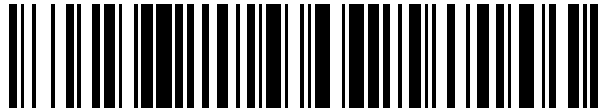


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 695 924**

21 Número de solicitud: 201730911

51 Int. Cl.:

G01H 3/12 (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

10.07.2017

43 Fecha de publicación de la solicitud:

11.01.2019

71 Solicitantes:

**UNIVERSIDAD DE JAÉN (100.0%)
Campus Las Lagunillas, s/n
23071 Jaén ES**

72 Inventor/es:

**FERNÁNDEZ PRIETO, José Ángel;
CAÑADA BAGO, Joaquín y
MARISCAL RAMÍREZ, Juan Andrés**

54 Título: **Procedimiento para la obtención de un indicador de ruido acústico**

57 Resumen:

Procedimiento para la obtención de un indicador de ruido acústico ejecutado en un nodo sensor que comprende de una captación de muestras de ruido por medio de sensores inalámbricos, un cálculo de la transformada rápida de Fourier FFT y la aplicación de un filtro de ponderación determinándose en unas variables iniciales que son el nivel de presión sonora continuo, la persistencia en el tiempo del ruido, el ratio señal/ruido y la frecuencia fundamental del ruido; se determinan también las variables instante temporal y la edad; se introducen estas variables en un sistema borroso basado en reglas del nodo sensor donde se les aplica una interfaz borrosificación, pasan por un motor de inferencias en conexión con una base de conocimiento y los resultados se someten a una interfaz de desborrosificación con una salida de variable, que permite obtener el indicador de ruido acústico.

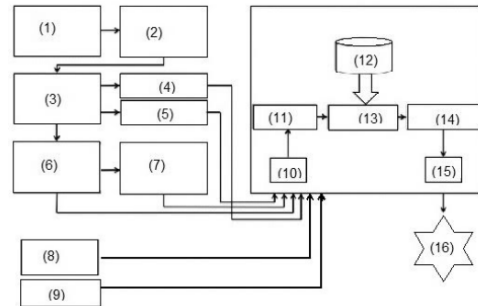


FIG. 1

DESCRIPCIÓN

PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCIÓN DE UN INDICADOR DE RUIDO ACÚSTICO

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a un procedimiento para la obtención de un nuevo indicador de ruido acústico que calcula el grado de molestia del ruido en personas, lo cual se consigue mediante un nodo de una red de sensores inalámbricos que capta y procesa dicho ruido y un módulo procesador programable con el que se obtiene el indicador.

10 Esta invención se centra en el campo de las tecnologías de protección contra la contaminación acústica, y más específicamente en aquellas medidas destinadas a corregir y minimizar los efectos nocivos de dicha contaminación acústica.

Estado de la técnica

15 La contaminación acústica es un problema que afecta a millones de personas en todo el mundo. Distintos estudios han demostrado que actualmente es una de las mayores amenazas ambientales para la salud de las personas, llegando a provocar, entre otros, el incremento en el riesgo de trastornos cardiovasculares, hipertensión, alteración del sueño, estrés, influyendo
20 de forma negativa en la productividad y en el comportamiento social. Según la Organización Mundial de la Salud, el 1,8% del total de ataques al corazón se puede atribuir a niveles de ruido del tráfico superior a los 60 decibelios (dBA).

Con el propósito de proteger a los ciudadanos de la contaminación acústica, así como para
25 corregir y minimizar sus efectos, se ha desarrollado toda una legislación, tanto a nivel nacional como comunitario, en el que el denominador común es la recogida de datos sobre el ruido acústico, su procesamiento y comparación con valores umbrales establecidos. Además, para cumplir con su objeto, en ellas se regulan determinadas actuaciones como son la puesta a disposición de la población de información sobre ruido ambiental y sus efectos; la elaboración
30 de mapas estratégicos de ruido, para determinar la exposición de la población al ruido ambiental; y la adopción de planes de acción para prevenir y reducir el ruido ambiental.

Los métodos de captación del ruido, como de cálculo, son objeto de normalización, dando
lugar a una serie de indicadores de ruido que permiten generar unos resultados de evaluación
35 del ruido, trazable y comparable en diversos ámbitos.

Actualmente, el indicador de ruido acústico utilizado para la evaluación del nivel de ruido y para la realización de mapas estratégicos de ruido es el denominado “Nivel de presión sonora continuo equivalente” con ponderación A, L_{Aeq} , en dB(A). A partir de este indicador es posible
5 calcular otros indicadores definidos en las normativas, como por ejemplo L_{den} o “nivel equivalente día-tarde-noche”.

Sin embargo, es importante señalar que no existe una correlación directa entre este indicador y la percepción subjetiva de la molestia del ruido en las personas. Así, los niveles de ruido
10 mostrados por este indicador no son los adecuados para conocer los efectos del ruido, ya que existen otros factores que influyen y determinan la forma en la que se percibe el ruido, como por ejemplo: la frecuencia fundamental del mismo, la persistencia del mismo en el tiempo, el instante temporal en el que se produce, la edad de las personas o el nivel de ruido en las frecuencias con mayor energía respecto al ruido de fondo existente. Por tanto, la molestia del
15 ruido en las personas es un concepto intrínsecamente impreciso y, se hace necesario un sistema que, a partir de los anteriores parámetros, obtenga dicha molestia a través de un nuevo indicador de ruido.

Se destaca el documento “A fuzzy rule based framework for noise annoyance modeling” [D.
20 *Botteldooren, A. Verkeyn and Peter Lercher, Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 114, Issue 3, pp. 1487-1498, 2003*] donde los autores indican que la molestia del ruido es un concepto intrínsecamente impreciso y presentan un sistema para modelar dicha molestia, aunque se basa en un proceso que requiere de medios y procesos diferenciados al de la presente invención.

25 También se destaca que en Enero del año 2006, el grupo de trabajo de la Comisión Europea por la “Evaluación de la exposición al ruido” (WG-AEN) publicó el documento “Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure” en donde se recomendaba encarecidamente que se hicieran todos los esfuerzos posibles para
30 obtener datos reales precisos sobre los niveles ruido.

Para ello, tradicionalmente se han venido utilizando instrumentos de captación y procesamiento de ruido, denominados sonómetros, colocados en malla en la zona a mapear y que miden el ruido mediante el indicador L_{Aeq} , en dB(A). Sin embargo, estos dispositivos
35 presentan una serie de desventajas inherentes a la tecnología que emplean, como son la

imposibilidad de realizar mediciones continuas durante largos periodos de tiempo (semanas/meses), falta de conocimiento de la situación en tiempo real, imposibilidad de adoptar acciones preventivas o correctivas en tiempo real.

5 Para solventar, en parte, estos problemas e inconvenientes, en los últimos años distintos estudios han propuesto la utilización de dispositivos de Internet de las cosas (IoT), como son las redes de sensores inalámbricos (WSNs), para la obtención de datos reales, continuos y precisos sobre los niveles de ruido. En este sentido, se destaca la patente CN105928612A y el documento “Design of Noise Pollution Monitoring System Using Wireless Sensor
10 Network” [Bhusari P, Asutkar GM and Tech M (2013) *International Journal of Software and Web Sciences (IJSWS)*, pp. 55-58] donde se desarrollan unas metodologías donde los nodos sensores de estas redes son dispositivos con recursos restringidos, y por tanto, disponen de un conjunto de recursos muy limitados: microprocesador con escasa capacidad de proceso de información, memoria, alimentación eléctrica y alcance de comunicaciones, y en los que el
15 tratamiento de los valores es diferente, las variables de entrada en el procesador no están filtradas y no se obtiene un índice concreto como el obtenido en la presente invención.

Habida cuenta de las metodologías existentes en el estado de la técnica, mediante el procedimiento que se describe en la presente invención se obtiene en tiempo real un nuevo
20 indicador con el que se aborda el problema de la incertidumbre existente en el proceso de establecer el grado de molestia que causa el ruido acústico en las personas.

Descripción de la invención

25 El procedimiento de la presente invención comprende una serie de pasos para la obtención de un nuevo indicador de ruido acústico que, en tiempo real, obtiene el grado de molestia del ruido acústico en las personas.

Esto se consigue mediante un sistema informático basado en técnicas de soft computing,
30 incorporando un nuevo sistema borroso basado en reglas, que calcula la incertidumbre inherente a la percepción subjetiva de la molestia del ruido en las personas. Este sistema es ejecutado en un dispositivo IoT, como son los nodos sensores de una red de sensores inalámbricos, con el que se pueden realizar mediciones continuas de 24 horas y durante largos periodos de tiempo, conocer la situación en tiempo real y posibilitar la adopción de acciones
35 preventivas o correctivas en tiempo real.

El procedimiento se basa en una etapa inicial donde se obtienen las siguientes variables de entrada: a) LAeq o “nivel de presión sonora continuo”; b) persistencia en el tiempo del ruido; c) ratio señal/ruido; d) frecuencia fundamental del ruido; e) edad de las personas; y f) instante temporal en el que se produce el ruido.

5

El objetivo final es el cálculo del nuevo indicador de ruido, que determina el grado de molestia de dicho ruido acústico en las personas.

La obtención de las variables de entrada se realiza mediante los siguientes pasos:

10

-Se parte de la captación de ruidos o muestras por medio de cada nodo de la red de sensores inalámbricos, disponiendo cada uno de ellos de un conversor analógico digital. La medición de ruidos ambientales se realiza entre 0 y 16 kHz, y por tanto, cada sensor soporta una frecuencia de muestreo de, al menos, 32 kHz. En cuanto al tiempo de captura o ventana temporal, se utiliza una respuesta rápida, 125 mseg. Esta captación proporciona un tipo de ventana temporal y una frecuencia de muestreo con una resolución de datos.

15

-Posteriormente se recogen las muestras de audio de la acción anterior y se procesa para calcular una transformada rápida de Fourier (FFT). Con esta acción se obtiene la información de la señal acústica en el dominio de la frecuencia. Además, en cuanto a necesidades de cómputo y memoria, es el más exigente, por lo que la longitud óptima utilizada de la FFT en el sensor es de aproximadamente 2000-2100 muestras.

20

-A continuación, se aplica un filtro de ponderación. Este filtrado permite ponderar las diferentes componentes en frecuencia de la señal acústica con respecto a la respuesta del oído humano. La expresión que permite calcular los niveles de atenuación dependiendo de la frecuencia es la siguiente:

25

$$A(f) = 10 \log \left[\frac{1.562339^2 \cdot f^4}{(f^2 + 107.65265^2)(f^2 + 737.86223^2)} \right] + 10 \log \left[\frac{2.242881 \cdot 10^{16} \cdot f^4}{(f^2 + 20.598997^2)(f^2 + 12194.22^2)} \right]$$

30

donde f es la frecuencia y A(f) su atenuación asociada.

Sin embargo, algunos nodos sensores pueden tener comportamientos anómalos en la ejecución de operaciones con números de gran tamaño. Por ello, se adapta esta expresión y utilizamos una expresión equivalente que permite minimizar la complejidad de las operaciones.

5

$$R_A(f) = \frac{12200^2 \cdot f^4}{(f^2 + 20.6^2)\sqrt{(f^2 + 107.7^2)(f^2 + 737.9^2)}(f^2 + 12200^2)}$$

$$A(f) = 2 + 20 \log_{10}(R_A(f))$$

Mediante esta adaptación se consigue integrar el filtro de ponderación en los mismos nodos sensores, minimizando el consumo en la capacidad de cómputo, memoria y batería.

10

- Tras estas mediciones, se calcula la energía total de las componentes frecuenciales ponderadas obteniendo el valor del nivel de presión sonora correspondiente en dBA.

-Finalmente se tiene en cuenta tanto la edad de las personas, como el instante temporal en el que se produce el ruido, variables particulares que son definidas de manera independiente. En concreto el instante temporal se obtiene a partir de la hora de captura del ruido por medio de los nodos sensores; mientras que la edad es configurable dependiendo del rango de edad que se desee evaluar.

20

De esta forma se han obtenido las variables de entrada:

- a) LAeq o “nivel de presión sonora continuo”;
- b) persistencia en el tiempo del ruido;
- c) ratio señal/ruido;
- 25 d) frecuencia fundamental del ruido;
- e) edad de las personas; y
- f) instante temporal en el que se produce el ruido.

Una vez obtenidas dichas variables de entrada, el procedimiento prosigue con la introducción de éstas en un sistema borroso basado en reglas mediante una interfaz de entrada o borrosificación que permite su normalización (conversión al rango 0 a 1). Estos valores normalizados son introducidos en un motor de inferencias el cual, a partir del conocimiento del sistema incluido en una base de conocimiento, compuesta por una base de datos y una

30

base de reglas, calcula el valor del indicador borroso de ruido acústico normalizado. Este valor normalizado es introducido en un interfaz de salida o desborrosificación obteniéndose el valor del nuevo indicador de ruido acústico.

5 Dado que este sistema trabaja con las variables normalizadas en el rango 0 a 1, todas las variables de entrada (nivel de presión sonora continuo; persistencia en el tiempo del ruido; ratio señal/ruido; frecuencia fundamental del ruido; edad de las personas; e instante temporal en el que se produce el ruido) se trasladan a ese rango mediante la interfaz de entrada o borrosificación a través de una conversión lineal. Por ejemplo, la frecuencia oscila entre 20 Hz
10 y 10000 Hz, el valor de 20 Hz correspondería con el 0 y el de 10000 Hz correspondería con el valor 1.

La relación entre las variables de entrada y el indicador de ruido está definida y pre-programada en la base de conocimiento del sistema. Ésta contiene el conocimiento de una
15 manera predefinida mediante la definición de las variables (por ejemplo, el nivel de presión, la persistencia, y el indicador de ruido), conjuntos difusos definidos en las variables (por ejemplo nivel de presión bajo, medio y alto) y un conjunto de reglas lingüísticas, comúnmente conocidas como reglas del tipo IF-THEN, que relacionan las variables de entrada con el indicador de ruido.

20 A modo de ejemplo, en la base de conocimiento puede estar definido que el nivel de presión sonora es bajo si es menor de 40dBA, medio si está entre 40dBA y 75 dBA, y alto si es mayor de 75dBA; la persistencia será baja si es inferior a un segundo, y alta si es superior al segundo. De esta forma, dentro de su conjunto de reglas puede existir una regla que valore como un
25 indicador de ruido muy elevado si el nivel de presión sonora es alto y la persistencia es alta.

El motor de inferencias infiere el valor normalizado del indicador de ruido a partir de los valores de las variables de entrada y de la base de conocimiento. Para esto evalúa el conjunto de reglas lingüísticas que relacionan las variables de entrada y el indicador de ruido utilizando un
30 método de inferencia del tipo First Infer Then Aggregate (FITA). Con el objetivo de disminuir el número de operaciones ejecutadas, solamente se utilizan conjuntos difusos triangulares o trapezoidales.

El valor normalizado del indicador de ruido es introducido en el interfaz de salida o
35 desborrosificación, que obtiene el valor del nuevo indicador de ruido acústico en el rango 0 a

100 a través de una conversión lineal. Un valor comprendido entre 0-40 se considera sin molestia; entre 40-55 molestia leve; entre 55-65 molestia moderada; entre 65-75 molestia; entre 75-90 mucha molestia; y de 90-100 extremada molestia.

5 A lo largo de la descripción y las reivindicaciones la palabra «comprende» y sus variantes no pretenden excluir otras características técnicas, aditivos, componentes o pasos. Para los expertos en la materia, otros objetos, ventajas y características de la invención se desprenderán en parte de la descripción y en parte de la práctica de la invención. Los siguientes ejemplos y dibujos se proporcionan a modo de ilustración, y no se pretende que
10 restrinjan la invención. Además, la presente invención cubre todas las posibles combinaciones de realizaciones preferidas y particulares aquí indicadas

Breve descripción de los dibujos

A continuación, se pasa a describir de manera muy breve una serie de dibujos que ayudan a
15 comprender mejor la invención y que se relacionan expresamente con una realización práctica no limitativa de la invención que se presenta.

FIG.1 muestra las fases que integran el procedimiento objeto de la presente invención, divididas, a su vez, en etapas de cada fase que siguen una secuencia establecida.

20 Exposición de un modo detallado de realización de la invención.

El procedimiento para la obtención de un nuevo indicador de ruido acústico se basa y comprende una serie de etapas:

- 25 - la realización de un muestreo (1) por medio del nodo sensor de la red de sensores inalámbricos;
- se recogen las muestras de la acción anterior y se procesan para calcular una transformada rápida de Fourier – FFT (2);
- se aplica un filtro de ponderación (3) de adecuación;
- se obtiene una variable de frecuencia (4);
- 30 - se obtiene una variable de ratio señal/ruido (5);
- tras estas mediciones, se calcula la energía total de las componentes frecuenciales ponderadas obteniendo un valor del nivel de presión sonora (6) y una persistencia (7);

- a partir de la hora de captura del ruido se obtiene una variable de instante temporal (8)
- se configura el estudio para un rango de edad que se desea evaluar, obteniéndose una variable de edad (9)
- se realiza la entrada de las variables (10) previamente obtenidas en el sistema borroso basado en reglas del nodo sensor;
- se aplica una interfaz de entrada o de borrosificación (11) de conversión, obteniéndose unos valores o variables de entrada;
- los valores obtenidos son tratados por un motor de inferencias (13) que infiere una salida a partir de las entradas (11) y de una base de conocimiento (12) pre-programada compuesta por una base de datos y una base de reglas y que contiene la definición de las variables como el nivel de presión o la persistencia, y contiene un conjunto de reglas que relacionan las variables anteriores;
- a los valores inferidos por el motor de inferencias (13) se les aplica una interfaz de salida o desborrosificación (14) obteniéndose la salida de una variable (15); y
- obtención del indicador de ruido acústico (16).

20

25

30

REIVINDICACIONES

1.- Procedimiento para la obtención de un indicador de ruido acústico ejecutado en un nodo sensor, caracterizado por que comprende de las siguientes etapas:

5 a) la determinación de las variables seleccionadas de entre: el nivel de presión sonora continuo; persistencia en el tiempo del ruido; ratio señal/ruido; frecuencia fundamental del ruido; instante temporal; y edad de la persona;

b) introducción de las variables de la etapa a) en un sistema borroso basado en reglas en el nodo sensor;

10 c) aplicación de una interfaz de entrada o borrosificación a las variables de la etapa b) obteniéndose unas variables de entrada;

d) obtención de un conjunto de datos para cada variable de la etapa c), siendo dicho conjunto de datos calculado mediante un método de inferencia en un motor de inferencia en conexión con una base de conocimiento pre-programada compuesta por una base de datos y una base de reglas;

15 e) aplicación de una interfaz de salida o desborrosificación a los datos obtenidos de la etapa d) obteniéndose la salida de una variable; y

f) obtención del indicador de ruido acústico

20 2.- Procedimiento para la obtención de un indicador de ruido acústico, según la reivindicación 1, que se caracteriza por que las variables de nivel de presión sonora continuo; persistencia en el tiempo del ruido; ratio señal/ruido; y la frecuencia fundamental del ruido se obtienen por medio de una captación de muestras de ruido ambientales mediante una red de sensores inalámbricos; a las muestras de ruido se les calcula la transformada rápida de Fourier (FFT) obteniéndose información de la señal acústica, se le aplica a dicha señal un filtro de ponderación obteniéndose información del dominio de la frecuencia; y un cálculo de la energía total de las componentes frecuenciales previamente ponderadas.

3.- Procedimiento para la obtención de un indicador de ruido acústico, según la reivindicación 30 2, caracterizado por que la captación de muestra de ruidos se realiza entre 0 y 16 kHz, y cada sensor soporta una frecuencia de muestreo de al menos 32 kHz.

4.- Procedimiento para la obtención de un indicador de ruido acústico, según la reivindicación 35 1, que se caracteriza por que la variable de instante temporal se determina a partir de la hora de captura del ruido.

5.- Procedimiento para la obtención de un indicador de ruido acústico, según la reivindicación 1, que se caracteriza por que la variable de edad se determina a partir de la configuración del rango de edad que se desea evaluar.

5

6.- Procedimiento para la obtención de un indicador de ruido acústico, según las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la interfaz de entrada y la interfaz de salida admiten conversiones lineales.

10

7.- Procedimiento para la obtención de un indicador de ruido acústico, según las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el método de inferencia en el motor de inferencia es del tipo First Infer Then Aggregate (FITA) en el que se utilizan conjuntos difusos triangulares o trapezoidales.

15

8.- Procedimiento para la obtención de un indicador de ruido acústico, según las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la base de datos de conocimiento comprende de manera predefinida la definición de las variables y de las reglas que interrelacionan las variables.

20

9.- Procedimiento para la obtención de un indicador de ruido acústico, según las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el tratamiento de variables del motor de inferencia con la base de conocimiento está basado y expresado en reglas del tipo IF-THEN.

25

10.- Procedimiento para la obtención de un indicador de ruido acústico, según las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que un valor indicador de ruido acústico comprendido entre:

30

- 0-40 se considera sin molestia;
- 40-55 se considera molestia leve;
- 55-65 se considera molestia moderada;
- 65-75 se considera molestia;
- 75-90 se considera mucha molestia; y
- 90-100 se considera extremada molestia.

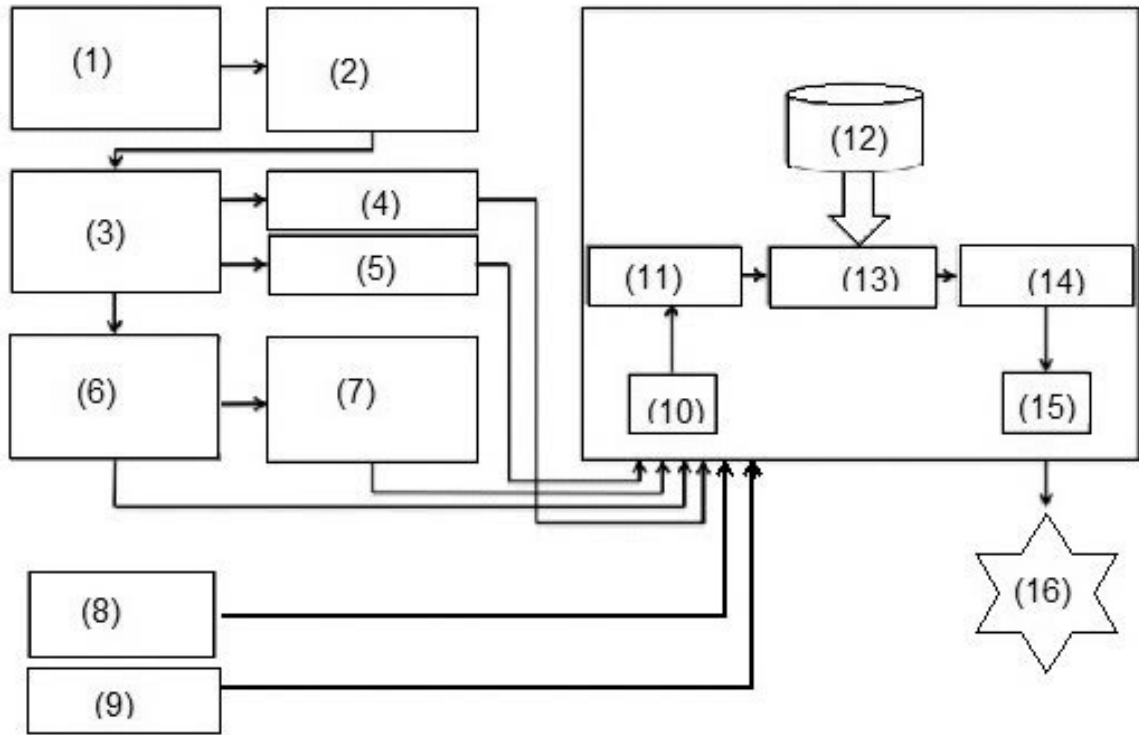


FIG. 1



- ②① N.º solicitud: 201730911
 ②② Fecha de presentación de la solicitud: 10.07.2017
 ③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: **G01H3/12** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	MARISCAL-RAMIREZ, J.A. et al. Knowledge-based wireless sensors using sound pressure level for noise pollution monitoring. 2011 11th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications, Cordoba, 24/11/2011, Páginas 1032-1037 [en línea][recuperado el 17/01/2017]. Recuperado de Internet <URL: URL:http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6121794&isnumber=6121619>, <DOI: 10.1109/ISDA.2011.6121794>. resumen; apartados I,II,IV,V, VI; referencia [14]	1-10
X	DE 20016999U U1 (KUEHNER DIETRICH et al.) 25/01/2001, resumen, pagina 11-13;figuras 1,2	1-10
X	US 2015350799 A1 (SCHNAARE THEODORE H et al.) 03/12/2015, resumen; párrafos [0002,0003,0017,0018,0020,0024,0028,0029,0030,0034,0043-0048, figuras 2-4,7-10	1-10

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:

<p>Fecha de realización del informe 12.03.2018</p>	<p>Examinador F. J. Dominguez Gomez</p>	<p>Página 1/2</p>
---	--	------------------------------

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

G01H

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

INVENES, EPODOC, WPI, NPL, IEEE, INSPEC