(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 716 324**

(21) Número de solicitud: 201830238

(51) Int. CI.:

E21F 17/18 (2006.01)
G01P 15/00 (2006.01)

(12) SOLICITUD DE PATENTE A1

(22) Fecha de presentación:

09.03.2018

(30) Prioridad:

11.12.2017 CL 201703166

(43) Fecha de publicación de la solicitud:

11.06.2019

(71) Solicitantes:

IDVIA 2020 HORIZONTE 2020, S.L. (50.0%)
PLAZA CANOVAS DEL CASTILLO, N.9 BAJO DERECHA
46005 VALENCIA ES y
COREAL DESARROLLOS TECNOLOGICOS, SPA (50.0%)

(72) Inventor/es:

REAL HERRAIZ, Julia Irene;
REAL HERRAIZ, Teresa Pilar;
RIBES LLARIO, Francesc;
BAYDAL GINER, Beatriz;
DEFEZ CANDEL, Emilio;
ZORZONA ARNAO, Adrian;
PEINADO PINILLA, Jesus y
LABRADO PALOMO, Miriam

(74) Agente/Representante:

DURAN-CORRETJER, S.L.P

(54) Título: **DISPOSITIVO Y PROCEDIMIENTO PARA LA MONITORIZACIÓN DEL ESTADO DEL REVESTIMIENTO DE TÚNELES DE HORMIGÓN**

(57) Resumen:

Dispositivo y procedimiento para la monitorización del estado del revestimiento de túneles de hormigón.
Dispositivo para la monitorización del revestimiento de túneles de hormigón, que comprende:
a) al menos un acelerómetro;
b) al menos un microprocesador integrado en un ordenador de placa única (Single Board Computer, SBC, por sus siglas en inglés);
c) al menos un conversor analógico digital; y
d) un traductor de tensión.

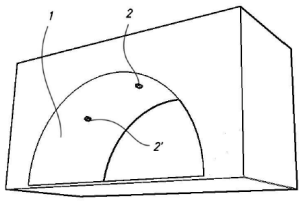

Fig. 1

ES 2 716 324 A1

DESCRIPCIÓN

Dispositivo y procedimiento para la monitorización del estado del revestimiento de túneles de hormigón

La presente invención se refiere al sector del mantenimiento de infraestructuras de hormigón, en particular se refiere a un dispositivo y un procedimiento para la monitorización del estado del revestimiento en túneles de hormigón.

En la actualidad, la auscultación periódica de infraestructuras resulta un sector de interés creciente tanto para los propietarios como para los explotadores de dichas infraestructuras. Las nuevas filosofías de mantenimiento preventivo y predictivo permiten un importante ahorro económico y una mejora notable en la seguridad para los usuarios respecto a los métodos tradicionales de conservación.

En las grandes estructuras viarias, tales como los túneles, la auscultación total del estado de la estructura no resulta sencilla, especialmente si se desea no producir alteraciones en la misma, es decir, toma de muestras, prospecciones, sondeos, entre otros. Además, para campañas de auscultación de cierta relevancia, en muchas ocasiones debe interrumpirse o afectarse de algún modo al normal servicio del túnel. Detectar, identificar, localizar y cuantificar los desperfectos del revestimiento estructural de un túnel puede resultar, por tanto, una tarea tan difícil como necesaria para garantizar la seguridad de sus usuarios. La aparición y evolución de desperfectos estructurales tales como grietas, oquedades, decapados, entre otros, sin una garantía de detección a tiempo es un potencial origen de graves daños materiales y, en los peores casos, daños humanos.

Cuando se produce algún defecto estructural de esta naturaleza, la rigidez del revestimiento varía en al menos, una dirección. Esta variación se traduce en una alteración en la forma de transmitir las vibraciones por parte de la estructura, es decir, en la respuesta dinámica de la misma. Cualquier estructura, dada su geometría y los materiales que la conforman, tiende a responder frente a una vibración incidente aleatoria con unos patrones de deformación determinados, denominados modos de vibración, en el entorno de unos respectivos valores de frecuencia (frecuencias propias).

Por otra parte, en un túnel existen múltiples fuentes que inducen vibraciones sin una frecuencia dominante, por ejemplo microtemblores del terreno, paso de vehículos,

maquinaria pesada operando en las proximidades, conducciones, entre otras. La superposición de todas estas fuentes confluye en una única excitación, de baja intensidad y carácter aleatorio que excita la respuesta propia de la estructura en cuanto a modos y frecuencias. A esta excitación aleatoria se le conoce matemáticamente como ruido blanco.

Tradicionalmente las inspecciones visuales son la medida más sencilla y económica, es ampliamente utilizada pero sólo permite la detección de defectos superficiales y está sujeta al error humano. Requiere el tránsito de operarios y afecta a la normal explotación del túnel.

En la actualidad, los métodos de auscultación de revestimiento de túneles con técnicas no destructivas se basan en diferentes tecnologías, tales como el uso de láser, que requiere de dispositivos portátiles para operarios o montados sobre vehículos y suelen interferir en la normal operación del túnel; la termografía, que es muy similar al láser pero con radiación infrarroja. Este último permite conocer discontinuidades e irregularidades en el revestimiento por diferencia de temperatura y, además, permite conocer defectos superficiales e internos así como humedades y filtraciones. Al igual que el láser también requiere el montaje sobre un dispositivo portátil y, por tanto, afecta a la operación normal del túnel.

Además, se han utilizado sónar, georadares y ultrasonido, en una forma muy similar a la empleada en el reconocimiento de fondos marinos y en la industria militar mediante el análisis de la reflexión de una serie de ondas de parámetros conocidos. También requiere de un dispositivo portátil y afecta a la operación de la infraestructura. Por otra parte, también se ha utilizado la fibra óptica, consistiendo en una serie de conductos embebidos en el hormigón de revestimiento que detecta deformaciones debidas a la variación de la señal reflejada en el interior de la fibra. Se trata de una solución fija, sólo aplicable en túneles de nueva construcción y no a los túneles ya hechos, pero a diferencia de los métodos anteriores no afecta a la utilización del túnel.

Por tanto, sigue existiendo la necesidad de un dispositivo y de un procedimiento que utilice dicho dispositivo para la monitorización del estado del revestimiento de túneles de hormigón, que supere los problemas de la técnica anterior.

Los presentes inventores han desarrollado un dispositivo y un procedimiento que se basa en el uso de acelerómetros que tiene capacidad de trasmisión de datos que resulta en una instalación muy económica, puede utilizarse en obras ya construidas como de nueva construcción, permite la monitorización en tiempo real y de forma ininterrumpida del estado

del revestimiento, tiene bajo consumo energético, no requiere operarios ni vehículos en el interior del túnel durante la auscultación, lo que aporta una mayor seguridad y economía y no altera la normal explotación del túnel.

En la presente invención las frases “clave del túnel” o “clave de la bóveda del túnel” se refieren a la parte central superior de la bóveda del túnel; es decir, la parte central superior que forma el arco del túnel.

Por lo tanto, en un primer aspecto, la presente invención da a conocer un dispositivo para la monitorización del revestimiento de túneles de hormigón, caracterizado por que comprende:

a) al menos un acelerómetro;
b) al menos un microprocesador integrado en un ordenador de placa única (Single Board Computer, SBC, por sus siglas en inglés);
c) al menos un conversor analógico digital; y
d) un traductor de tensión.

Opcionalmente, el dispositivo de la presente invención puede comprender al menos un subsistema de comunicación con conectividad a Internet.

Preferentemente, dicho acelerómetro es un acelerómetro triaxial analógico. Más preferentemente, dicho acelerómetro tiene las siguientes características:

Característica	**Valor**
Rango de aceleración	± 2g
Sensibilidad	61 µg/LSB
Densidad de ruido	90 µg/√Hz
Consumo de corriente	< 1 mA

Un ejemplo de acelerómetro adecuado para utilizar en la presente invención es el modelo 4030-120-002 del fabricante TE Connectivity Measurement Specialties.

Por otra parte, preferentemente dicho microprocesador del dispositivo de la presente invención es el “AM335x 1GHz ARM® Cortex-A8” (Texas Instruments, EEUU).

En un segundo aspecto, la presente invención da a conocer un procedimiento para la monitorización del estado del revestimiento de túneles de hormigón, que utiliza al menos dos dispositivos descritos anteriormente, caracterizado por que comprende las siguientes etapas:

a) dividir dicho túnel en secciones transversales denominadas secciones de control;
b) instalar en cada sección de control al menos dos dispositivos para la monitorización del estado del revestimiento de hormigón del túnel, siendo instalado al menos uno en la clave de la bóveda y al menos uno a una distancia entre 30º y 40º desde dicha clave en secciones cilíndricas o casi cilíndricas;
c) enviar la señal de aceleraciones detectadas por dichos dispositivos a un router 3G o 4G inalámbrico;
d) enviar la información obtenida en la etapa (c) a un servidor en la red;
e) calcular el Ratio de Espectro de Densidad de Potencia Normalizado (NRPSD)
f) Si dicho NRPSD es igual a 0 o muy cercano a 0, es indicativo de que el revestimiento no presenta variación en su rigidez, mientras que si es diferente de 0, es indicativo de que revestimiento está dañado.

Una vez recibidos los datos en el servidor, se procede a su tratamiento. Las aceleraciones quedan registradas en ficheros de texto plano y se muestran en cuatro columnas. Cada una de estas columnas corresponde a los tres ejes del acelerómetro y los valores en ellas son las aceleraciones registradas y al instante en el que han sido medidos.

Resulta necesario realizar una transformación al dominio de la frecuencia. Esta operación se puede programar, por ejemplo, en lenguaje MATLAB mediante una función que incorpora el propio programa y que obtiene la Densidad Espectral de Potencia de la señal de cada uno de los ejes. De este modo, es posible conocer la intensidad con la que vibra el revestimiento para cada frecuencia del rango de estudio. Este resultado permite estimar las frecuencias propias de la estructura.

La integración de dicho espectro dará como resultado el valor del Espectro de Densidad de Potencia (PSD, por sus siglas en inglés), que se puede interpretar como la media del cuadrado de la potencia empleada en hacer vibrar al revestimiento en la dirección correspondiente al eje del dispositivo que se esté analizando. Se obtendrán tantos valores de PSD por cada sección de control como tres veces el número de dispositivos instalados,

es decir, uno por cada eje en cada dispositivo para la monitorización del estado del revestimiento de hormigón del túnel.

Si se compara el PSD de dos direcciones para el mismo dispositivo, es decir, el cociente entre ambos valores, se obtiene el Ratio PSD (RPSD). Este resultado es indicador de la intensidad de la respuesta del revestimiento de hormigón en una dirección respecto a la otra y, por tanto, indirectamente de cuán rígida es una dirección respecto a otra.

Cuando se produce un defecto en una dirección cualquiera, la relación entre las rigideces variará y, por tanto, también lo hará el RPSD. Puesto que las rigideces en distintas direcciones, así como su variación, puede presentar valores muy dispares, incluso variaciones de varios órdenes de magnitud, el cambio que experimenta el RPSD se obtiene mediante una normalización logarítmica del cociente entre el RPSD obtenido para dos direcciones en un nodo de una sección dañada y una sana de referencia, mediante la siguiente expresión:

$$NRPSD^{Di/Dj} = ln((RPSD^{Di/Dj})_{dañada}/(RPSD^{Di/Dj})_{sana})$$

en la que $NRPSD^{Di/Dj}$ es la normalización logarítmica del cociente entre el Ratio de Espectro de Densidad de Potencia del revestimiento dañado y el Ratio de Espectro de Densidad de Potencia del revestimiento sano y D^i y D^j representan los dos ejes en los que se realiza la medición.

A este valor se le conoce como RPSD Normalizado (NRPSD). Mientras la sección no experimente variaciones importantes en su rigidez en alguna de las direcciones, el valor del NRPSD se mantendrá muy próximo a cero, mientras que si no es así, cobrará valores positivos o negativos en función de la dirección que haya resultado dañada y el orden que hayamos escogido en la comparación. Además, la magnitud del NRPSD, en valor absoluto, resultará indicativa del grado de daño que se haya producido siendo mayor cuanto mayor sea este valor y menos relevante cuanto más próximo a cero se encuentre. Es decir, mientras más alejado de 0 esté el valor de NRPSD mayor será el daño que tiene el revestimiento del túnel de hormigón.

Otro criterio fundamental para la adecuada interpretación del resultado obtenido por el procedimiento de la presente invención es que la intensidad de la vibración aumentará,

respecto a la sección sana, en la dirección paralela a la imperfección en el caso de grietas. Por ejemplo, para una grieta longitudinal, de haber escogido la relación:

$$RPSD = PSD^{circ}/PSD^{long}$$

el valor del NRPSD resultaría negativo mientras que para una fisura circunferencial se esperaría justo lo contrario.

Si además se incorpora un segundo acelerómetro y se comparan los valores del NRPSD obtenidos en ambos, es posible obtener una localización aproximada del defecto ya que los efectos de la imperfección se verán amplificados en el entorno del más próximo. Además, con un segundo acelerómetro se facilita la interpretación de las cavidades.

De este modo, se tiene que, de forma general:

RPSD = 0	Sección sana
RPSD ≠ 0	Sección con imperfecciones
$NRPSD^{Di/Dj}>0$	Discontinuidad paralela a “i”
$NRPSD^{Di/Dj}<0$	Discontinuidad paralela a “j”
RPSD ≠ 0	Si todos son del mismo signo, muy probable cavidad

El modelo utilizado en el procedimiento de la presente invención consiste en la reproducción de una sección transversal del túnel junto al terreno colindante al cual se le aplica una vibración tipo ruido blanco. Se trata, por tanto, de un modelo bidimensional. En él se reproduce la geometría de la sección así como los materiales que la componen. Se ha determinado que para su calibración deben ajustarse dos parámetros: la rigidez del terreno y la intensidad del ruido blanco. Para la obtención de la rigidez del terreno se realiza, en primer lugar, un análisis modal. Variando dicho valor y el coeficiente de amortiguamiento del terreno, se ha conseguido ajustar la respuesta dinámica de la estructura.

Para su mejor comprensión se adjuntan, a título de ejemplo explicativo pero no limitativo, unas figuras de formas de realización de la presente invención.

La figura 1 muestra una vista en perspectiva de un túnel en el que se han instalado dos dispositivos para la monitorización del estado del revestimiento de hormigón del túnel según la presente invención.

La figura 2 muestra una vista en perspectiva de otro túnel de mayor longitud que el de la figura 1 en el que se han instalado varios dispositivos para la monitorización del estado del revestimiento de hormigón del túnel según la presente invención.

Como se observa en la figura 1, en el túnel -1- se han instalado dos dispositivos -2-, -2'- para la monitorización del estado del revestimiento de hormigón del túnel según la presente invención. El dispositivo -2- se encuentra instalado en la clave de la bóveda del túnel, mientras que el dispositivo -2'- se encuentra instalado a 35º desde dicha bóveda.

En la figura 2, el túnel -1- tiene una mayor longitud que el túnel de la figura 1 y, por tanto, se ha dividido en 5 secciones de control (secciones A a E) en las que se han instalado dos dispositivos según la presente invención en cada una de las mismas. Como se observa, al menos uno de los dispositivos -2A-, -2B-, -2C-, -2D- (no se observa) y -2E- (no se observa) en cada sección de control están instalados en la clave de la bóveda del túnel, mientras que el otro dispositivo -2A'-, -2B'-, -2C'-, -2D'- y -2E'- de la misma sección de control está instalado aproximadamente entre 20º y 50º de dicha clave de la bóveda. Estos dispositivos envían las mediciones de aceleración a un router 4G -3-, que a su vez envía dicha información a un servidor en la red o en la nube (no mostrado).

Si bien la invención se ha presentado y descrito con referencia a una realización de la misma, se comprenderá que ésta no es limitativa de la invención, por lo que podrán darse variables múltiples, detalles constructivos u otros que podrán resultar evidentes para los técnicos del sector después de interpretar la materia que se da a conocer en la presente descripción, reivindicaciones y dibujos. Así pues, todas las variantes y equivalentes quedarán incluidas dentro del alcance de la presente invención si se pueden considerar comprendidas dentro del ámbito más extenso de las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo para la monitorización del revestimiento de túneles de hormigón, caracterizado por que comprende:

a) al menos un acelerómetro;
b) al menos un microprocesador integrado en un ordenador de placa única (Single Board Computer, SBC, por sus siglas en inglés);
c) al menos un conversor analógico digital; y
d) un traductor de tensión.

2. Dispositivo, según la reivindicación 1, caracterizado por que comprende además al menos un subsistema de comunicación con conectividad a Internet.

3. Dispositivo, según la reivindicación 1 ó 2, caracterizado por que dicho acelerómetro es un acelerómetro triaxial analógico.

Característica	**Valor**
Rango de aceleración	± 2g
Sensibilidad	61 µg/LSB
Densidad de ruido	90 µg/√Hz
Consumo de corriente	< 1 mA

4. Dispositivo, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que dicho microprocesador es el “AM335x 1GHz ARM® Cortex-A8”.

5. Procedimiento para la monitorización del estado del revestimiento de túneles de hormigón, que utiliza al menos dos dispositivos, según las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado por que comprende las siguientes etapas:

a) dividir dicho túnel en secciones transversales denominadas secciones de control;
b) instalar en cada sección de control al menos dos dispositivos para la monitorización del estado del revestimiento de hormigón del túnel, siendo instalado al menos uno en la clave de la bóveda y al menos uno a una distancia entre 30º y 40º desde dicha clave en secciones cilíndricas o casi cilíndricas;

c) enviar la señal de aceleraciones detectadas por dichos dispositivos a un router 3G o 4G inalámbrico;

d) enviar la información obtenida en la etapa (c) a un servidor en la red;

e) calcular el Ratio de Espectro de Densidad de Potencia Normalizado (NRPSD)

f) Si dicho NRPSD es igual a 0 o muy cercano a 0, es indicativo de que el revestimiento no presenta variación en su rigidez, mientras que si es diferente de 0, es indicativo de que revestimiento está dañado.

6. Procedimiento para la monitorización del estado del revestimiento de túneles de hormigón, según la reivindicación 5, caracterizado por que mientras más alejado de 0 esté el valor de NRPSD mayor será el daño que tiene el revestimiento del túnel de hormigón.

7. Procedimiento para la monitorización del estado del revestimiento de túneles de hormigón, según la reivindicación 5 o 6, caracterizado por que se obtiene una localización aproximada del lugar del defecto en el túnel de hormigón.

8. Procedimiento para la monitorización del estado del revestimiento de túneles de hormigón, según las reivindicaciones 5 a 7, caracterizado por que el daño puede ser una cavidad o una grieta paralela a los ejes de medición del dispositivo (longitudinal o circunferencial).

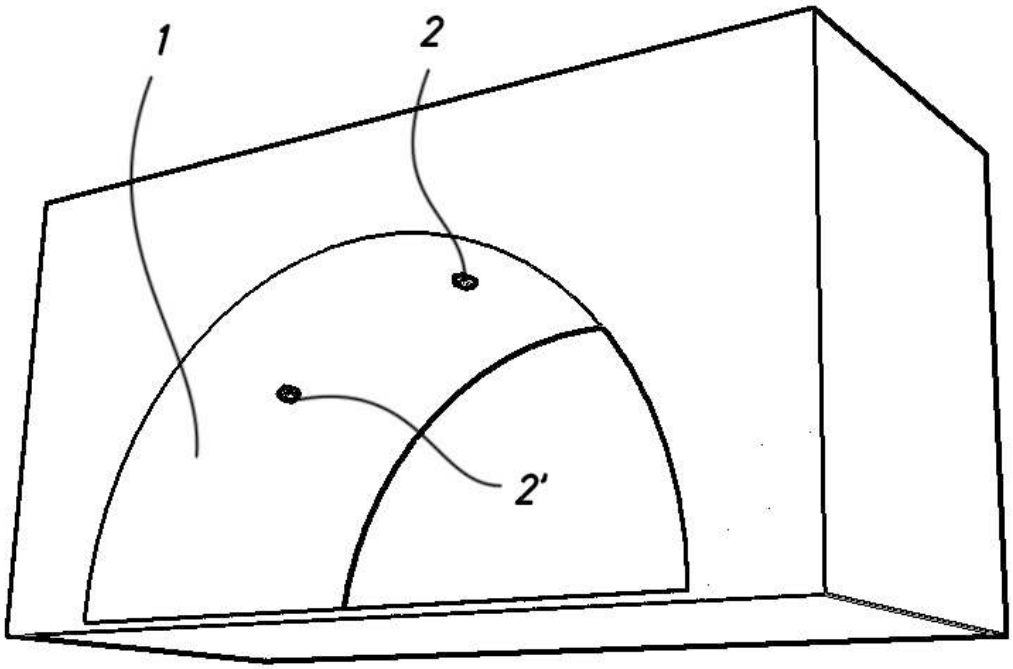

Fig. 1

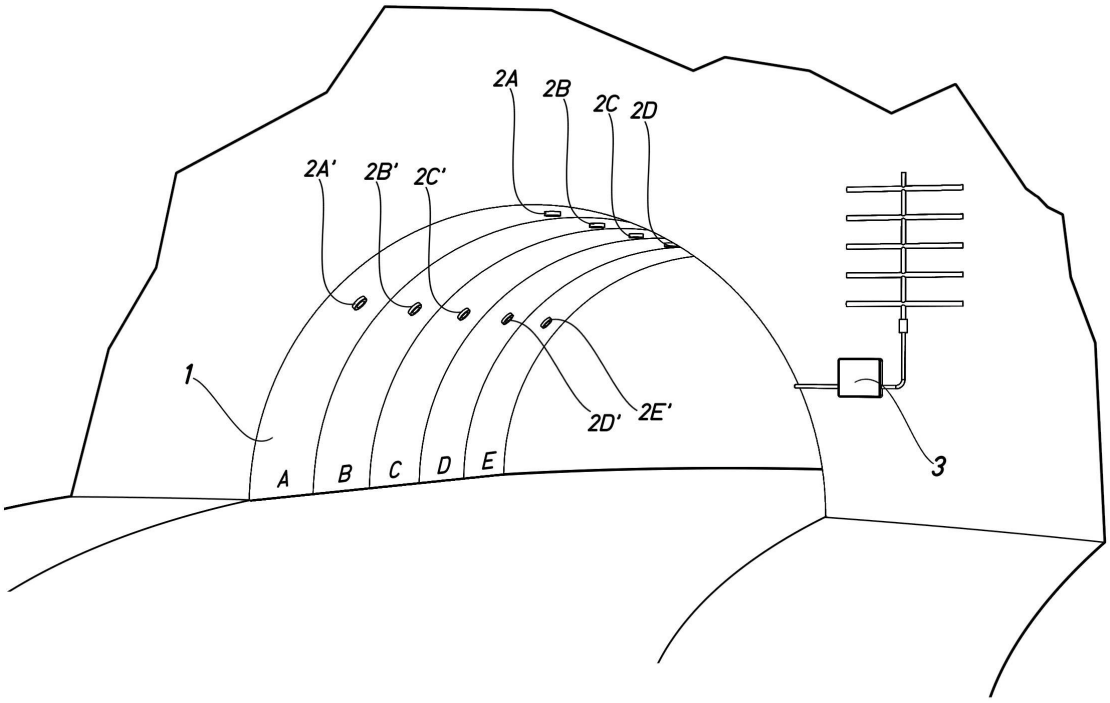

Fig.2

OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(21) N.º solicitud: 201830238

(22) Fecha de presentación de la solicitud: 09.03.2018

(32) Fecha de prioridad: **11-12-2017**

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

(51) **Int. Cl. :** ***E21F17/18*** (2006.01)
G01P15/00 (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	(56) **Documentos citados**	**Reivindicaciones afectadas**
X	CN 106703832 A (SHANGHAI UNDERGROUND SPACE ARCH DESIGN & RES INST) 24/05/2017, resumen; descripción; figuras 1 y 6.	1-4
A		5-8
A	CN 104533523 A (NA ZHIXIONG) 22/04/2015, Todo el documento.	1-8
A	CN 103899327 A (CHINA SHENHUA ENERGY CO LTD et al.) 02/07/2014, descripción; figuras 1 y 2.	1-8
A	CN 205013048U U (CHINA RAILWAY CONSTRUCTION BRIDGE ENGINEERING BUREAU GROUP 1ST ENGINEERING CO LTD et al.) 03/02/2016, Todo el documento.	1, 2
A	JP 2016037808 A (EXH CORP) 22/03/2016, descripción; figuras 8 y 9.	1

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	**Examinador**	**Página**
07.09.2018	M. Cañadas Castro	1/2

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

E21F, G01P

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