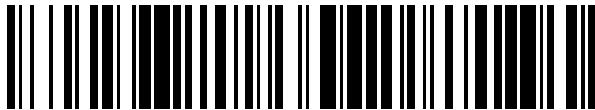


(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA



(11) Número de publicación: **2 665 939**

(21) Número de solicitud: 201600904

(51) Int. Cl.:

G08G 1/054 (2006.01)

G08G 1/052 (2006.01)

G08G 1/017 (2006.01)

(12)

SOLICITUD DE PATENTE

A1

(22) Fecha de presentación:

28.10.2016

(43) Fecha de publicación de la solicitud:

30.04.2018

(71) Solicitantes:

UNIVERSIDAD DE ALCALÁ (100.0%)

Plaza de San Diego, s/n

28801 Alcalá de Henares (Madrid) ES

(72) Inventor/es:

FERNÁNDEZ LLORCA, David;
SOTELO VÁZQUEZ, Miguel Angel;
GARCÍA DAZA, Iván;
PARRA ALONSO, Ignacio y
SALINAS MALDONADO, Carlota

(54) Título: **Procedimiento para la medición puntual de velocidad de vehículos a motor en tramo corto con geometría de mínimo error**

(57) Resumen:

Procedimiento para la medición puntual de velocidad de vehículos a motor en tramo corto con geometría de mínimo error.

La invención se refiere a un procedimiento para la medición puntual de la velocidad (2) de vehículos a motor (3), mediante al menos dos cámaras (4), (5) en un punto (1), apuntando a dos regiones (6), (7) diferentes de la vía (8), calculando distancias relativas (10), (11) del vehículo respecto de las cámaras mediante la detección de matrícula (9) y sus elementos internos, almacenando marcas de tiempo, calculando la velocidad para lo das las combinaciones posibles de distancias (12) entre cámaras que estén a la distancia óptima que genera mínimo error en el cálculo de la velocidad, y calculando la velocidad media de todas las medidas de velocidad obtenidas para distancias óptimas de mínimo error. La geometría de mínimo error implica configurar altura, orientación y distancia focal de las cámaras, para fijando una primera región, calcular la distancia de la segunda región que minimizar el error en velocidad.

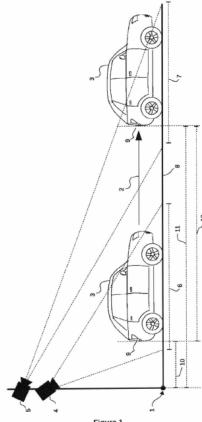


Figura 1

DESCRIPCIÓN

**PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICIÓN PUNTUAL DE VELOCIDAD DE
VEHÍCULOS A MOTOR EN TRAMO CORTO CON GEOMETRÍA DE MÍNIMO**

5

ERROR

SECTOR DE LA TÉCNICA

La presente invención se enmarca dentro de los sistemas de medición de velocidad de
10 vehículos a motor o cinemómetros, y más concretamente, dentro de los sistemas de
medición puntual de velocidad basados en sistemas ópticos o de visión artificial.

ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN

15 En función de la metodología usada para medir la velocidad y en función de los
diversos sistemas comerciales disponibles, los cinemómetros se suelen categorizar en
dos grupos principales: puntuales y de tramo o velocidad media. Por un lado, los
cinemómetros puntuales miden la velocidad de un vehículo a motor desde un punto
fijo. Para ello se usan tecnologías basadas en radar (a partir del efecto Doppler),
20 basadas en láser (a partir de la medición del tiempo de vuelo, por ejemplo
US6160492) o basadas en sensores integrados en el firme de la carretera de tipo
inductivo o piezoeléctrico. Estos cinemómetros suelen llevar una o varias cámaras
integradas para poder tomar una fotografía del vehículo que comete una infracción e
incluso detectar de forma automática la matrícula de dicho vehículo. Sin embargo
25 estas cámaras no se usan para obtener ningún tipo de medida para la detección de la
velocidad del vehículo. Por otro lado, los cinemómetros de tramo o de velocidad media
(por ejemplo, EP 2360647, EP 2220634, US 8189048) se basan en el uso de dos o
más cámaras ubicadas en puntos diferentes de una misma carretera, con una
separación conocida del orden de varios cientos de metros o kilómetros, de manera
30 que mediante la identificación del código de matrícula en ubicaciones diferentes, el
tiempo global de captura de ambas imágenes y el dato conocido de la distancia, se
calcula la velocidad media del vehículo a motor a lo largo del tramo. Para estos casos,
cuanto mayor sea la longitud del tramo, menor será el error cometido en el cálculo de
la velocidad media, y menor será el impacto del error en la medición de la distancia

relativa del vehículo a cada una de las cámaras. En la práctica, para tramos mayores a un kilómetro, dicha distancia ni siquiera es estimada.

Para lo que compete a la presente patente de invención, el estado de la técnica más relevante es el directamente relacionado con sistemas basados en el uso de cámaras para la detección de la velocidad de los vehículos a motor desde un punto fijo (no en tramos separados por kilómetros o cientos de metros). Esta idea se ha presentado de forma genérica en, por ejemplo, US 20040054513, Y WO/2004/100102, pero sin tener en cuenta ningún requerimiento de precisión en la medida de velocidad del sistema, es decir, sin poder ser de aplicación directa para su uso como cinemómetro de precisión. En casi todos los casos previos los sistemas se han diseñado a partir del uso de una cámara apuntando a una región específica de uno o varios carriles, calculando la velocidad a partir de medidas de distancia entre imágenes sin tener en cuenta ningún requisito relacionado con las distancias que producen un error mínimo en el cálculo de la velocidad. En US-8964031 se utiliza algún tipo de característica conocida del vehículo para calcular la distancia relativa a las cámaras. Para ello inicialmente se lleva a cabo una calibración y se almacenan en una tabla las distancias conocidas en función del tamaño en píxeles de alguna característica del vehículo. En el modo normal, se calculan las distancias a partir de la tabla previamente calibrada. En ningún caso se presenta ningún requisito entre las medidas de distancia usadas para calcular la velocidad. En general, casi todos los sistemas requieren de un proceso de calibración previo para poder calcular la homografía a partir de elementos conocidos en la carretera (conos, líneas, etc.). Una vez calibrado el sistema, se detectan los vehículos en las imágenes de las cámaras, normalmente con técnicas de substracción de fondo o flujo óptico, y se calcula su posición en el espacio métrico dado por la homografía (por ejemplo, US 8184863, US 2010/0158321). Pero de nuevo, no existe ni se aplica ningún mecanismo que garantice que las medidas de distancia usadas para calcular la velocidad de los vehículos cumplen con un requisito de mínimo error en el cálculo de la velocidad. De todas las patentes existentes hasta la fecha, solo se dispone de una que haya generado en un sistema comercial presentado como cinemómetro de precisión, US 7982634 (sistema T-EXSPEED de KRIA S. R. L. <http://www.kria.biz/traffic/texspeed/>). Se trata de un sistema que combina dos cámaras sensibles al infrarrojo y dos cámaras RGB, dispuestas para ser usadas en modo estereoscópico, y apuntando en todo caso hacia una sola región que cubre varios

- carriles de la vía sin ningún tipo de restricción que filtre las medidas de distancia entre imágenes que no cumplan con una geometría de mínimo error en el cálculo de la velocidad. En este caso se aplican técnicas de localización de matrícula, técnicas estereoscópicas, de estructura a partir de movimiento, y de flujo óptico, para de forma combinada calcular si ha habido un exceso de velocidad en el tramo de medición. De la descripción y las reivindicaciones de la patente US 7982634 es imposible extraer conclusiones claras acerca del método específico usado para calcular la velocidad y de la precisión obtenida.
- 10 De todo el estado de la técnica conocido queda perfectamente claro que no hay hasta la fecha ningún sistema de medición puntual de velocidad de vehículos a motor a partir de cámaras que tenga en cuenta la distancia óptima entre medidas de distancia relativa a las cámaras para proporcionar medidas de velocidad con error mínimo, que permita el uso de la tecnología como cinemómetro de alta precisión.

15

EXPLICACIÓN DE LA INVENCIÓN

La invención se refiere a un procedimiento para la medición puntual, esto es, desde un punto fijo de la velocidad de los vehículos a motor que transitan por los carriles de una vía, mediante el uso de al menos dos cámaras, ubicadas en el mismo punto ya sea sobre un poste o sobre un pórtico, apuntando cada una de ellas a dos regiones diferentes de un mismo carril. Los rangos de distancia entre ambas regiones deben cumplir con un criterio específico de error mínimo de velocidad. Para ello, la altura, la orientación y la distancia focal de las cámaras deberán configurarse de forma concreta, siendo los adecuados a dicha restricción geométrica que garantiza errores mínimos en el cálculo de la velocidad. La geometría de mínimo error en velocidad se consigue de la siguiente forma: supongamos que una o varias cámaras toman imágenes de un vehículo en diversos instantes de tiempo T_1 y T_2 y calculan la distancia relativa del vehículo a la/s cámara/s. Para el cálculo de la distancia relativa se pueden seguir diversos procedimientos (punto de contacto de las ruedas con el suelo, anchura del coche conocida, etc.), pero vamos a considerar en este caso el cálculo de la distancia a partir de la localización precisa de las esquinas de la matrícula, con conocimiento previo de las dimensiones reales de ésta. Es decir, para cada instante de tiempo las cámaras son capaces de obtener las distancias relativas

Z_1 y Z_2 , que configuran un tramo de dimensión $S = Z_2 - Z_1$. La velocidad media del vehículo a lo largo de dicho tramo vendrá dada por la expresión:

$$v = (Z_2 - Z_1) / (T_2 - T_1) = S / \Delta T$$

5

siendo $\Delta T = T_2 - T_1$. Ahora bien, teniendo en cuenta los errores de localización o errores en la estimación de la distancia Z_{1err} y Z_{2err} , propios de un sistema basado en cámaras, en el peor de los casos se tendrá una estimación errónea de la velocidad $v' = (S + Z_{2err} + Z_{1err}) / (T_2 - T_1)$, siendo el error en velocidad igual a:

10

$$v_{err} = v' - v = \frac{Z_{2err} + Z_{1err}}{\Delta T} = \frac{Z_{2err} + Z_{1err}}{S} v$$

siendo el error de velocidad relativo:

15

$$v_{err}/v = \frac{Z_{2err} + Z_{1err}}{S}$$

A modo de ejemplo, podemos considerar que para un tramo de $S = 1 km$, aún teniendo errores en la estimación de distancia de 15m en cada uno de los puntos, el error relativo de velocidad sería del 3%. Esta es una de las razones por las que los 20 cinemómetros de tramo no requieren de una gran precisión a la hora de estimar la distancia relativa de los vehículos a las cámaras en cada uno de los puntos de medición, siempre que los tramos sean del orden de varios kilómetros. El problema viene en los casos de medición puntual donde los tramos son muy pequeños. Así, por ejemplo, para un tramo de $S = 6 m$, los errores de estimación de distancia deberían 25 ser menores a 9cm para poder obtener un error relativo de velocidad inferior al 3%. Este hecho pone en tela de juicio la precisión de los sistemas de medición de velocidad basados en una sola cámara (por ejemplo, US 8184863, US 2010/0158321) ya que el rango de medición que puede cubrir una sola cámara es limitado. El caso más extremo es el de los sistemas basados en el cálculo instantáneo de velocidad, es decir, en el cálculo de la velocidad utilizando para ello imágenes consecutivas. En 30 estos casos, la distancia del tramo sobre el que se está midiendo, que dependerá de la

velocidad del vehículo y del número de imágenes por segundo que se esté tomando por la cámara, será una distancia muy pequeña que en algunos casos puede ser del mismo orden de magnitud que los propios errores de estimación de distancia relativa. Estas metodologías son, por lo tanto, poco adecuadas para ser usadas como 5 cinemómetros de precisión.

Para poder definir una geometría de mínimo error, necesitamos obtener la distancia óptima del tramo S que proporcione el error mínimo en la estimación de la velocidad. Para ello, es necesario estudiar los errores de estimación de la distancia. Para el caso 10 concreto de las cámaras, es conocido que el error crece al cuadrado con la distancia. En este caso partimos del cálculo de la distancia relativa usando para ello dimensiones conocidas de la matrícula, por ejemplo, su ancho. Para un eje de coordenadas con eje Z paralelo al sentido de avance del vehículo, sea X_2 la coordenada X de, por ejemplo, la esquina superior derecha de la matrícula, y X_1 la coordenada X de la 15 esquina superior izquierda. El ancho de la matrícula en coordenadas 3D vendrá dado por $\Delta X = X_2 - X_1$. Tras la calibración intrínseca de la cámara se conoce la distancia focal en píxeles $f_x = f/d_x$ (siendo f la distancia focal en milímetros, y d_x el tamaño del píxel del sensor CCD o CMOS de la cámara). Tras aplicar un método de 20 localización de matrícula (por ejemplo, [H. Bai et al. "A fast license plate extraction method on complex background", IEEE Intell. Trans. Sys. 2003]) se calcula el ancho en píxeles de la matrícula en la imagen $\Delta u = u_2 - u_1$. Considerando el caso simple en el que el vector normal de la matrícula se mueve paralelo al eje Z de la cámara, la distancia relativa de la matrícula y por ende del vehículo, a la cámara será 25 $Z = f_x (\Delta X / \Delta u)$. En el caso de que el error de localización de los límites de la matrícula en la imagen fuera de valor cero, el propio proceso de discretización de la imagen supone un error de localización que viene dado por el tamaño de cada píxel a la distancia específica, esto es, $D_x = (Z/f) d_x = Z/f_x$. Si tomamos n como el error pixélico de localización de un punto en la imagen (siendo $n=1$ para el caso de error cero), la estimación de la distancia relativa más alejada del valor real vendrá dada por 30 la expresión $Z' = f_x (\Delta X + n D_x) / \Delta u$. De esta forma, el error relativo en la estimación de distancia será:

$$Z_{err} = Z' - Z = f_x \frac{nD_x}{\Delta u} = \frac{nZ}{\Delta u} = \frac{nZ^2}{f_x \Delta X}$$

- Si tenemos en cuenta que los errores pixélidos en la localización de los puntos en las imágenes son n_1 y n_2 para las distancias Z_1 y Z_2 respectivamente, el error en la estimación de la velocidad vendrá dado por la siguiente expresión:

$$v_{err} = \frac{n_1 Z_1^2 + n_2 Z_2^2}{f_x \Delta X (Z_2 - Z_1)} v$$

- Esta ecuación puede adaptarse para el caso en el que las distancias Z_1 y Z_2 sean estimadas cada una con una cámara diferente, con distancias focales f_{x1} y f_{x2} , esto es:

$$v_{err} = \frac{f_{x2} n_1 Z_1^2 + f_{x1} n_2 Z_2^2}{f_{x1} f_{x2} \Delta X (Z_2 - Z_1)} v$$

- Si observamos la representación del error en la estimación de velocidad usando la ecuación anterior, para un caso hipotético en el que se fija la distancia del primer punto (por ejemplo, $Z_1=3m$), para diversos valores de velocidad real, en función de la distancia del segundo punto Z_2 , se obtienen las curvas que representan la geometría de mínimo error. Lo que sucede en esta geometría para el cálculo de la velocidad y el análisis de su error es que, por un lado se tiene que el error en velocidad decrece linealmente con la longitud del tramo $(Z_2 - Z_1)$. Pero por otro lado, el error crece al cuadrado con la distancia de cada uno de los puntos del tramo. Por ejemplo, para el caso de $Z_1=3m$ para valores de $3m < Z_2 < 6m$ el error en velocidad decrece al cuadrado hasta un mínimo a partir del cual el error crece prácticamente de forma lineal con la distancia Z_2 . Dichas curvas describirían, por lo tanto, la geometría de mínimo error en velocidad para distintos valores de velocidad. En efecto, si bien el error en velocidad crece linealmente con la misma velocidad, el valor mínimo de error (para $Z_1=3m$ dicho valor está en torno a $Z_2=8m$) es independiente de ésta. El valor óptimo de distancia se puede obtener derivando la expresión del error en velocidad

respecto del valor de Z_2 , igualando dicha expresión a cero y resolviendo. Para el caso de una sola cámara se tiene que la distancia óptima sería:

$$\widehat{Z}_2 = \frac{Z_1(n_2 + \sqrt{n_2^2 + n_1 n_2})}{n_2}$$

5

Para el caso de dos cámaras con distinta distancia focal, la distancia óptima sería:

$$\widehat{Z}_2 = \frac{Z_1(n_2 f_{x1} + \sqrt{n_2^2 f_{x1}^2 + n_1 n_2 f_{x1} f_{x2}})}{n_2 f_{x1}}$$

- 10 Dado que el error en la estimación de la distancia a partir de cámaras decrece linealmente con la distancia focal en píxeles, es importante que la distancia focal de las cámaras para estos sistemas sea lo más alta posible. Sin embargo, a mayor distancia focal, menor ángulo de apertura. Esto implica que, en la práctica, es casi imposible diseñar un sistema de medición de velocidad de vehículos a motor de alta
 15 precisión a partir de una sola cámara apuntando a una región, y cumpliendo con el requisito de distancia óptima entre medidas para la minimización del error en el cálculo de velocidad. Es decir, la región máxima abarcable por una sola cámara de gran distancia focal no sería lo suficientemente grande, y si se usan distancias focales más bajas, el error se vería incrementado linealmente. La solución planteada en esta
 20 patente de invención, se basa en el uso de al menos dos cámaras apuntando a dos regiones distintas de la vía con el mayor número de pares óptimos de distancias posibles entre ambas regiones, esto es, distancias entre ambas regiones que sean óptimas para la minimización del error en la estimación de velocidad. De esta forma, cada cámara puede disponer de una distancia focal lo más elevada posible,
 25 minimizando el error en el cálculo de la distancia y la velocidad.

- La geometría planteada entre las cámaras y el plano de la vía, y usada para obtener las ecuaciones anteriores, se puede generalizar para el caso en el que las cámaras estén a una altura superior y con un ángulo de elevación específico, introduciendo las
 30 matrices de rotación y traslación que relacionan el origen de coordenadas de las cámaras respecto del plano principal de la carretera. Si bien las expresiones son más

complejas, la forma de las curvas que definen el error en velocidad son equivalentes, de manera que es posible calcular igualmente el punto \widehat{Z}_2 óptimo y poder configurar una geometría de mínimo error para el cálculo de la velocidad.

- 5 Para poder llevar a cabo mediciones de alta precisión es necesario que las cámaras sean cámaras de alta resolución, y que las ópticas sean de distancia focal lo más larga posible de manera que la proyección del vehículo en el plano imagen sea lo más grande posible, siempre y cuando el vehículo se capture y sea visible de forma completa. El procedimiento es igualmente válido para medir velocidades de vehículos
10 a partir de elementos traseros, (vehículos que se alejan), que para el caso de velocidades de vehículos a partir de elementos obtenidos de su parte delantera (vehículos que se acercan), debido a que existen elementos estructurales, como son las matrículas, que aparecen tanto en la parte delantera como en la parte trasera del vehículo. La geometría de mínimo error en velocidad es válida independientemente del
15 sentido de la marcha de los vehículos respecto de las cámaras.

En condiciones de baja iluminación, se activarán uno o varios sistemas de iluminación artificial que puede ser de espectro visible y/o infrarrojo para mejorar el contraste de las imágenes, en especial para mejorar el contraste de las matrículas, cuya superficie es altamente reflectante. Tanto las cámaras como la iluminación artificial están sincronizadas gracias a una tarjeta electrónica de sincronismo. Tanto la captura como el procesamiento de las imágenes y el almacenamiento de éstas y los resultados obtenidos, son tareas llevadas a cabo en el procesador. El procesador se adapta para proporcionar la orden de captura al hardware de sincronismo, para capturar imágenes de las cámaras, para procesarlas y para almacenar las imágenes y los resultados.
25 Cada imagen dispondrá de una marca de tiempo de alta precisión gracias al uso de sistemas GPS con proceso GPSD.

Para poder resolver el problema de la estimación de distancia relativa a las cámaras a partir de elementos estructurales conocidos del vehículo, en este caso a partir de las dimensiones de la matrícula, y teniendo en cuenta que las cámaras tienen distinta distancia focal y que deben estar ubicadas a alturas y orientaciones diferentes entre sí, es necesario aplicar un proceso previo de calibración. Este proceso se puede hacer en gran medida en entorno de laboratorio para obtener los parámetros intrínsecos de las

cámaras, así como la orientación de éstas respecto de un plano principal horizontal y la relación extrínseca entre ellas (rotación y translación). Para ello las cámaras deben mantener la misma estructura en el laboratorio y en el punto de funcionamiento real.

En la instalación del sistema únicamente será necesario aportar el dato de la altura final a la que se instalen las cámaras y calcular de forma automática el ángulo de dirección a partir del cálculo mediante flujo óptico o similar de la dirección principal de avance de los vehículos. Si es posible parar el tráfico de forma momentánea, también se puede hacer uso de patrones de calibración específicos tipo tablero de ajedrez, o de cualquier otra índole, para obtener los parámetros extrínsecos (rotación y translación) de las cámaras respecto del plano principal de la vía, y siempre con el ángulo de dirección definido por el sentido de avance de los vehículos.

El error en la localización de los elementos estructurales del vehículo en la imagen, como por ejemplo en la localización de la matrícula, conlleva errores en la estimación de la velocidad. A menor resolución de la imagen, mayor error se comete por cada error pixélico en la localización. Es decir, las cámaras deberán ser de alta resolución para reducir al máximo los errores. Así también, los procedimientos de localización de elementos estructurales, en este caso de la matrícula deberán ser exactos y precisos.

Una vez detectada la posición de los puntos pertenecientes a los límites de la matrícula e incluso los puntos que definen los límites de los caracteres alfanuméricos en la matrícula, se aplica un procedimiento para estimar la distancia relativa de la matrícula a cada una de las cámaras. Para ello se puede formular el problema a partir de la resolución de un sistema de ecuaciones en la que se conoce las dimensiones en el plano de la matrícula de los puntos pertenecientes a ella, o mediante la estimación de la homografía formada entre los puntos de la matrícula relativos a un origen de coordenadas situado en la propia matrícula con eje Z normal a la matrícula, y dichos puntos proyectados en el plano imagen. A partir de la homografía se puede obtener la rotación y la translación del origen de coordenadas situado en la matrícula respecto de las cámaras (ver por ejemplo, [R. Hartley & A. Zisserman, "Multiple View Geometry in Computer Vision", Cambridge University Press 2004]). Estos valores se pueden utilizar para calcular la distancia relativa de algún punto de la matrícula con respecto a las cámaras.

Para cada una de las imágenes capturada por las cámaras, se estima la distancia

relativa de la matrícula respecto de la posición de las cámaras, y se asocia una marca de tiempo de alta precisión. Para ello se utiliza la marca de tiempo generada por el propio procesador estando éste sincronizado con un servicio de tiempo GPSD (Global Positioning System Daemon) a partir de un servidor NTP (Network Time Protocol) que recibe una señal precisa de 1 PPS (1 Pulse Per Second) de un GPS conectado al procesador. Todas las distancias relativas y su correspondiente marca de tiempo se almacenan para ser filtradas en un proceso posterior. El proceso de filtrado hace uso de la geometría de mínimo error. Se combinan todas las medidas de distancia relativa de ambas cámaras que cumplan con la distancia óptima previamente calculada para obtener un error mínimo en la estimación de la velocidad del vehículo a motor. En este caso, cumplir con la distancia óptima implica que la distancia del vehículo a motor o su matrícula respecto de la cámara que apunta a la región más alejada del punto de medición menos la distancia del vehículo a motor o su matrícula de la cámara que apunta a la región más cercana del punto de medición, sea igual a la distancia óptima de mínimo error más-menos un porcentaje que no debe ser mayor al 20%. Todas las medidas que cumplan con dicho criterio se utilizarán para, en una última fase, estimar la velocidad del vehículo calculando para ello la media de todas las velocidades calculadas a partir de las medidas de distancia que hayan pasado el proceso de filtrado de mínimo error y sus correspondientes marcas de tiempo.

20

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La Figura 1 muestra una vista lateral del esquema general de funcionamiento. En esta figura los dos vehículos (3) se corresponden con el mismo vehículo en dos instantes de tiempo diferentes.

La Figura 2 muestra una vista lateral de una geometría simplificada en la que solo se usa una cámara situada a la misma altura que la propia matrícula del vehículo. De igual forma, los dos vehículos (3) se corresponden con el mismo vehículo en dos instantes de tiempo diferentes. Esta figura se utiliza para ilustrar la explicación de la geometría de mínimo error para el cálculo de la velocidad.

La Figura 3 muestra una vista desde arriba o vista de pájaro (en este caso, del plano XZ) de una cámara y la matrícula de un vehículo. En este caso se muestra el detalle y

la nomenclatura de la proyección en la imagen de los puntos que conforman las esquinas superiores izquierda y derecha de la matrícula. Esta figura se utiliza para ilustrar la explicación de la geometría de mínimo error para el cálculo de la velocidad.

- 5 La Figura 4 muestra la representación de las curvas de error en la estimación de velocidad en función de la distancia a la que se obtienen la segunda medida Z_2 , considerando que la primera medida Z_1 se ha tomado a 3m respecto de las cámaras, para diferentes velocidades.
- 10 La Figura 5 muestra los elementos fundamentales necesarios para poder estimar la velocidad de los vehículos a motor.

La Figura 6 muestra el procedimiento general para estimar la velocidad de los vehículos a motor.

- 15 La Figura 7 ilustra un esquema genérico para el cálculo de la distancia relativa de la matrícula a cada una de las cámaras para dos instantes de tiempo diferentes. Esta figura se utiliza para exponer la nomenclatura y los elementos necesarios para exponer un modo concreto de realización para el cálculo de la distancia relativa del
- 20 vehículo a las cámaras, así como para el cálculo de la velocidad.

La Figura 8 muestra, a modo de ejemplo, los diversos puntos de una matrícula, que pueden ser utilizados para el cálculo de la distancia relativa de ésta respecto de las cámaras.

- 25 **REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCIÓN**

El dispositivo necesario para implementar el procedimiento para la medición puntual (1) de velocidad (2) de vehículos a motor (3) en tramo corto (12) con geometría de 30 mínimo error consta de al menos dos cámaras digitales (4), (5) integradas sobre una misma estructura mecanizada que mantenga fija la posición relativa de las cámaras, e instaladas en pórtico, poste o pared. Las cámaras pueden ser en color o monocromo, con una resolución mínima de 1280x960, siendo la resolución recomendable de al menos 1900x1200, de alta velocidad, con al menos capacidad para capturar 60

imágenes por segundo, siendo recomendable una velocidad de entre 120-160 imágenes por segundo. Las cámaras llevan incorporadas unas ópticas con una distancia focal que habrá que configurar de manera que los rangos de distancia relativa entre las regiones de las cámaras donde aparecerán los vehículos a motor

5 capturados por éstas, se encuentren a una distancia óptima que minimice el error en el cálculo de la velocidad. Teniendo en cuenta que las cámaras se ubican en el mismo punto, ya sea paralelas entre sí a la misma altura, o una encima de otra, pero orientadas de forma diferente, y que en la geometría de mínimo error habrá una cámara (5) apuntando a una región más alejada que la otra cámara (4), la distancia

10 focal de la cámara (5) que apunta a la región más alejada será superior a la de la cámara (4) que apunta a la región más cercana. Una posible instalación que cumple con los criterios de geometría de mínimo error dispone de una óptica de 75mm para la cámara (5) y otra de 50mm para la cámara (4), a una altura de 4m respecto del suelo y con distintos ángulos de orientación. Las cámaras pueden contener sensores de

15 estado sólido tanto CCD como CMOS. Para condiciones de baja iluminación el dispositivo incorpora uno o varios iluminadores infrarrojos o visibles (13) ya sea en estructura tipo anillo alrededor de las ópticas de las cámaras, o como iluminador independiente tipo Raymax o similar. Los iluminadores vienen dispuestos con célula fotosensible para encendido automático. Tanto los iluminadores infrarrojos o visibles (13) como las cámaras (4), (5) están sincronizados mediante una tarjeta electrónica de

20 sincronismo (14). El modo de captura y disparo de las cámaras se lleva a cabo vía disparo externo mediante señal de hardware, incluyendo el tiempo de exposición. Esta señal viene proporcionada por la tarjeta hardware de sincronismo (14) y será también esta señal la encargada de accionar la iluminación infrarroja o visible (13). Las

25 cámaras (4), (5) se conectan con el procesador (15) a través de interfaz tipo USB 3.0, o Firewire, o GigE Vision. El procesador (15) también está conectado con la tarjeta de sincronismo (14) para poder configurar tanto el tiempo de exposición de las cámaras como la velocidad de captura de las éstas. La conexión se llevará a cabo cada segundo de forma sincronizada con una señal 1PPS proveniente de un GPS (16)

30 conectado al procesador (15). El GPS (16) soporta el protocolo NMEA-0183 y mediante una conexión serie con el procesador (15) proporciona una señal de alta precisión de un pulso por segundo que permite configurar un servidor NTP (Network Time Protocol) en el procesador (15) mediante la corrección proporcionada por un servicio GPSD (GPS daemon). De esta forma, la marca de tiempo (timestamp) del

procesador (15) será de una precisión de nivel 1 (stratum 1). Todas las imágenes provenientes de las cámaras (4), (5) y capturadas por el procesador (15) tendrán almacenada la marca de tiempo precisa en la que dichas imágenes fueron tomadas. Estas marcas de tiempo permiten medir el tiempo entre imágenes con una gran 5 precisión.

El proceso de instalación implica conocer la geometría de mínimo error en el cálculo de la velocidad. Para ello es necesario formular el error en velocidad en función de las distancias focales y las distancias relativas de la posición del vehículo respecto a 10 ambas cámaras. Para el caso simplificado en el que el eje óptico de las cámaras es paralelo al plano de la carretera y paralelo al sentido de avance del vehículo (ver Figura 2) y la distancia del vehículo a las cámaras se calcula a partir de la detección de la matrícula y la medición del ancho de ésta en píxeles (Figura 3) dicho error sería el siguiente:

15

$$v_{err} = \frac{f_{x2}n_1Z_1^2 + f_{x1}n_2Z_2^2}{f_{x1}f_{x2}\Delta X(Z_2 - Z_1)} v$$

Para el caso genérico en el que las cámaras no se encuentran orientadas de forma paralela al plano de la vía (Figura 1), la expresión anterior llevaría incorporados los 20 elementos de las matrices de rotación y traslación de las cámaras relativas al plano de la vía. Estas matrices deben calcularse mediante algún proceso de calibración (17), que puede llevarse a cabo en el mismo escenario de aplicación mediante el uso de patrones de calibración tipo tablero de ajedrez o mediante un proceso mixto en el que 25 se calculen los ángulos de elevación (pitch) y alabeo o escora (roll) en laboratorio y midiendo la traslación (altura) en el escenario de aplicación, y obteniendo un ángulo de dirección (yaw) adaptativo según el paso de cada vehículo mediante técnicas de flujo óptico o similar. Una vez definida la expresión del error de la velocidad, se debe fijar la primera zona de medición más cercana, cámara (4), lo que define un rango de 30 posiciones (6) para la variable Z_1 . Derivando la expresión general del error en velocidad respecto de la posición tomada Z_2 por la segunda cámara (5) e igualando a cero, para los valores previos de la variable Z_1 se obtiene el rango de posiciones (7) para la variable Z_2 que optimizan el error en el cálculo de la velocidad. Así, por

ejemplo, para el caso simplificado (Figura 2) con unas distancias focales de 50mm para la cámara (4) y de 75mm para la cámara (5), para un rango de posiciones (6) relativo a la cámara (4) entre 2-4m, el rango de posiciones óptimas (7) relativos a la cámara (5) para obtener medidas con mínimo error en velocidad deberá hallarse entre 5 5-10m aproximadamente (en función del tamaño de píxel del sensor), siguiendo la expresión siguiente:

$$\widehat{Z}_2 = \frac{Z_1(n_2 f_{x1} + \sqrt{n_2^2 f_{x1}^2 + n_1 n_2 f_{x1} f_{x2}})}{n_2 f_{x1}}$$

- 10 Para poder calcular la distancia (20) del vehículo al punto de referencia donde se sitúan las cámaras se puede optar por varios procedimientos. Una posible solución consiste en utilizar elementos estructurales del vehículo de los cuales se conoce de forma previa variables tales como el tamaño, posiciones relativas, etc. El elemento más estándar es la propia matrícula. Tanto su ancho (Figura 3) como la posición 15 relativa de los caracteres (Figura 8) puede ser conocida de forma previa. Para obtener estas posiciones es necesario implementar un mecanismo de localización precisa de matrícula (19), incluyendo también la localización de los caracteres. Para ello existen múltiples tecnologías ya disponibles para la localización y el reconocimiento de los 20 caracteres de las matrículas denominadas sistemas LPR (License Plate Recognition Systems). Consideraremos que se ha implementado un mecanismo de localización de matrícula (ver por ejemplo, [H. Bai et al. "A fast license plate extraction method on complex background", IEEE Intell. Trans. Sys. 2003]), y que se dispone de, por ejemplo, tal y como se muestra en la Figura 7, de la localización en las imágenes de las esquinas izquierda y derecha de la matrícula (ya sean las superiores o las 25 inferiores) para las dos cámaras. Tras el proceso de calibración, se conocen las matrices de rotación y los vectores de traslación para las dos cámaras respecto de dos sistemas localizados en el plano de la vía $[R_i, T_i]$ siendo el índice "i" el indicativo de la primera cámara o la segunda cámara ("B" y "A" siguiendo la nomenclatura de la Figura 7). El proceso de calibración se lleva a cabo asegurándose que la rotación entre 30 ambos sistemas de referencia en la vía es la matriz identidad. Siguiendo el esquema de la Figura 7, consideramos que se han detectado las esquinas inferiores de la matrícula del mismo vehículo en la imagen en los puntos $p_i^1 = (u_i^1, v_i^1, 1)$ izquierdo y

$p_i^2 = (u_i^2, v_i^2, 1)$ derecho, en coordenadas homogéneas. Consideramos que la altura de estos puntos respecto del plano de la vía es la misma Y_{wi} , y que además se conoce la anchura de la matrícula respecto del eje de coordenadas colocado en el plano de la vía, esto es $\Delta X = X_{wi}^2 - X_{wi}^1$. Por otro lado, tras el proceso de calibración (17) se conocen los parámetros intrínsecos de las cámaras incluyendo la distancia focal en los dos ejes, y el centro óptico, y por lo tanto se puede formar la matriz de intrínsecos K_i de la cámara. Usando coordenadas homogéneas, la proyección de cada punto 3D P_{wi} relativo al origen de coordenadas situado en el plano de la vía, en el plano imagen viene dado por la siguiente expresión:

10

$$sp_i = s \begin{pmatrix} u_i \\ v_i \\ 1 \end{pmatrix} = [K_i | 0_3] \begin{pmatrix} R_i & T_i \\ 0_3^T & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_{wi} \\ Y_{wi} \\ Z_{wi} \\ 1 \end{pmatrix} = M_i P_{wi}$$

A partir de esta expresión se puede generar el siguiente sistema de ecuaciones:

15

$$sp_i^1 = M_i P_{wi}^1$$

$$sp_i^2 = M_i P_{wi}^2$$

$$\Delta X = X_{wi}^2 - X_{wi}^1$$

que puede ordenarse en una forma lineal de tipo $Ax = b$ siendo A una matriz de 5x5, 20 b un vector de 5x1, y $x = (X_{wi}^1, X_{wi}^2, Y_{wi}, Z_{wi}^1, Z_{wi}^2)$. Dado que la matriz A es cuadrada y tiene rango completo, el sistema tiene una única solución dada por $x = A^{-1}b$. Para utilizar un único punto, se calcula el punto medio ubicado en el centro de la matrícula, esto es, el punto final será:

25

$$P_{wi} = ((X_{wi}^2 + X_{wi}^1)/2, Y_{wi}, (Z_{wi}^2 + Z_{wi}^1)/2)$$

Finalmente, las coordenadas de los puntos capturadas por las dos cámaras se trasladan al eje de coordenadas de las cámaras, el punto fijo de medición, pero

manteniendo la orientación relativa dada por los ejes de coordenadas situados en el plano de la vía, esto es:

$$\begin{aligned} P'_{cB} &= P_{wB} + R_B^{-1} T_B \\ 5 \quad P'_{cA} &= P_{wA} + R_A^{-1} T_A \end{aligned}$$

La distancia final D entre los puntos se corresponde con la distancia final recorrida por el vehículo (12) y vendrá dada por la expresión:

$$10 \quad D = \|P'_{cA} - P'_{cB}\|$$

Este valor D^j se calcula y se almacena (21) para todas las combinaciones posibles entre imágenes provenientes de la primera cámara (4) y la segunda cámara (5) y se le asocia la correspondiente marca de tiempo t^j (22). Posteriormente, en una etapa de filtrado (23) se calculan para todas las distancias relativas obtenidas en la primera cámara (4) P'^j_{cB} las distancias óptimas relativas que se requerirían en la segunda cámara (5) \hat{P}'_{cA} , esto es, $\hat{D}^j = \|\hat{P}'_{cA} - P'^j_{cB}\|$ según la expresión de la geometría de mínimo error en velocidad. En esta etapa de filtrado (23) solo se aceptan aquellas distancias D^j que sean igual a la correspondiente distancia óptima \hat{D}^j más-menos un porcentaje que no debe ser mayor al 20%. Si consideramos $j=1\dots N$ el número de medidas de distancia que han pasado la etapa de filtrado (23), en la etapa final (24) 20 se estima la velocidad media del vehículo como la media de todas las velocidades que han pasado por la etapa de filtrado y que son, por lo tanto, estimaciones de velocidad de error mínimo, esto es:

25

$$V = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \frac{D^j}{t_A^j - t_B^j}$$

Para comprobar la precisión del sistema se equipa un vehículo con un GPS diferencial de gama alta (alta precisión y frecuencia de 20Hz), que proporciona medidas de posición con errores menores a los 2.5cm (para un tramo de 6m implica errores de velocidad relativos menores a 0.83%). Los datos del GPS diferencial se sincronizan de 30

igual forma a partir de un servicio GPSD con un cliente NTP ejecutado en un procesador embarcado en el vehículo. De esta forma se pueden asociar las medidas de posición absolutas dadas por el GPS diferencial con las medidas obtenidas desde las cámaras. Se pide a un conductor experimentado que pase cuatro veces por el 5 punto de medición, a unas velocidades de {10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80} kilómetros por hora aproximadamente. Se calculan los errores de velocidad tras aplicar el procedimiento anteriormente descrito, y comparándolos con las velocidades calculadas usando para ello el GPS diferencial de alta precisión. Los resultados para todas las velocidades se muestran en la Tabla I.

10

TABLA I

Velocidad aproximada (km/h)	Error medio absoluto (km/h)	Desviación estándar (km/h)	Error máximo (km/h)
10	0.90	0.31	1.24
20	1.28	0.27	1.51
30	1.76	0.16	1.92
40	1.63	0.27	2.01
50	1.66	0.50	2.17
60	1.70	0.81	2.62
70	0.45	0.17	0.63
80	2.13	0.41	2.52

Como se puede observar los errores máximos siempre están por debajo de los 3 km/h, requisito imprescindible para poder obtener el certificado de examen de modelo por el 15 Centro Español de Metrología. Así también el error medio absoluto es de 1.44km/h.

Aplicación industrial

La patente objeto de esta invención tiene su campo de aplicación en la industria de los sistemas inteligentes de transporte, y más concretamente, en las empresas encargadas de la comercialización y mantenimiento de cinemómetros de precisión para la detección de velocidad de vehículos a motor en distintos tipos de vías. La ventaja fundamental de la tecnología propuesta viene dada por el coste asociado que es mucho menor que el coste relativo de los cinemómetros puntuales basados en 20 radar o láser. La ventaja fundamental de la tecnología propuesta viene dada por el coste asociado que es mucho menor que el coste relativo de los cinemómetros puntuales basados en radar o láser. La ventaja fundamental de la tecnología propuesta viene dada por el coste asociado que es mucho menor que el coste relativo de los cinemómetros puntuales basados en 25 radar o láser.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la detección puntual de velocidad de vehículos a motor caracterizado por:
 - 5 a. Comprender al menos dos cámaras ubicadas en un mismo punto de medición, con distinta distancia focal, y distinta orientación respecto del plano de la vía, para capturar imágenes de vehículos a motor en al menos dos regiones diferentes de un mismo carril separadas una distancia óptima para proporcionar medidas de velocidad de error mínimo.
 - 10 b. Calcular la distancia óptima entre dichas regiones fijando las distancias de la región más cercana al punto de medición y derivando la ecuación del error de velocidad respecto de las distancias más lejanas, igualándola a cero y resolviendo para dichas distancias.
 - 15 c. Calcular los parámetros intrínsecos de las cámaras, así como la rotación y traslación de éstas respecto del plano de la vía mediante un proceso de calibración.
 - 20 d. Calcular para cada imagen tomada por cada cámara la distancia relativa del vehículo al punto de medición a partir de la localización precisa en las imágenes de la matrícula, el conocimiento previo de sus dimensiones, según las ecuaciones de proyección de las cámaras.
 - e. Almacenar para un mismo vehículo todas las distancias relativas calculadas por las dos cámaras, y asociarles una marca de tiempo precisa.
 - f. Asociar todas las combinaciones posibles de distancias relativas entre las dos cámaras a partir de todas las imágenes disponibles y calcular para cada combinación la distancia recorrida por el vehículo.
 - 25 g. Eliminar aquellas combinaciones en las que la distancia recorrida por el vehículo se aleje más de un 20% de la distancia óptima requerida en cada caso para obtener un error mínimo en el cálculo de la velocidad.
 - h. Calcular la velocidad para todas las combinaciones de distancia entre imágenes de ambas cámaras que se encuentren a la distancia óptima más-menos un 20%, como la división entre la distancia y el tiempo transcurrido entre cada par de imágenes concreto.
 - i. Calcular la velocidad final del vehículo a motor como la media de todas las velocidades previamente calculadas, esto es, como la media de todas las

medidas de velocidad obtenidas a partir de distancias cercanas al punto óptimo de la curva que relaciona el error en velocidad respecto de la distancia del tramo en el que se está midiendo.

- 5 2. Procedimiento para la detección puntual de velocidad de vehículos a motor según la reivindicación [1] caracterizado porque la distancia relativa de los vehículos a las cámaras se calcula a partir de la homografía definida por el plano de la matrícula y sus puntos característicos, esto es, las esquinas que definen los límites de la matrícula así como las esquinas de las regiones que encuadran los caracteres alfanuméricos de
10 la matrícula, respecto de la esquina superior izquierda de la matrícula.
- 15 3. Procedimiento para la detección puntual de velocidad de vehículos a motor según las reivindicaciones [1] y [2] caracterizado porque comprende un sistema de iluminación artificial en el espectro infrarrojo o visible para condiciones nocturnas de visibilidad, activado de forma automática mediante célula fotosensible, y pulsado mediante un hardware de sincronismo a la misma velocidad que las cámaras y con un tiempo de encendido igual al tiempo de exposición de éstas.
- 20 4. Procedimiento para la detección puntual de velocidad de vehículos a motor según las reivindicaciones [1]-[3] caracterizado porque las cámaras pueden configurarse de manera que capturen imágenes de más de un carril.
- 25 5. Procedimiento para la detección puntual de velocidad de vehículos a motor según las reivindicaciones [1]-[4] caracterizado porque las cámaras pueden configurarse para medir la velocidad de vehículos en ambos sentidos, esto es, vehículos que se acerquen al punto de medición o se alejen de éste.

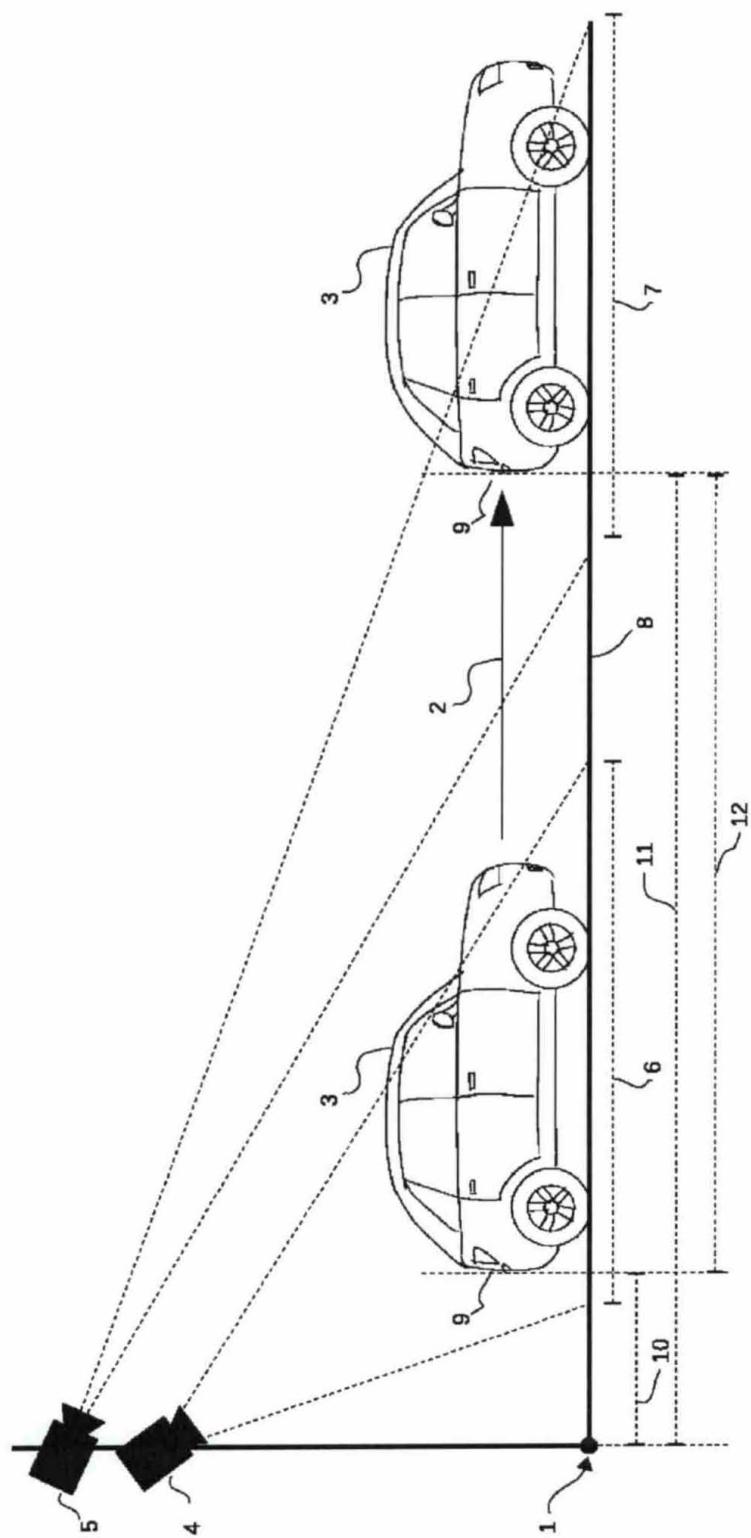


Figura 1

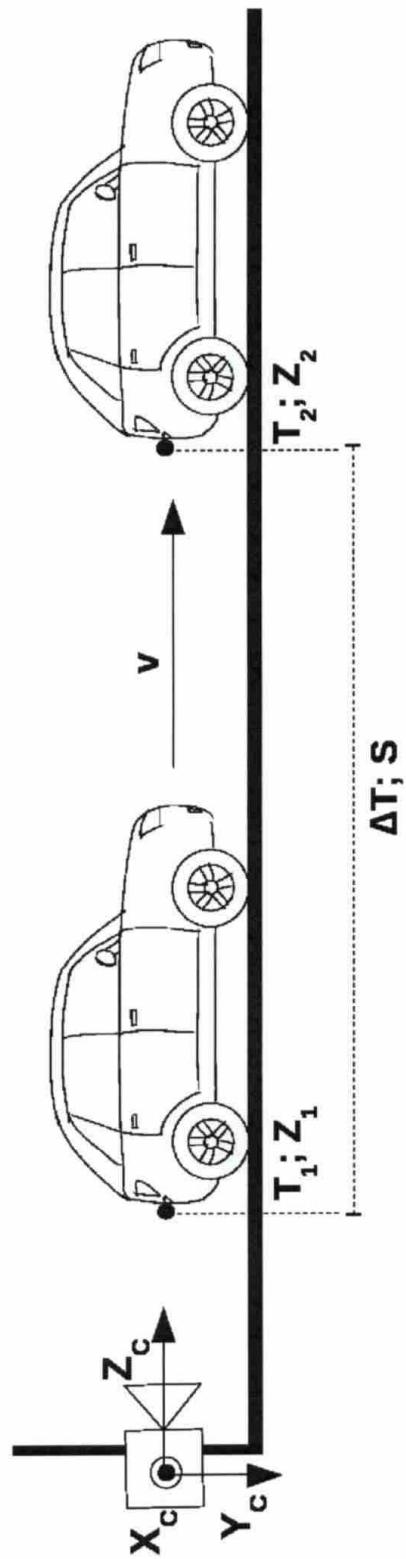


Figura 2

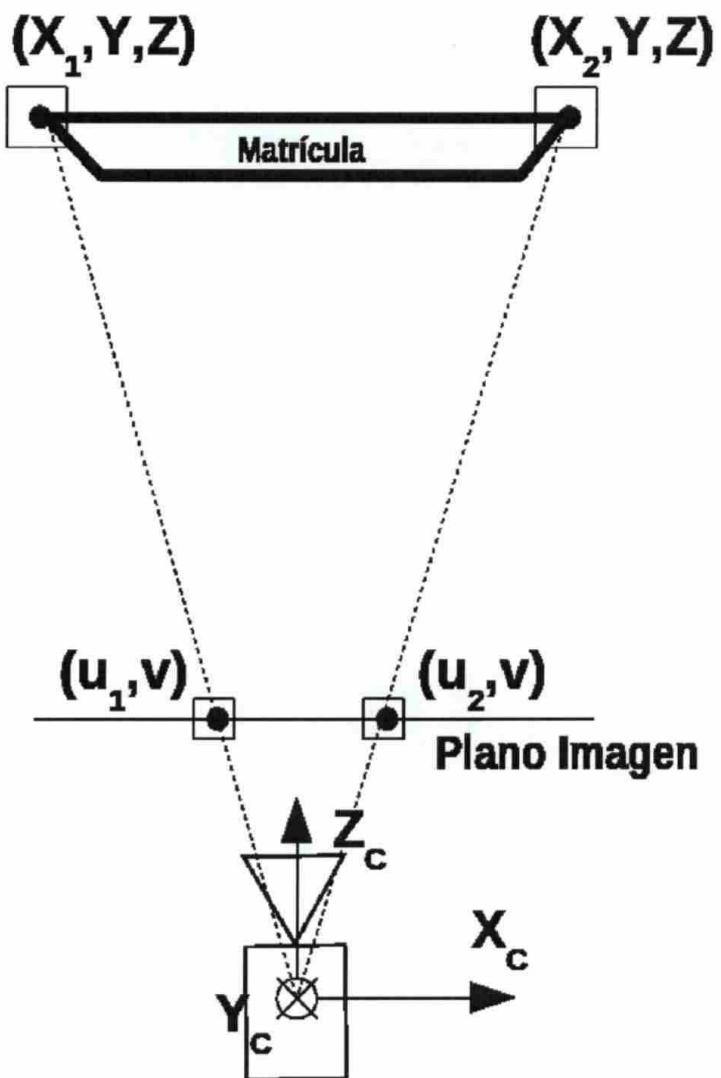


Figura 3

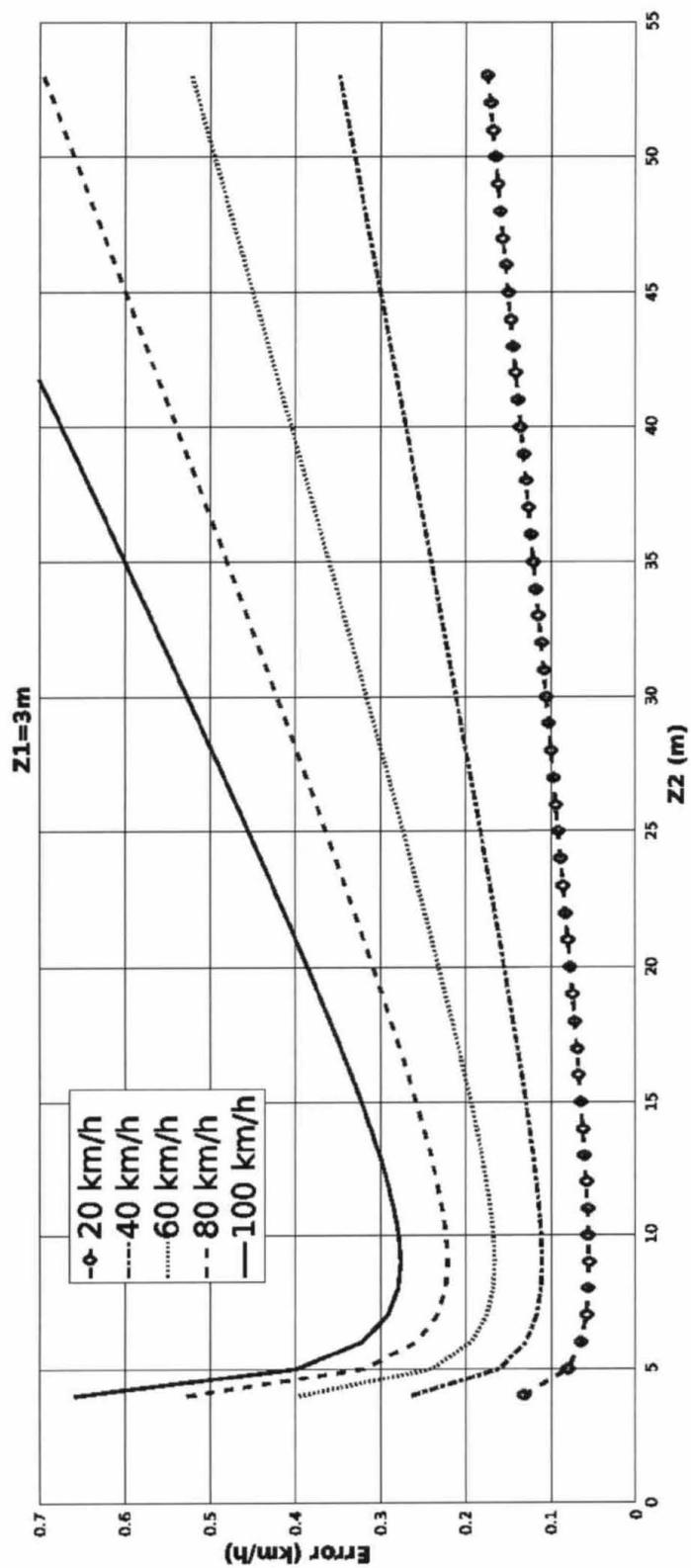


Figura 4

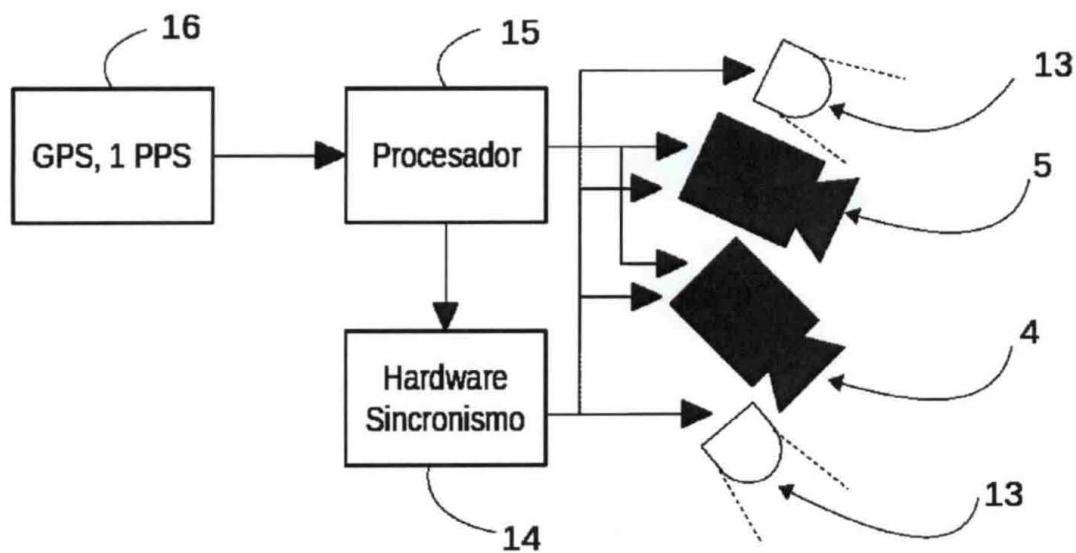


Figura 5

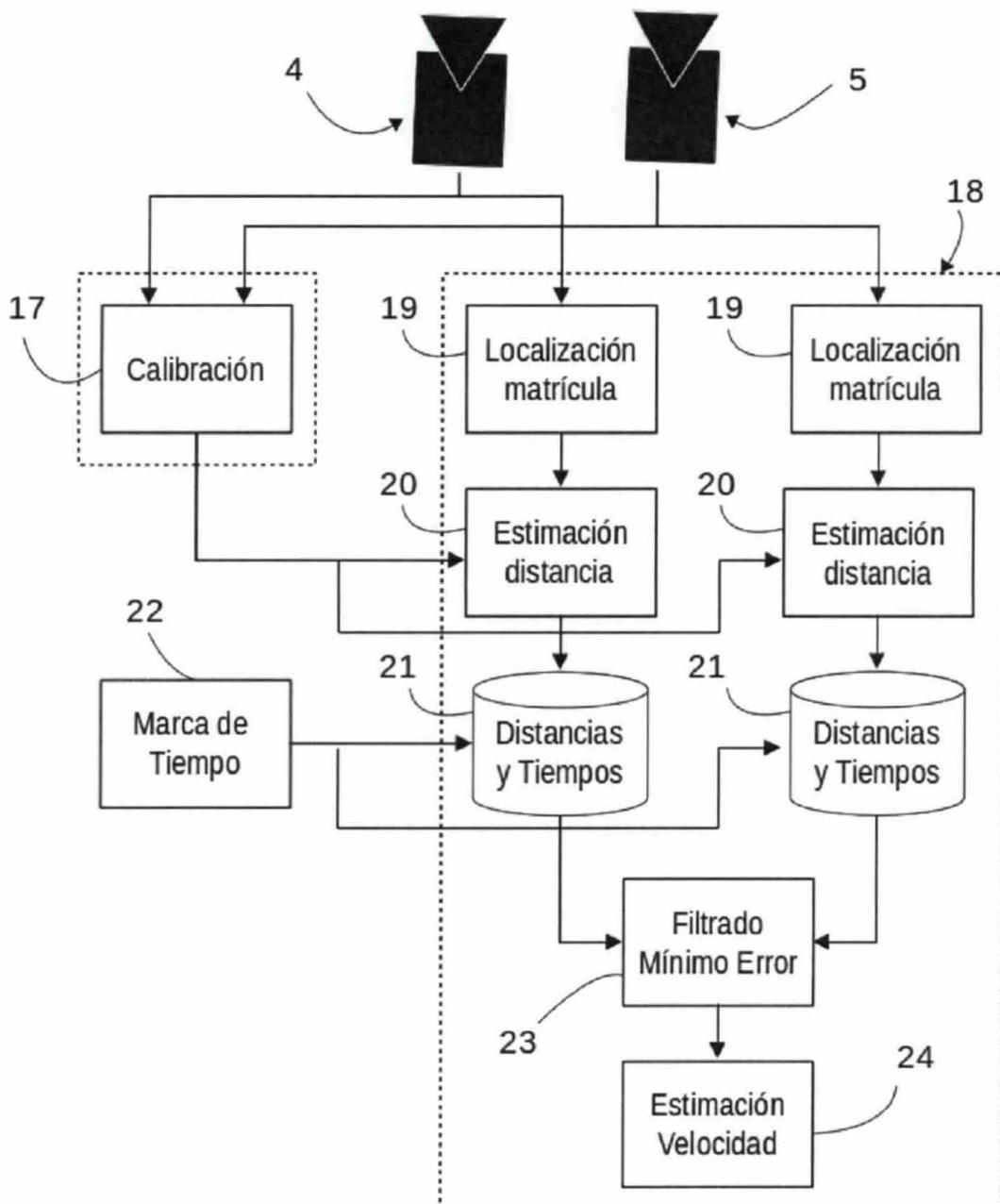


Figura 6

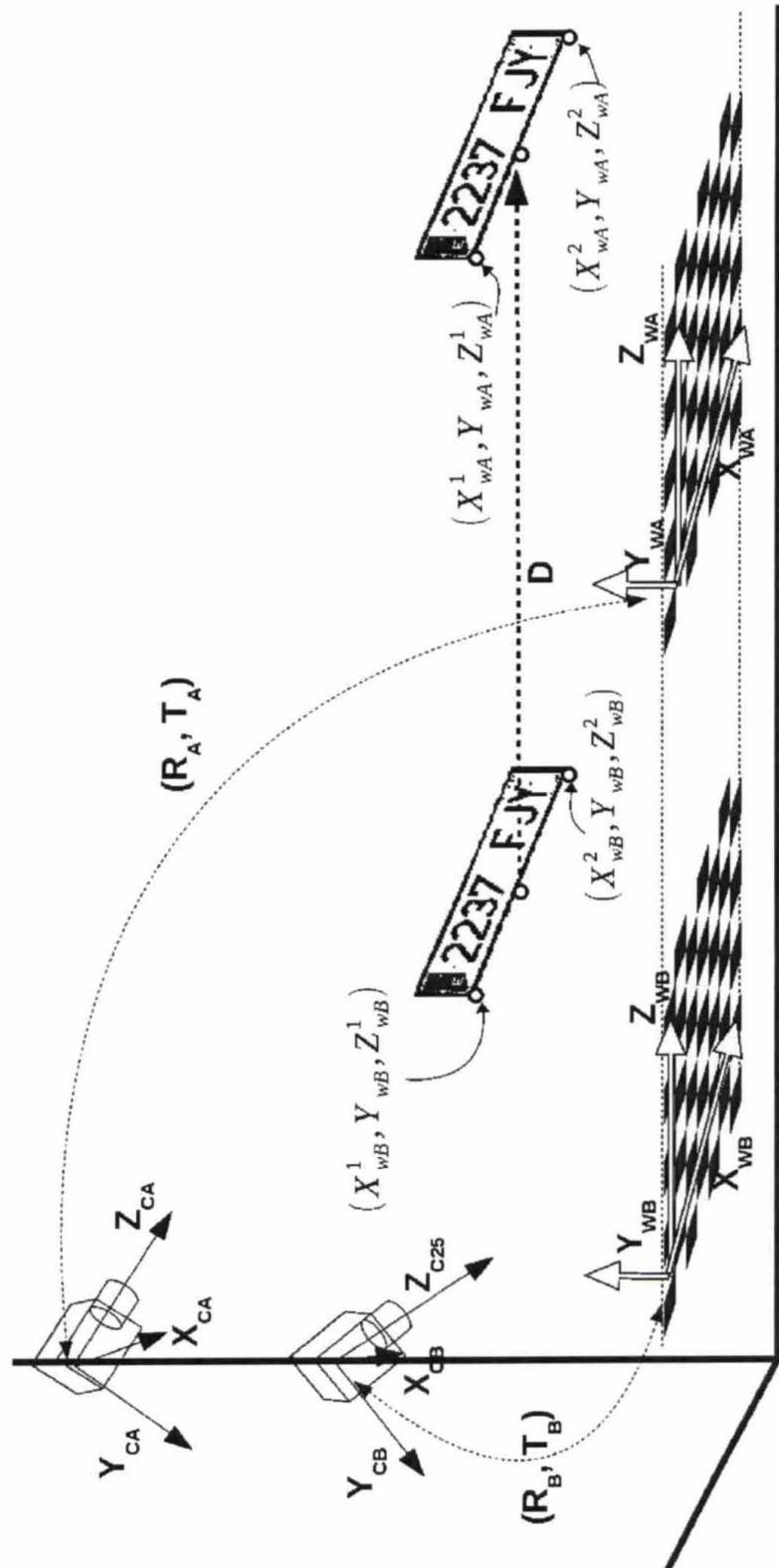


Figura 7



Figura 8



OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA

(21) N.º solicitud: 201600904

(22) Fecha de presentación de la solicitud: 28.10.2016

(32) Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

(51) Int. Cl.: Ver Hoja Adicional

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	56) Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	GB 2488890 A (XEROX CORP) 12/09/2012, Párrafos [0020 - 0049]; figuras.	1-5
A	EP 2597632 A2 (OBSCHESTVO S OGRANICHENNOI OTVETSTVENNOSTYU T RASPOZNAVANIYA) 29/05/2013, Párrafos [0012 - 0016]; figuras.	1-5
A	US 2014267733 A1 (WU WENCHENG et al.) 18/09/2014, Párrafos [0015 - 0052]; figuras.	1-5
A	ES 2137287T T3 (CIT ALCATEL) 16/12/1999, Todo el documento.	1-5

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe 29.06.2017	Examinador P. Pérez Fernández	Página 1/4
--	----------------------------------	---------------

CLASIFICACIÓN OBJETO DE LA SOLICITUD

G08G1/054 (2006.01)

G08G1/052 (2006.01)

G08G1/017 (2006.01)

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

G08G

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 29.06.2017

Declaración**Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)**

Reivindicaciones 1-5
Reivindicaciones

SI
NO

Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)

Reivindicaciones 1-5
Reivindicaciones

SI
NO

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

Base de la Opinión.-

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

1. Documentos considerados.-

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	GB 2488890 A (XEROX CORP)	12.09.2012

2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración**Tiene Novedad/Actividad Inventiva**Reivindicación nº 1

Se establece el documento D01 como el más próximo del Estado de la Técnica.

Dicho documento D01 hace referencia a “ un método de medida de la velocidad de un vehículo” y contiene:

- dos cámaras (102, 108) (ver párrafo 0026; figuras 1, 2).
- dos ordenadores (106, 112) que se comunican y transmiten la velocidad del vehículo y las imágenes seleccionadas a un ordenador central (114) (ver párrafos 0027, 0028).
- los dos ordenadores (106, 112) realizan el reconocimiento de la matrícula del vehículo (ver párrafo 0028).

Las diferencias entre el documento D01 y la reivindicación nº 1 radican en que el documento D01:

- no calcula de la distancia óptima entre las regiones visualizadas por las cámaras (102, 108)
- no se calcula los parámetros intrínsecos de las cámaras, ni la rotación ni la traslación de éstas respecto del plano de la vía mediante un proceso de calibración.
- no se calcula para cada imagen tomada por las cámaras la distancia relativa del vehículo al punto de medición.
- no se asocia todas las combinaciones de distancias relativas entre las dos cámaras y no calcula para cada combinación, la distancia recorrida por el vehículo.
- tampoco se desechan las combinaciones en las que la distancia recorrida por el vehículo sea un 20% diferente de la distancia óptima.
- La velocidad final del vehículo no es la media de todas velocidades previamente calculadas.

Estas diferencias no resultan tampoco obvias para el Experto en la materia. Por tanto, la reivindicación nº1 posee Novedad, Actividad Inventiva y Aplicación Industrial (Artículos 6.1, 8, 9 LP).

Reivindicaciones nº 2-5

Las reivindicaciones nº 2-5 dependen de la reivindicación nº 1. Por consiguiente, al igual que la reivindicación nº 1, poseen Novedad, Actividad Inventiva y Aplicación Industrial (Artículos 6.1, 8, 9 LP).