

①9



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



①1 Número de publicación: **2 346 027**

②1 Número de solicitud: 200900244

⑤1 Int. Cl.:

H02K 15/00 (2006.01)

G01N 27/87 (2006.01)

①2

SOLICITUD DE PATENTE

A1

②2 Fecha de presentación: **28.01.2009**

④3 Fecha de publicación de la solicitud: **07.10.2010**

④3 Fecha de publicación del folleto de la solicitud:
07.10.2010

⑦1 Solicitante/s: **METRO DE MADRID, S.A.**
c/ Cavanilles, 58
28007 Madrid, ES

⑦2 Inventor/es:
González Fernández, Francisco Javier;
García San Andrés, María Antonia;
Sancho de Mingo, Carlos;
Gómez Parra, Miguel y
Muñoz Condes, María Pilar

⑦4 Agente: **Carpintero López, Mario**

⑤4 Título: **Método para la determinación del estado de contaminación de un motor de inducción.**

⑤7 Resumen:

Método para la determinación del estado de contaminación de un motor de inducción.

La presente invención se refiere a un método para la determinación en funcionamiento del estado de contaminación de un motor de inducción de cara a determinar qué motores necesitarán un servicio de mantenimiento para evitar un fallo inminente y cuáles pueden seguir funcionando sin necesidad de dicho mantenimiento, y que básicamente comprende medir el flujo de dispersión radial del motor mediante un sensor colocado en el exterior del motor y determinar a partir de dichas mediciones el estado de contaminación del motor.

ES 2 346 027 A1

DESCRIPCIÓN

Método para la determinación del estado de contaminación de un motor de inducción.

5 Objeto de la invención

La presente invención se refiere al campo del mantenimiento predictivo de motores de tracción, en especial de motores de inducción. Más concretamente, la invención se refiere a un método para la determinación del estado de contaminación de motores de tracción usados en máquinas ferroviarias, tales como los ferrocarriles metropolitanos de modo a proporcionar un mantenimiento predictivo de los mismos.

Antecedentes de la invención

Los motores de inducción, usados en muchos tipos de industrias así como para el funcionamiento de algunos tipos de máquinas ferroviarias pueden experimentar distintos tipos de problemas técnicos paulatinos que conducirán al mal funcionamiento del mismo, y que sería deseable poder detectar antes del fallo.

En determinadas aplicaciones industriales (como por ejemplo en la minería, cementeras, centrales térmicas de carbón, ferrocarriles, etc) existe el problema adicional de la suciedad. En efecto, una acumulación de contaminantes (típicamente polvo, aceites, grasas, etc...) en el motor también afectará gravemente al funcionamiento del mismo y conducirá finalmente al fallo del motor.

En el caso particular del ferrocarril el sistema rueda-carril está formado por dos elementos metálicos en contacto constante, por lo que se necesitan unas condiciones de lubricación mínimas para evitar problemas graves de sobrecalentamiento, planos, fisuras, gripados, etc. El elemento lubricante es grasa, de características adecuadas a las condiciones de explotación. Esta grasa se suministra a través de engrasadores que pueden estar situados en el propio vehículo, en la vía, o en ambos. El exceso de grasa se va acumulando en la vía y se proyecta desde las ruedas hacia otros elementos bajo bastidor del vehículo ferroviario. En el caso concreto de los motores de tracción la grasa sobrante se proyecta sobre la carcasa de los motores, acumulándose en las proximidades de las rejillas de admisión de aire de refrigeración de los motores. La zona de la carcasa del motor se encuentra caliente, de tal manera que la viscosidad de la grasa disminuye y puede fluir hacia el interior del motor ayudada por la succión provocada por la ventilación del mismo.

Por otro lado, en esta aplicación el motor va acoplado a un reductor que lleva su propio aceite lubricante. Por fallos de la estanqueidad en los cierres del acoplamiento, en algunos casos se produce el paso de pequeñas cantidades de aceite lubricante del reductor al motor, lo que puede afectar al funcionamiento de éste último.

Además, en el caso aún más concreto de ferrocarriles metropolitanos, que se distinguen de los ferrocarriles de largo recorrido por el hecho de discurrir en túnel a lo largo de la mayor parte de la red, el problema se agrava adicionalmente. En efecto, aunque existen sistemas de ventilación forzada, la ausencia de corrientes de aire con velocidades elevadas hace que la concentración de polvo en el entorno sea alta.

Todos estos casos presentan el inconveniente de la acumulación paulatina de suciedad, que termina por alojarse en partes críticas de los vehículos. Detectar la suciedad en los motores de tracción, parte fundamental de la cadena cinemática del vehículo ferroviario, es de vital importancia de cara a optimizar el mantenimiento y alargar la vida útil de los motores.

Las averías de un motor de estas características puede suponer la parada de toda una línea de producción (caso de aplicaciones industriales como los motores de los molinos de cementeras) o en la realización preferida la pérdida de tracción en un vehículo ferroviario, con el consiguiente impacto negativo sobre el cumplimiento del servicio ofertado por el operador.

La reparación de estas averías suele ser costosa, por lo que es de vital importancia la posibilidad de detectar de forma incipiente los fallos que más tarde darán lugar a averías, pues los costes asociados a mantenimiento correctivo son sensiblemente menores si estos fallos se detectan a tiempo.

El caso concreto de la contaminación es de sumo interés como antecedente de una avería, ya que la presencia de contaminación tiene tres efectos sumamente negativos sobre el aislamiento de los motores. En primer lugar, la presencia de contaminantes produce la obturación de los canales de ventilación, causando una pérdida de refrigeración y un aumento de la temperatura de trabajo. Este aumento supone un acortamiento de la vida útil del aislamiento. En segundo lugar, la presencia de contaminantes grasos puede provocar la difusión de estos contaminantes a través del aislamiento y mermar sus propiedades dieléctricas, o en ambientes especialmente agresivos, causar un ataque químico que destruya gradualmente el material de los aislamientos. Por último, la posible presencia de partículas ferromagnéticas depositadas sobre los bobinados crea efectos de abrasión sobre las resinas del aislamiento, provocados por la vibración de estas partículas ferromagnéticas en el seno del campo magnético del motor en funcionamiento.

Se conocen actualmente algunos sistemas que se incorporan en mantenimientos predictivos para determinar el estado del aislamiento de un motor, por ejemplo el equipo comercial EDA. Dicho equipo permite la medición de

diversos parámetros y permite determinar si un motor requiere un servicio de mantenimiento o no. Sin embargo, este método presenta el inconveniente de que debe llevarse a cabo “off-line”, es decir, a motor parado y desembornado. Esto implica una parada de la máquina y una intervención en el desemborne del motor, lo que se traduce en costes ocasionados por dicha parada e intervención.

5

Por tanto, sigue existiendo en la técnica la necesidad de un método para la determinación del estado de contaminación de un motor que no requiera la parada ni el desembornado del mismo, permitiendo una medición más rápida y un ahorro en los costes de mantenimiento del mismo.

10 Breve descripción de los dibujos

La presente invención se entenderá mejor con referencia a los siguientes dibujos, que ilustran realizaciones preferidas de la invención proporcionadas a modo de ejemplo, y que no deberán interpretarse como limitativas de la invención de ninguna manera.

15

Figura 1.- Representa un esquema del flujo de dispersión de un motor de inducción.

Figuras 2a y 2b.- Gráficos representativos que muestran los picos característicos de armónicos fundamentales de un motor de inducción sucio (figura 2a) y limpio (figura 2b).

20

Descripción de la invención

La presente invención se refiere a un método para la determinación en funcionamiento del estado de contaminación de un motor de inducción que consiste en medir el flujo de dispersión del motor mediante un sensor y determinar a partir de dichas mediciones el estado de contaminación del motor. Dicho método sirve como mantenimiento predictivo para determinar qué motores necesitarán un servicio de mantenimiento para evitar un fallo inminente y cuáles pueden seguir funcionando sin necesidad de dicho mantenimiento.

25

Más concretamente, dicho método consiste en medir el flujo de dispersión del motor mediante un sensor y determinar a partir de dichas mediciones el estado de contaminación del motor proporcionando de ese modo un mantenimiento predictivo del motor al mismo tiempo que se evita la parada del motor para determinar su estado de contaminación. El funcionamiento del motor puede verse afectado por diversos factores, tales como un cortocircuito en el bobinado interno del motor, acumulación de suciedad, etc. En cualquiera de los casos, el presente método servirá como mantenimiento predictivo, indicando si un motor estudiado mediante el método presenta algún tipo de problema que indique un fallo inminente del mismo y requiere por tanto un servicio de mantenimiento, o si por el contrario su funcionamiento es adecuado y no precisa de tal servicio.

30

35

Dado que el presente método puede emplearse en un motor en funcionamiento, sin requerir su parada ni su desembornado, el método según la presente invención proporciona ventajas y ahorros considerables para las industrias en las que se emplean este tipo de motores. En efecto, este método permite tanto determinar qué motores precisan un servicio de mantenimiento antes de que se produzca el fallo en su funcionamiento, como evitar los trabajos costosos de mantenimiento preventivo en motores que no precisan de los mismos, proporcionando así ahorros económicos y de tiempo.

40

La implantación de este método consiste en la modificación del lanzamiento de las ordenes de trabajo de mantenimiento de equipos para que no estén asociadas a un ciclo fijo de horas de funcionamiento, sino al estado real de cada máquina. En resumen, consiste en lograr la sistematización del proceso de mantenimiento y eliminar otros mantenimientos preventivos sistemáticos no tan eficaces o menos rentables.

45

La medición del flujo según el método de la presente invención puede realizarse mediante cualquier tipo de sensor conocido por el experto en la técnica, por ejemplo sondas de efecto Hall, bobinas exploradoras, bobinado de hilo de cobre sin núcleo magnético y similares. Igualmente puede aplicarse a cualquier tipo de motor de inducción conocido tal como jaula de ardilla o rotor bobinado. En una realización preferida se aplica el método según la presente invención a un motor del tipo jaula de ardilla.

50

En el caso de un motor de inducción pueden distinguirse dos orígenes para las corrientes responsables de la formación de flujo magnético: las corrientes de estator, que generan ese campo magnético giratorio, y las corrientes inducidas en el rotor, responsables de la aparición del par motor. En la figura 1 se aprecia un esquema del funcionamiento de un motor de inducción así como el flujo de dispersión del mismo. Se distinguen dos tipos de flujo de dispersión, el axial y el radial. Las alteraciones producidas en el flujo de dispersión debidas a acumulación de suciedad, cortocircuitos del bobinado interno, etc., afectarán tanto al flujo axial como al flujo radial, por tanto cualquiera de dichos flujos sirven para las mediciones necesarias para el método según la presente invención. Teniendo esto en cuenta, el sensor para llevar a cabo el método según la presente invención podrá situarse según un plano paralelo al eje del motor para medir el flujo radial o en un plano perpendicular al eje del motor, para medir el flujo axial.

55

60

65

En una realización preferida, el sensor (sonda de efecto Hall, bobina exploradora, etc.) se monta en la posición 1 en el exterior del motor sustancialmente paralela al eje del mismo para medir el flujo radial.

ES 2 346 027 A1

Por ejemplo, en una realización preferida de la presente invención se utiliza el método para determinar el estado de suciedad del motor realizando un análisis de las componentes en frecuencia del flujo radial. En las figuras 2a y 2b se muestran los picos característicos de motores de inducción sucio y limpio respectivamente. La tabla 1 presenta la lista de armónicos seleccionados que se usarán en este análisis y que se observan en las figuras 2a y 2b:

TABLA 1

Armónicos fundamentales

1	Frecuencia aproximada de 20 Hz
2	Frecuencia aproximada de 54 Hz
3	Segundo armónico (160 Hz)
4	Frecuencia aproximada de 180 Hz
5	Frecuencia aproximada de 220 Hz
6	Tercer armónico (240 Hz)
7	Frecuencia aproximada de 380 Hz
8	Quinto armónico (400 Hz)
9	Séptimo armónico (560 Hz)
10	Noveno armónico (720 Hz)
11	Undécimo armónico (880 Hz)

Para el presente análisis se tendrá en cuenta la variación relativa entre el motor sucio y el limpio en vez de los valores absolutos de dichos picos. Esto se debe a que de esta manera puede medirse la evolución de los armónicos independientemente de la carga y del motor que está estudiándose. Además, ya que la escala en decibelios ya es relativa por sí misma, se requiere el uso de magnitudes relativas.

Se realizó un análisis estadístico de ajuste de la magnitud de cada una de las once frecuencias usando el programa Statgraphics versión 5.1. También se realizaron las transformaciones necesarias con objeto de buscar las más adecuadas para el análisis de los datos. La tabla 2 muestra el resumen de los resultados de dicho análisis.

TABLA 2

Resumen del análisis del ajuste de las frecuencias

Frecuencia	Distribución	Transformación
Aproximadamente 20 Hz	Laplace	$1/(x^2)$
Aproximadamente 54 Hz	Gamma	
2º armónico (160 Hz)	Logística	
Aproximadamente 180 Hz	Laplace	$1/(x^2)$
Aproximadamente 220 Hz	Laplace	$\log(x)$
3 ^{er} armónico (240 Hz)	Beta	$\cos(x)$
Aproximadamente 380 Hz	Erlang	$X^{0,9}$
5º armónico (400 Hz)	Chi-cuadrado	
7º armónico (560 Hz)	Gamma	
9º armónico (720 Hz)	Logística	
11º armónico (880 Hz)	Logística	$\log(x)$

ES 2 346 027 A1

Una vez caracterizadas las distribuciones se hizo un estudio para determinar los parámetros más significativos. Dichos parámetros resultaron ser:

- 5 - aproximadamente 20 Hz
- aproximadamente 180 Hz
- aproximadamente 220 Hz
- 10 - tercer armónico
- aproximadamente 380 Hz
- 15 - quinto armónico

Posteriormente se buscó la relación entre estos parámetros y el estado limpio o sucio del motor, basándose en métodos experimentales y teóricos.

20 Dicho análisis puede complementarse con otros análisis para aumentar la fiabilidad del método. Por ejemplo, en el caso concreto de los motores de ferrocarriles en los que el motor está acoplado a un reductor, se estudian de manera estadística las frecuencias relacionadas con las velocidades del eje de salida del reductor. Este análisis es más sencillo que el anterior ya que sólo se emplean diferencias entre los picos y no hay probabilidades. Se basa en una toma de datos y su evaluación mediante medidas características: medias, medianas, desviaciones típicas.

25 Se utilizan para este análisis las frecuencias concernientes a las velocidades de salida de los ejes del reductor más importantes, concretamente:

$$30 \quad \left(1 \pm 0,33 \times \frac{9}{62}\right) \times f, \quad \left(1 \pm 2 \times 0,33 \times \frac{9}{62}\right) \times f$$

siendo f la frecuencia del primer armónico.

35 Se establecieron criterios en función de cada una de las cuatro variables, a modo experimental.

Para que se considere limpio, el motor debe cumplir cuatro condiciones definidas en función de las variables anteriores. Para aquellos motores que no cumplen aunque sólo sea una de ellas, se estableció un plan de corrección, pues 40 las probabilidades obtenidas no eran del todo útiles, basado en criterios estadísticos y en resultados experimentales.

A continuación se detalla el plan de corrección:

- 45 ■ Si el motor no cumple una única condición, sea cual sea, o falla debido a que no cumple más de una frecuencia, siempre que estas frecuencias no sean:

$$50 \quad \left(1 \pm 2 \times 0,33 \times \frac{9}{62}\right) \times f \quad \text{simultáneamente y sólo esas, ó}$$

$$55 \quad \left(1 \pm 0,33 \times \frac{9}{62}\right) \times f \quad \text{simultáneamente y sólo esas ó}$$

60 $\left(1 \pm 0,33 \times \frac{9}{62}\right) \times f$ y $\left(1 \pm 2 \times 0,33 \times \frac{9}{62}\right) \times f$ simultáneamente, el motor se considera como que está sucio.

- 65 ■ Si no cumple simultáneamente las frecuencias $\left(1 \pm 2 \times 0,33 \times \frac{9}{62}\right) \times f$, y sólo esas, el motor se considera como limpio.

ES 2 346 027 A1

Otro análisis utilizado para mejorar adicionalmente la fiabilidad del método según la presente invención es el análisis de las velocidades de los ejes del motor y el reductor entre un modelo de motor limpio y un motor en estudio. Para esta forma de realización, se han tomado los mismos datos que para el estudio anterior. La principal diferencia estriba en que ahora sí que se utilizan todas las frecuencias:

$$(1 \pm 0,33) \times f, (1 \pm 0,33 \times \frac{9}{62}) \times f, (1 \pm 2 \times 0,33 \times \frac{9}{62}) \times f, (1 \pm 3 \times 0,33 \times \frac{9}{62}) \times f$$

En este caso se ha establecido un modelo de motores limpios, compuesto por los valores de las diferencias con el armónico fundamental y cada uno de los ocho picos correspondientes a las frecuencias citadas, formado por la mediana de todos los motores limpios usados. Con este modelo y todos los motores se establece el coeficiente de correlación, de forma que se obtiene un valor en tanto por uno, de modo que cuando entre los motores hay una relación lineal importante el valor es más próximo a uno.

Mediante las medidas estadísticas características se observa que hay diferencias entre los motores sucios y limpios, es por ello que se establece, al igual que en los estudios precedentes, un criterio que indica si el motor está sucio o limpio.

Mediante la combinación de los análisis descritos anteriormente en el presente documento se obtienen altos porcentajes de fiabilidad. El criterio seguido en esta realización del método de la invención ha sido que si dos o más análisis determinan que el motor está sucio o limpio, entonces se considera que el motor realmente está sucio o limpio, respectivamente.

Tal como se aprecia a partir de los resultados anteriores, la presente invención proporciona un método fiable para el mantenimiento predictivo de motores de inducción, tales como los usados para maquinarias ferroviarias. Dicho método proporciona datos con un alto porcentaje de fiabilidad sobre el estado de suciedad del motor, y por consiguiente de su funcionamiento, permitiendo tomar decisiones informadas sobre la necesidad de una parada y desembornado del motor para llevar a cabo actividades de mantenimiento convencionales. De este modo se previenen fallos inminentes de la maquinaria antes de que se produzcan, así como se evitan paradas del funcionamiento del motor para servicios de mantenimiento cuándo éstos no son necesarios.

Tal como se ha presentado anteriormente en el presente documento, el método según la presente invención puede utilizarse, definiendo las amplitudes de los armónicos adecuadas, para considerar el estado de contaminación de un motor. Sin embargo, también puede utilizarse para estudiar la evolución de un motor. En efecto, en una realización preferida del método según la presente invención se parte de un registro inicial del flujo de dispersión del motor y compararlo con medidas posteriores en el tiempo, observando de ese modo la tendencia de los armónicos característicos y, por tanto, la evolución del estado de contaminación del motor.

El método según la presente invención se ha descrito anteriormente en el presente documento con referencia a las realizaciones preferidas de la misma. Sin embargo dichas realizaciones no deben interpretarse como limitativas del alcance de la presente invención, que queda definido por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

5 1. Método para la determinación del estado de contaminación de un motor de inducción **caracterizado** porque comprende:

a) Seleccionar una lista de frecuencias a las cuales se realizarán las mediciones;

b) medir el flujo de dispersión radial del motor en funcionamiento para cada una de dichas frecuencias;

10 c) medir el flujo de dispersión radial de un motor limpio para cada una de dichas frecuencias;

d) analizar la variación relativa de las mediciones efectuadas entre el motor sucio y el limpio; y

15 e) aplicar análisis estadísticos de ajuste de la magnitud y determinación de las frecuencias más significativas para el análisis de dicha variación.

20 2. Método para la determinación del estado de contaminación de un motor de inducción según reivindicación primera, **caracterizado** porque el sensor para la medición del flujo de dispersión radial se monta en el exterior del motor.

3. Método para la determinación del estado de contaminación de un motor de inducción según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque el motor se acopla a un reductor.

25 4. Método para la determinación del estado de contaminación de un motor de inducción según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque, además de la medición del flujo de dispersión radial, comprende:

- analizar los armónicos fundamentales;

30 - analizar las frecuencias relacionadas con las velocidades del eje del reductor;

- analizar las velocidades de los ejes del motor y el reductor entre un modelo de motor limpio y un motor en estudio; y

35 - combinar estos análisis y determinar mediante cálculos estadísticos el estado de contaminación del motor.

40

45

50

55

60

65

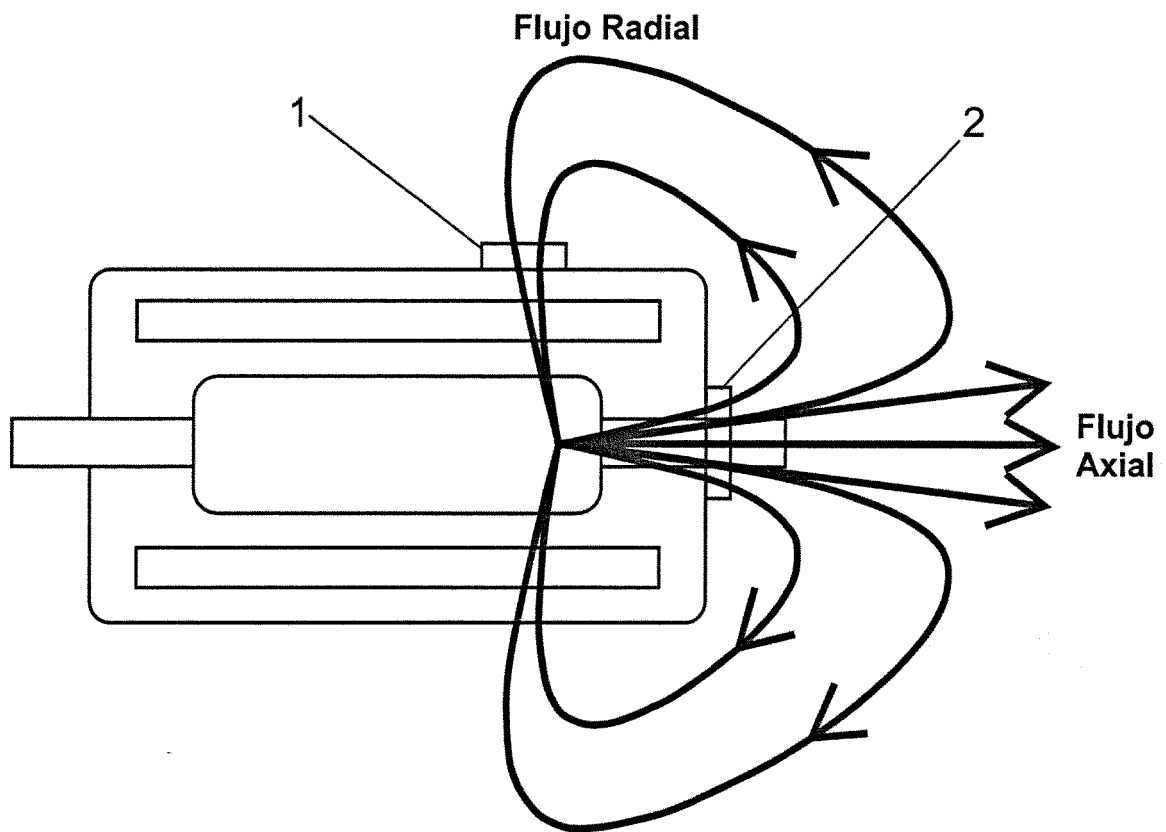


FIG. 1

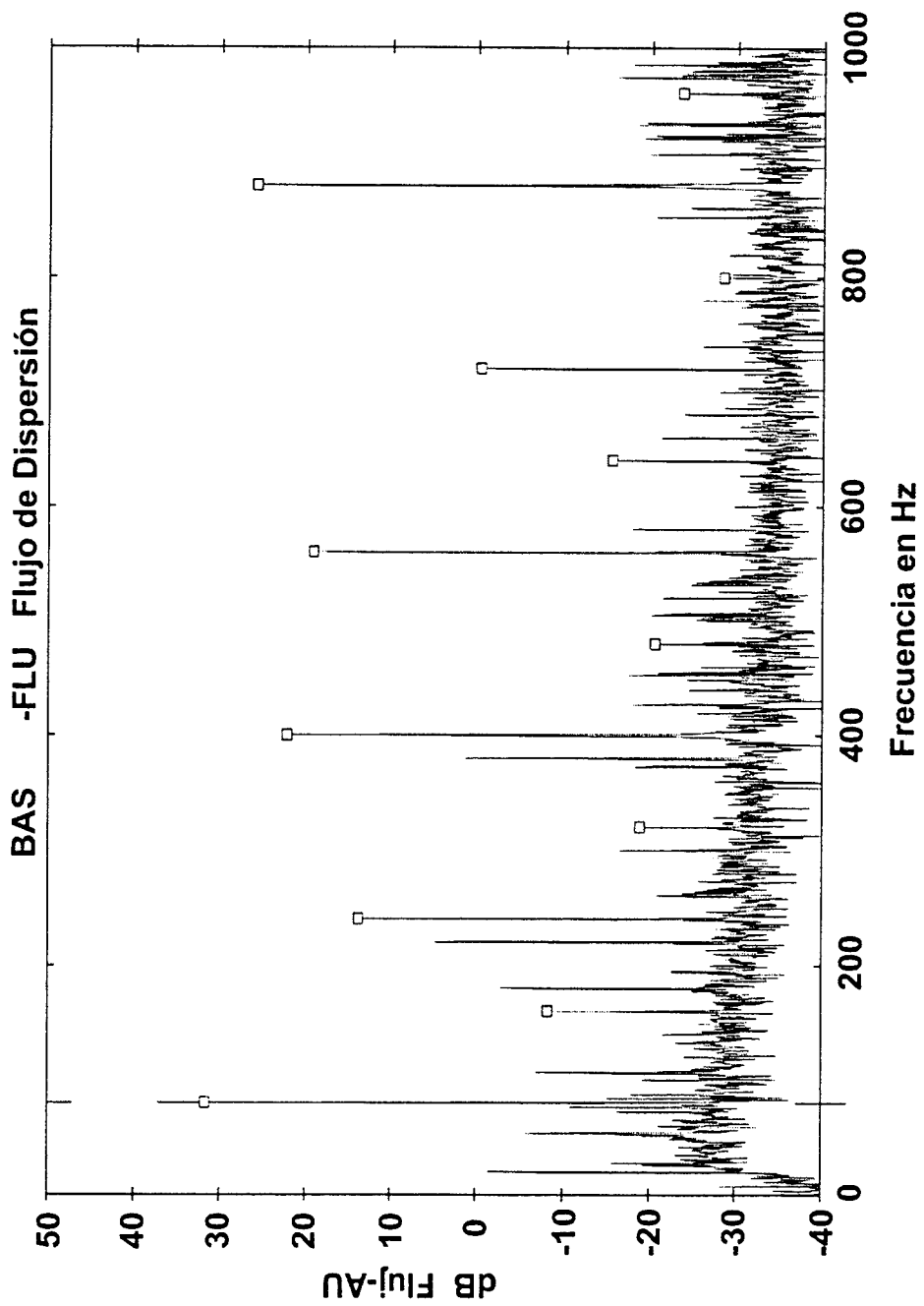


FIG. 2A

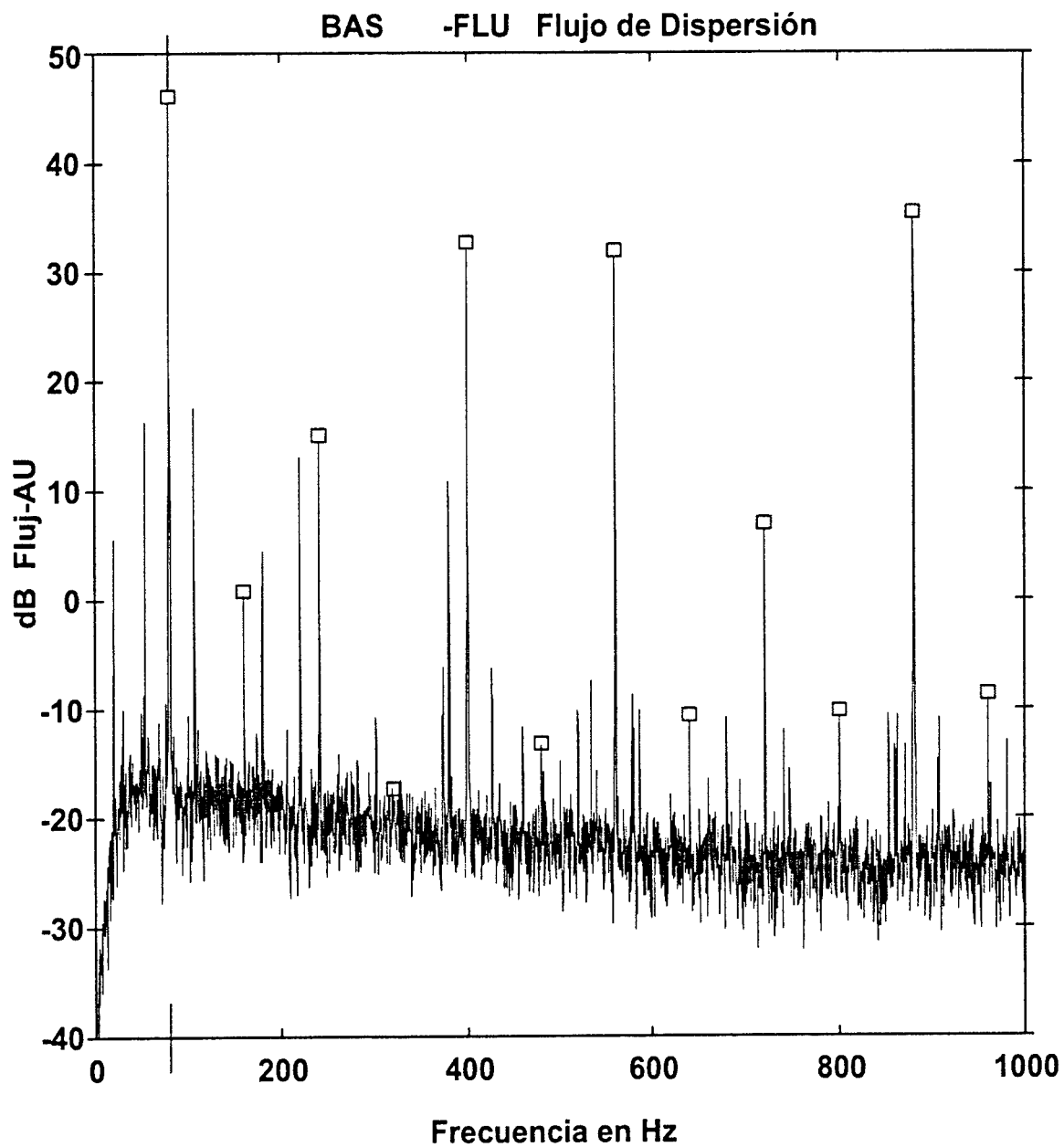


FIG. 2B



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

① ES 2 346 027

② Nº de solicitud: 200900244

③ Fecha de presentación de la solicitud: **28.01.2009**

④ Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤ Int. Cl.: **H02K 15/00** (2006.01)
G01N 27/87 (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	GARCÍA ORTIZ et al.: "Mantenimiento predictivo en Metro de Madrid aplicado a la suiedad de los motores mediante el estudio del flujo de dispersión" en Biblioteca Escuela Politécnica UC3M (Leganés). Año 2005. Capítulos 9 & 10, páginas 57-83.	1-4

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

23.09.2010

Examinador

J. Olalde Sánchez

Página

1/4

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

H02K 15/00, G01N 27/87

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

INVENES, EPODOC, World Wide Web, Catálogo Biblioteca Universidad Carlos III de Madrid

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 23.09.2010

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones	SÍ
	Reivindicaciones 1-4	NO
Actividad inventiva (Art. 8.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones	SÍ
	Reivindicaciones	NO

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

Base de la Opinión:

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

1. Documentos considerados:

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

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	Mantenimiento predictivo en Metro de Madrid aplicado a la suciedad de los motores mediante el estudio del flujo de dispersión	2005

2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración

La solicitud no cumple con los requisitos de patentabilidad exigidos en el artículo 4.1 de la Ley 11/86, por carecer de novedad según se define en el artículo 6.1, en relación con el estado de la técnica definido por el artículo 6.2 de la citada Ley. En concreto, el Documento D01 (páginas 70-83) divulgó explícitamente y con las mismas palabras el objeto de la solicitud, esto es, toda la materia técnica contenida en la solicitud susceptible de ser reivindicada.