente; y

después de completar la iteración, la selección de una posición de hipocentro potencial con un indicador de error mínimo a modo de la posición estimada del hipocentro de caída de piedras; y

en el que el o los parámetros determinados a partir de la pluralidad de señales de sensor de balasto correspondiente comprenden, para cada señal de sensor de balasto, un parámetro VPM que representa una magnitud de una muestra de la señal de sensor de balasto con el valor absoluto máximo durante su suceso de caída de piedras asociado.

8. Un procedimiento (200) de detección de caída de piedras en la proximidad de un tramo (12) de vía férrea, comprendiendo el procedimiento:

el suministro de una pluralidad de sensores de balasto (18) separados a lo largo del tramo de vía y la localización de cada sensor de balasto en un balasto próximo al tramo de vía pero separado de los carriles y traviesas asociados con el tramo de vía, siendo cada sensor de balasto sensible a la energía acústica y configurado para generar una señal de sensor de balasto (22) correspondiente en respuesta a la detección de energía acústica;

la recepción de las señales de sensor de balasto a partir de la pluralidad de sensores de balasto; y el tratamiento (26) de las señales de sensor de balasto para detectar sucesos de caída de piedras en la proximidad del tramo de vía basándose, al menos en parte, en las señales de sensor de balasto;

la detección de un suceso para uno de los sensores de balasto en particular basándose, al menos en parte, en su señal de sensor de balasto correspondiente; y

la detección del inicio del suceso, para el sensor de balasto en particular, cuando un parámetro MCP/MLP, es decir, un parámetro de la relación entre una media a corto plazo y una media a largo plazo, asociado con la señal de sensor de balasto correspondiente o una aproximación del parámetro MCP/MLP asociado con la señal de sensor de balasto correspondiente es mayor que un umbral de activación de inicio, $umbr_inicio$, con el parámetro MCP/MLP dado por:

$$\left(\frac{MCP}{MLP} \right)_n = \frac{\sum_{i=(n-(a-1))}^{i=n} |x_i|}{a} \frac{b}{\sum_{i=(n-(b-1))}^{i=n} |x_i|}$$

en la que $b > a > 0$; $n \geq a$, b ; x_i representa un valor de la muestra i -ésima; n es un índice de la muestra actual x_n ; a es una duración de media a corto plazo (MCP); y b es una duración de media a largo plazo (MLP); o

que comprende la detección del inicio del suceso, para el sensor de balasto en particular, cuando un parámetro de energía asociado con la señal de sensor de balasto correspondiente es mayor que un umbral de activación de inicio, E_umbr_inicio , comprendiendo el parámetro de energía una media ventanizada de una amplitud cuadrada de la señal de sensor de balasto correspondiente.

9. Un procedimiento según la reivindicación 8 en el que a y b representan números correspondientes de muestras en las duraciones de media a corto plazo y media a largo plazo.

10. Un procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 8 ó 9 que comprende:

la determinación de una duración t_{dur} asociada con el suceso para el sensor de balasto en particular basándose, al menos en parte, en su señal de sensor de balasto correspondiente;

la comparación de la duración del suceso t_{dur} con uno o más criterios de duración; y

la determinación basándose en esta comparación de que el suceso no es un suceso de caída de piedras; o la determinación de una distribución de potencias espectrales asociada con el suceso para el sensor de balasto en particular basándose, al menos en parte, en su señal de sensor de balasto correspondiente;

la comparación de la distribución de potencias espectrales con uno o más criterios espectrales; y la determinación basándose en esta comparación de que el suceso no es un suceso de caída de piedras.

11. Un procedimiento según la reivindicación 8 que comprende:

- 5 la determinación de una duración t_{dur} asociada con el suceso para el sensor de balasto en particular basándose, al menos en parte, en su señal de sensor de balasto correspondiente y la determinación de que el suceso puede ser un suceso de caída de piedras si la duración del suceso t_{dur} es menor que un umbral de duración, $umbr_dur$, y después de determinar que la duración del suceso t_{dur} indica que el suceso puede ser un suceso de caída de piedras, la determinación de un parámetro VPM asociado con el suceso para el sensor de balasto en particular y su
 10 señal de sensor de balasto correspondiente, representando el parámetro VPM una magnitud de una muestra de la señal de sensor de balasto correspondiente al valor absoluto máximo durante el suceso y la determinación de que el suceso es un suceso de caída de piedras significativo cuando la VPM es mayor que el umbral de magnitud, $umbr_VPM$, o un suceso de caída de piedras pequeñas cuando la VPM es menor que el umbral de magnitud,
 15 $umbr_VPM$.

12. Un procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 11 que comprende:

- la detección de una pluralidad de sucesos de caída de piedras asociados con una pluralidad de sensores de balasto correspondiente basándose en su pluralidad de señales de sensor de balasto correspondiente; y
 20 la estimación de una posición del hipocentro de una caída de piedras basándose en el ajuste de uno o más parámetros determinados a partir de la pluralidad de señales de sensor de balasto correspondiente a un modelo representativo de atenuación espacial de una señal acústica asociada con la caída de piedras usando una técnica de optimización de ajuste de curvas.

- 25 13. Un procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 12 que comprende la detección de una pluralidad de sucesos asociados con un sensor de balasto en particular basándose en su señal de sensor de balasto correspondiente y la determinación de si la pluralidad de sucesos es susceptible de ser un ser humano u otro animal en la proximidad del tramo de vía, en el que la determinación de si la pluralidad de sucesos es susceptible de
 30 ser un ser humano u otro animal en la proximidad del tramo de vía comprende la determinación de que una correlación temporal de la pluralidad de sucesos es mayor que una correlación temporal umbral, $umbr_corr_temp$, y la determinación de que una correlación espacial de la pluralidad de sucesos es mayor que una correlación espacial umbral, $umbr_corr_esp$.

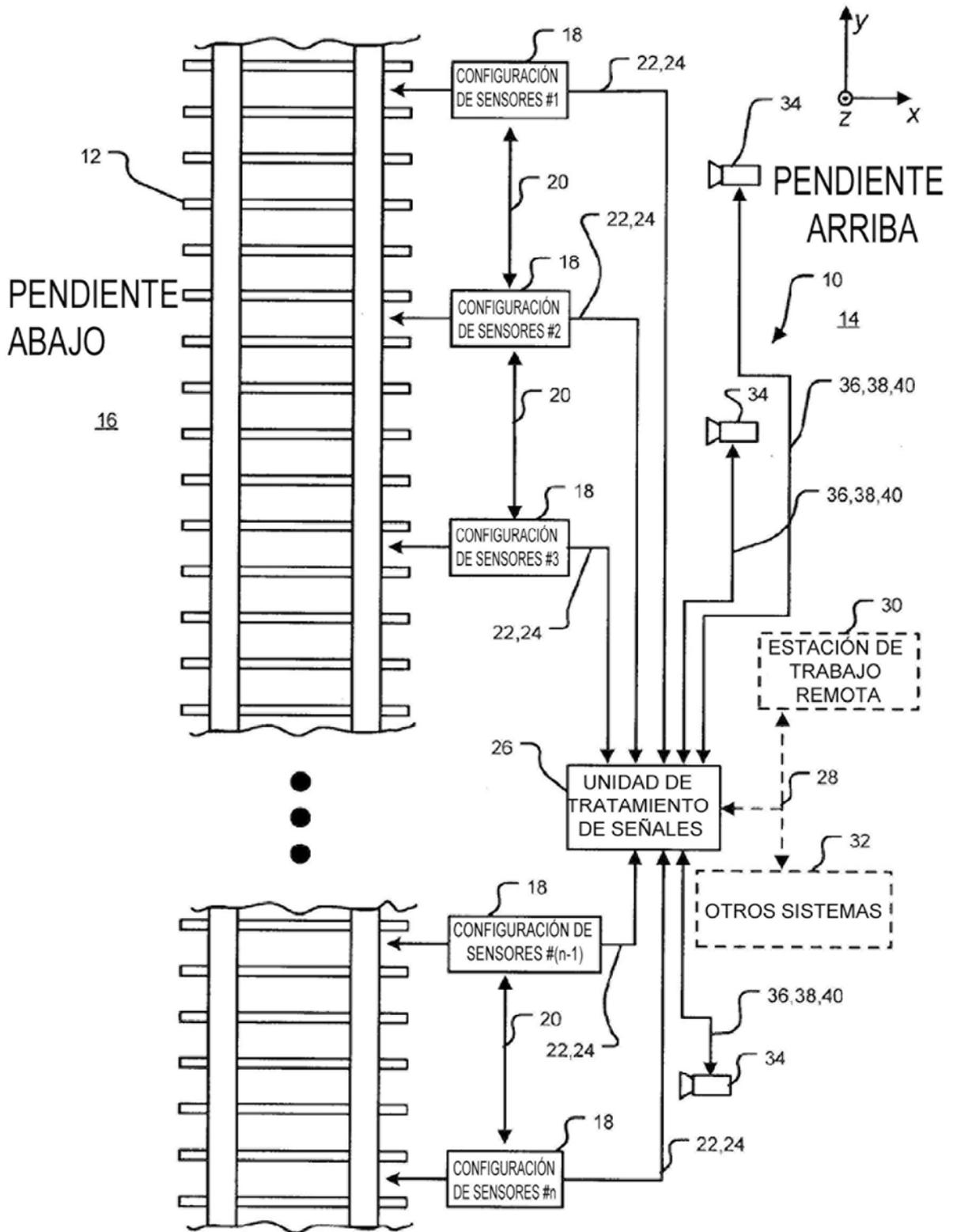
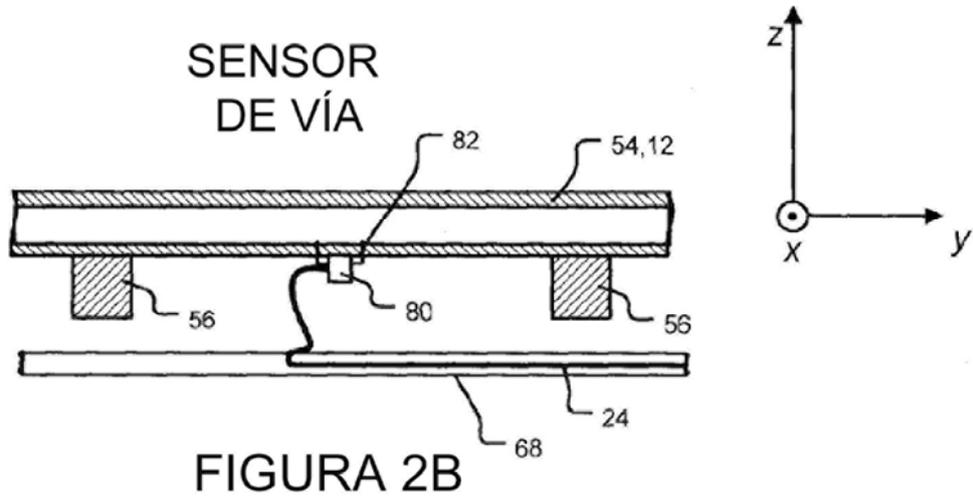
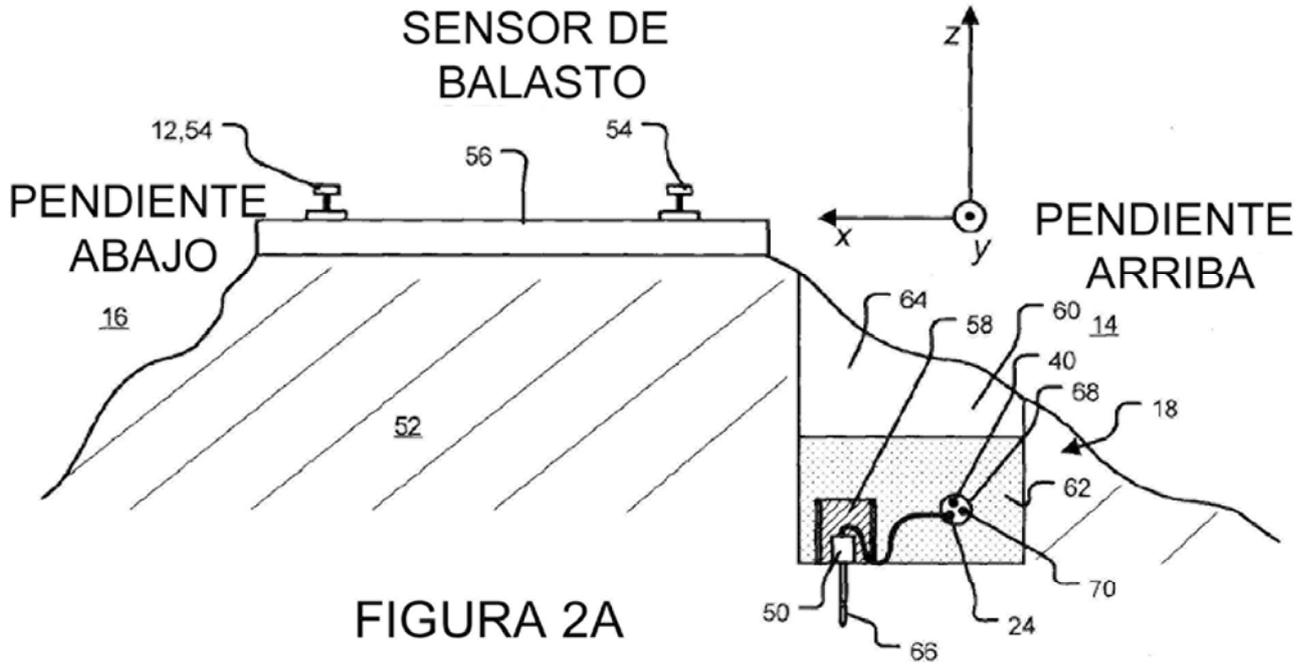


FIGURA 1



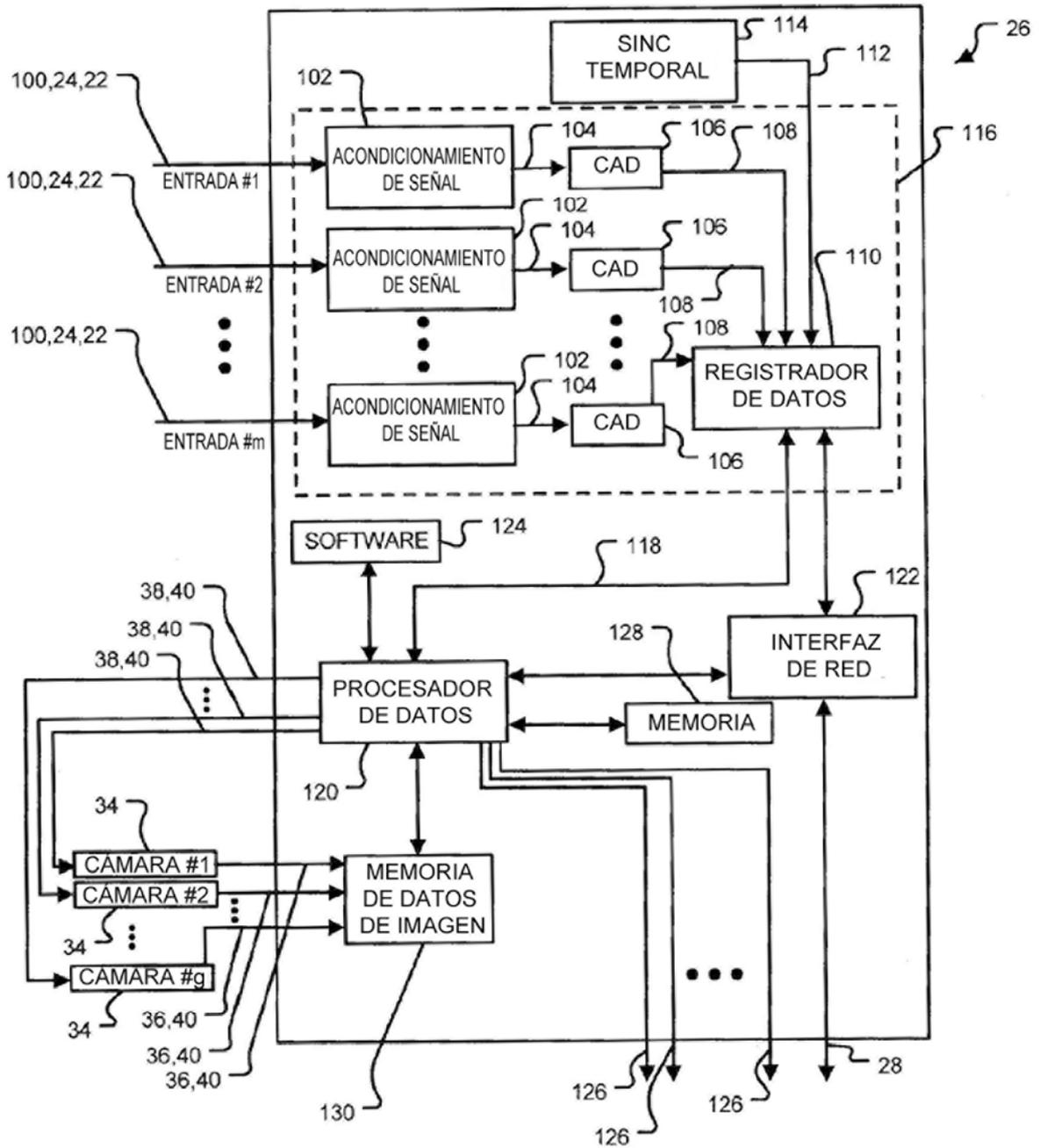


FIGURA 3

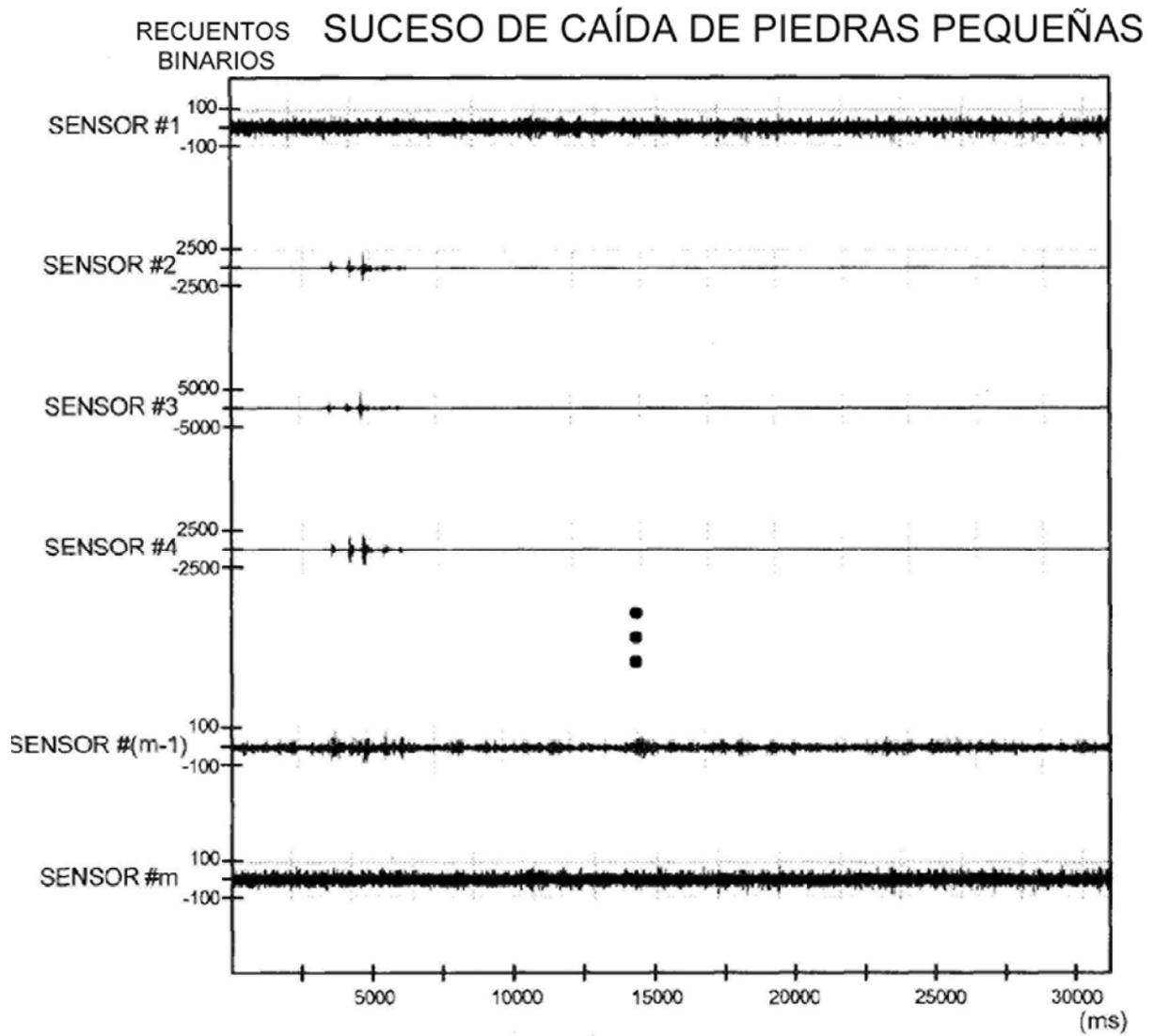


FIGURA 4A

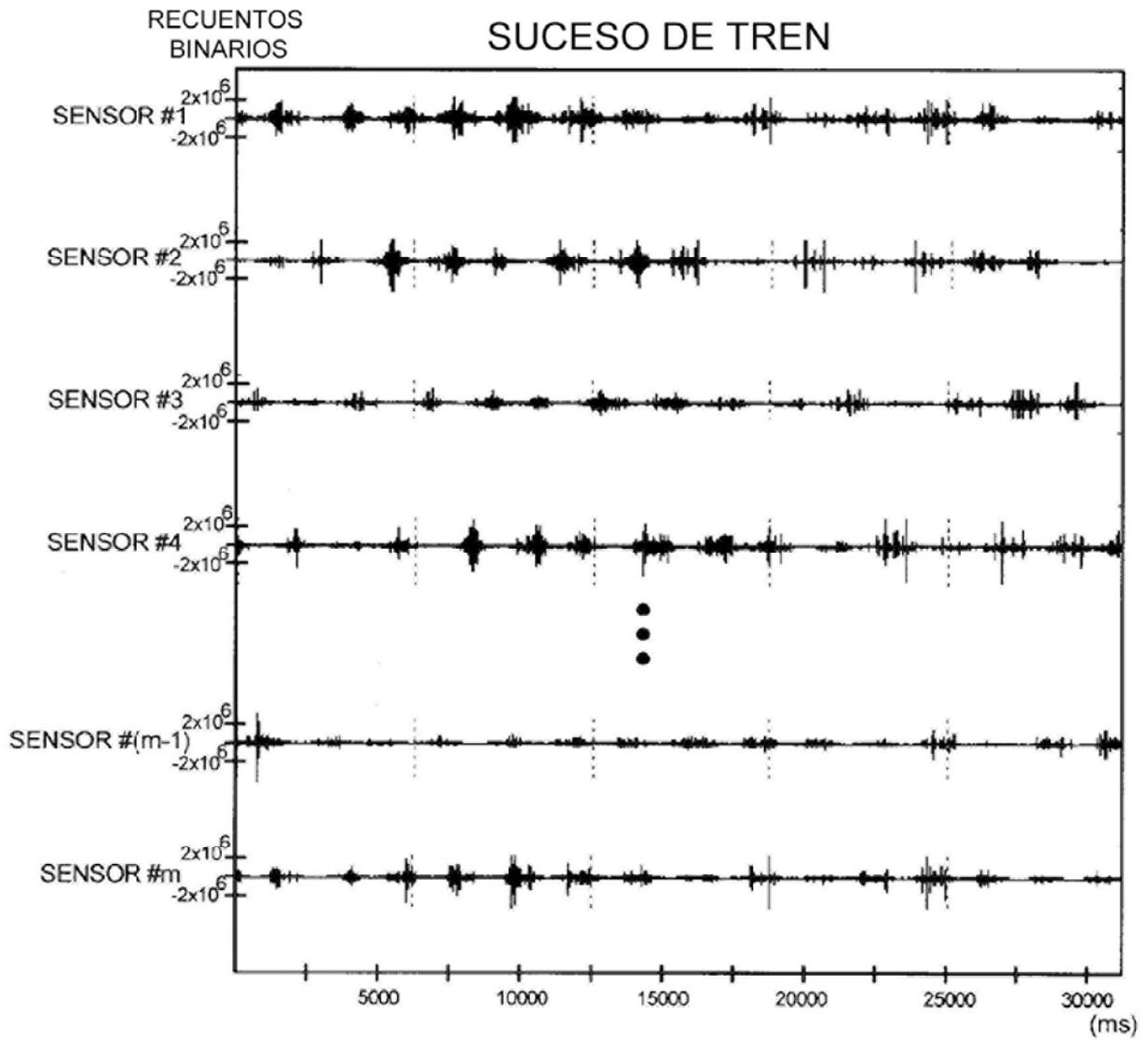


FIGURA 4B

SUCESO DE VEHÍCULO DE CARRIL SUPERIOR

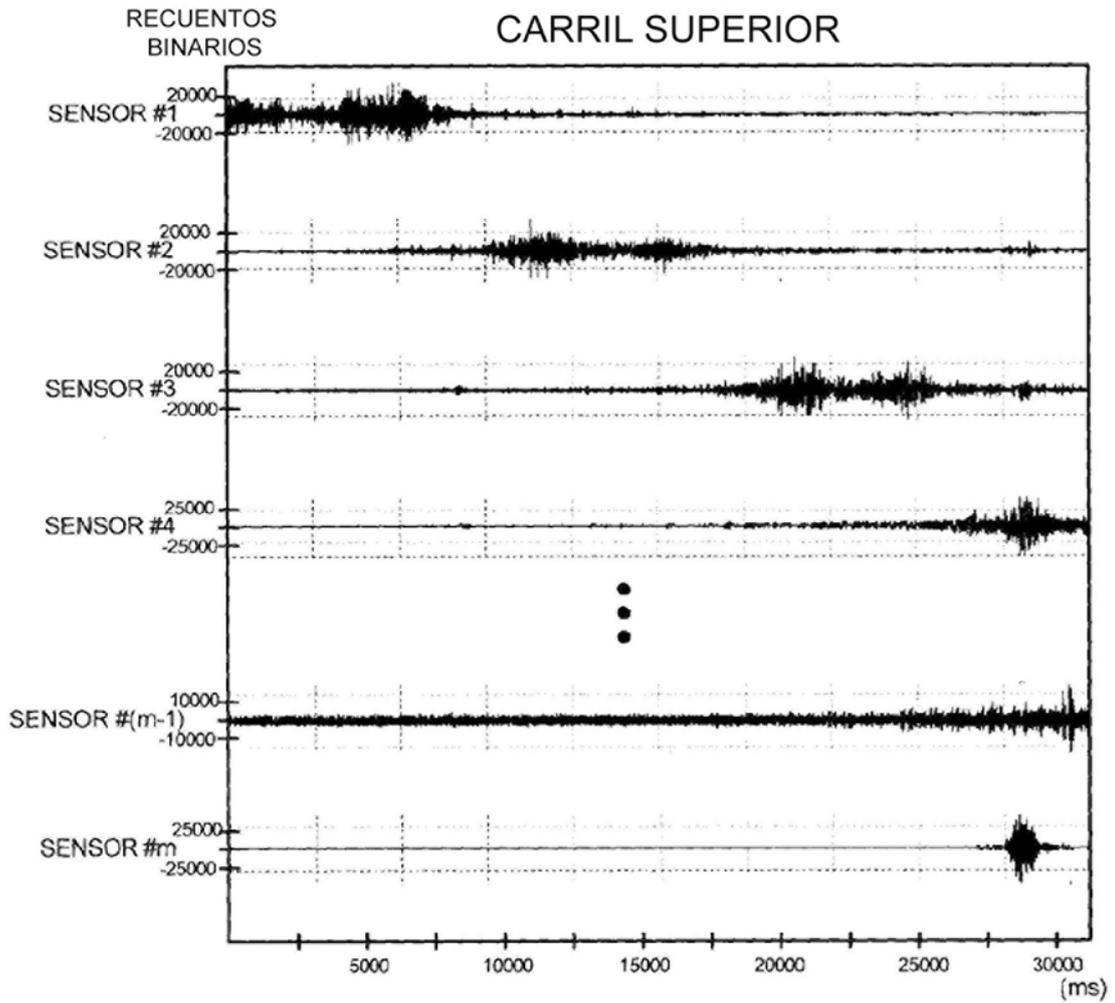


FIGURA 4C

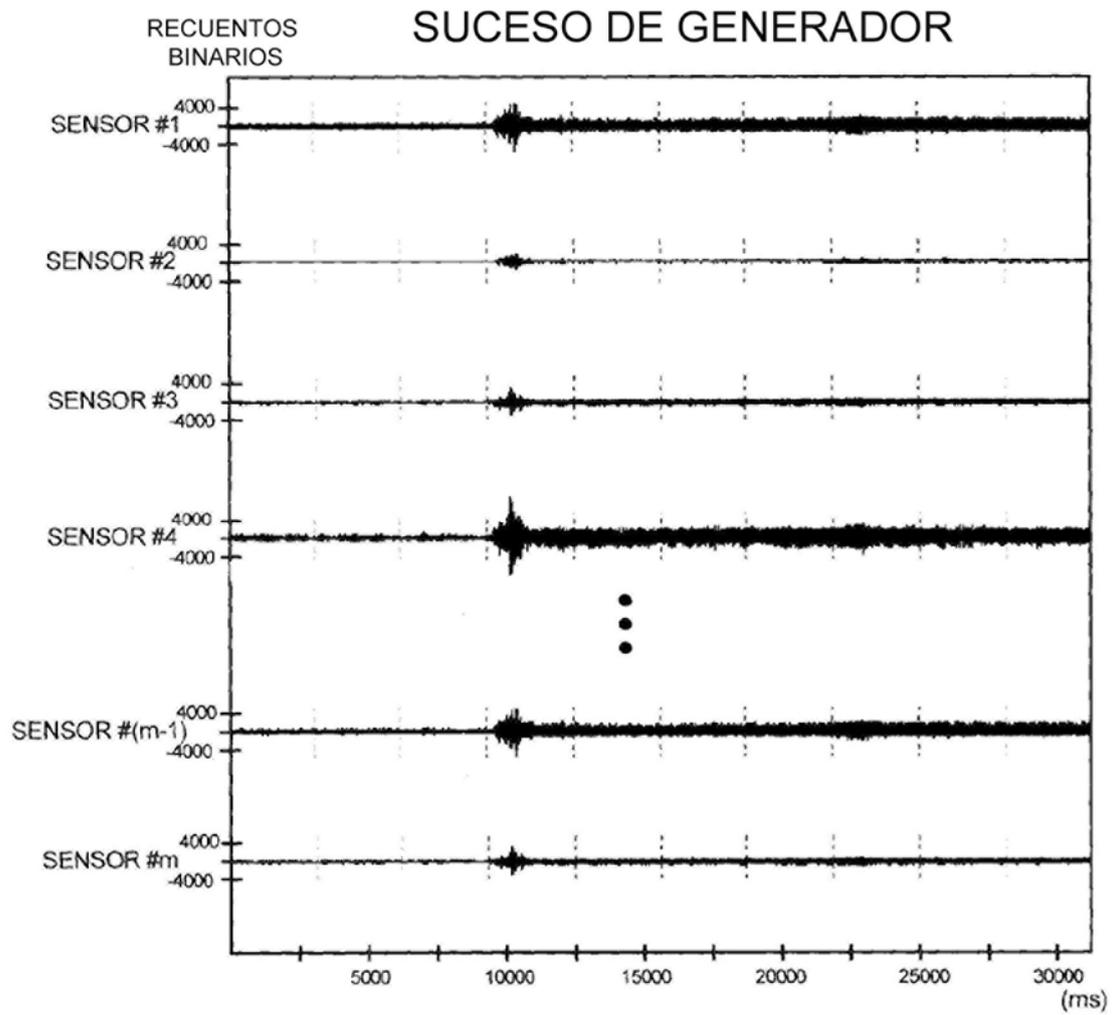


FIGURA 4D

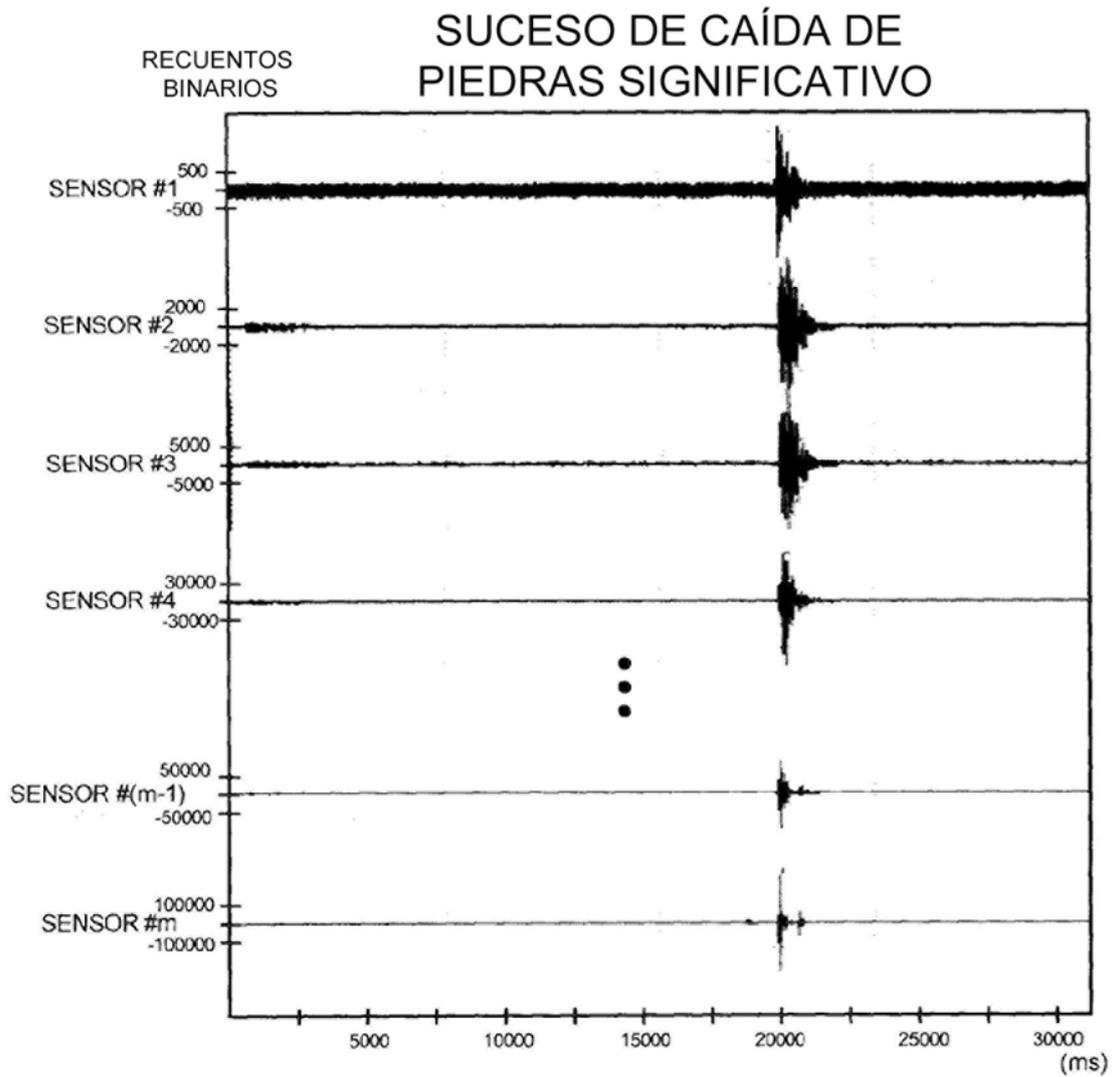


FIGURA 4E

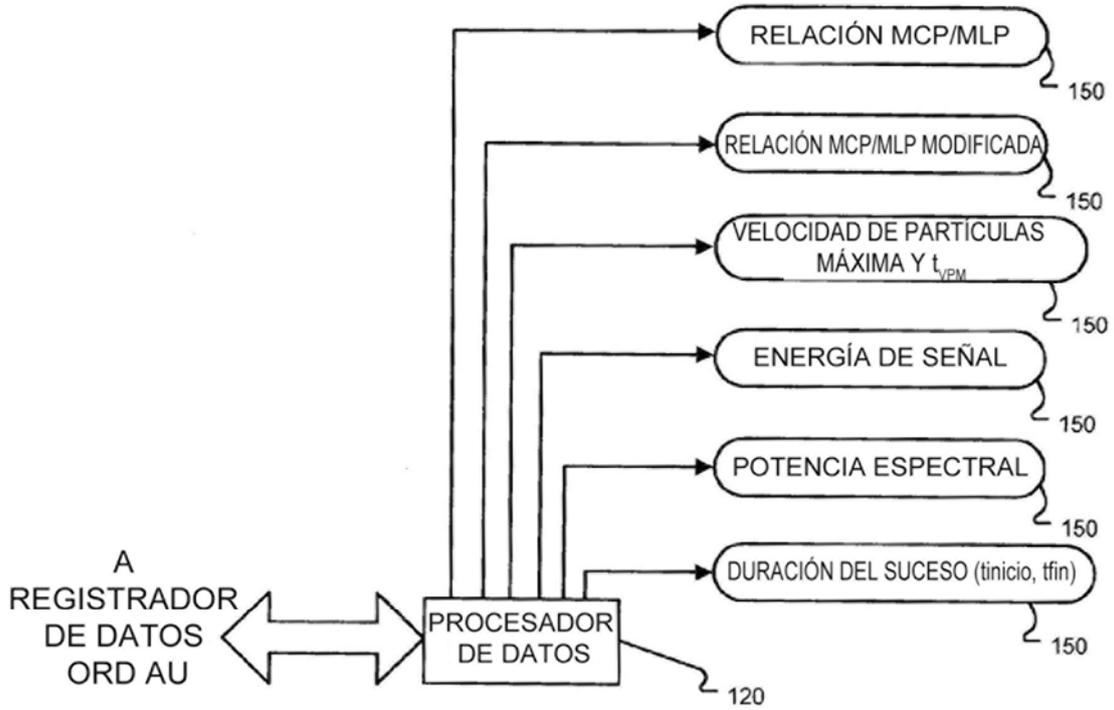


FIGURA 5

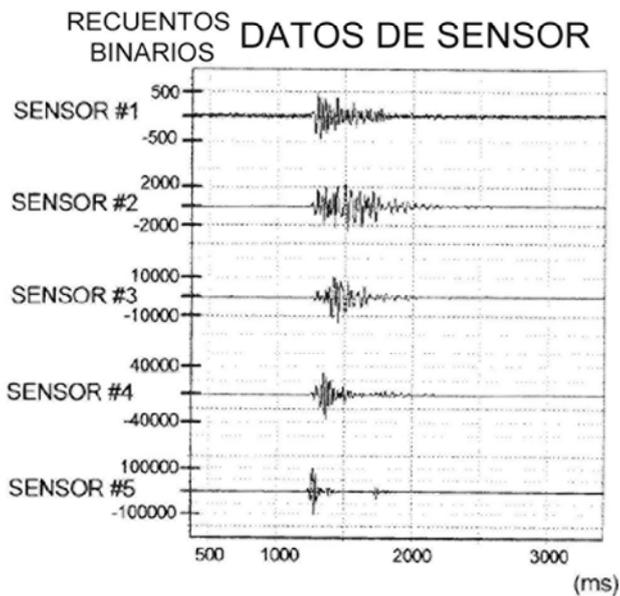


FIGURA 6A

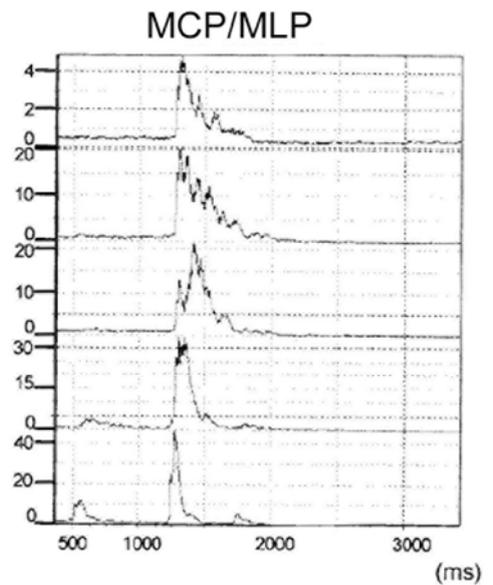


FIGURA 6B

RECUELTOS
BINARIOS

SUCESO DE CAÍDA DE PIEDRAS

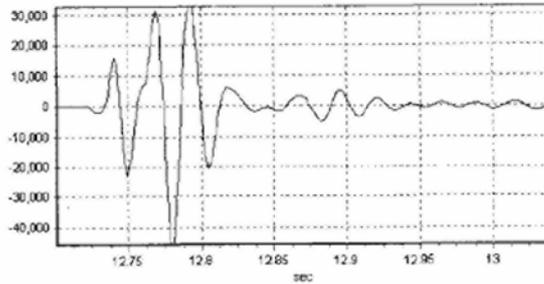


FIGURA 6C

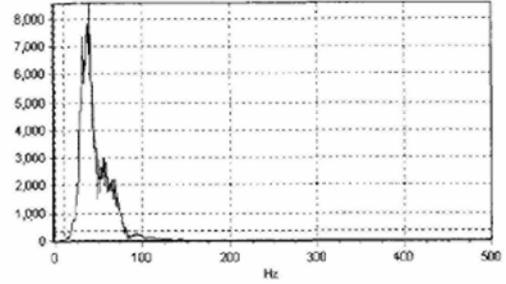


FIGURA 6D

RECUELTOS
BINARIOS

SUCESO DE TREN

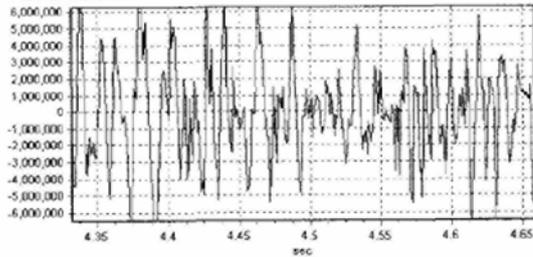


FIGURA 6E

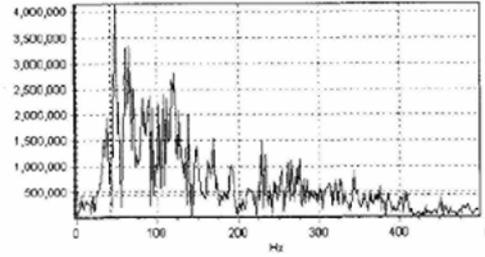


FIGURA 6F

RECUELTOS
BINARIOS

SUCESO DE VEHÍCULO DE CARRIL SUPERIOR

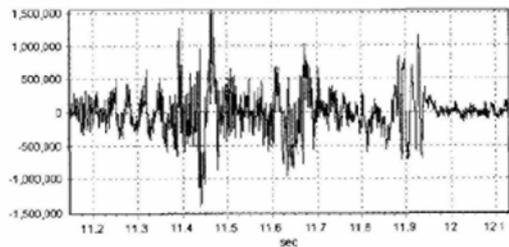


FIGURA 6G

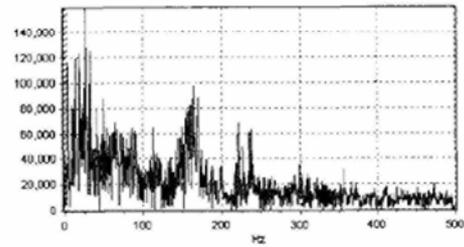


FIGURA 6H

RECUELTOS
BINARIOS

SUCESO DE GENERADOR

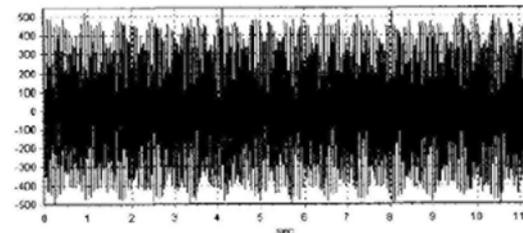


FIGURA 6I

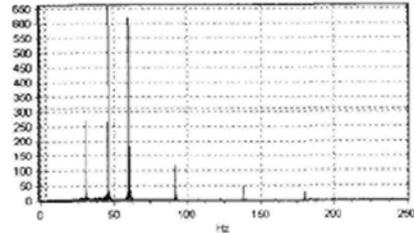


FIGURA 6J

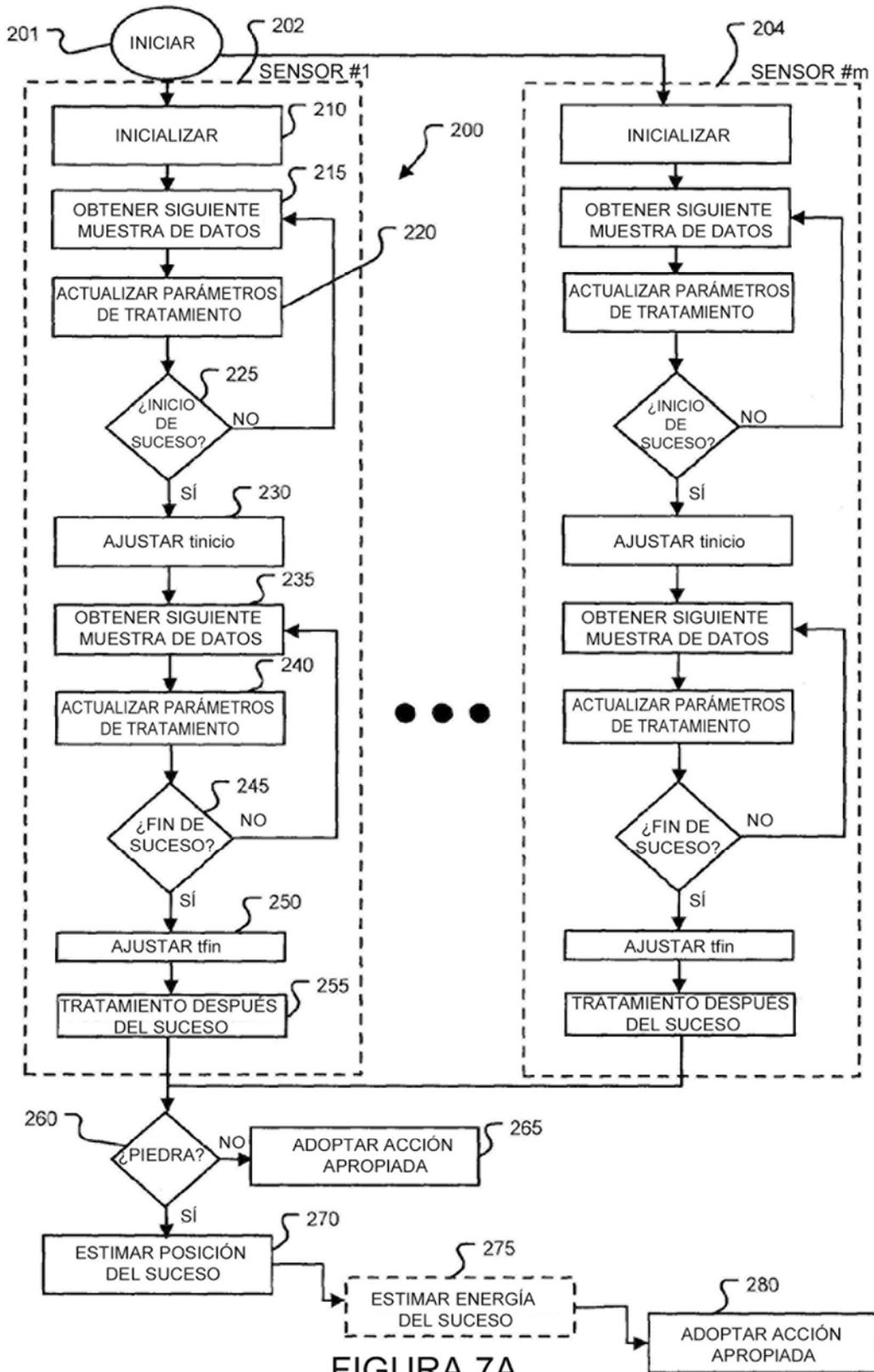
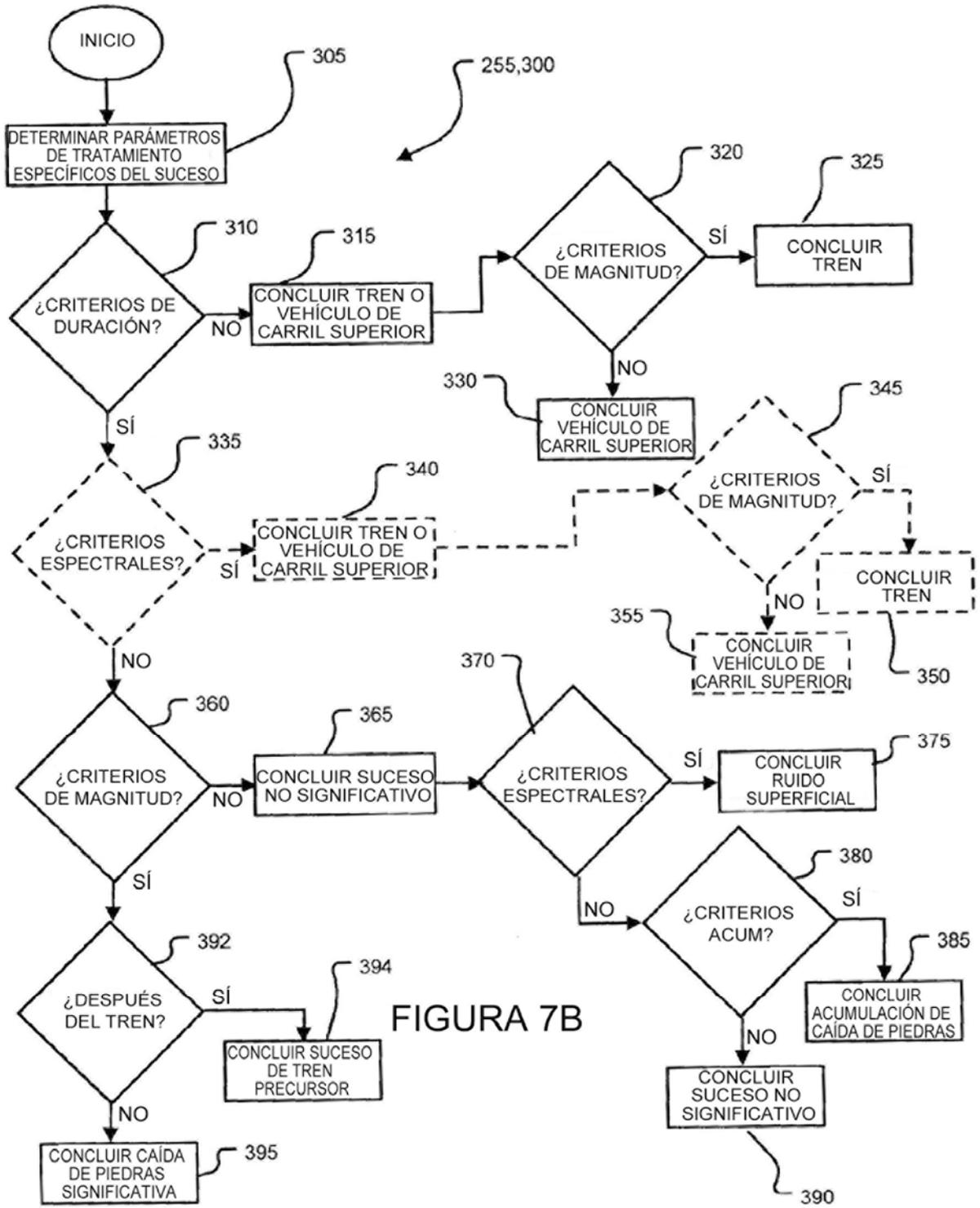


FIGURA 7A



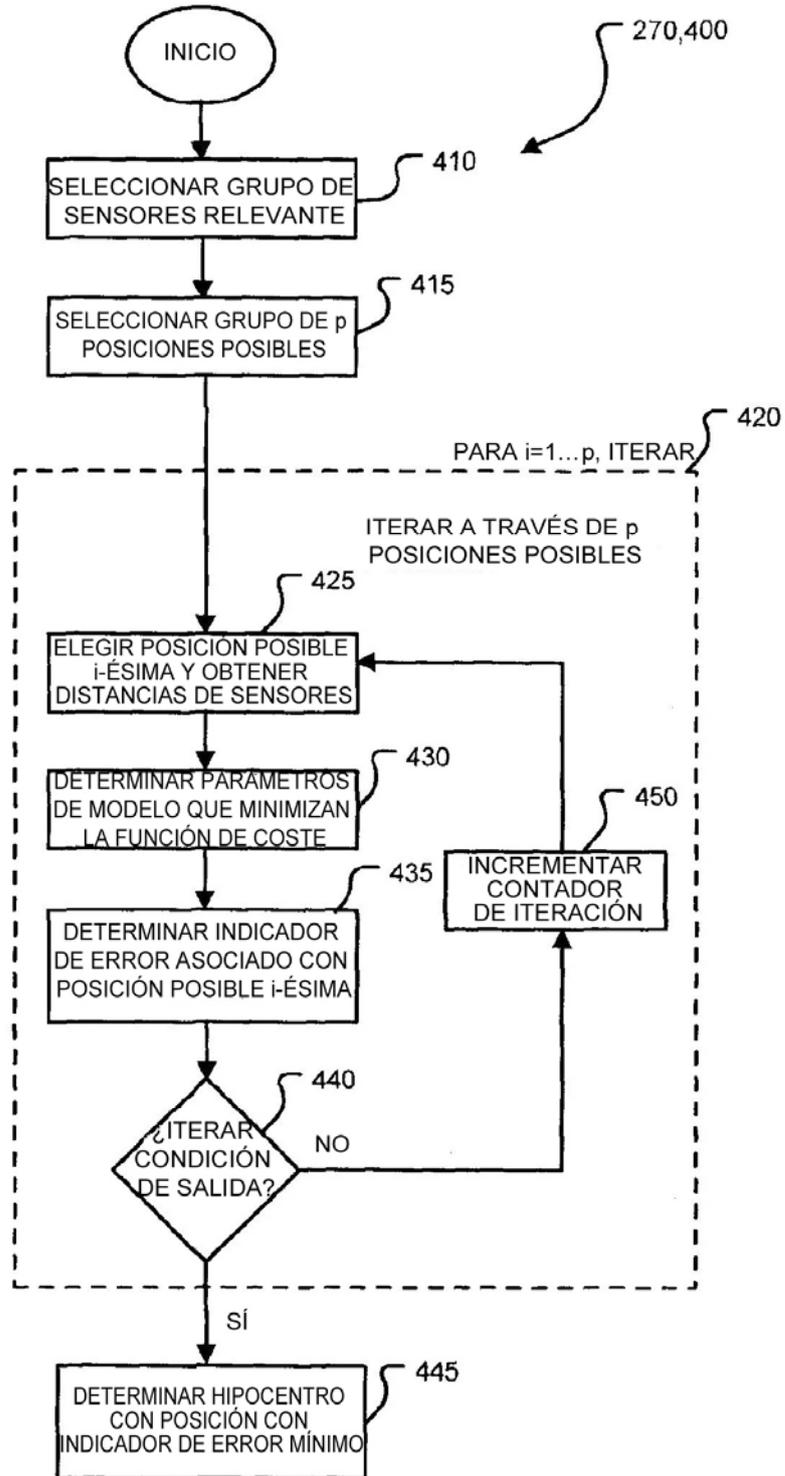


FIGURA 7C

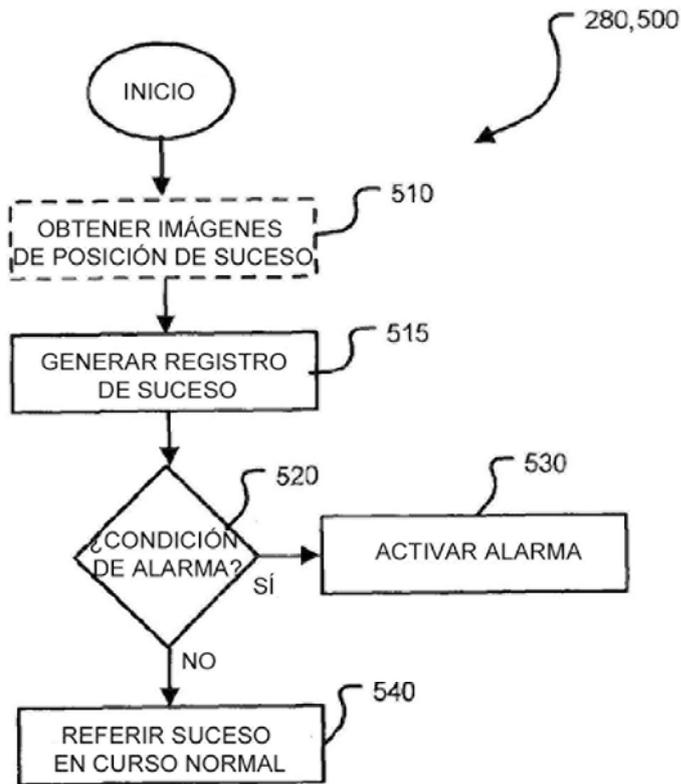


FIGURA 7D

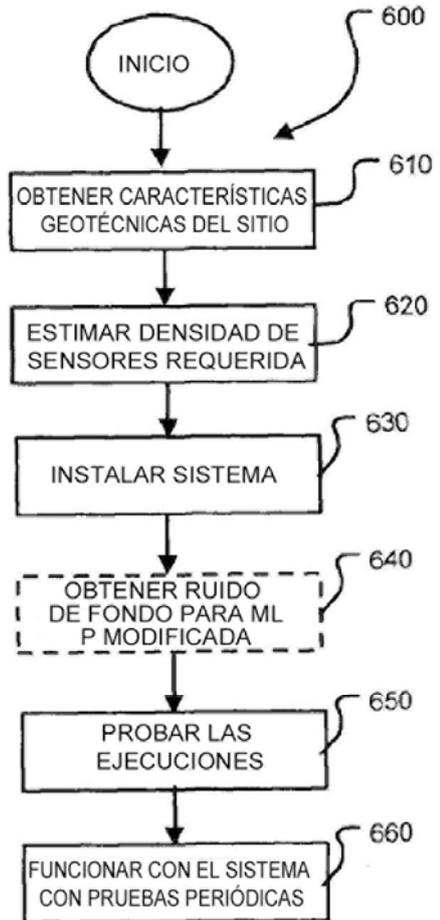


FIGURA 10

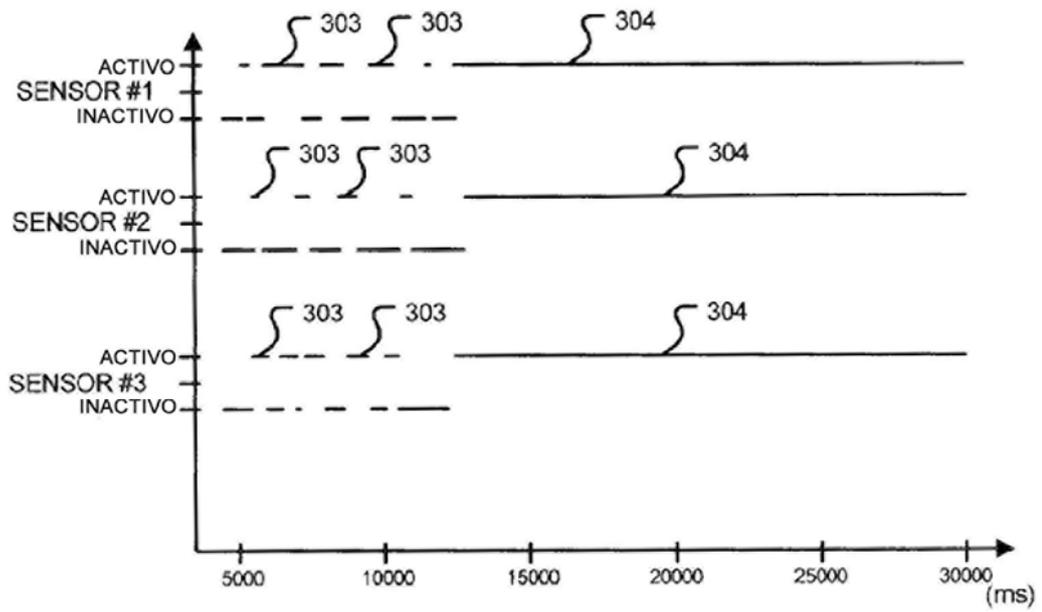


FIGURA 8

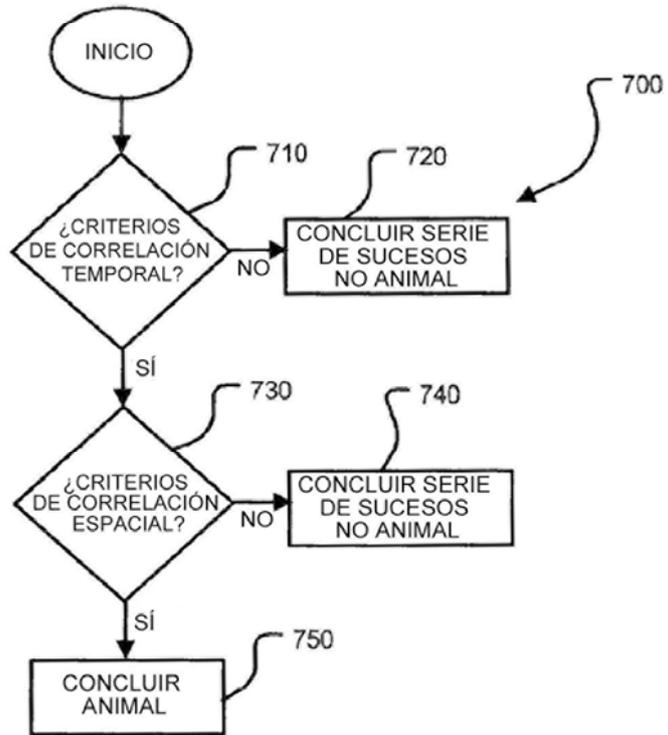


FIGURA 11

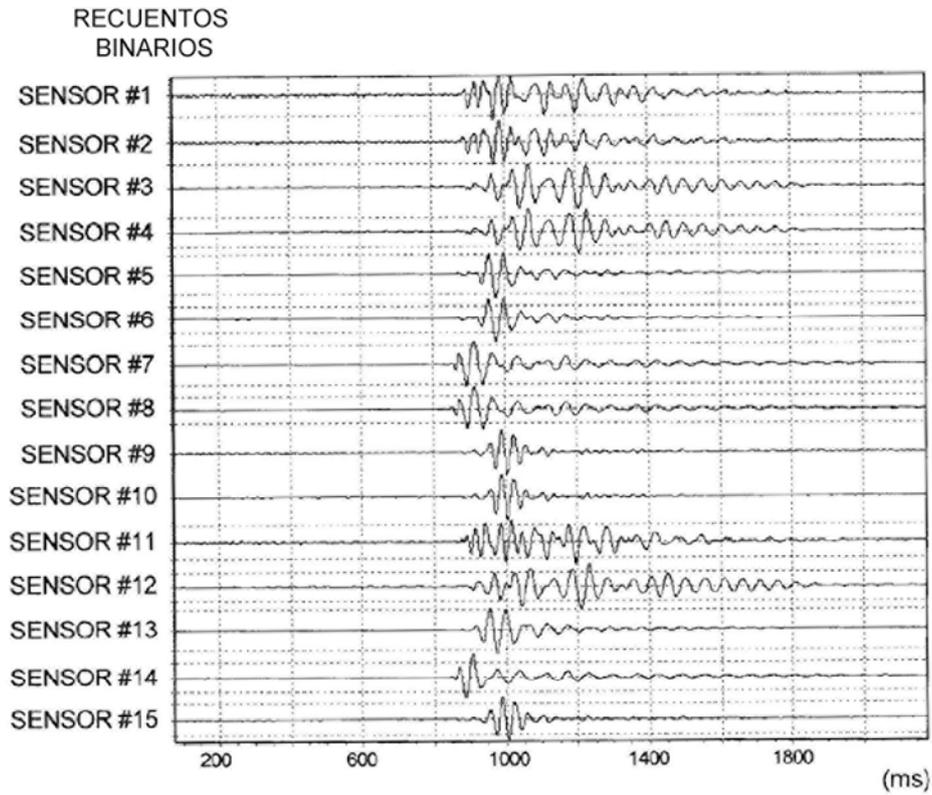


FIGURA 9A

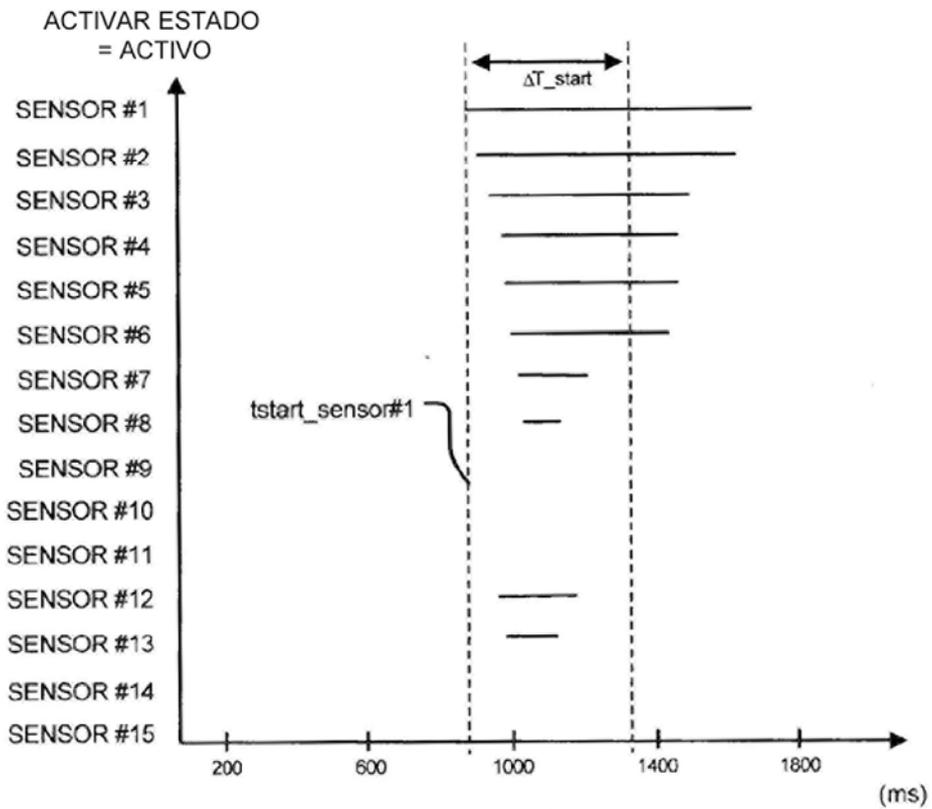


FIGURA 9B