

(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS  
ESPAÑA



(11) Número de publicación: **2 913 159**

(51) Int. Cl.:

**G01C 7/04** (2006.01)  
**E01C 23/01** (2006.01)  
**G01B 21/30** (2006.01)  
**B60W 40/06** (2012.01)  
**B60W 50/00** (2006.01)

(12)

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- (86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.02.2017 PCT/IB2017/051008**  
(87) Fecha y número de publicación internacional: **31.08.2017 WO17145069**  
(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.02.2017 E 17710798 (4)**  
(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.02.2022 EP 3420308**

---

(54) Título: **Método y sistema de monitorización de carreteras**

(30) Prioridad:

**22.02.2016 ZA 201601207**

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**31.05.2022**

(73) Titular/es:

**TRACKER CONNECT (PTY) LIMITED (100.0%)  
Stonemill Office Park 340 Republic Road  
Darrenwood  
2194 Johannesburg, ZA**

(72) Inventor/es:

**WESSELS, ILLEZÉ;  
WESSELS, CAREL LOURENS y  
STEYN, WYNAND JACOBUS VAN DER MERWE**

(74) Agente/Representante:

**BALLESTER INTELLECTUAL PROPERTY S.L.P.U**

**ES 2 913 159 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

Método y sistema de monitorización de carreteras

### INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

Esta invención se refiere a un método y un sistema para controlar el estado de la carretera, incluida la aspereza de la carretera.

- 5 La necesidad de medir la rugosidad de la carretera ha llevado a la aparición de varios dispositivos de medición que van desde los sistemas de medición de rugosidad de la carretera de tipo respuesta (RTRRMS) hasta perfilómetros más sofisticados y dedicados.
- 10 La rugosidad de la carretera se caracteriza por ondulaciones a lo largo del eje longitudinal de la carretera. La rugosidad de la carretera se puede expresar en diferentes estándares de medición o índices de rugosidad, de los cuales el Índice Internacional de Rugosidad (IRI) es el estándar internacional. El IRI es una representación matemática de la carrera de suspensión acumulada de un vehículo dividida por la distancia recorrida. En consecuencia, el IRI tiene una unidad de pendiente. Al calcular el IRI, se mide el perfil longitudinal de la carretera, utilizando una simulación de un cuarto de automóvil. El IRI es un índice de rugosidad reproducible, portátil y constante en el tiempo. Otro índice de rugosidad que se utiliza con frecuencia es el índice de rugosidad de medio automóvil (HRI), que implica promediar los perfiles izquierdo y derecho del vehículo antes de procesar los datos.

Actualmente, las mediciones de rugosidad de carreteras se dividen en cuatro amplias clases genéricas basadas en dispositivos y métodos de operación, la reproducibilidad de las mediciones y el grado de exactitud y precisión de las mediciones. Las principales clases de mediciones de rugosidad son:

- 20 Clase 1, que se mide mediante perfilómetros configurados para medir el perfil de una carretera con el mayor grado de exactitud y precisión. Intervalo máximo de muestreo longitudinal  $\leq 25$  mm. Precisión de las medidas de elevación vertical  $\leq 0,1$  mm;
- 25 Clase 2, que se mide mediante perfilómetros que pueden medir el perfil de una carretera con precisión. Intervalo máximo de muestreo longitudinal  $> 25$  mm y  $\leq 150$  mm. Precisión de las medidas de elevación vertical  $> 0,1$  mm y  $\leq 0,2$  mm.
- 30 Clase 3, que se mide mediante dispositivos de tipo respuesta que se calibran relacionando las mediciones obtenidas con cifras IRI conocidas en secciones de carretera particulares. Intervalo máximo de muestreo longitudinal  $> 150$  mm y  $\leq 300$  mm. Precisión de las medidas de elevación vertical  $> 0,2$  mm y  $\leq 0,5$  mm.

- 35 Clase 4, que se mide con dispositivos que no están calibrados e incluyen calificaciones subjetivas de rugosidad de la carretera. Las medidas no son adecuadas para la vigilancia a nivel de red. Intervalo máximo de muestreo longitudinal  $> 300$  mm. Precisión de las medidas de elevación vertical  $> 0,5$  mm.

Las mediciones de rugosidad de Clase 1 y Clase 2 se obtienen de perfilómetros muy caros que proporcionan una indicación detallada del estado de la carretera. En la práctica, no es posible ni práctico utilizar estos perfilómetros en toda la red de carreteras extendida de forma regular para proporcionar mediciones precisas del estado de todas las carreteras de la red.

- 40 Como alternativa al uso de perfilómetros para medir la rugosidad de todas las carreteras dentro de una red vial extendida, se ha propuesto el uso de dispositivos de tipo Clase 3 para monitorizar carreteras, incluidas las carreteras sin pavimentar, de manera continua y en tiempo real, por medio de dispositivos instalados permanentemente en los vehículos que utilizan la red de carreteras ampliada (en forma de RTRRMS).

- 45 La calibración de estos dispositivos y la correlación de los datos recibidos mediante el uso de estos a una escala común de interés siguen siendo dos de los desafíos más apremiantes al usar los dispositivos RTRRMS. Más específicamente, los factores que afectan los resultados obtenidos por estos sistemas y que continúan presentando desafíos al calibrar estos dispositivos incluyen el sistema de suspensión del vehículo anfitrión, las dimensiones del vehículo, la carga del vehículo, el tipo, el tamaño y la presión de inflado de los neumáticos utilizados en el vehículo, y la velocidad a la que viaja el vehículo durante el tiempo de medición.

- 50 El documento CN104 792 937A (Univ Tongji), divulga un método de evaluación de detección de golpes en la cabeza de un puente basado en un sensor de aceleración gravitacional montado en un vehículo.

- 55 El documento US 6.484.089 B1 (Millington), divulga un sistema que identifica condiciones de carretera problemáticas, tales como baches, y almacena la ubicación de la condición.

Yuchuan Du et al.: "Measurement of International Roughness Index by using Z-axis accelerometers and GPS", Mathematical Problems in Engineering, 30 de junio de 2014 (30 de junio de 2014) divulga la medición de IRI utilizando acelerómetros de eje Z y GPS y un modelo para calcular el IRI a partir de valores de densidad espectral de potencia inducida por carretera y un coeficiente de corrección de velocidad para el efecto de la velocidad en el modelo.

**OBJETO DE LA INVENCIÓN**

Es un objeto de la presente invención proporcionar un método y un sistema para proporcionar una indicación de la irregularidad de una porción de una carretera con la cual el solicitante cree que las desventajas antes mencionadas pueden al menos aliviarse o que puede proporcionar una alternativa útil para los sistemas y métodos conocidos.

**5 SUMARIO DE LA INVENCIÓN**

De acuerdo con un primer aspecto de la invención, se proporciona un método para proporcionar, para una porción de una carretera, una aproximación de una cifra de rugosidad de acuerdo con un índice de rugosidad como se especifica en las reivindicaciones.

10 De acuerdo con un segundo aspecto de la invención, se proporciona un sistema que puede usarse para proporcionar, para una porción de una carretera, una aproximación de una cifra de rugosidad de acuerdo con un índice de rugosidad como se especifica en las reivindicaciones.

15 De acuerdo con un tercer aspecto de la invención, se proporciona un medio legible por ordenador con un programa de ordenador que tiene un código de programa para realizar el método de la reivindicación 1 cuando el programa se ejecuta en un procesador.

**15 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIAGRAMAS ADJUNTOS**

La invención se describirá ahora con más detalle, solo a modo de ejemplo, con referencia a los diagramas adjuntos, en los que:

- 20 La figura 1 es una representación esquemática de un sistema para monitorizar el estado de las carreteras;  
 La figura 2(a) es un diagrama de bloques que ilustra un método para proporcionar, para una porción de una carretera, una aproximación de una cifra de rugosidad de acuerdo con un índice de rugosidad tal como HRI o IRI;
- 25 La figura 2(b) es un diagrama de bloques que ilustra un método para derivar una serie de conjuntos de ecuaciones de conversión basadas en la velocidad;
- 30 La figura 3 es una representación esquemática de una sección de la carretera de referencia que comprende una pluralidad de porciones de referencia, utilizadas en la derivación según el método ilustrado en la figura 2(b);  
 La figura 4 es un perfil de rugosidad real de la sección de la carretera de referencia de la figura 3, obtenido por un perfilómetro de Clase 1;
- 35 La figura 5 muestra los valores de CoV obtenidos por un vehículo de referencia que ha sido conducido sobre la sección de carretera de referencia de la figura 3 a tres velocidades predeterminadas diferentes; y  
 La figura 6 es un primer conjunto de ecuaciones de conversión, derivadas de un análisis de regresión de los datos de las figuras 4 y 5.

**DESCRIPCIÓN DE UNA REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCIÓN**

35 Un ejemplo de realización de un sistema para monitorizar el estado de las carreteras se designa generalmente con el número de referencia 10 en la figura 1.

40 Una carretera 12 a controlar puede ser cualquier carretera dentro de una red de carreteras más grande y se divide en una pluralidad de porciones adyacentes (14.1 a 14.m), siendo cada porción de igual longitud, como 100 m o 10 m, por ejemplo. El sistema 10 se utiliza para proporcionar, para cada una de las porciones 14.1 a 14.m de la carretera 12, una aproximación de una cifra de rugosidad de acuerdo con un índice de rugosidad. Un primer vehículo 16, al que están asociados los ejes x, y y z, viaja a lo largo de la carretera 12. El eje z es perpendicular a la superficie de la carretera. Mientras el primer vehículo 16 se desplaza por la carretera 12, un primer dispositivo de medición 18, que lleva el primer vehículo 16, mide y registra datos en forma de aceleración del eje z del primer dispositivo 18. También se obtienen datos relativos a la velocidad a la que se desplaza el primer vehículo 16 por la carretera 12.

45 El sistema 10 se utiliza para realizar un método para proporcionar, para cada una de las porciones 14.1 a 14.m de la carretera 12, una aproximación de una cifra de rugosidad de acuerdo con un índice de rugosidad. El método se designa generalmente con el número de referencia 20 en la figura 2(a).

50 A medida que el vehículo 16 viaja a lo largo de la carretera 12 y sobre las porciones 14.1 a 14.m, el dispositivo de medición 18 mide los datos de aceleración del eje z del dispositivo 18. Como se indicó anteriormente, también se obtienen datos de velocidad del vehículo 16. La medición de la aceleración del eje z se muestrea a una frecuencia predeterminada, de manera que se realizan una pluralidad de mediciones en cada una de las porciones 14.1 a 14.m. Los datos de aceleración del eje z de cada porción se procesan para proporcionar un valor de parámetro relacionado con los datos de aceleración del eje z medidos por el primer dispositivo de medición 18 mientras el vehículo viajaba sobre cada una de las respectivas porciones 14.1 a 14.m de la carretera 12.

Al utilizar los datos de velocidad, se utiliza una primera ecuación de conversión basada en la velocidad para convertir

el valor del parámetro en una aproximación de una cifra de rugosidad de acuerdo con el índice de rugosidad.

En la realización de ejemplo, el primer dispositivo de medición 18 es un dispositivo telemático de vehículos de un tipo conocido que se utiliza para la recuperación de vehículos robados/secuestrados, con fines de seguros que incluyen la supervisión del comportamiento del conductor y la supervisión y gestión de la flota de vehículos. El dispositivo telemático 18 está montado firmemente en el primer vehículo 16 y está oculto por la carrocería del vehículo 16. El dispositivo telemático 18 se mueve así en simpatía con el vehículo, lo que le permite medir las vibraciones en el eje z y las aceleraciones experimentadas por el vehículo 16, provocadas por la irregularidad de la carretera. En otras realizaciones, el dispositivo puede ser extraíble pero rígidamente conectable al cuerpo o chasis en una cuna o similar. El dispositivo telemático del vehículo 18 comprende un acelerómetro de tres ejes 22, un giroscopio de tres ejes 24, un sistema de posicionamiento global (GPS) 26, un controlador local 28 que comprende un procesador y una disposición de memoria asociada 30, un transceptor de radiofrecuencia (RF) 32 que permite la comunicación inalámbrica de datos entre el dispositivo telemático 18 y un soporte central 34 y una fuente de alimentación local para el dispositivo que comprende una batería 36.

La ubicación de cada porción (14.1 a 14.m) de la carretera 12 se determina por medio del GPS que proporciona datos de longitud y latitud del vehículo con una precisión de aproximadamente 2,5 de probabilidad de error circular (CEP).

El transceptor 32 transmite periódicamente datos al soporte 34. La frecuencia a la que se miden los datos de aceleración del eje z (la tasa de muestreo) y la capacidad de la disposición de memoria 30 y el procesador 28 del dispositivo telemático 18 influyen en la tasa de transmisión de datos al soporte 34.

En el ejemplo de realización, el soporte 34 comprende un sistema informático 37 que comprende medios de procesamiento 38 y una disposición de memoria 39; y un receptor 40 que permite la comunicación inalámbrica entre el dispositivo telemático 18 y el soporte 34. La comunicación inalámbrica entre el dispositivo telemático 18 y el soporte 34 puede ser por medio de una red 42 de Sistema Global para Comunicación Móvil (GSM). El GPS 26 del dispositivo telemático se comunica extraterrestremente con un satélite 44 de manera conocida.

El índice de rugosidad según el cual se aproximan los datos de aceleración puede ser uno de los índices de rugosidad internacional (IRI) y el índice de rugosidad de medio coche (HRI).

En la realización de ejemplo, y con referencia también a la figura 2(a), el valor del parámetro es un valor de parámetro estadístico y puede obtenerse procesando estadísticamente los datos de aceleración de cada una de las porciones 14.1 a 14.m de la carretera 12, para obtener un coeficiente de variación (CoV) para la porción particular, en relación con la aceleración del eje z del dispositivo 18. Al determinar el CoV, la desviación estándar ( $\sigma$ ) (mostrado en 200 en la figura 2(a)) y la media ( $\mu$ ) (mostrado en 202 en la figura 2 (a)) de los datos de aceleración recibidos (mostrado en 204 en la figura 2 (a)) para la porción de la carretera 12 que se calcula. El CoV se obtiene entonces en 206 en la figura 2(a) de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$CoV = \frac{\sigma_z - Aceleración}{\mu_z - Aceleración} \times 100$$

El CoV es una cantidad adimensional de dispersión. A menudo se utiliza para medir la variabilidad o dispersión de datos en relación con la media de una distribución. Se define más simplemente como la relación entre la desviación estándar y la media de los datos. La propiedad adimensional del CoV permite comparar más fácilmente los datos de diferentes vehículos o vehículos que viajan a diferentes velocidades.

En los casos en que la disposición de memoria disponible 30 sea insuficiente, el valor de CoV puede aproximarse haciendo uso de un coeficiente de variación ingenuo (NCoV), que se define como:

$$NCoV = \frac{Desviación Estándar en Ejecución_{z-Aceleración} (o Desviación ingenua)}{Media_{z-aceleración}} \times 100$$

Cuando se usa el NCoV, la desviación estándar tal como se usa en el cálculo del CoV se reemplaza por una desviación estándar en ejecución (o desviación ingenua) de los datos de aceleración z.

A lo largo de esta especificación, la referencia al CoV debe interpretarse como que incluye como alternativa el uso del NCoV.

Como se explicará con más detalle a continuación, la correlación entre las tendencias de diferentes gráficos de datos de CoV y un perfil de HRI medido realmente se nota al comparar las figuras 4 y 5. Las áreas de valores altos de CoV se pueden asociar con áreas de alta rugosidad de la carretera.

A pesar de esto, el CoV en sí mismo no es adecuado para proporcionar una aproximación realista de una cifra de rugosidad y requiere un procesamiento adicional. Esto es evidente a partir de la dispersión vertical obtenida al trazar gráficos de CoV de diferentes vehículos que circulan por una carretera a diferentes velocidades. La salida de datos que se muestra en la figura 5 se puede ver como un conjunto de datos estándar de primer orden que se puede obtener de una nube de datos recopilados de todos los vehículos en una población de vehículos equipados con dispositivos

telemáticos 18.

Es importante tener en cuenta que, al calcular los valores de CoV, la desviación estándar y la media de la aceleración del eje z siempre deben ser positivas y no deben fluctuar alrededor del eje cero. Por esta razón, el componente de gravedad de la aceleración del eje z se retiene durante los cálculos.

- 5 Preferentemente, la frecuencia de muestreo de los datos es de 100 Hz mientras que la longitud de cada una de las porciones de 14.1 a 14.m de la carretera 12 es de 100 m. A esta frecuencia, y a una velocidad de ejemplo de 100 km/h, los datos de aceleración del eje z se muestrean cada 278 mm a lo largo de cada una de las porciones de 14.1 a 14.m de la carretera 12, lo que corresponde bien a las mediciones de rugosidad de Clase 3. A medida que se mejoran las capacidades de almacenamiento, procesamiento y transmisión de datos del sistema 10, la longitud de la porción  
10 se puede reducir a 10 m, para mejorar la precisión de los resultados obtenidos de ese modo. Son factibles otras frecuencias de muestreo, como 80 Hz. Sin embargo, cuanto mayor sea la tasa de muestreo, más precisa será la aproximación. Los dispositivos telemáticos de nueva generación son capaces de frecuencias de muestreo de hasta 400 Hz.

- 15 Por lo tanto, se determina un único valor de CoV, basado en todos los puntos de datos de aceleración muestreados para cada una de las porciones 14.1 a 14.m de la carretera 12.

En lugar de determinar el valor de CoV como se mencionó anteriormente, se puede determinar alternativamente un valor de raíz cuadrática media (RMS) para cada porción de 14.1 a 14.m. Sin embargo, se ha encontrado que, particularmente a frecuencias de muestreo de alrededor de 100 Hz, utilizar CoV en lugar de RMS da como resultado una correlación más fuerte con la rugosidad realmente medida según el índice de rugosidad (IRI o HRI).

- 20 Una ventaja del sistema actual se relaciona con el uso de datos de aceleración del eje z fácilmente obtenibles, en lugar de datos de desplazamiento realmente medidos (como los utilizan los perfilómetros conocidos), sin la necesidad de transformar los datos de aceleración en datos de desplazamiento. Sin embargo, si surgiera la necesidad, los datos de aceleración podrían transformarse en datos de desplazamiento por medio de una integral doble. Por lo tanto, el procesamiento matemático, donde los datos de aceleración se convierten en datos de desplazamiento, puede  
25 utilizarse en lugar del procesamiento estadístico como se mencionó anteriormente. Esto inevitablemente tiene un impacto negativo en los requisitos de procesamiento.

- 30 La tasa de cambio relativamente baja de la velocidad de desplazamiento del vehículo 16, en comparación con la tasa de cambio de la aceleración del eje z, significa que la tasa de muestreo de datos de la velocidad del vehículo 16 puede diferir de la tasa de muestreo de aceleración del eje z. Típicamente, los datos de velocidad (como se muestra en 208 en la figura 2(a)) se miden a una frecuencia de 1 Hz, mientras se usa interpolación lineal para atribuir valores de datos de velocidad para cada valor de aceleración del eje z. Los datos de velocidad se procesan de manera que se asigna un solo valor de datos de velocidad a cada una de las porciones 14.1 a 14.m respectivamente y, por lo tanto, a cada valor de CoV.

- 35 Los datos de velocidad 208 se usan para convertir el valor CoV 206 en una aproximación de la cifra de rugosidad de acuerdo con el índice de rugosidad (IRI o HRI) para cada una de las porciones 14.1 a 14.m. La conversión del valor CoV 206 en la aproximación de la cifra de rugosidad se muestra en 210 en la figura 2(a). Esto se hace utilizando una ecuación de conversión basada en la velocidad, según la velocidad medida del vehículo. Se selecciona una ecuación de conversión adecuada basada en la velocidad (como se muestra en 212 en la figura 2 (a)) de un primer conjunto de ecuaciones de conversión 80.1 basadas en la velocidad derivadas previamente (como se muestra en la figura 6). Cada ecuación de conversión del primer conjunto 80.1 se refiere a una de una pluralidad de velocidades predeterminadas diferentes. En la realización de ejemplo, el primer conjunto de ecuaciones de conversión 46.1 se almacena en la disposición de memoria 39 en el soporte 34.

- 45 El método para derivar las ecuaciones de conversión basadas en la velocidad generalmente se indica mediante el número de referencia 250 en la figura 2(b). Para derivar las ecuaciones de conversión, se selecciona una sección de carretera de referencia 60 que se muestra en la figura 3 (que se muestra en 252 en la figura 2(b)) y se divide en una pluralidad de porciones de referencia 62. La sección de la carretera de referencia 60 tiene una longitud conocida  $l$  y rugosidad variable a lo largo de su longitud  $l$ . La longitud  $l$  de la sección de carretera de referencia 60 debe ser adecuada para proporcionar una amplia gama de rugosidades superficiales diferentes. Se utiliza un perfilómetro conocido para medir el perfil de rugosidad real (preferiblemente de acuerdo con la Clase 1) de la sección de carretera de referencia 60 en términos del índice de rugosidad conocido (IRI o HRI) (mostrado en 254 en la figura 2(b)). La figura 4 muestra un ejemplo de un perfil de rugosidad real 64 en términos del índice de rugosidad HRI que fue determinado por el perfilómetro para la sección de carretera de referencia 60. A partir de la figura 4, la cifra de rugosidad real, en términos de HRI, para cada porción 62 de la carretera de referencia 60 es así determinable (mostrada en 256 en la figura 2(b)).

- 55 Un primer vehículo de referencia (no mostrado), que está equipado con un primer dispositivo de medición de referencia que comprende al menos un acelerómetro, se conduce sobre la sección de carretera de referencia 60. Para derivar las ecuaciones de conversión basadas en la velocidad para cada una de las velocidades predeterminadas, el primer vehículo de referencia se conduce sobre la sección de carretera de referencia 60 a cada una de las velocidades.

Los datos de aceleración del eje z obtenidos del dispositivo de medición de referencia se procesan para obtener el valor de CoV para cada porción 62 de la sección de carretera de referencia 60 (el cálculo del CoV para cada porción 62 se realiza como se describe anteriormente y se muestra en 258 en figura 2(b)).

5 La figura 5 muestra tres perfiles diferentes en cuanto al parámetro estadístico de referencia (en este caso CoV) obtenido del dispositivo de medición de referencia. A modo de ejemplo, los perfiles 52, 54 y 56 se refieren a casos en los que el primer vehículo de referencia circulaba por la sección de la carretera de referencia 60 a velocidades de 40 km/h, 50 km/h y 60 km/h respectivamente. Se comprenderá que, en la práctica, se utilizarán muchas velocidades predeterminadas diferentes para derivar las ecuaciones de conversión.

10 A partir de una comparación del perfil real 64 de la figura 4 y los perfiles (52, 54 y 56) de la figura 5, está claro que todos los perfiles tienen formas correspondientes. Esto indica la fuerte correlación entre los valores de CoV de referencia y la rugosidad real de acuerdo con el índice de rugosidad. Sin embargo, las diferencias en los valores de los perfiles (52, 54 y 56) de la figura 5 muestran claramente la necesidad de correlacionar los datos a una escala de interés común.

15 Para cada velocidad, se deriva una relación comparando los valores de CoV de referencia y las cifras de rugosidad reales para cada una de las porciones de referencia 62 de la carretera de referencia 60 (mostrada en 260 en la figura 2(b)). La derivación de la relación antes mencionada se muestra en 262 en la figura 2(b) y las ecuaciones de conversión resultantes se ilustran en la figura 6. Las ecuaciones de conversión 82, 84 y 86, como se muestra en la figura 6, comprenden un análisis de regresión de los valores de los parámetros estadísticos de referencia y las cifras reales de rugosidad para cada una de las porciones de referencia 62 de la carretera de referencia 60. Las ecuaciones de conversión 82, 84 y 86 corresponden a los perfiles CoV 52, 54 y 56 respectivamente. Así, cada una de las ecuaciones de conversión (82, 84 y 86) corresponde a una velocidad específica.

20 La figura 6 representa, por tanto, un ejemplo de realización de un primer conjunto de ecuaciones de conversión 46.1. Basándose en la velocidad del vehículo y como se muestra en 212 en la figura 2(a), se selecciona una ecuación adecuada del primer conjunto de ecuaciones 80.1 y se utiliza para convertir el parámetro relacionado con los datos de aceleración obtenidos por cualquier vehículo para cualquier sección de la carretera 14.1 a 14 .m de una carretera 12 en una red de carreteras a una aproximación de una cifra de rugosidad en relación con el HRI, como se muestra en 210 en la figura 2(a).

25 Únicamente a modo de ejemplo, y con referencia de nuevo a la figura 1, un vehículo 16 que circula por una carretera 12 (que no tiene por qué ser la carretera de referencia 60) a una velocidad de 50 km/h registra datos de aceleración y datos de velocidad sobre una porción específica 14.2 de la vía 12. El procesamiento de los datos de aceleración estadísticamente para la porción 14.2 da como resultado un valor de CoV igual a  $x_1$ . Al combinar este valor con la ecuación de conversión 84 (que se selecciona en función de la velocidad de 50 km/h) se obtiene una cifra aproximada de HRI  $y_1$ . Este procedimiento se repite para los datos de aceleración y velocidad de cada porción de 14.1 a 14.m de la carretera 12, de modo que se pueda obtener un perfil de rugosidad (típicamente Clase 3), que se aproxime a un perfil medido por un perfilómetro en términos de HRI, para la sección de carretera 12.

30 No se requiere más calibración o normalización de los datos aproximados ya que es una representación estadística del perfil de la carretera. Por lo tanto, el CoV convertido de los datos de aceleración (dirección z) puede compararse directamente con el HRI para las porciones de las secciones de carretera.

35 Para tener en cuenta las variaciones provocadas por el tipo de suspensión, el tamaño, la carga útil, etc. de diferentes clases de vehículos, se utilizan una pluralidad de vehículos de referencia para derivar una pluralidad de conjuntos de ecuaciones de conversión basadas en la velocidad. Los vehículos de referencia se clasifican en un número (k) de clases. Se utiliza al menos un vehículo de referencia por clase para derivar un conjunto de ecuaciones basadas en la velocidad relacionadas con esa clase. Se deriva un conjunto de ecuaciones de conversión para cada una de las k clases de vehículos, de modo que habrá k conjuntos de ecuaciones de conversión, de los cuales el conjunto 46.1 es un ejemplo.

40 Las clases incluyen, pero no se limitan a, coches con puerta trasera pequeños, coches con puerta trasera medianos, sedanes pequeños, sedanes medianos, vehículos utilitarios deportivos (SUV) pequeños, SUV grandes, camionetas pequeñas, camionetas grandes, etc. Las clases también pueden definirse para vehículos comerciales y pueden basarse específicamente en la carga útil de un vehículo. La clasificación de los vehículos da como resultado 45 aproximaciones más precisas de las cifras de rugosidad. Por lo tanto, las clases pueden prever diferentes marcas y modelos de vehículos.

50 Por lo tanto, cuando se reciben los datos del vehículo 16 que viaja por la carretera 12, la clase del vehículo (que se muestra en 214 en la figura 2(a)) determinará qué conjunto de ecuaciones de conversión se utiliza, mientras que la velocidad del vehículo determinará determinar qué ecuación de conversión específica dentro de ese conjunto se utiliza. 55 La ecuación seleccionada se usa luego para convertir el valor de CoV en una cifra de índice de rugosidad (como se muestra en 210 en la figura 2(a)) como se explicó anteriormente.

Si la velocidad no corresponde directamente a una de las ecuaciones del conjunto, se puede adoptar o utilizar una técnica de interpolación o extrapolación para aproximar la cifra en función de la velocidad real.

- Al utilizar el método anterior, se obtiene una cifra de rugosidad aproximada para cada una de las porciones 14.1 a 14.m de la carretera 12. Combinando las cifras aproximadas de rugosidad de todas las porciones adyacentes 14.1 a 14.m, se genera un perfil de rugosidad aproximada de la carretera 12 (mostrado en 216 en la figura 2(a)). Cuando más 5 vehículos de diferentes clases viajan a lo largo de una carretera específica 12, las cifras aproximadas de rugosidad de las secciones pueden promediarse para obtener un perfil de rugosidad más preciso para la sección de carretera 12. Además, al utilizar dispositivos telemáticos para vehículos que ya están instalados en una gran flota de vehículos, se puede medir una gran porción de las carreteras dentro de una red de carreteras de manera rentable.
- El perfil de rugosidad se puede utilizar para informar a los proveedores de servicios de mantenimiento de carreteras sobre las áreas que necesitan mantenimiento. Los perfiles de rugosidad también se pueden utilizar para analizar el deterioro de la superficie de las carreteras de la red vial para que se pueda implementar un esquema de mantenimiento preventivo. Los perfiles pueden además presentarse visualmente (mostrado en 218 en la figura 2(a)) y distribuirse a los usuarios. Esto puede ser particularmente útil para las personas que viajan por carreteras que no conocen, o de noche. Los proveedores de servicios de transporte por carretera pueden utilizar los perfiles de rugosidad para seleccionar una ruta que minimice los daños a sus vehículos, especialmente a sus neumáticos, y que minimice los 10 requisitos de mantenimiento. La información se puede mostrar en dispositivos de navegación portátiles (PND), así como en teléfonos inteligentes en términos de una aplicación única.
- La representación visual de los perfiles de rugosidad puede tener la forma de un mapa que muestra la extensión de la rugosidad de la carretera según una clave, normalmente una clave basada en colores. Alternativamente, los perfiles de rugosidad pueden comunicarse a un cliente en forma de informe de rugosidad.
- 20 Se entenderá que la etapa de procesar los datos del acelerómetro del eje z en un valor de parámetro estadístico o matemático puede ser realizada por el controlador 28 del dispositivo telemático 18, en cuyo caso CoV, RMS o datos de desplazamiento junto con datos de velocidad se transmitirán periódica o intermitentemente al soporte 34, o se puede llevar a cabo en el propio soporte 34, en cuyo caso los datos brutos de aceleración del eje z y los datos de velocidad se transmitirán periódica o intermitentemente desde el dispositivo telemático 18 al soporte 34 como se especifica anteriormente. También puede ser posible cargar en la disposición de memoria 30 del dispositivo telemático 18, el conjunto relevante de ecuaciones de conversión, de modo que los pasos de procesar en 206 los datos en un valor de CoV, seleccionar en 212 una ecuación de conversión apropiada y convertir en 210, los valores de CoV en una cifra de rugosidad aproximada de acuerdo con el índice de rugosidad pueden tomarse en el dispositivo telemático 18. En este caso, solo las cifras aproximadas de rugosidad para cada una de las porciones 14.1 a 14.m se transmitirán 25 periódica o intermitentemente al soporte 34.
- 30 Por tanto, el sistema 10 proporciona un medio rentable para controlar el estado de una vasta red de carreteras. Aunque los datos obtenidos del sistema 10 pueden clasificarse como mediciones de rugosidad de Clase 3, el solicitante ha encontrado que la correlación entre los perfiles de rugosidad aproximados producidos por el sistema y un perfil de rugosidad realmente medido de acuerdo con los índices IRI o HRI es lo suficientemente fuerte como para sacar 35 inferencias. El sistema 10 puede usarse para proporcionar un análisis de primer nivel para priorizar el uso de perfilómetros reales. Esto puede ayudar a garantizar que las agencias que no tienen acceso directo a la financiación de los datos del estado de las carreteras de Clase 1 puedan obtener una indicación de las condiciones de su red de carreteras. El sistema 10 y el método 20 aquí descritos y/o definidos también pueden contribuir a la seguridad y 40 comodidad de los usuarios de la carretera porque los datos de rugosidad de la carretera estimados determinados pueden trazarse en una aplicación cartográfica que puede distribuirse a los usuarios de la carretera. Al utilizar los valores de CoV de los datos de aceleración del eje z y convertir el valor de CoV en función de la velocidad y la clase de vehículo para obtener una aproximación de la aspereza de la carretera, las desventajas anteriores del RTRRMS actual pueden superarse o al menos mitigarse.
- 45 Para fines de calibración, la sección de carretera de referencia 60 debe incluir una rugosidad variable y debe ser lo suficientemente larga para producir correlaciones precisas. Además, la variedad de clases de vehículos utilizados para derivar los diferentes conjuntos de ecuaciones de conversión debe ser representativa de una gran flota de vehículos que generalmente utilizan la red de carreteras. Para mejorar aún más la precisión de las ecuaciones de conversión, se puede usar más de una carretera de referencia (por ejemplo, se pueden usar diferentes carreteras de referencia al convertir datos relacionados con carreteras pavimentadas y sin pavimentar).
- 50 La figura 1 muestra una representación esquemática de máquinas en la forma ejemplar de un sistema informático 37 y un dispositivo telemático de vehículos 18 dentro del cual se puede ejecutar un código de programa o un conjunto de instrucciones, para hacer que la máquina realice una o más de las metodologías discutidas en este documento. Las máquinas operan y son capaces de ejecutar el conjunto de instrucciones (secuenciales o de otro tipo) que especifican las acciones que debe realizar esa máquina. Además, si bien se ilustra una sola máquina en cada caso, el término "máquina" también se considerará para incluir cualquier conjunto de máquinas que individual o conjuntamente ejecutan 55 un conjunto (o múltiples conjuntos) de instrucciones para realizar una o más de las metodologías discutidas aquí.
- 60 Las máquinas ejemplares 37 y 18 comprenden un procesador respectivo (por ejemplo, una unidad central de procesamiento (CPU) y un ordenador asociado o un medio legible por máquina en forma de una disposición de memoria respectiva 39 y 30 en la que se almacena el software en forma de una o más conjuntos de instrucciones 41 y estructuras de datos, ecuaciones o algoritmos 46.1 a 46.k que incorporan o son utilizados por cualquiera o más de

las metodologías o funciones descritas en este documento. El software también puede residir, completamente o al menos parcialmente, dentro de la memoria y/o dentro del procesador durante la ejecución de este, de modo que la memoria y el procesador también constituyen medios legibles por máquina.

- 5 Si bien los medios legibles por máquina 39 y 30 se muestran en una realización ejemplar como un solo medio, el término "medio legible por máquina" debe tomarse para incluir un solo medio o múltiples medios (por ejemplo, una base de datos centralizada o distribuida, y/o cachés y servidores asociados) que almacenan uno o más conjuntos de instrucciones. El término "medio legible por máquina" también se entenderá que incluye cualquier medio que sea capaz de almacenar, codificar o transportar un conjunto de instrucciones para que la máquina las ejecute y que haga que la máquina realice una o más de las metodologías de la presente invención, o que sea capaz de almacenar, codificar o transportar estructuras de datos, ecuaciones o algoritmos utilizados o asociados con dicho conjunto de instrucciones. En consecuencia, se considerará que el término "medio legible por máquina" incluye, entre otros, memorias de estado sólido, medios ópticos y magnéticos y señales de onda portadora.
- 10

- 15 Se entenderá que son posibles muchas variaciones de las descripciones proporcionadas en este documento con el fin de ilustrar o exemplificar la invención. Por ejemplo, las tasas de muestreo, las frecuencias de notificación, las velocidades a las que se derivan las ecuaciones de conversión, las clases de vehículos, las longitudes de cualquier sección o porción, etc., no se limitan a los ejemplos proporcionados en este documento. Las longitudes de las porciones se pueden cambiar aún más según los requisitos del cliente, mientras que las tasas de muestreo pueden aumentar a medida que mejora la tecnología telemática.

## REIVINDICACIONES

1. Un método para proporcionar, para una porción de una carretera (12), una aproximación de una cifra de rugosidad de acuerdo con un índice de rugosidad, comprendiendo el método:

- recibir datos de velocidad (208) de un primer vehículo que viaja a lo largo de la porción de la carretera y recibir (204), desde un dispositivo de medición (18) llevado en el primer vehículo, datos de aceleración medidos del dispositivo perpendicular a la superficie de la carretera, perteneciendo el primer vehículo a una primera clase de una pluralidad de clases de vehículos, derivándose previamente un conjunto respectivo de ecuaciones de conversión basadas en la velocidad para cada una de la pluralidad de clases de vehículos, un primer conjunto de los respectivos conjuntos de ecuaciones de conversión basadas en la velocidad (46.1) relacionadas con la primera clase de vehículos, comprendiendo el primer conjunto de ecuaciones de conversión basadas en la velocidad una pluralidad de ecuaciones de conversión, en el que cada una de las ecuaciones de conversión del primer conjunto se relaciona con una velocidad predeterminada diferente;
- procesar (200, 202) los datos de aceleración, para proporcionar (206) un valor de parámetro ( $x_1$ ) relativo a los datos de aceleración para la porción de la carretera;
- **caracterizado por que** basándose en los datos de velocidad, se selecciona una primera ecuación de conversión basada en la velocidad del primer conjunto de ecuaciones de conversión basadas en la velocidad, **por que** la primera ecuación de conversión basada en la velocidad se usa para convertir (210) dicho valor de parámetro ( $x_1$ ) en una aproximación ( $y_1$ ) de una cifra de rugosidad para la porción de la carretera de acuerdo con el índice de rugosidad y **por que** el valor del parámetro es un coeficiente de variación (CoV) para la porción en forma de una relación de una desviación estándar,  $\sigma$ , y una media,  $\mu$ , de los datos de aceleración, es decir

$$CoV = \frac{\sigma_{z\text{-Aceleración}}}{\mu_{z\text{-Aceleración}}} \times 100, \text{ lo que permite comparar los datos de aceleración de vehículos de diferentes clases y que viajan a diferentes velocidades.}$$

2. Un método según la reivindicación 1, en el que cada ecuación de conversión basada en la velocidad del primer conjunto se obtiene previamente del siguiente modo:

- utilizando un perfil de rugosidad medido de acuerdo con el índice de rugosidad de una sección de carretera de referencia (60) que tiene una rugosidad variable y comprende una pluralidad de porciones de referencia adyacentes (62), para obtener una cifra de rugosidad real respectiva (64) para cada porción de referencia;
- obteniendo los respectivos datos de aceleración perpendiculares a una superficie de la sección de la carretera de referencia a partir de un primer dispositivo de medición de referencia (18) montado en un primer vehículo de referencia en la primera clase de vehículos, habiendo sido conducido a lo largo de la sección de la carretera de referencia (60) en una respectiva de las diferentes velocidades predeterminadas, y determinando un valor de parámetro de referencia respectivo ( $x_1$ ) relacionado con los datos de aceleración respectivos para cada porción de referencia adyacente (62) de la sección de carretera de referencia (60); y
- derivando una relación entre los valores de los parámetros de referencia respectivos y las cifras de rugosidad reales respectivas para todas las porciones de referencia (62).

3. Un método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 y 2, en el que los datos de aceleración y los datos de velocidad se transmiten periódicamente desde el dispositivo (18) a un soporte central (34), para ser procesados.

4. Un método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 y 2, en el que se utiliza un controlador local (28) del dispositivo de medición para procesar los datos de aceleración para proporcionar el valor del parámetro ( $x_1$ ), y en el que los valores de los parámetros de porciones adyacentes (14.1 a 14.m) se transmiten periódicamente a un soporte central (34) para convertirlos en la aproximación ( $y_1$ ) de la cifra de rugosidad para cada una de las porciones adyacentes de acuerdo con el índice de rugosidad.

5. Un método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 y 2, en el que el primer conjunto de ecuaciones de conversión se carga en una disposición de memoria del dispositivo de medición y en el que un controlador local del dispositivo de medición selecciona la primera ecuación de conversión basada en la velocidad del primer conjunto de ecuaciones de conversión y convierte el valor del parámetro ( $x_1$ ) en la aproximación ( $y_1$ ) de la cifra de rugosidad de acuerdo con el índice de rugosidad.

6. Un método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el índice de rugosidad es uno de Índice de rugosidad internacional (IRI) e Índice de rugosidad de medio coche (HRI).

7. Un método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que las cifras aproximadas de rugosidad de porciones adyacentes (14.1 a 14.m) de la carretera se combinan para generar un perfil de rugosidad aproximada de la sección de carretera según el índice de rugosidad.

8. Un método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que una longitud de cada porción (14.1 a 14.m) de la carretera es de 1 m a 100 m.

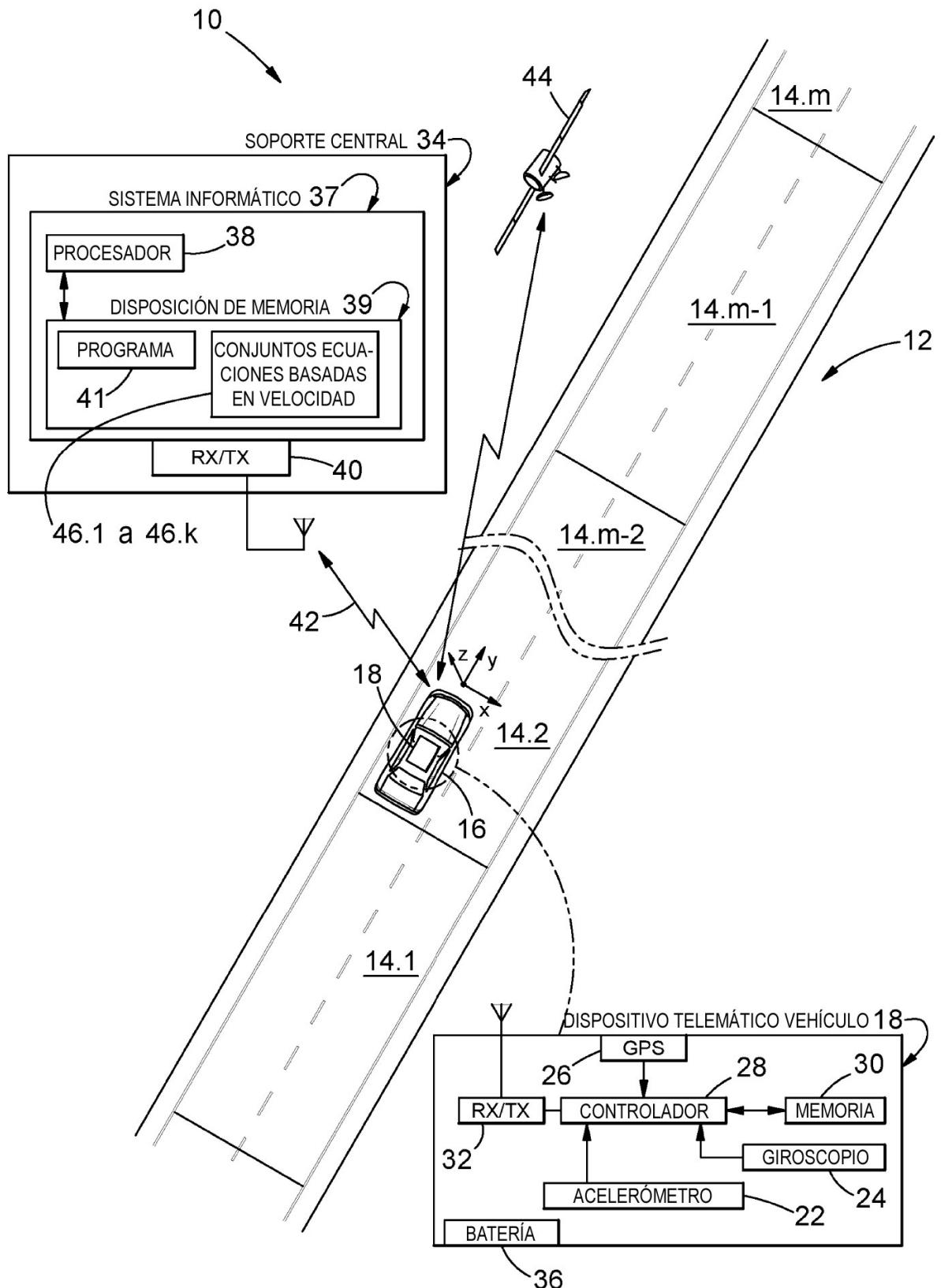
9. Un sistema (10) para proporcionar, para una porción (14.1 a 14.m) de una carretera (12), una aproximación de una

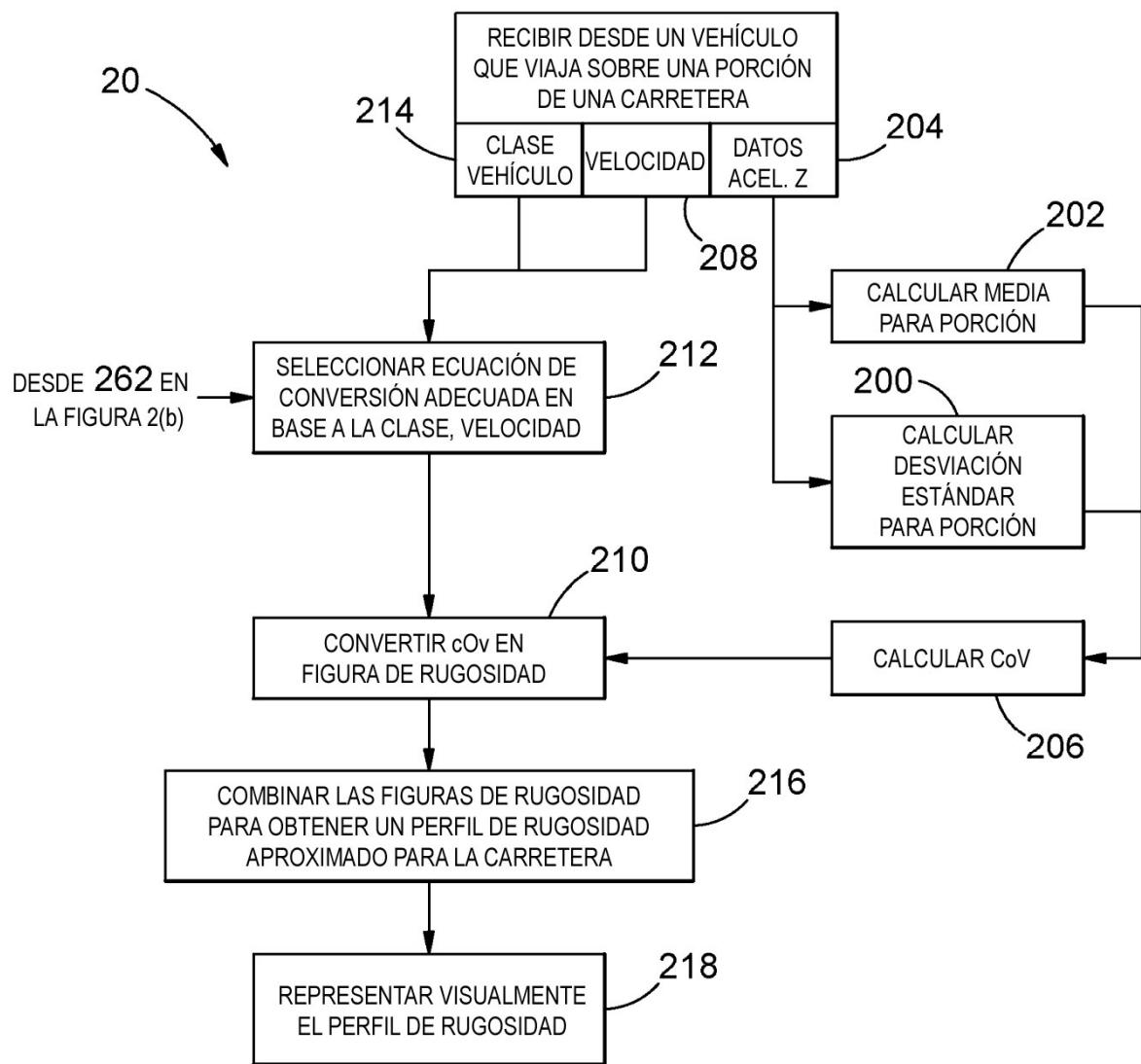
cifra de rugosidad de acuerdo con un índice de rugosidad al convertir mediante una ecuación de conversión basada en la velocidad un parámetro valor ( $x_1$ ) relativo a los datos de aceleración perpendiculares a la porción en una aproximación ( $y_1$ ) de la cifra de rugosidad, comprendiendo el sistema:

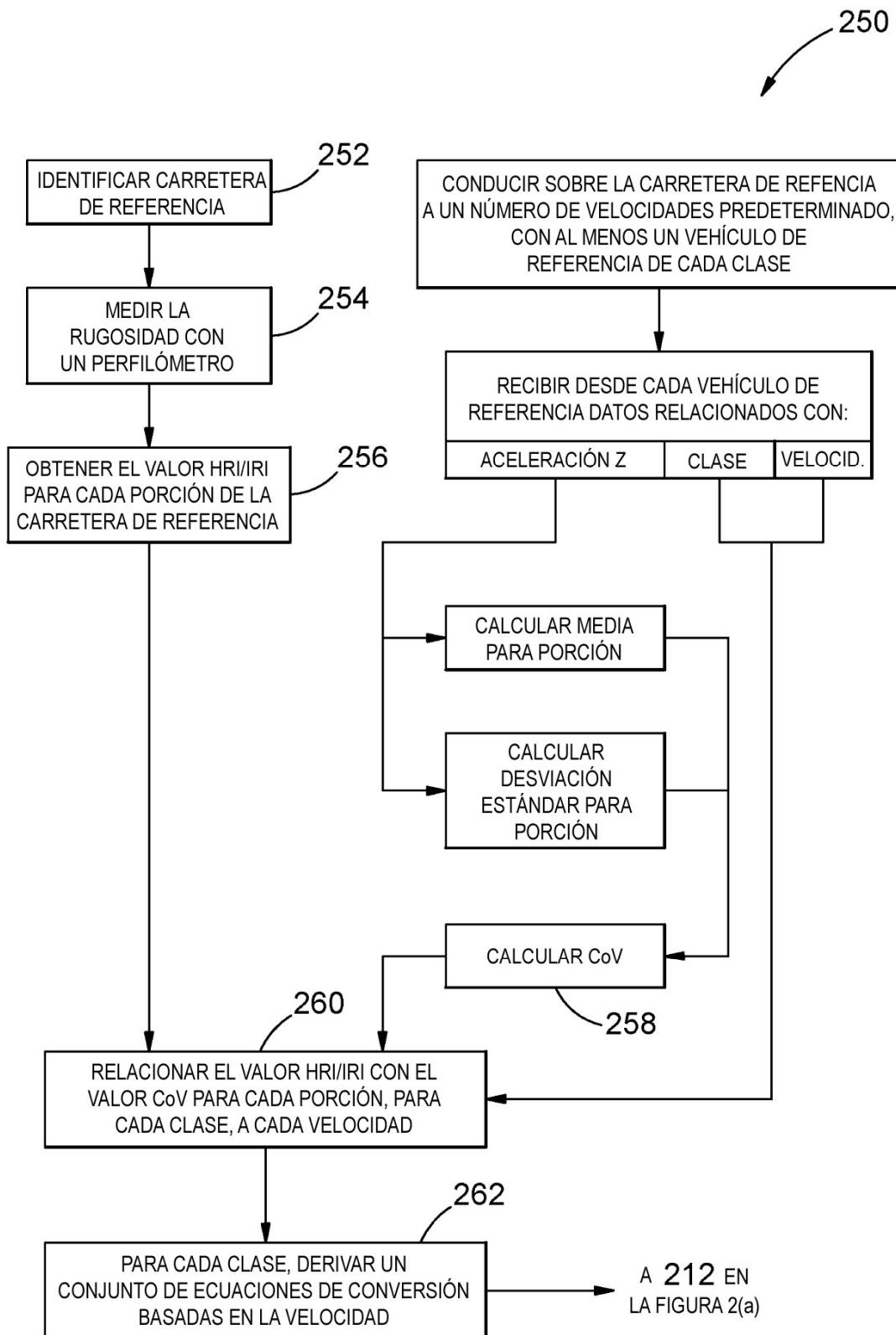
- un soporte central (34);
- una flota de vehículos (16) clasificados en una pluralidad de clases de vehículos, estando asociada cada clase de vehículos con un conjunto respectivo de ecuaciones de conversión basadas en la velocidad que se deriva previamente para cada una de la pluralidad de clases de vehículos un primer conjunto de los respectivos conjuntos de ecuaciones de conversión basadas en la velocidad (46.1) relacionadas con una primera clase de vehículos, comprendiendo el primer conjunto de ecuaciones de conversión basadas en la velocidad una pluralidad de ecuaciones de conversión, en el que cada una de las ecuaciones de conversión del primer conjunto se relaciona con una diferente velocidad predeterminada, perteneciendo cada vehículo a una clase de dicha pluralidad de clases y comprendiendo: un dispositivo de medición (18) para medir datos de aceleración perpendicular a la porción de la carretera y para proporcionar datos de velocidad del vehículo a lo largo de la porción de la carretera; y presentando un dispositivo de transmisión de radiofrecuencia (RF) (32) para comunicarse con el soporte central;
- un procesador (28, 38) para procesar los datos de aceleración medidos por el dispositivo de medición de un vehículo de la flota de vehículos que circulan a lo largo de la porción en el valor del parámetro;
- **caracterizado por que** el sistema comprende una disposición de memoria (30, 39) que comprende el conjunto respectivo de ecuaciones de conversión basadas en la velocidad para la clase de vehículos dentro de la cual se encuentra el vehículo, **por que** el procesador está configurado para utilizar los datos de velocidad para determinar una ecuación de conversión basada en la velocidad en el conjunto de ecuaciones de conversión basadas en la velocidad para convertir, para la porción de la carretera, el valor del parámetro en la aproximación de la cifra de rugosidad de acuerdo con el índice de rugosidad y **por que** el valor del parámetro es un coeficiente de variación (CoV) para la porción en forma de una relación de una desviación estándar,  $\sigma$ , y una media,  $\mu$ , de los datos de aceleración, es decir  $CoV = \frac{\sigma_{z-Aceleración}}{\mu_{z-Aceleración}} \times 100$ , lo que permite comparar los datos de aceleración de vehículos de diferentes clases y que viajan a diferentes velocidades.

10. Un sistema según la reivindicación 9, en el que el dispositivo de medición es un dispositivo telemático del vehículo.

11. Un medio legible por ordenador con un programa de ordenador que tiene un código de programa para realizar el método de la reivindicación 1 cuando el programa se ejecuta en un procesador.

FIGURA 1

FIGURA 2(a)

FIGURA 2(b)

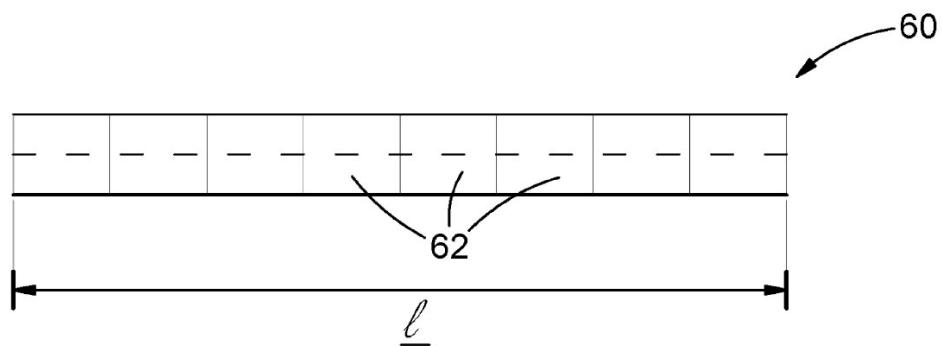


FIGURA 3

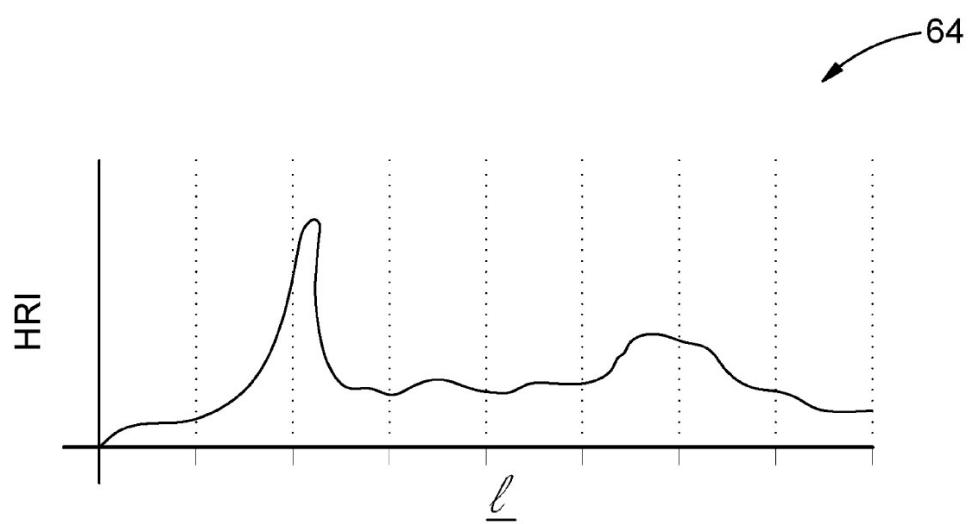


FIGURA 4

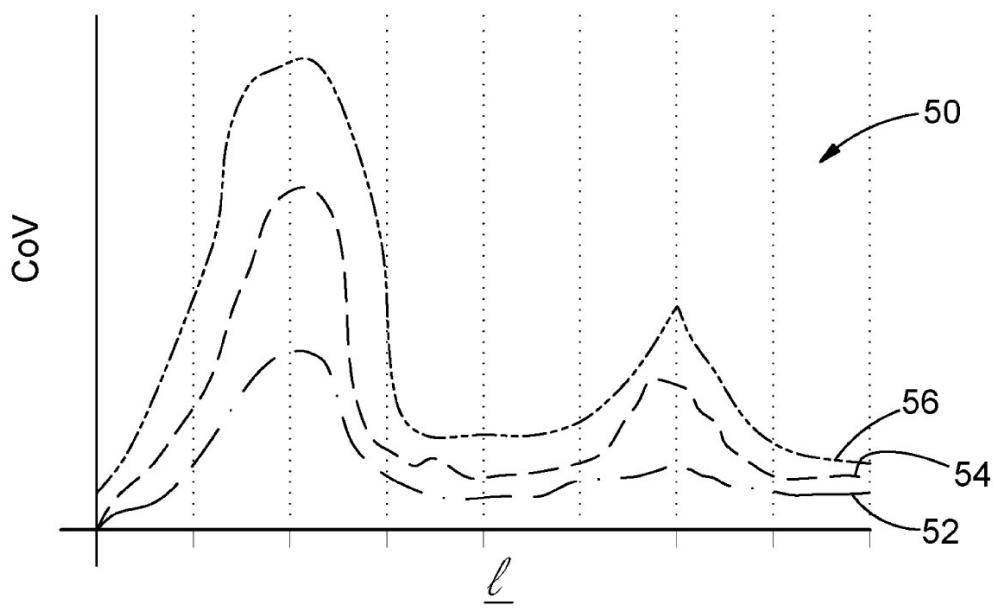


FIGURA 5

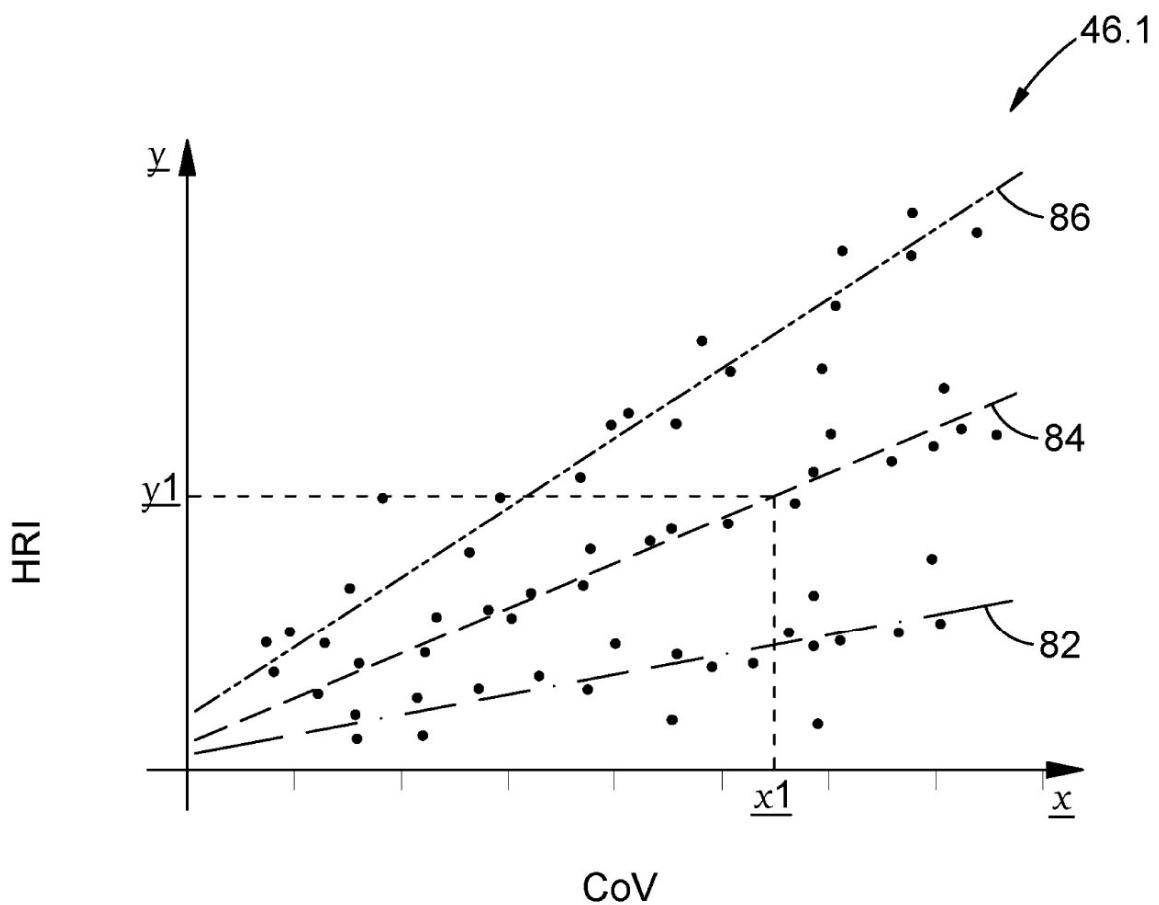


FIGURA 6