

(12) SOLICITUD INTERNACIONAL PUBLICADA EN VIRTUD DEL TRATADO DE COOPERACIÓN EN MATERIA DE PATENTES (PCT)

(19) Organización Mundial de la Propiedad Intelectual
Oficina internacional



(10) Número de Publicación Internacional

WO 2014/020213 A1

(43) Fecha de publicación internacional
6 de febrero de 2014 (06.02.2014) WIPO | PCT

(51) Clasificación Internacional de Patentes:
G06Q 50/30 (2012.01) G08G 1/00 (2006.01)
G06F 19/00 (2011.01)

(21) Número de la solicitud internacional:
PCT/ES2013/070555

(22) Fecha de presentación internacional:
30 de julio de 2013 (30.07.2013)

(25) Idioma de presentación: español

(26) Idioma de publicación: español

(30) Datos relativos a la prioridad:
P201231236 31 de julio de 2012 (31.07.2012) ES

(71) Solicitantes: UNIVERSIDAD DE GRANADA [ES/ES]; Hospital Real., Avda. Del Hospicio S/n, E-18071 Granada (ES). UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID [ES/ES]; C/ Madrid, 126, E-28903 Getafe - Madrid (ES).

(72) Inventores: MARTÍN FERNÁNDEZ, Laura; OTRI - Universidad de Granada, Complejo Administrativo Triunfo, Avda. Hospicio s/n, E-18071 Granada (ES). RUIZ PADILLO, Diego Pablo; OTRI - Universidad de Granada, Complejo Administrativo Triunfo, Avda. Hospicio s/n, E-18071 Granada (ES). MÍGUEZ

ARENAS, Joaquín; Universidad Carlos III de Madrid, Parque Científico Universidad Carlos III Leganés Tecnológico Av. Gregorio Peces Barba, 1, E-28918 Leganés - Madrid (ES). TORRIJA MARTÍNEZ, Antonio José; OTRI - Universidad de Granada, Complejo Administrativo Triunfo, Avda. Hospicio s/n, E-18071 Granada (ES).

(81) Estados designados (a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección nacional admisible): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Estados designados (a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección regional admisible): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), euroasiática (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europea (AL, AT, BE, BG,

[Continúa en la página siguiente]

(54) Title: METHOD AND SYSTEM FOR ESTIMATING ROAD TRAFFIC FLOWS IN ACCORDANCE WITH ENVIRONMENTAL NOISE LEVELS

(54) Título : PROCEDIMIENTO Y SISTEMA PARA ESTIMAR CAUDALES DE TRÁFICO RODADO A PARTIR DE LOS NIVELES DE RUIDO AMBIENTAL

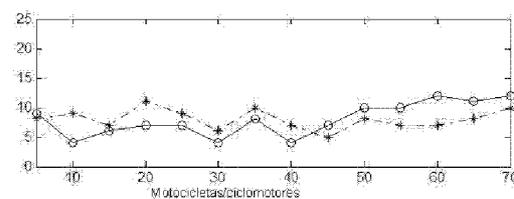
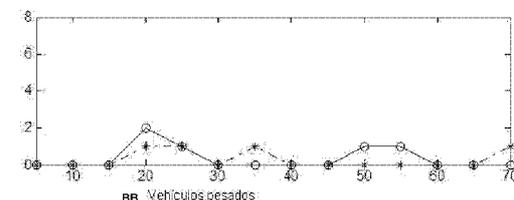
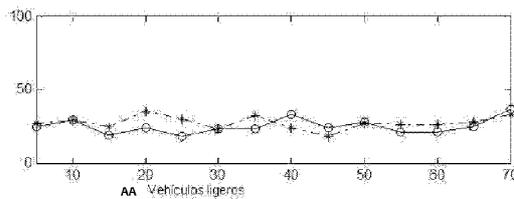


Figura 3

AA Light vehicles
BB Heavy vehicles
CC Motorcycles/mopeds

(57) Abstract: The present invention relates to a method and system for estimating traffic flows on a road during a period of time, using exclusively the measurement of environmental noise on said road. In addition, the invention enables the flows of different types of vehicles to be estimated in real time and without human supervision, in particular light vehicles, heavy vehicles and motorcycles or mopeds.

(57) Resumen: La presente invención describe un procedimiento y un sistema que permiten estimar los caudales de tráfico de una vía durante un periodo de tiempo utilizando exclusivamente la medida del ruido ambiental en dicha vía. Es más, la invención permite estimar en tiempo real y sin supervisión humana los caudales de distintos tipos de vehículos, en particular vehículos ligeros, vehículos pesados y motocicletas o ciclomotorés.



WO 2014/020213 A1

CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU,
IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT,
RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG,
CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD,
TG).

Publicada:

- *con informe de búsqueda internacional (Art. 21(3))*
- *antes de la expiración del plazo para modificar las reivindicaciones y para ser republicada si se reciben modificaciones (Regla 48.2(h))*

PROCEDIMIENTO Y SISTEMA PARA ESTIMAR CAUDALES DE TRÁFICO RODADO A PARTIR DE LOS NIVELES DE RUIDO AMBIENTAL

OBJETO DE LA INVENCION

La presente invención se enmarca de manera general en el campo de los sistemas de control de tráfico, y más concretamente en el campo del análisis de las señales sonoras producidas por el tráfico rodado.

El objeto principal de la invención es un método para estimar los caudales de tráfico rodado en una vía durante un periodo de tiempo determinado a partir únicamente de la medida del ruido ambiental en dicha vía de tráfico.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

En la actualidad existen numerosos sistemas que estiman los caudales de tráfico en el tiempo, como por ejemplo los patrones estáticos de tiempo, las espiras magnéticas y las cámaras de grabación.

Los patrones estáticos de tráfico están definidos por funciones matemáticas que dependen, en general, de la zona o configuración urbana, del día de la semana y de la hora en la que va a ser estudiado el tráfico. Sin embargo, un inconveniente de este sistema es que estos patrones no tienen en cuenta la variación en el caudal de vehículos en un mismo periodo de tiempo, y además hay una gran cantidad de posibles patrones espacio-temporales de comportamiento del tráfico que habría que ajustar a cada caso concreto (H. Lehmann: "Directed and diffusive contributions to urban traffic flow patterns", *Europhys. Lett.*, 64 (2), pp. 288–294, 2003).

Las espiras magnéticas son elementos metálicos colocados bajo el propio firme de la vía que emplean los fenómenos físicos del electromagnetismo para detectar el paso de los vehículos. Cuando un vehículo pasa por encima del sistema, se genera una variación en el campo magnético causada por la masa

metálica del vehículo (US 3,571,789). Sin embargo, la instalación de espiras magnéticas requiere cortar el pavimento para su instalación, interrumpiendo por tanto la circulación. Además, sólo se puede detectar un vehículo por cada bobina instalada, lo que puede suponer que no se detecten vehículos que circulan en paralelo.

En tercer lugar, está el uso de cámaras que graban el tráfico para su análisis posterior o en tiempo real. Un importante inconveniente de este método es el elevado coste de la instalación y mantenimiento del sistema. Además, si el conteo no se realiza de forma automática, no se pueden obtener datos en tiempo real y se necesita personal que supervise las imágenes, lo que encarece aún más el procedimiento. Por otro lado, si el conteo se realiza de forma automática, sin supervisión, se necesita el tratamiento de un gran volumen de información en formato video, además de disponer de una instalación adecuada de cámaras que vigilen todos los sentidos de la vía.

En definitiva, existe aún en este campo la necesidad de desarrollar sistemas que permitan conocer el caudal de tráfico rodado por una vía de un modo económico y fácil de implementar.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

El ambiente sonoro está determinado por un amplio rango de magnitudes que influyen en los niveles de presión sonora. Algunas de dichas magnitudes están relacionadas con las propias fuentes de ruido, mientras que otras se refieren a condiciones ambientales o del entorno que pueden contribuir a amortiguar o amplificar el ruido. La mayoría de las magnitudes son estáticas en el tiempo, como por ejemplo el ancho o la altura de una calle en particular, mientras que otras pueden cambiar significativamente en función del tiempo y del lugar, como por ejemplo los caudales de tráfico.

Los inventores de la presente invención han desarrollado un procedimiento que permite estimar los caudales de tráfico de una vía durante un periodo de tiempo

utilizando exclusivamente la medida del ruido ambiental en dicha vía. Es más, la invención permite estimar en tiempo real y sin supervisión humana los caudales de distintos tipos de vehículos, en particular vehículos ligeros, vehículos pesados y motocicletas o ciclomotores. A diferencia de algunos métodos conocidos, como las espiras magnéticas, la invención propuesta solo requiere el uso de sonómetros u otros dispositivos de medida de la presión sonora (que ya se encuentran instalados en las calles de numerosos municipios), y de un procesador que permita aplicar el método de la invención a los datos obtenidos. Se trata, por tanto, de un método simple y sencillo, y cuya implantación es muy poco invasiva. También sería posible combinar este sistema con otros sensores que hubiera disponibles para obtener datos adicionales del entorno urbano en tiempo real.

El procedimiento de la invención es aplicable en entornos urbanos con una densidad media o alta de tráfico donde éste constituya la fuente dominante de ruido, en particular más de 10 dB de nivel medio respecto al ruido de otras fuentes. Además, el procedimiento de la invención presenta la ventaja de obtener una mayor precisión que los métodos anteriores, ya que se ha comprobado que consigue predecir el número total de vehículos cada 5 minutos con un porcentaje de error inferior al 17% de media.

Por otro lado, este método no necesita gran cantidad de patrones estáticos que determinen el comportamiento del tráfico, ya que en cada periodo de tiempo se obtiene la estimación de los caudales de tráfico correspondientes a los niveles de presión sonora recogidos en la calle.

La información obtenida por medio del método de la invención puede emplearse, por ejemplo, para:

- Controlar el tipo de tráfico por zonas urbanas, por ejemplo, restringiendo la circulación de vehículos pesados en determinadas calles.
- Obtener información adicional para la configuración urbana, como decidir el número de aparcamientos para motocicletas.

- Regular semáforos.
- Estudiar el caudal de tráfico y su relación con el impacto sufrido por la población del área urbana estudiada.
- Desarrollar sonómetros que muestren de forma simultánea los niveles de presión sonora y los caudales de tráfico registrados durante una medición.

De manera general, un modelo de espacios de estados es una representación matemática de un sistema físico descrito mediante un conjunto de entradas y salidas relacionadas por ecuaciones en diferencias de primer orden que se pueden expresar de forma matricial. Fundamentalmente, el procedimiento de estimación que propone esta invención está basado en modelar el sistema dinámico asociado al tráfico rodado como un espacio de estados.

En el presente documento, las ecuaciones que definen el modelo de espacio de estados están basadas en métodos estadísticos de tipo bayesiano en los que se emplean observaciones o información obtenida con anterioridad (*a priori*) para calcular la probabilidad de que una estimación o hipótesis sea cierta. Las variables de estado en el método de la invención son aquellas que influyen en los niveles de presión sonora de la vía en cuestión, y se dividen en variables dinámicas, es decir, los propios caudales de vehículos pesados, ligeros, y motocicletas/ciclomotores que se desea calcular, y variables estáticas, como la velocidad del tráfico, tipo de día, anchura y altura de la calle, u otras.

Basándose en el espacio de estados planteado, se aplica un método de filtrado, preferentemente un filtro de Kalman extendido, para llevar a cabo la estimación de los caudales de tráfico rodado deseados.

En general, en una aproximación estadística del filtrado lineal, se asume la existencia de ciertos parámetros estadísticos (por ejemplo, la media y la varianza) de la señal útil y un ruido aditivo no deseado. El filtro lineal recibe como entrada información sobre el ruido e intenta minimizar los efectos de

dicho ruido en la salida de acuerdo a algún criterio estadístico. Un posible criterio para este problema de optimización es reducir al mínimo el valor cuadrático medio del error de la señal que se define como la diferencia entre la respuesta deseada y la salida obtenida del filtro.

El filtro de Kalman ha llegado a ser un componente integrado dentro de miles de sistemas de navegación tanto militares como civiles. Este algoritmo aparentemente simple, ha sido utilizado para integrar convenientemente los datos de los sensores de navegación para alcanzar un rendimiento óptimo de todo el sistema. Para proporcionar estimaciones de las variables del sistema, tales como coordenadas de posición, el filtro usa modelos estadísticos que ponderan apropiadamente cada una de las mediciones nuevas relativas a la información pasada. A causa de que éste da un óptimo rendimiento, versatilidad y fácil implementación, el filtro Kalman ha sido popular especialmente en los GPS (ver, por ejemplo, la patente US 6,859,170).

Según un primer aspecto de la invención, el procedimiento para estimar caudales (x_t) de tráfico rodado en una vía a partir de los niveles de presión sonora ambiental (y_t) generados por dicho tráfico rodado comprende los siguientes pasos:

- 1) Medir unas variables estáticas (θ) que caracterizan la vía. Preferiblemente, estas variables estáticas (θ) comprenden al menos las siguientes: tipo de día, velocidad media y número de carriles; y más preferiblemente, comprenden además: ancho de la calle y altura de los edificios.
- 2) Medir unos niveles de presión sonora ambiental (y_t) generados por tráfico rodado. De acuerdo con una realización preferida de la invención, estos niveles de presión sonora ambiental (y_t) se miden por medio de un sonómetro dispuesto a 2 metros de distancia de fachadas reflectantes y a una altura de 1,5 metros sobre el nivel del suelo.

- 3) Estimar los caudales (x_t) de tráfico rodado a partir de un modelo de espacio de estados que relaciona dichos caudales (x_t) de tráfico rodado y el conjunto de variables estáticas (θ) que caracterizan la vía con los niveles de presión sonora ambiental (y_t). De acuerdo con una realización preferida de la invención, los caudales (x_t) de tráfico rodado comprenden el número de vehículos ligeros, el número de vehículos pesados, y el número de motocicletas que pasan por la vía en cuestión durante un determinado período de tiempo.

Así, de acuerdo con una realización preferida, el espacio de estados está definido por las siguientes expresiones:

$$x_t: p(x_t|x_{t-1}),$$

$$y_t: p(y_t|x_t, \theta),$$

donde $p(x_t|x_{t-1})$ es la distribución condicional de los caudales de tráfico rodado, y $p(y_t|x_t, \theta)$ es la densidad condicional de los niveles de presión sonora (y_t) dados los caudales (x_t) de tráfico rodado y el conjunto de variables estáticas (θ).

Preferentemente, la densidad condicional de los niveles de presión sonora se aproxima según la expresión:

$$p(y_t|x_t, \theta) = N(y_t; g(x_t, \theta), \mathbf{D})$$

donde $N(\mathbf{z}; \boldsymbol{\mu}, \mathbf{C})$ denota una función de densidad de probabilidad gaussiana de \mathbf{z} con el vector de medias $\boldsymbol{\mu}$ y la matriz de covarianza \mathbf{C} , $g(x_t, \theta)$ es una función de predicción no lineal de los niveles de presión sonora a partir de las variables de estado, y \mathbf{D} es una matriz de covarianza diagonal.

A su vez, la función $g(x_t, \theta)$ se modela preferentemente por medio de una red neuronal artificial, y más preferentemente una red de tipo *backpropagation* de dos capas, que tiene un número de entradas que corresponde al número de tipos de caudales (x_t) de tráfico rodado más las variables estáticas (θ), y una única salida relacionada con el nivel de presión sonora (y_t), y donde la primera

capa utiliza una función de transferencia tangente sigmoïdal hiperbólica y la segunda capa utiliza una función de transferencia lineal.

Por otro lado, la densidad condicional de los caudales (x_t) de tráfico rodado se aproxima preferentemente según:

$$p(x_{i,t}|x_{i,t-1}) = N(x_{i,t}; x_{i,t-1}, \alpha_i^2), \quad i = 1,2,3,$$

donde α_i^2 es una varianza calculada a partir de la distribución gaussiana de la evolución media de unos caudales de tráfico recogidos con anterioridad.

En una realización preferida de la invención, la densidad condicional de los caudales de tráfico se aproxima a por medio de un filtrado de Kalman extendido, más preferentemente a través de una distribución gaussiana del tipo:

$$p(\mathbf{x}_t|y_{1:t}) = N(\mathbf{x}_t; \bar{\mathbf{x}}_t, \mathbf{P}_t)$$

donde $y_{1:t} = (y_1, \dots, y_t)$ son los niveles de presión sonora (niveles medios de presión sonora y su composición espectral) observados hasta la medición t . $\bar{\mathbf{x}}_t$ indica la media y \mathbf{P}_t la matriz de covarianza *a posteriori* de los caudales de tráfico durante la medición t .

Así, para obtener los caudales de tráfico rodado deseados preferentemente se llevan a cabo los siguientes pasos:

a) Predicción

(a1) predecir los caudales de tráfico en el tiempo: $\bar{\mathbf{x}}_{t|t-1} = \bar{\mathbf{x}}_{t-1}$,

(a2) predecir la covarianza en el tiempo: $\mathbf{P}_{t|t-1} = \mathbf{P}_{t-1} + \mathbf{V}$,

donde \mathbf{V} es una matriz de covarianza diagonal,

b) Actualización de la medida,

(b1) calcular la ganancia de Kalman: $\mathbf{k}_t = \mathbf{P}_{t|t-1} \mathbf{h}_t^T (\mathbf{h}_t \mathbf{P}_{t|t-1} \mathbf{h}_t^T + \sigma_1^2)^{-1}$,

(b2) actualizar las predicciones con la y_t medida: $\bar{\mathbf{x}}_t = \bar{\mathbf{x}}_{t|t-1} + \mathbf{k}_t (y_t - g(\bar{\mathbf{x}}_{t|t-1}, \boldsymbol{\theta}))$,

(b3) actualizar la covarianza: $\mathbf{P}_t = \mathbf{P}_{t|t-1} - \mathbf{k}_t \mathbf{h}_t \mathbf{P}_{t|t-1}$,

donde k_t es la ganancia de Kalman, $h_t \triangleq \left. \frac{\partial g(x_t, \theta)}{\partial x_t} \right|_{(x_t = \bar{x}_{t|t-1})}$ es el Jacobiano del modelo de medida, $\bar{x}_{t|t-1}$ y $P_{t|t-1}$ son las estimaciones *a priori*, y \bar{x}_t y P_t son las estimaciones *a posteriori*.

El resultado final de este proceso es la obtención de \bar{x}_t , es decir, el caudal estimado de tráfico rodado dividido en tipos de vehículos en cada intervalo temporal considerado.

Aunque el procedimiento descrito puede ser implementado por medio de ordenadores y procesos ejecutados en tales equipos, la invención se extiende igualmente a los programas de ordenador, particularmente los programas de ordenador dispuestos sobre o dentro de una portadora, adaptados para llevar a la práctica la invención. El programa puede tener la forma de código fuente, código objeto, una fuente intermedia de código y código objeto, por ejemplo, como en forma parcialmente compilada, o en cualquier otra forma adecuada para uso en la puesta en práctica de los procesos según la invención.

La portadora puede ser cualquier entidad o dispositivo capaz de soportar el programa. Por ejemplo, la portadora podría incluir un medio de almacenamiento, por ejemplo, una memoria ROM, una memoria CD ROM o una memoria ROM de semiconductor, o un soporte de grabación magnética, por ejemplo, un disco flexible o un disco duro. Como variante, la portadora podría ser un circuito integrado en el que va incluido el programa, estando el circuito integrado adaptado para ejecutar, o para ser utilizado en la ejecución de, los procesos correspondientes.

Además, la portadora puede ser una portadora transmisible, por ejemplo, una señal eléctrica u óptica que podría transportarse a través de cable eléctrico u óptico, por radio o por cualesquiera otros medios. Cuando el programa va incorporado en una señal que puede ser transportada directamente por un cable u otro dispositivo o medio, la portadora puede estar constituida por dicho cable u otro dispositivo o medio.

Un segundo aspecto de la invención describe un sistema para estimar caudales (x_t) de tráfico rodado en una vía a partir de los niveles de presión sonora ambiental (y_t) generados por dicho tráfico rodado, que comprende los siguientes elementos:

- un medio de adquisición de la presión sonora ambiental (y_t) en una vía;
- y
- un medio de procesamiento conectado a dicho medio de adquisición y adaptado para llevar a cabo el procedimiento descrito anteriormente con el objeto de estimar los caudales de tráfico rodado.

Además, el sistema comprende, preferentemente, medios de visualización que permitan visualizar los caudales de tráfico rodado estimados calculados por el medio de procesamiento.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Figura 1.- Muestra una representación esquemática del método propuesto mediante un diagrama de bloques.

Figura 2.- Representación mediante un diagrama de flujo de una realización del método propuesto (basado en un filtro de Kalman extendido).

Figura 3.- Muestra un ejemplo de las predicciones de los caudales de tráfico (medias *a posteriori* \bar{x}_t) generadas por el método propuesto utilizando un filtro de Kalman extendido en una secuencia de 70 minutos.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

Se describe a continuación la invención con mayor detalle haciendo referencia a las figuras adjuntas. Concretamente, la Fig. 1 muestra un esquema del método de la invención mediante un diagrama de bloques que representa algunos de los elementos que comprende un sistema para llevar a cabo el método de la

invención. Se aprecia cómo se obtienen los niveles de presión sonora (20) por medio de una estación de monitorización (21). Estos datos son transmitidos a un medio de transmisión/almacenamiento (22), según si los datos serán tratados inmediatamente o en un momento posterior. A continuación, los datos de presión sonora (20) pasan a un procesador (23) que estima los caudales de tráfico rodado teniendo en cuenta las características de la vía (19) de acuerdo con el procedimiento de la presente invención. Por último, se utiliza un dispositivo de salida (24), por ejemplo una pantalla o similar, para permitir la visualización de los caudales de tráfico estimados (25).

Desde este punto de vista, el método propuesto se puede describir por medio de los siguientes cuatro pasos:

Paso 1. Inicialización.

Para ajustar el modelo de filtrado que se va a aplicar en el Paso 3, se miden las variables de estado estáticas que caracterizan la vía estudiada. Las variables de estado estáticas utilizadas se han seleccionado a partir de estudios previos sobre variables acústicas, como el artículo de A. J. Torija, N. Genaro, D. P. Ruiz, A. Ramos-Ridao, M. Zamorano, I. Requena titulado "*Priorization of acoustic variables: Environmental decision support for the physical characterization of urban sound environments*", Building and Environment, nº 45, 2010, págs. 1477–1489.

De acuerdo con esto, las variables elegidas se muestran en la Tabla 1, y comprenden la velocidad media en la vía, el número de carriles y al menos una variable cualitativa que caracteriza el tipo de día en función de unos criterios preestablecidos, además de la anchura de la vía y la altura de los edificios circundantes. Se ha comprobado experimentalmente que al menos se necesitan las variables 1, 2 y 3 para conseguir predicciones de los caudales de tráfico con suficiente precisión, si bien en zonas urbanas es preferible utilizar al menos las 5 variables.

	Variables de estado estáticas
1	Tipo de día
2	Velocidad media
3	Número de carriles
4	Ancho de la vía
5	Altura de los edificios circundantes

Tabla 1. Variables de estado estáticas.

Obviamente, cuantas más variables estáticas se tengan en cuenta mejor se podrá caracterizar el entorno y el modelo ajustado será más preciso. No obstante, con estas variables ya se consigue una precisión suficiente para estimar el caudal de tráfico rodado en el tiempo, distinguiendo entre los tres principales vehículos de tracción motora: vehículos pesados, vehículos ligeros, y motocicletas/ciclomotores.

Paso 2. Medida del ruido urbano.

La medida de los niveles de presión sonora se realiza a través de una estación de monitoreo instalada según los protocolos internacionales (“ISO 1996-2:2007” y “Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002; relating to the assessment and management of environmental noise”) conectada a un sistema de transmisión de datos si se desea obtener la información en tiempo real o a un sistema de almacenamiento de datos.

Paso 3. Procesado de los datos

En base a un modelo de predicción ajustado previamente en el Paso 1, se procesan los datos experimentales medidos. La implementación del proceso de predicción se lleva a cabo mediante un método estadístico de filtrado (Filtro de Kalman extendido, filtro de partículas u otro) que utiliza los niveles de presión sonora recogidos en el Paso 2 en la vía analizada.

Paso 4. Visualización de predicciones.

Una vez procesados los datos, el procedimiento muestra los caudales predichos de tráfico o tránsito medios de la vía (caudal de vehículos ligeros, caudal de vehículos pesados y caudal de motocicletas-ciclomotores), incluyendo los vehículos de ambos sentidos de circulación.

En este método, los valores de las variables de estado estáticas medidos en el Paso 1 se almacenan en el vector $\theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_S)$, donde S es el número de variables estáticas, y las variables de estado que cambian en el tiempo y que se pretenden estimar, se recogen en el vector x_t , donde $t = 0, 1, \dots, T$ y T es el número de pasos de tiempo.

En una realización particular, se considerarán 3 tipos de vehículos cuyo caudal se recoge en el vector x_t : el caudal de vehículos ligeros ($x_{1,t}$), el caudal de vehículos pesados ($x_{2,t}$) y el caudal de motocicletas y ciclomotores ($x_{3,t}$). A modo de ejemplo, se pueden considerar como vehículos ligeros a los vehículos automóviles acondicionados para el transporte de mercancías cuyo peso máximo autorizado no exceda de 6 toneladas, o que, aun sobrepasando dicho peso, tengan una capacidad de carga útil no superior a 3,5 toneladas, y como vehículos pesados a los vehículos automóviles acondicionados para el transporte de mercancías cuyo peso máximo autorizado sea superior a 6 toneladas y cuya capacidad de carga exceda de 3,5 toneladas; las cabezas tractoras tendrán la consideración de vehículos pesados cuando tengan una capacidad de arrastre de más de 3,5 toneladas de carga.

Los indicadores del nivel de presión sonora y su composición espectral medidos en el Paso 2 están representados por un vector con dimensión N , $y_t = (y_{1,t}, \dots, y_{N,t})$, donde $y_{j,t}$ ($j = 1, \dots, N$) representa el valor del indicador del nivel de presión sonora j en la medición t -ésima.

El modelo de espacio de estados que representa conjuntamente las dinámicas de las variables de estado y la relación entre estas variables y los indicadores del

nivel de presión sonora se define de la siguiente forma

$$\mathbf{x}_t: p(\mathbf{x}_t | \mathbf{x}_{t-1}), \quad (1)$$

$$\mathbf{y}_t: p(\mathbf{y}_t | \mathbf{x}_t, \boldsymbol{\theta}), \quad (2)$$

donde $p(\mathbf{x}_t | \mathbf{x}_{t-1})$ denota la distribución condicional de las variables dinámicas y $p(\mathbf{y}_t | \mathbf{x}_t, \boldsymbol{\theta})$ denota la densidad condicional de los niveles de presión sonora dadas las variables de estado.

De forma preferente, se supondrá que cada $x_{i,t}$ es un proceso Markoviano de primer orden, lo que significa que el estado o número de vehículos contabilizados en el periodo de tiempo t sólo depende del estado o número de vehículos contabilizados en el periodo $t - 1$.

De forma preferente, pero no limitativa, se supondrá que la densidad condicional (o verosimilitud) de los niveles de presión sonora es una distribución gaussiana, y se define como

$$p(\mathbf{y}_t | \mathbf{x}_t, \boldsymbol{\theta}) = N(\mathbf{y}_t; g(\mathbf{x}_t, \boldsymbol{\theta}), \mathbf{D}) \quad (3)$$

donde $N(\mathbf{z}; \boldsymbol{\mu}, \mathbf{C})$ denota la función de densidad de probabilidad gaussiana de \mathbf{z} asociada a una distribución normal con vector de medias $\boldsymbol{\mu}$ y matriz de covarianza \mathbf{C} ; $g(\mathbf{x}_t, \boldsymbol{\theta})$ es la función no lineal de predicción de los niveles de presión sonora a partir de las variables de estado y \mathbf{D} es una matriz de covarianza diagonal con varianzas marginales σ_j^2 , $j = 1, \dots, M$ calculadas a partir de las distribuciones gaussianas de los errores obtenidos al comparar los datos experimentales (recogidos previamente para analizar de forma general el entorno urbano) y las predicciones de la función g .

Para las variables de estado dinámicas, $x_{i,t}$, se utilizará, de forma preferente, un modelo de camino aleatorio simple con la siguiente forma

$$p(x_{i,t} | x_{i,t-1}) = N(x_{i,t}; x_{i,t-1}, \alpha_i^2), \quad i = 1, 2, 3, \quad (4)$$

donde α_i^2 es una varianza calculada a partir de la distribución gaussiana de la evolución media de los caudales de tráfico de tipo i recogidos previamente para

caracterizar el entorno urbano de forma general. Asumimos que las variables de estado cambian independientemente a lo largo del tiempo, es decir,

$$p(\mathbf{x}_t | \mathbf{x}_{t-1}) = \prod_{i=1}^3 p(x_{i,t} | x_{i,t-1}).$$

Bajo estas hipótesis, la densidad condicional de los caudales de tráfico se aproxima numéricamente mediante un método de filtrado a una distribución gaussiana, es decir,

$$p(\mathbf{x}_t | \mathbf{y}_{1:t}) = N(\mathbf{x}_t; \bar{\mathbf{x}}_t, \mathbf{P}_t) \quad (5)$$

donde $\mathbf{y}_{1:t} = (y_1, \dots, y_t)$ son los niveles de presión sonora (niveles medios de presión sonora y su composición espectral) observados hasta la medición t . $\bar{\mathbf{x}}_t$ indica la media y \mathbf{P}_t la matriz de covarianza *a posteriori* de los caudales de tráfico durante la medición t .

Cuando se aplica el método de filtrado se pueden observar uno (y unidimensional) o varios niveles de presión sonora (y multidimensional), es decir, se puede utilizar únicamente un nivel medio de presión sonora, como el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A (L_{Aeq}), o utilizar de forma conjunta el nivel de presión sonora en las bandas de tercio de octava de 40Hz a 4kHz (L_{125Hz} , L_{1kHz} , ...) para mejorar las predicciones del método de filtrado.

El proceso seguido por los métodos de filtrado [G. Welch, G. Bishop: "An Introduction to the Kalman Filter", UNC-Chapel Hill, TR 95-041, 2006, y N. Gordon, D. Salmond, A. F. M. Smith: "Novel approach to nonlinear and non-Gaussian Bayesian state estimation", IEE Proceedings-F, nº 140, vol. 2, 1993, págs. 107–113] generalmente se compone de dos etapas que se repiten a lo largo de la secuencia de tiempo estudiada. Una primera etapa de predicción de las variables de estado (en esta invención, los caudales de tráfico), y una segunda etapa de actualización o corrección de las predicciones previas por parte de las observaciones o medidas realizadas (en esta invención, los niveles de presión sonora).

MODO DE REALIZACIÓN DE LA INVENCIÓN

Para evaluar la validez del método propuesto, se comparan los caudales de tráfico predichos con los datos reales recogidos manualmente en la ciudad de Granada (España). Las estimaciones a corto plazo llevadas a cabo mediante este método son bastante precisas a pesar de la variabilidad del tráfico en los periodos de observación de pocos minutos.

En este experimento se estudia la capacidad para predecir los caudales de tráfico urbano de forma individual utilizando el valor del nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A (L_{Aeq}), cuyo rango oscila entre 49.2 dBA y 76.4 dBA, recogido durante un período de tiempo corto en una calle con un flujo de tráfico intermitente. Utilizamos una calle con este tipo de tráfico con la intención de validar el modelo en uno de los peores casos posibles. Para este ejemplo de realización de la invención, la única variable de observación del modelo dinámico y_t es el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A (L_{Aeq}), por lo tanto, la matriz de covarianza \mathbf{D} de Eq. (3) se reduce, en este caso, a una varianza escalar $\sigma_1^2 = 0.0035$ calculada a partir de la distribución gaussiana del error medio obtenido al comparar de los datos experimentales y las predicciones (normalizados entre 0 y 1) en el análisis general realizado previamente para estudiar el entorno urbano.

Para modelar la función de predicción no lineal $g(\mathbf{x}_t, \boldsymbol{\theta})$ (en la Ecuación 3) se pueden utilizar diferentes métodos (correlaciones no lineales, modelos físicos, etc.), pero nosotros utilizamos de forma preferente una red neuronal artificial (ANN) previamente validada basada en (N. Genaro, A. Torija, A. Ramos-Ridao, I. Requena, D. P. Ruiz, M. Zamorano: "A neural network based model for urban noise prediction", J. Acoust. Soc. Am. 128 (4) (2010) 1738–1746). Esta red se compone de dos capas con 8 entradas relacionadas con las variables de estado, 12 neuronas en las capas ocultas y una salida relacionada con el nivel de presión sonora L_{Aeq} . La ANN utiliza una función de transferencia tangente sigmoideal hiperbólica en la primera capa y una función de transferencia lineal en la segunda capa. La red neuronal fue calibrada con una función de entrenamiento que actualiza los valores de los pesos y los sesgos de acuerdo con el método de

optimización de Marquardt (D. Marquardt: “An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters”, SIAM Journal on Applied Mathematics 11 (2) (1963) 431–441, M. T. Hagan, M. Menhaj: “Training feed-forward networks with the Marquardt algorithm”, IEEE Transactions on Neural Network 5 (6) (1994) 989–993). La red se entrenó con una base de datos que contiene las mediciones experimentales obtenidas en 120 localizaciones de la ciudad de Granada (España), en diferentes zonas urbanas y con diferentes condiciones de tráfico. Finalmente, la función de predicción de los niveles de presión sonora es definida por la ANN como $g(\mathbf{x}_t, \boldsymbol{\theta}) = g(\mathbf{n}_t) = 2/(1 + e^{-2(\mathbf{w}\mathbf{n}_t + b)}) - 1$, donde $\mathbf{n}_t = (\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5, x_{1,t}, x_{2,t}, x_{3,t})$, $\mathbf{w} = \mathbf{w}_2 \cdot \mathbf{W}_1$ y $b = \mathbf{w}_2 \cdot \mathbf{b}_1 + b_2$, siendo \mathbf{W}_1 (matriz 12×8) y \mathbf{w}_2 (vector 1×12) los pesos de la primera y segunda capa de la ANN respectivamente, y \mathbf{b}_1 (vector 12×1) y b_2 los sesgos correspondientes.

El método propuesto implementado con un filtro de Kalman extendido se representa en la Fig. 2, donde (19) representa las características de la vía recogidas a priori, (30) representa la inicialización del método a partir de las variables de estado estáticas que caracterizan la vía estudiada, (31) representa la primera etapa del método de filtrado que consiste en la predicción *a priori* de los caudales de tráfico en el paso de tiempo t , (32) representa la segunda etapa del método de filtrado que consiste en la actualización o corrección de las predicciones previas a través de las medidas de ruido ambiental, (22) representa los niveles de presión sonora recogidos en el paso de tiempo t y (25) representa los caudales de tráfico estimados finalmente por el método en el paso de tiempo t . Este método se implementa como sigue:

Paso 1. Inicialización.

Medida de las variables de estado estáticas que caracterizan la vía estudiada (variables 1-5 de la Tabla 1) para la inicialización del filtro (19), es decir, recogemos los valores (fijos) de las variables estáticas (condiciones urbanas) en $\boldsymbol{\theta}$. En este ejemplo, $\theta_1 = \text{laborable}$, $\theta_2 = 32.5$ (km/h), $\theta_3 = 2$ (carriles), $\theta_4 = 13.89$ (m) y $\theta_5 = 31$ (m), con dichos valores normalizados entre 0 y 1 (rangos detallados en la Tabla 2).

Variables	Rangos
θ_1	Laborable Sábado Domingo
θ_2	[7.5-65] (km/h)
θ_3	[1-5] (carriles)
θ_4	[3.5-100] (m)
θ_5	[0-34] (m)
$x_{1,t}$	[5-264] (vehículos/5min)
$x_{2,t}$	[0-25] (vehículos /5min)
$x_{3,t}$	[0-84] (vehículos /5min)

Tabla 2. Rangos de las variables de estado.

Paso 2. Medida del ruido urbano.

El nivel de presión sonora $L_{Aeq}(y_t)$ es medido en la calle estudiada (calle desconocida para la ANN) en una serie de tiempo ($t = 1, 2, \dots$), con rangos de datos desde 49.2 dBA hasta 76.4 dBA (22). La medición de la serie de observaciones reales se lleva a cabo en un periodo de tiempo de 70 minutos, donde cada dato se corresponde con un registro de 5 minutos ($T = 14$). Estas observaciones fueron obtenidas siguiendo los procedimientos internacionales de referencia (ISO 1996-2:2007); el sonómetro (2260 Brüel & Kjaer de tipo I) fue calibrado con un 4231 Brüel & Kjaer calibrator y fue instalado a 2 metros de distancia de las fachadas reflectantes y a una altura de 1.5 metros sobre el nivel del suelo (“Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002; relating to the assessment and management of environmental noise”).

Paso 3. Procesado de datos

En el procesador donde se implementa el método, siendo \bar{x}_0 y P_0 la media y la matriz de covarianza a priori, respectivamente, de las variables de estado dinámicas (caudales de tráfico) en el tiempo $t = 0$, \bar{x}_0 se inicializa a valores de caudal de tráfico cercanos a los reales en el momento de la medición, {27, 0, 8}, normalizados entre 0 y 1 (rangos detallados en la Tabla 2), y P_0 se define como

una matriz diagonal con las varianzas marginales $\{0.003, 0.0054, 0.0236\}$, que se ajustan a la evolución a priori del tráfico en el tipo de calle estudiada y a la hora de la medición.

A continuación, el procesador ejecuta iterativamente los siguientes pasos. Para $t = 1, \dots, T$:

1. Predicción (31).

(a) Predecir los caudales de tráfico en el tiempo: $\bar{x}_{t|t-1} = \bar{x}_{t-1}$.

(b) Predecir la covarianza en el tiempo: $P_{t|t-1} = P_{t-1} + V$. V es una matriz de covarianza diagonal con las varianzas marginales $\{\alpha_1^2 = 0.0189, \alpha_2^2 = 0.0452, \alpha_3^2 = 0.0262\}$.

2. Actualización de la medida (32).

(a) Calcular la ganancia de Kalman: $k_t = P_{t|t-1} h_t^T (h_t P_{t|t-1} h_t^T + \sigma_1^2)^{-1}$.

(b) Actualizar las predicciones con la medida y_t : $\bar{x}_t = \bar{x}_{t|t-1} + k_t (y_t - g(\bar{x}_{t|t-1}, \theta))$.

(c) Actualizar la covarianza: $P_t = P_{t|t-1} - k_t h_t P_{t|t-1}$.

donde k_t es conocida como la ganancia de Kalman, $h_t \triangleq \left. \frac{\partial g(x_t, \theta)}{\partial x_t} \right|_{(x_t = \bar{x}_{t|t-1})}$ es el

Jacobiano del modelo de medida, $\bar{x}_{t|t-1}$ y $P_{t|t-1}$ son las estimaciones *a priori* y \bar{x}_t y P_t son las estimaciones *a posteriori*. Para nuestro problema de predicción, k_t es un vector 3×1 y h_t es un vector 1×3 .

Paso 4. Visualización de predicciones

El dispositivo de salida muestra las predicciones de los caudales de tráfico medios de la vía (25), $\bar{x}_t = (\bar{x}_{1,t}, \bar{x}_{2,t}, \bar{x}_{3,t})$ (el caudal de vehículos ligeros, el caudal de vehículos pesados y el caudal de motocicletas y ciclomotores, respectivamente), donde $1 \leq t \leq T$, incluyendo los vehículos de ambos sentidos de circulación.

Los resultados del ejemplo de realización se muestran en las Tablas 3 y 4. Obtenemos un error absoluto bastante bajo en los tres tipos de tráfico rodado. El caudal total de vehículos es estimado con un error absoluto medio de 5.64 vehículos y un porcentaje medio de error del 17%. Por lo tanto, conseguimos resultados satisfactorios en uno de los peores casos posibles, es decir, en una calle con un flujo de tráfico intermitente, utilizando un único indicador del nivel de presión sonora (L_{Aeq}) como observación y realizando predicciones a corto plazo (con periodos de observación de 5 minutos).

Tiem.	Caudal Vehículos Ligeros			Caudal Vehículos Pesados			Caudal Motocicletas		
	Real	Estim.	Err. Absol.	Real	Estim.	Err. Absol.	Real	Estim.	Err. Absol.
5	25	27	2	0	0	0	9	8	1
10	29	29	0	0	0	0	4	9	5
15	19	25	6	0	0	0	6	7	1
20	24	35	11	2	1	1	7	11	4
25	18	30	12	1	1	0	7	9	2
30	23	23	0	0	0	0	4	6	2
35	23	32	9	0	1	1	8	10	2
40	33	24	9	0	0	0	4	7	3
45	24	18	6	0	0	0	7	5	2
50	28	27	1	1	0	1	10	8	2
55	21	26	5	1	0	1	10	7	3
60	21	26	5	0	0	0	12	7	5
65	25	28	3	0	0	0	11	8	3
70	37	33	4	0	1	1	12	10	2

Tabla 3. Valores experimentales y valores predichos por el método propuesto de los diferentes caudales de tráfico (caudal de vehículos ligeros ($x_{1,t}$), caudal de vehículos pesados ($x_{2,t}$) y caudal de motocicletas-ciclomotores ($x_{3,t}$)) medidos en vehículos/5 minutos durante una secuencia de 70 minutos, y error absoluto cometido en la predicción.

Caudales de tráfico	Media Error Absoluto
Vehículos ligeros	5.21
Vehículos pesados	0.36
Motocicletas-ciclomotores	2.64

Tabla 4. Media del error absoluto de las predicciones del caudal de tráfico (el caudal de vehículos ligeros ($x_{1,t}$), el caudal de vehículos pesados ($x_{2,t}$), el caudal de motocicletas-ciclomotores ($x_{3,t}$)).

La Figura 3 muestra la media de las predicciones de los caudales de tráfico (es decir, vehículos cada 5 minutos) generada por el método propuesto basado en un filtro de Kalman extendido de acuerdo con la invención. En dicha figura, se comparan las predicciones de los flujos de tráfico (asteriscos) con los valores experimentales de estos caudales (círculos) a lo largo de 70 minutos, para los diferentes tipos de tráfico rodado: vehículos ligeros, vehículos pesados, y motocicletas/ciclomotores.

En conclusión, el método propuesto consigue un buen resultado como predictor de los caudales de tráfico rodado en las calles con una alta intensidad de tráfico, distinguiendo entre los tres principales tipos de vehículos de tracción motora (vehículos ligeros, vehículos pesados y motocicletas-ciclomotores). Por otra parte, aunque no se hayan utilizado en este ejemplo de realización, con el objetivo de mejorar la precisión de las predicciones, el modelo dinámico que definimos en el método de esta patente considera el uso adicional de las observaciones de los indicadores del nivel sonoro en bandas de frecuencia de tercio de octava correlacionados con los distintos tipos de vehículos.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para estimar caudales (x_t) de tráfico rodado en una vía a partir de los niveles de presión sonora ambiental (y_t) generados por dicho tráfico rodado, caracterizado porque comprende los siguientes pasos:

- medir unas variables estáticas (θ) que caracterizan la vía;
- medir unos niveles de presión sonora ambiental (y_t) generados por tráfico rodado; y
- estimar los caudales (x_t) de tráfico rodado a partir de un modelo de espacio de estados que relaciona dichos caudales (x_t) de tráfico rodado y el conjunto de variables estáticas (θ) que caracterizan la vía con los niveles de presión sonora ambiental (y_t).

2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, donde el espacio de estados está definido por:

$$x_t: p(x_t|x_{t-1}),$$

$$y_t: p(y_t|x_t, \theta),$$

donde $p(x_t|x_{t-1})$ es la distribución condicional de los caudales de tráfico rodado, y $p(y_t|x_t, \theta)$ es la densidad condicional de los niveles de presión sonora (y_t) dados los caudales (x_t) de tráfico rodado y el conjunto de variables estáticas (θ).

3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, donde la densidad condicional de los niveles de presión sonora se aproxima según:

$$p(y_t|x_t, \theta) = N(y_t; g(x_t, \theta), \mathbf{D})$$

donde $N(\mathbf{z}; \boldsymbol{\mu}, \mathbf{C})$ denota una función de densidad de probabilidad gaussiana de \mathbf{z} con el vector de medias $\boldsymbol{\mu}$ y la matriz de covarianza \mathbf{C} , $g(x_t, \theta)$ es una función de predicción no lineal de los niveles de presión sonora a partir de las variables de estado, y \mathbf{D} es una matriz de covarianza diagonal.

4. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 3, donde la función $g(\mathbf{x}_t, \boldsymbol{\theta})$ se modela por medio de una red neuronal artificial.

5. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 4, donde la red neuronal artificial es de tipo *backpropagation* de dos capas, que tiene un número de entradas que corresponde al número de tipos de caudales (\mathbf{x}_t) de tráfico rodado más las variables estáticas ($\boldsymbol{\theta}$), y una única salida relacionada con el nivel de presión sonora (y_t), y donde la primera capa utiliza una función de transferencia tangente sigmoïdal hiperbólica y la segunda capa utiliza una función de transferencia lineal.

6. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, donde la densidad condicional de los caudales (\mathbf{x}_t) de tráfico rodado se aproxima según:

$$p(x_{i,t} | x_{i,t-1}) = N(x_{i,t}; x_{i,t-1}, \alpha_i^2), \quad i = 1, 2, 3,$$

donde α_i^2 es una varianza calculada a partir de la distribución gaussiana de la evolución media de unos caudales de tráfico recogidos con anterioridad.

7. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el paso de estimar los caudales (\mathbf{x}_t) de tráfico rodado a partir del modelo de espacio de estados comprende aproximar dicho modelo de espacio de estados basándose en un filtrado de Kalman extendido.

8. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 7, donde la aplicación del filtrado de Kalman extendido comprende aproximar la densidad condicional de los caudales (\mathbf{x}_t) de tráfico rodado a una distribución gaussiana donde:

$$p(\mathbf{x}_t | \mathbf{y}_{1:t}) = N(\mathbf{x}_t; \bar{\mathbf{x}}_t, \mathbf{P}_t)$$

donde $\mathbf{y}_{1:t} = (y_1, \dots, y_t)$ son los niveles de presión sonora (niveles medios de presión sonora y su composición espectral) observados hasta la medición t . $\bar{\mathbf{x}}_t$ indica la media y \mathbf{P}_t la matriz de covarianza *a posteriori* de los caudales de tráfico durante la medición t .

9. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 8, donde la evaluación de la expresión $p(\mathbf{x}_t|y_{1:t}) = N(\mathbf{x}_t; \bar{\mathbf{x}}_t, \mathbf{P}_t)$ comprende los siguientes pasos:

a) predicción

(a1) predecir los caudales de tráfico en el tiempo: $\bar{\mathbf{x}}_{t|t-1} = \bar{\mathbf{x}}_{t-1}$,

(a2) predecir la covarianza en el tiempo: $\mathbf{P}_{t|t-1} = \mathbf{P}_{t-1} + \mathbf{V}$,

donde \mathbf{V} es una matriz de covarianza diagonal,

b) actualización de la medida,

(b1) calcular la ganancia de Kalman: $\mathbf{k}_t = \mathbf{P}_{t|t-1} \mathbf{h}_t^T (\mathbf{h}_t \mathbf{P}_{t|t-1} \mathbf{h}_t^T + \sigma_1^2)^{-1}$,

(b2) actualizar las predicciones con la y_t medida: $\bar{\mathbf{x}}_t = \bar{\mathbf{x}}_{t|t-1} + \mathbf{k}_t (y_t - g(\bar{\mathbf{x}}_{t|t-1}, \boldsymbol{\theta}))$,

(b3) actualizar la covarianza: $\mathbf{P}_t = \mathbf{P}_{t|t-1} - \mathbf{k}_t \mathbf{h}_t \mathbf{P}_{t|t-1}$,

donde \mathbf{k}_t es la ganancia de Kalman, $\mathbf{h}_t \triangleq \left. \frac{\partial g(\mathbf{x}_t, \boldsymbol{\theta})}{\partial \mathbf{x}_t} \right|_{(\mathbf{x}_t = \bar{\mathbf{x}}_{t|t-1})}$ es el Jacobiano del modelo de medida, $\bar{\mathbf{x}}_{t|t-1}$ y $\mathbf{P}_{t|t-1}$ son las estimaciones *a priori*, y $\bar{\mathbf{x}}_t$ y \mathbf{P}_t son las estimaciones *a posteriori*.

10. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde los caudales (\mathbf{x}_t) de tráfico rodado urbano comprenden el número de vehículos ligeros, el número de vehículos pesados, y el número de motocicletas y ciclomotores.

11. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde las variables estáticas ($\boldsymbol{\theta}$) comprenden al menos el tipo de día, la velocidad media y el número de carriles

12. Procedimiento según reivindicación anterior donde las variables estáticas además comprenden el ancho de la calle y la altura de los edificios.
13. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde los niveles de presión sonora ambiental (y_t) se miden por medio de un sonómetro dispuesto a 2 metros de distancia de fachadas reflectantes y a una altura de 1,5 metros sobre el nivel del suelo.
14. Programa de ordenador que comprende instrucciones de programa para hacer que un ordenador lleve a la práctica el procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1-13.
15. Programa de ordenador de acuerdo con la reivindicación 14, que está incorporado en unos medios de almacenamiento.
16. Programa de ordenador de acuerdo con la reivindicación 14, que esta soportado en una señal portadora.
17. Sistema para estimar caudales (x_t) de tráfico rodado en una vía a partir de los niveles de presión sonora ambiental (y_t) generados por dicho tráfico rodado, caracterizado porque comprende:
 - un medio de adquisición de la presión sonora ambiental (y_t) en una vía;y
 - un medio de procesamiento conectado a dicho medio de adquisición y adaptado para llevar a cabo el procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 1-16.
18. Sistema de acuerdo con la reivindicación 17, que además comprende medios de visualización que permiten visualizar los caudales de tráfico rodado estimados por medio de procesamiento.

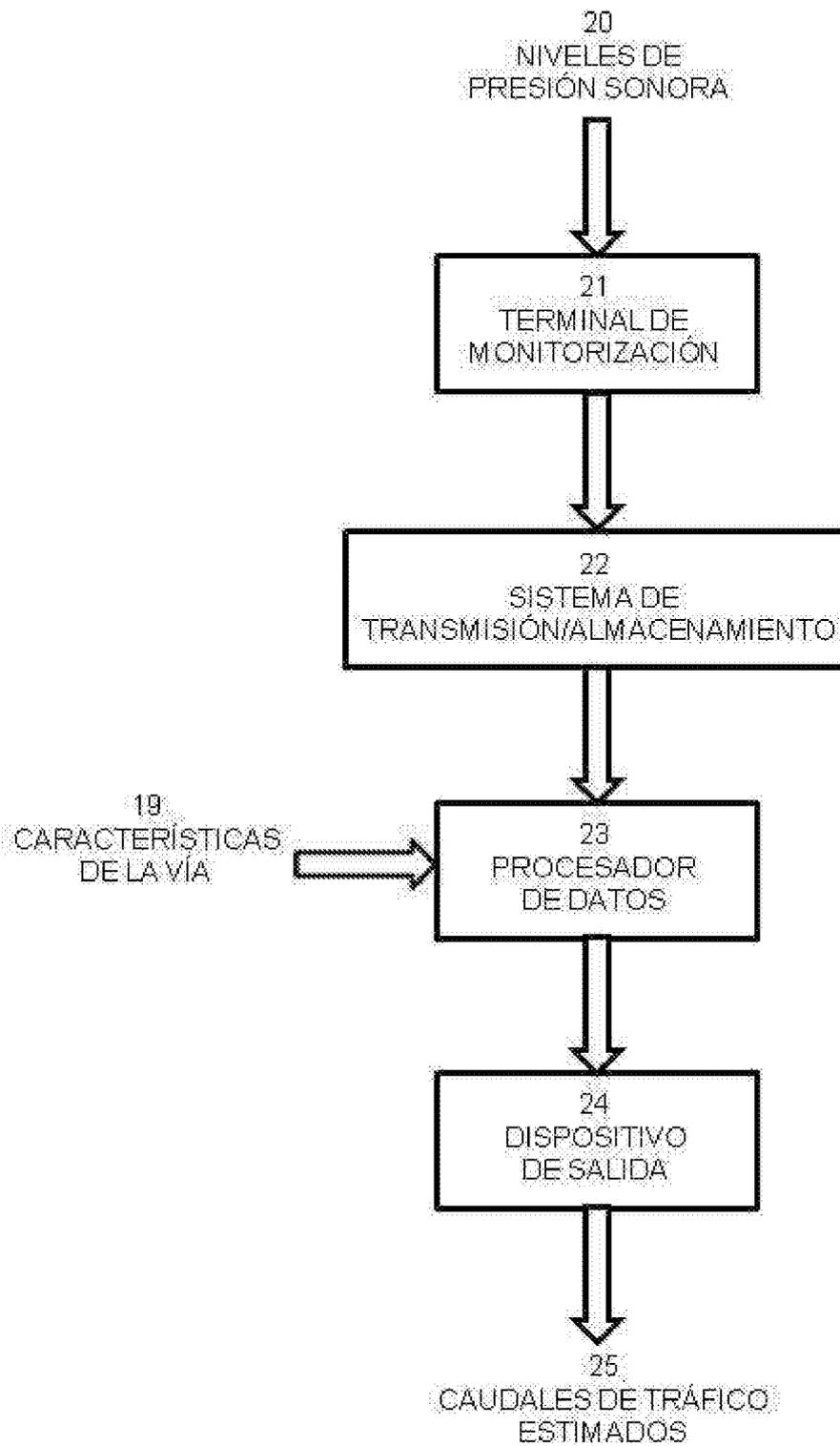


Figura 1

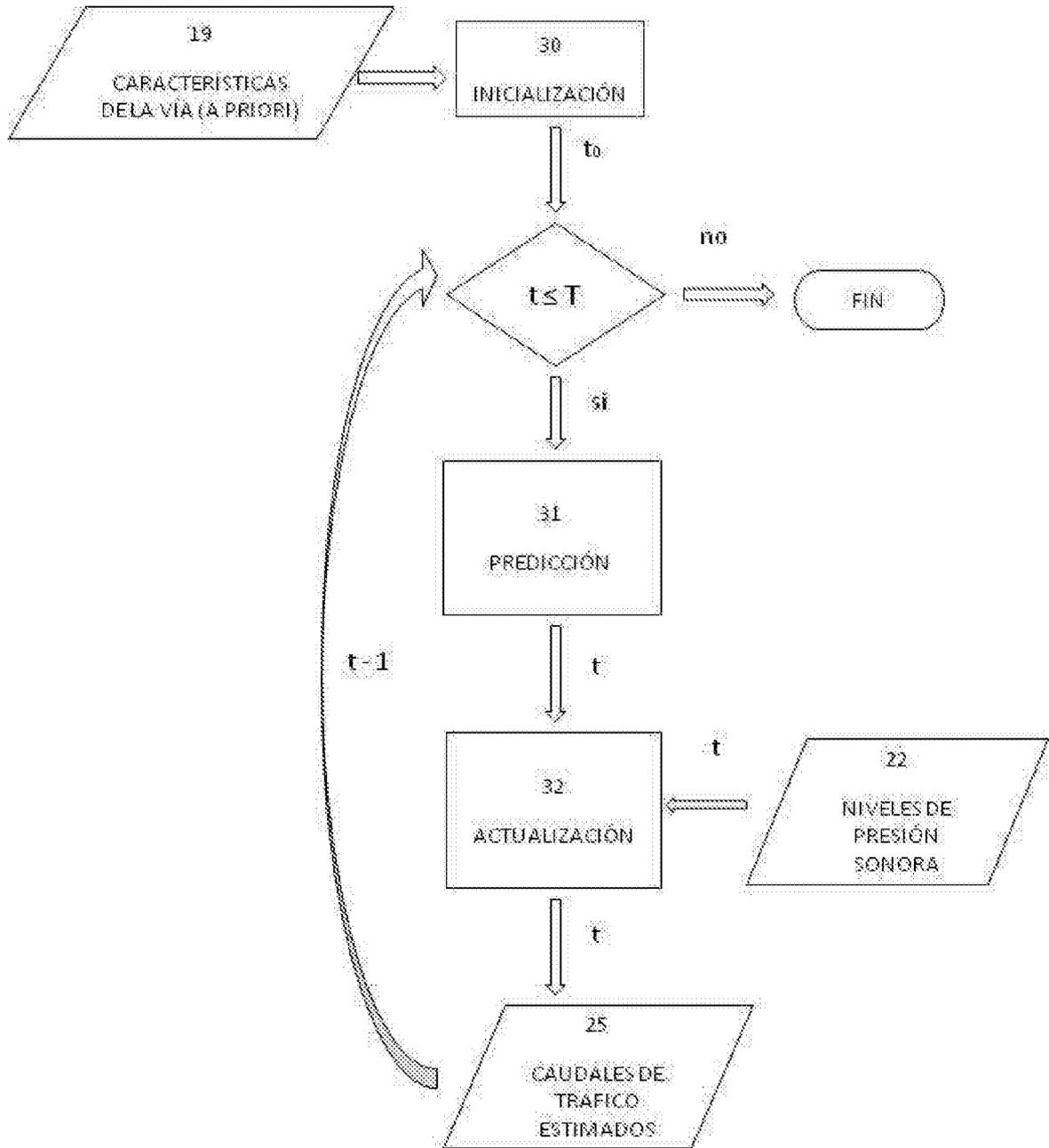


Figura 2

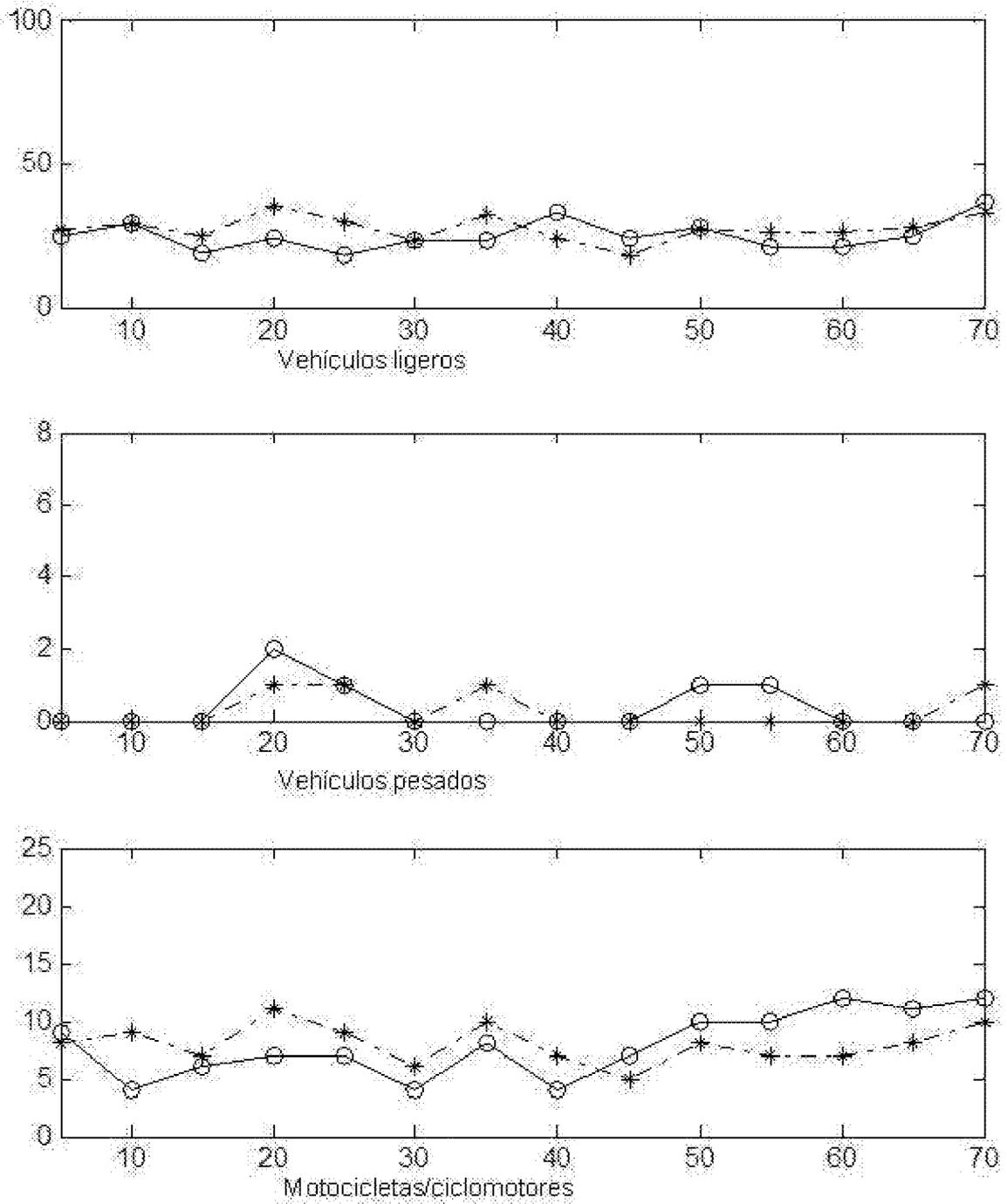


Figura 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/ES2013/070555

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

See extra sheet

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G06Q, G06F, G08G

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPODOC, INVENES, WPI, INSPEC, INTERNET

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	FORTUNA, L.; OCCHIPINTI, L.; VINCI, C.; XIBILIA, M.G.; A neuro-fuzzy model of urban traffic; Proceedings of the 37th Midwest Symposium on Circuits and Systems, 1994, volume 1, pages 603-606.	1, 4, 5, 10-18
A	BOLSHINSKY, E.; FREIDMAN, R.; Traffic Flow Forecast Survey; 03/06/2012. [retrieved on 23.10.2012]. Retrieved from Internet: <URL: http://www.cs.technion.ac.il/users/wwwb/cgi-bin/tr-get.cgi/2012/CS/CS-2012-06.pdf >; <URL: http://www.cs.technion.ac.il/users/wwwb/cgi-bin/tr-info.cgi/2012/CS/CS-2012-06 >	1, 4, 5, 7, 10, 14-18
A	US 2012188102 A1 (KALYANARAMAN SHIVKUMAR ET AL.) 26/07/2012, paragraphs 25-50; figures.	1, 4, 13-18

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance.</p> <p>"E" earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure use, exhibition, or other means.</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>"&" document member of the same patent family</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Date of the actual completion of the international search
03/12/2013

Date of mailing of the international search report
(09/12/2013)

Name and mailing address of the ISA/

OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS
Paseo de la Castellana, 75 - 28071 Madrid (España)
Facsimile No.: 91 349 53 04

Authorized officer
M. Lloris Meseguer

Telephone No. 91 3495494

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/ES2013/070555

C (continuation).		DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT
Category *	Citation of documents, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	ES 2334308 A1 (UNIV DE ALCALA FILOMENA RODRIG ET AL.) 08/03/2010, page 2, lines 50-65; page 3, line 16-page 5, line 10; figures.	1, 10, 13-18

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/ES2013/070555

CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06Q50/30 (2012.01)

G06F19/00 (2011.01)

G08G1/00 (2006.01)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/ES2013/070555

Information on patent family members

Patent document cited in the search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US2012188102 A1	26.07.2012	NONE	
-----	-----	-----	-----
ES2334308 A1	08.03.2010	NONE	
-----	-----	-----	-----

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional nº
PCT/ES2013/070555

A. CLASIFICACIÓN DEL OBJETO DE LA SOLICITUD

Ver Hoja Adicional

De acuerdo con la Clasificación Internacional de Patentes (CIP) o según la clasificación nacional y CIP.

B. SECTORES COMPRENDIDOS POR LA BÚSQUEDA

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)
G06Q, G06F, G08G

Otra documentación consultada, además de la documentación mínima, en la medida en que tales documentos formen parte de los sectores comprendidos por la búsqueda

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

EPODOC, INVENES, WPI, INSPEC, INTERNET

C. DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES

Categoría*	Documentos citados, con indicación, si procede, de las partes relevantes	Relevante para las reivindicaciones nº
A	FORTUNA, L.; OCCHIPINTI, L.; VINCI, C.; XIBILIA, M.G.; A neuro-fuzzy model of urban traffic; Proceedings of the 37th Midwest Symposium on Circuits and Systems, 1994, volumen 1, páginas 603-606.	1, 4, 5, 10-18
A	BOLSHINSKY, E.; FREIDMAN, R.; Traffic Flow Forecast Survey; 03/06/2012. [recuperado el 23.10.2012]. Recuperado de Internet: <URL: http://www.cs.technion.ac.il/users/wwwb/cgi-bin/tr-get.cgi/2012/CS/CS-2012-06.pdf >; <URL: http://www.cs.technion.ac.il/users/wwwb/cgi-bin/tr-info.cgi/2012/CS/CS-2012-06 >	1, 4, 5, 7, 10, 14-18
A	US 2012188102 A1 (KALYANARAMAN SHIVKUMAR ET AL.) 26/07/2012, párrafos 25-50; figuras.	1, 4, 13-18

En la continuación del recuadro C se relacionan otros documentos

Los documentos de familias de patentes se indican en el anexo

* Categorías especiales de documentos citados:	"T" documento ulterior publicado con posterioridad a la fecha de presentación internacional o de prioridad que no pertenece al estado de la técnica pertinente pero que se cita por permitir la comprensión del principio o teoría que constituye la base de la invención.
"A" documento que define el estado general de la técnica no considerado como particularmente relevante.	"X" documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse nueva o que implique una actividad inventiva por referencia al documento aisladamente considerado.
"E" solicitud de patente o patente anterior pero publicada en la fecha de presentación internacional o en fecha posterior.	"Y" documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse que implique una actividad inventiva cuando el documento se asocia a otro u otros documentos de la misma naturaleza, cuya combinación resulta evidente para un experto en la materia.
"L" documento que puede plantear dudas sobre una reivindicación de prioridad o que se cita para determinar la fecha de publicación de otra cita o por una razón especial (como la indicada).	"&" documento que forma parte de la misma familia de patentes.
"O" documento que se refiere a una divulgación oral, a una utilización, a una exposición o a cualquier otro medio.	
"P" documento publicado antes de la fecha de presentación internacional pero con posterioridad a la fecha de prioridad reivindicada.	

Fecha en que se ha concluido efectivamente la búsqueda internacional.
03/12/2013

Fecha de expedición del informe de búsqueda internacional.
(09/12/2013)

Nombre y dirección postal de la Administración encargada de la búsqueda internacional
OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS
Paseo de la Castellana, 75 - 28071 Madrid (España)
Nº de fax: 91 349 53 04

Funcionario autorizado
M. Lloris Meseguer
Nº de teléfono 91 3495494

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional n°

PCT/ES2013/070555

C (Continuación).		DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES
Categoría *	Documentos citados, con indicación, si procede, de las partes relevantes	Relevante para las reivindicaciones n°
A	ES 2334308 A1 (UNIV DE ALCALA FILOMENA RODRIG ET AL.) 08/03/2010, página 2, líneas 50-65; página 3, línea 16-página 5, línea 10; figuras.	1, 10, 13-18

CLASIFICACIONES DE INVENCION

G06Q50/30 (2012.01)

G06F19/00 (2011.01)

G08G1/00 (2006.01)

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional nº

Informaciones relativas a los miembros de familias de patentes

PCT/ES2013/070555

Documento de patente citado en el informe de búsqueda	Fecha de Publicación	Miembro(s) de la familia de patentes	Fecha de Publicación
US2012188102 A1	26.07.2012	NINGUNO	
----- ES2334308 A1 -----	----- 08.03.2010 -----	----- NINGUNO -----	----- -----