

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 415 774**

21 Número de solicitud: 201200024

51 Int. Cl.:

G01J 1/10 (2006.01)

G01J 1/16 (2006.01)

G01J 1/22 (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION

B1

22 Fecha de presentación:

23.12.2011

43 Fecha de publicación de la solicitud:

26.07.2013

Fecha de la concesión:

20.05.2014

45 Fecha de publicación de la concesión:

27.05.2014

73 Titular/es:

**UNIVERSIDAD DE GRANADA (100.0%)
HOSPITAL REAL C/ CUESTA DEL HOSPICIO S/N
18071 GRANADA (Granada) ES**

72 Inventor/es:

**RABAZA CASTILLO, Ovidio;
ESPIN ESTRELLA, Antonio;
AZNAR DOLS, Fernando y
GALADI ENRIQUEZ, David**

54 Título: **SISTEMA Y METODO PARA LA MEDIDA Y MONITORIZACION DE LA CONTAMINACION LUMINICA DEL CIELO NOCTURNO**

57 Resumen:

Sistema y método para la medida y monitorización de la contaminación lumínica del cielo nocturno y configurado para cuantificar con exactitud e instantáneamente los niveles de contaminación lumínica a través del brillo artificial del fondo de cielo usando un sistema que comprende una cámara digital de tipo "all-sky" (2, 3) así como una pluralidad de filtros interferenciales (5). El patrón de medida será la radiación emitida por cualquier lámpara de calibración de flujo conocido en el interior de una esfera integradora. La cara interna de una esfera integradora es lambertiana, esto o garantiza que la luz reflejada por la misma es dispersada uniformemente en todas direcciones y que no se pierde nada de la radiación luminosa emitida por la lámpara al ser su factor de reflexión muy cercano al 100%.

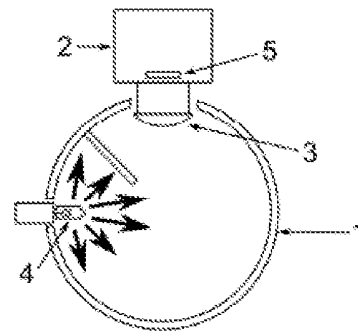


Figura 1

ES 2 415 774 B1

DESCRIPCIÓN

SISTEMA Y MÉTODO PARA LA MEDIDA Y MONITORIZACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA DEL CIELO NOCTURNO

Sector de la técnica

5

La presente invención se enmarca en el del área de las tecnologías físicas ya que el procedimiento descrito contribuye a la investigación básica del fenómeno de la contaminación lumínica mediante el desarrollo tecnológico de un dispositivo opto-electrónico que cuantifica los niveles de ésta clase de contaminación así como su aporte a la ingeniería de la iluminación. Así, también se puede enmarcar en el sector de los dispositivos opto-electrónicos.

10

Esta tecnología se puede aplicar, principalmente, en el sector medioambiental (detección, monitorización y control de la contaminación lumínica, aerosoles, etc.) y en el meteorológico (detección y monitorización de radiación UV-A).

15

Estado de la técnica anterior

Los antecedentes científicos y técnicos cuyos objetivos son la medida y/o monitorización de la contaminación lumínica están descritos a continuación:

20

1º) *Dispositivo WASBAM-SSH:*

Desarrollado por Cinzano, P. [*Memorie della Società Astronomica Italiana*, 5/2004, p. 395-398], consiste en un espectrómetro portátil para monitorizar el brillo del cielo nocturno, o Skyglow, y, por tanto, las emisiones de contaminación lumínica en el rango espectral desde 420 nm hasta 950 nm. El campo de visión del instrumento es de unos pocos grados, por lo que para obtener un mapa completo de toda la bóveda celeste éste lleva incorporada una montura motorizada altazimutal que le permite programar distintos puntos de observación del cielo.

30

El resultado obtenido es un muestreo discreto de imágenes del cielo a las que se le aplican métodos astro-fotométricos. Dichos métodos consisten en usar estrellas estándar (de brillo “aparente” conocido) y comparar dicho brillo “aparente” con el del fondo de cielo y así deducir cuantitativamente los niveles de contaminación lumínica.

35

Posteriormente, estas imágenes con sus datos de brillo “aparente” serán interpoladas para obtener una “estimación” completa del brillo “aparente” del fondo de cielo de toda la bóveda celeste y, por ende, los niveles de contaminación lumínica de todo el cielo.

5

El dispositivo consiste en una montura ecuatorial motorizada, una cámara CCD de 0,4 Mpx cuyo detector está controlado térmicamente por un refrigerador Peltier. Delante del detector se coloca un espectrómetro clase Browning compuesto por un colimador refractivo de 50 mm de distancia focal, una rendija variable, un prisma De Amici que realiza la función de dispersor, y un pequeño ocular, que proyecta la imagen en el detector. Para el modo fotométrico se sustituye el espectrómetro por un objetivo fotográfico de distancia focal variable de entre 16 y 30 mm que le permitirá alcanzar un campo de visión máximo de 29° para cada imagen obtenida. El método no es automático porque abarca tres grandes etapas bien diferenciadas y separadas en el tiempo como son: (a) la captura de imágenes, (b) el cálculo “no automático” del brillo de cielo en cada imagen porque se han de identificar en las estrellas estándar de brillo conocido para aplicar los métodos astro-fotométricos, y por último (c) la interpolación de los mapas de brillo de cada imagen para obtener una estimación de la contaminación lumínica de la bóveda celeste.

20

El resultado de las medidas es un mapa de color de la bóveda celeste cuyos valores se expresan en magnitudes por segundo de arco al cuadrado para algunos filtros del sistema fotométrico Johnson. El proceso de medida requiere, además, de un post-proceso para obtener los resultados finales.

25

2º) *Dispositivo Sky Quality Meter* [<http://www.unihedron.com/projects/darksky>]:

Desarrollado por Welch, D. y Tekatch, A., en el 2007 es un pequeño dispositivo portátil que comprende un fotómetro que mide el brillo del cielo en la noche en una banda espectral semejante a la sensibilidad visual humana. La medida obtenida con el instrumento es un valor numérico del brillo del cielo, que se consigue integrando durante un segundo los fotones recibidos en un campo de visión de 80°.

A diferencia del instrumento WASBAM-SSH descrito en el punto anterior, el Sky Quality Meter no ofrece información espacial de la distribución de radiación emitida

35

por el fondo de cielo a lo largo de su campo de visión, esto implica por ejemplo que no se puede discernir si el origen de tal emisión es natural o artificial.

El resultado de las medidas será un número expresado en unidades no físicas de magnitudes por segundo de arco al cuadrado y no ofrece información espacial de la
5 fuente de las emisiones de radiación luminosa.

3º) *Cámaras CCD de gran campo:*

Desarrollado por Duriscoe, D. M., Luginbuhl, C. B. y Moore, C. A., (Measuring Night-
10 Sky Brightness with a Wide-Field CCD Camera, PASP, vol. 119, pp. 192-213, 2007). Este instrumento es una mejora del WASBAM-SSH desarrollado por Cinzano. Que alcanza un campo de visión máximo de 53°, además, el formato del detector CCD es de 1.04 Mpx (frente a los 0.4 Mpx del WASBAM-SSH). Gracias a estas mejoras resulta más rápido realizar un mapeado completo de la bóveda celeste y además
15 con mayor precisión porque la resolución espacial es más del doble en el presente instrumento que en el desarrollado por Cinzano.

El procedimiento de reducción de datos no es automático porque está basado en astro-fotometría clásica. Dicho procedimiento consiste en comparar el brillo
20 “aparente” de estrellas conocidas (tabuladas en catálogos astronómicos) con el brillo del fondo de cielo. El resultado será un mapa de color de la bóveda celeste cuyos valores se expresan en magnitudes por segundo de arco al cuadrado sólo y exclusivamente para el filtro V del sistema fotométrico de Johnson.

25 Puesto que necesita de las estrellas de brillo “aparente” conocido para realizar los cálculos, este instrumento no es útil cuando el cielo esté total o parcialmente nublado.

4º) *Cámara CCD All-Sky:*

30 Este último caso de instrumentación portátil que detecta/mide contaminación lumínica en el que existen dos trabajos publicados recientemente en revistas de índice de impacto y que se detallan a continuación:

a) El desarrollado por Schwarz et al. (The Tololo All Sky Camera Tasca,
35 Astrophysics and Space Science Library, Vol. 300, sec. III, pp. 379-384,

2004). Éste es conocido con el nombre de TASCA que corresponde con las iniciales de Tololo All-sky Camera. Consiste en un detector CCD de 1.05 Mpx, un objetivo ojo de pez de 8 mm de longitud focal que produce una imagen completa de la bóveda celeste.

5 TASCA está ideado para “identificar” pero “no para calcular” la contaminación lumínica en distintas bandas del espectro electromagnético visible cerca de Cerro Tololo (desierto de Atacama, Chile), además de, la presencia de nubes u otros objetos transeúntes como meteoritos, aviones, etc. Produce, por tanto, sólo imágenes “no calibradas”, y no MEDICIONES CUANTITATIVAS.

10

b) El desarrollado por Rabaza O. et al. (*All-Sky brightness monitoring of light pollution with astronomical methods, Journal of Environmental Management, Vol. 91, pp. 1278-87, 2010*), los mismos autores que presentan la propuesta del invento. Consiste en un detector CCD de 10.7 Mpx, un objetivo ojo de pez de 8.5 mm de longitud focal que produce una imagen completa de la bóveda celeste y está provista de los tres filtros B, V y R del sistema fotométrico Johnson. A diferencia del instrumento TASCA desarrollado por Schwarz et al., éste proporciona medidas cuantitativas en unidades no físicas de magnitud por segundo de arco al cuadrado.

15

20 Puesto que necesita de las estrellas de brillo “aparente” conocido para realizar los cálculos, éste instrumento tampoco es útil cuando el cielo esté total o parcialmente nublado.

Explicación de la invención

25

Mediante el método y sistema descrito en las reivindicaciones de la presente invención se pueden medir los niveles de contaminación lumínica en función de la longitud de onda de forma ágil y precisa, y además conocer la posición y las características de las fuentes de luz artificiales que provoquen la contaminación.

30

Es un objeto de la invención un procedimiento de calibración y un instrumento para medir con exactitud e instantáneamente los niveles de contaminación lumínica del cielo (en unidades físicas o del sistema internacional) para cualquier longitud de onda comprendida como mínimo entre los 380 nm y los 780 nm (rango espectral visible) y como máximo el rango espectral que permitan los sistemas opto-

35

electrónicos de adquisición de imágenes, independientemente de las condiciones climáticas y corrigiendo el gradiente de iluminación debido a la distorsión provocada por los elementos ópticos usados para tal fin.

- 5 El patrón de medida será la radiación emitida por cualquier lámpara de calibración de flujo conocido en el interior de una esfera integradora.

Así, un objeto de la invención es un sistema de calibración de flujo radiante y un procedimiento, que se realiza utilizando una esfera integradora (o esfera de Ulbricht)
10 de luz, lámparas de emisión continua y filtros interferenciales.

Otro objeto de la presente invención es el sistema que permite la medición de la contaminación lumínica del fondo de cielo de toda la bóveda celeste provocada por las fuentes de iluminación artificial y que comprende una cámara digital de alta
15 resolución espacial y temporal.

Las imágenes obtenidas serán procesadas mediante un software desarrollado específicamente, que también es objeto de la presente invención.

20 La presente invención resuelve una serie de problemas que presentan los sistemas conocidos en la actualidad como la falta de precisión, procesamiento manual de datos, ninguna representación gráfica o información en unidades físicas, falta de corrección de la distorsión óptica o dependencia total de las condiciones climatológicas. Entre las mejoras que presenta se encuentran las siguientes:

25

- Medir automáticamente y con exactitud los niveles de contaminación lumínica en cualquier longitud de onda del rango espectral visible, o radiación electromagnética en cualquier longitud de onda que abarca como mínimo el rango espectral visible y como máximo el rango espectral que permiten los
30 sistemas opto-electrónicos.

30

- Las lámparas de calibración utilizadas han sido calibradas teniendo como referencia a un "cuerpo negro" (radiador ideal), a diferencia de los métodos clásicos de astro-fotometría en el que utilizan a las estrellas como elementos de calibración estando estas muy lejos de ser un radiador ideal.

- Los resultados obtenidos están expresados en unidades físicas ó en unidades del sistema internacional: flujo radiante espectral ($W\text{ nm}^{-1}$), irradiancia espectral ($W\text{ m}^{-2}\text{ nm}^{-1}$), radiancia espectral ($W\text{ m}^{-2}\text{ sr}^{-1}\text{ nm}^{-1}$), flujo luminoso (lm), iluminancia (lx) y luminancia ($cd\text{ m}^{-2}$).
- 5 - Los resultados se representan con un mapa de color de toda la bóveda celeste obtenidos instantáneamente después de cada exposición identificando a primera vista las regiones geográficas donde están las fuentes artificiales que producen la contaminación lumínica.
- Para obtener resultados exactos, se ha desarrollado un método y un
10 protocolo de calibración que corrige la distorsión óptica producida por el uso de objetivos con un ángulo de visión superior a 180 grados, también denominados objetivos "de ojo de pez".
- El instrumento medirá los niveles de contaminación lumínica "independientemente" de las condiciones atmosféricas y climáticas, ya que no
15 se usan a las estrellas como fuentes de calibración

En comparación con dispositivos existentes, descritos en el estado de la técnica, la utilización del sistema/método propuesto supone:

- 20 i) Una información espectralmente completa y exacta del flujo electromagnético percibido de todo el cielo, debido a fuentes de luz artificiales calibradas a su vez con radiadores cuasi-perfectos, en unidades físicas y no en unidades astronómicas.
- ii) Una información de las zonas geográficas donde están situadas las
25 fuentes de radiación artificial así como la identificación general del tipo de alumbrado instalado en dichas zonas donde están las fuentes de emisión; por ejemplo el alumbrado vial de ciudades, municipios, carreteras, etc.

30 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 sean limitativos de la presente invención. Además,

la presente invención cubre todas las posibles combinaciones de realizaciones particulares y preferidas aquí indicadas.

5 Breve descripción de las figuras

Fig. 1.- Muestra un esquema del montaje de la lámpara (4) y del objetivo tipo ojo de pez (3) dentro de la esfera integradora (1). (2) representa la cámara CCD y (5) los filtros interferenciales.

10 **Fig. 2.-** Muestra la respuesta proporcionada por los filtros interferenciales que permiten el paso de radiaciones cuasi-monocromáticas manteniéndose sus respuestas prácticamente invariables independientemente del ángulo de incidencia de la luz sobre el filtro.

Fig. 3.- Muestra un esquema del montaje de los elementos utilizados en el prototipo (ejemplo de aplicación): cámara CCD (2), esfera integradora (1), adaptador de
15 lámpara (7) y fuente de alimentación (6).

Fig. 4.- Muestra una imagen del interior de la esfera integradora obtenida con el objetivo fotográfico de ojo de pez, uno de los filtros interferenciales (555 nm) y el detector CCD. Es evidente el gradiente de iluminación radial debido a la distorsión
20 del objetivo fotográfico. Idealmente, la imagen no debería tener tal gradiente de iluminación porque la superficie interior de la esfera integradora emite (por reflexión lambertiana) radiación de manera uniforme en todas direcciones.

Fig. 5.- Muestra el resultado de aplicar el código informático desarrollado por los inventores a la imagen de calibración del interior de la esfera integradora para
25 corregir el gradiente de iluminación. Como se puede comprobar, ésta es uniforme y el valor de las cuentas por píxel del detector es igual a la radiancia espectral emitida por la superficie interna de la esfera integradora.

Fig. 6.- Muestra la curva de irradiancia espectral a 0.5 metros de distancia de la lámpara halógena de cuarzo-tungsteno usada en el ejemplo de aplicación. Los datos
30 son proporcionados por el fabricante de la lámpara.

Fig. 7.- Muestra la curva de flujo espectral de la lámpara halógena de cuarzo-tungsteno usada en el ejemplo de aplicación. Los datos son deducidos de los proporcionados por el fabricante de la lámpara.

Fig. 8.- Muestra las curvas de eficiencia luminosa fotópica y escotópica (lm/W). Para
35 cada longitud de onda, la eficiencia luminosa es el cociente entre el valor de la

magnitud fotométrica (ej. luminancia) y el valor de la magnitud radiométrica (ej. radiancia).

Fig. 9.- Muestra la imagen monocromática obtenida de la bóveda celeste con el filtro de 555 nm sin estar todavía corregida por el gradiente de iluminación provocado por el objetivo ojo de pez.

Fig. 10.- Muestra el mapa de color con los valores de radiancia de la bóveda celeste a longitud de onda de 555 nm como consecuencia de la contaminación lumínica.

Fig. 11.- Muestra el mapa de color con los valores de luminancia de la bóveda celeste como consecuencia de la contaminación lumínica.

10

Exposición detallada de la invención y ejemplos de realización

La invención es un procedimiento de calibración, medida y cálculo para cuantificar con exactitud e instantáneamente los niveles de contaminación lumínica a través del brillo artificial del fondo de cielo usando un sistema que comprende una cámara digital de tipo "all-sky" así como una pluralidad de filtros interferenciales.

El patrón de medida será la radiación emitida por cualquier lámpara de calibración de flujo conocido en el interior de una esfera integradora. La cara interna de la esfera integradora es lambertiana, esto garantiza que la luz reflejada por la misma es dispersada uniformemente en todas direcciones y que no se pierde nada de la radiación luminosa emitida por la lámpara al ser su factor de reflexión muy cercano al 100%.

El procedimiento, con el carácter más general, comprende las siguientes fases:

- Calibración
- Adquisición de imágenes
- Análisis mediante un software específico.

A través del procedimiento de calibración y de la utilidad del instrumento se podrá medir la radiación emitida por el fondo de cielo para cualquier longitud de onda y para cualquier región del cielo de toda la bóveda celeste observable (

Figura) desde el lugar donde se realiza las medidas.

La clave fundamental que le confiere el carácter novedoso para calcular los niveles de brillo del fondo de cielo en una longitud de onda específica es el procedimiento de calibración, que se realiza utilizando una esfera integradora de luz (1), lámparas (4) de emisión continua (patrón de medida) (ver Figuras 6 y 7) y filtros interferenciales (5).

La esfera integradora (1) garantiza que la iluminación de su pared interna sea completamente uniforme en cualquier dirección, debido a su carácter lambertiano, cuyos valores radiométricos y fotométricos serán fácilmente calculados a través de las siguientes expresiones:

$$L(\lambda) = \frac{\phi_L(\lambda)}{\pi \cdot A_S} \frac{\rho}{1 - \rho(1-f)} \quad \text{Eq.1}$$

Donde L representa la radiancia espectral ($\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1} \text{nm}^{-1}$) emitida por cada punto de la pared interior de una esfera integradora iluminada por una fuente que emite un flujo espectral conocido ϕ_L para una longitud de onda concreta. La variable ρ es la reflectancia de la pared de la esfera integradora, f es la fracción de superficie ocupada por los puertos de la esfera integradora y A_S es la superficie total interna de la esfera integradora.

El flujo radiométrico espectral ϕ_T (W nm^{-1}) emitido por toda la pared interna de una esfera integradora es:

$$\phi_T(\lambda) = \frac{\phi_L(\lambda) \cdot \rho(1-f)}{1 - \rho(1-f)} \quad \text{Eq.2}$$

La irradiancia espectral ($\text{W m}^{-2} \text{nm}^{-1}$) percibida por la cámara en el interior de una esfera integradora es:

$$E(\lambda) = \frac{\phi_L(\lambda)}{A} \cdot \frac{\rho(1-f)}{1 - \rho(1-f)} \quad \text{Eq.3}$$

donde A es la superficie efectiva del objetivo tipo "ojo de pez" (3).

Las magnitudes fotométricas se obtienen de las magnitudes radiométricas (eq. 1, eq. 2 y eq.3) multiplicándolas por la eficiencia luminosa $v(\lambda)$ de la longitud de onda

correspondiente para visión fotópica o escotópica (ver figura 8). Para calcular la luminancia se aplica la siguiente expresión:

$$L_v(\lambda) = v(\lambda) \cdot L(\lambda) \quad \text{Eq.4}$$

5

Para obtener el flujo luminoso se utiliza la siguiente expresión:

$$\phi_v(\lambda) = v(\lambda) \cdot \phi_T(\lambda) \quad \text{Eq.5}$$

10 Y finalmente, para obtener la iluminancia se utiliza la siguiente expresión:

$$E_v(\lambda) = v(\lambda) \cdot E(\lambda) \quad \text{Eq.6}$$

El procedimiento de calibración comprende las siguientes etapas:

15

i) Introducir una lámpara (4) halógena de cuarzo y tungsteno de flujo radiante conocido en el interior de una esfera integradora (1) por uno de los puertos de la esfera habilitados para tal propósito y por otro puerto la cámara all-sky formada básicamente por el detector (2), sistema automático de intercambio de filtros, 5 filtros (5) y objetivo tipo “ojo de pez” (3).

20

ii) Después de que la lámpara en el interior de la esfera integradora esté encendida un tiempo determinado (tiempo aconsejado por el fabricante para alcanzar la estabilidad en la emisión del flujo) se procederá a tomar una imagen de la cara interna (iluminada) de la esfera integradora con cada uno de los filtros seleccionados (Figura 4).

25

El procedimiento de adquisición de imágenes:

iii) Obtener una imagen de todo el fondo de cielo (ver Figura 9) para cada uno de los filtros seleccionados, cuyo brillo será debido a la luz artificial procedente del alumbrado exterior de las ciudades.

30

El procedimiento de análisis mediante el software:

iv) Corregir el gradiente de iluminación de las imágenes obtenidas del fondo de cielo debido a la distorsión óptica del objetivo ojo de pez. Como

35

ejemplo, para entender en qué consiste el gradiente de iluminación, en la Figura 4 se muestra la imagen obtenida del interior de la esfera integradora afectada por el gradiente de iluminación debido a la distorsión óptica producida por el objetivo fotográfico "ojo de pez" (3) , y la Figura 5 es la misma imagen corregida del gradiente de iluminación.

5

- v) Comparar píxel a píxel la imagen del fondo de cielo, corregida del gradiente de iluminación, con la imagen de calibración (Figura 5) de donde se conocen los datos radiométricos y fotométricos y así obtener el valor de las mismas magnitudes en las imágenes del fondo de cielo /Figuras 10 y 11).

10

El sistema de calibración de la invención está comprende los siguientes componentes (Figuras 1 y 3)

15

- a) Fuente de alimentación de corriente continua regulada en intensidad o potencia (6).
- b) Lámpara (4) halógena de cuarzo-tungsteno de baja potencia y flujo radiante conocido que abarca como mínimo el rango espectral continuo visible y como máximo el rango espectral que permiten los sistemas opto-electrónicos.
- c) Esfera integradora (1) recubierta de un material lambertiano con un factor de reflexión próximo al 100%, preferentemente spectralon.
- d) Adaptador/conector (7) de la lámpara halógena de cuarzo-tungsteno de baja potencia para ensamblarla en el interior de la esfera integradora y conectarla a la fuente de alimentación de corriente continua.

25

El sistema para realizar la medición de la contaminación lumínica del fondo de cielo de toda la bóveda celeste provocada por las fuentes de iluminación artificial comprende una cámara digital de alta resolución espacial y temporal y los siguientes componentes:

30

- a) Detector CCD de alta resolución (2) sensible en el rango espectral que abarca como mínimo el rango espectral continuo visible.
- b) Un objetivo fotográfico "ojo de pez" (3) para capturar por completo toda la bóveda celeste.
- c) Intercambiador o rueda de filtros ópticos de más de 4 posiciones situada entre el detector y el objetivo fotográfico ojo de pez.

35

- d) Juego de filtros interferenciales (5) de longitudes de onda central pertenecientes al rango espectral que abarca como mínimo el rango espectral continuo visible.
- e) Medios para la estabilización y apuntado del sistema hacia el cénit.

5

El software corrige el gradiente de iluminación debido a la distorsión óptica producida por el objetivo ojo de pez en ambas imágenes, posteriormente, el algoritmo programado hará una comparación entre la imagen de calibración y la que es objeto de medida y como se conocen los valores radiométricos y fotométricos de la luz capturada en la imagen de calibración se podrán deducir los valores radiométricos y fotométricos de la luz capturada en la imagen que será objeto de medida.

10

La imagen de calibración obtenida del interior de una esfera integradora (Figura 4) captura prácticamente el 100% de toda la luz que emite una lámpara de flujo radiométrico conocido (patrón de medida) por lo que se podrá obtener en las mismas unidades físicas la luz percibida en las imágenes objeto de medida, o lo que es lo mismo, expresar los niveles de contaminación lumínica capturado en las imágenes objeto de medida en unidades de flujo radiante ($W\ nm^{-1}$), irradiancia espectral ($W\ m^{-2}\ nm^{-1}$), radiancia espectral ($W\ m^{-2}\ sr^{-1}\ nm^{-1}$), flujo luminoso (lm), iluminancia (lx) y luminancia ($cd\ m^{-2}$).

15

20

La invención resuelve el problema de medir con exactitud e instantáneamente los niveles de contaminación lumínica a través del brillo artificial del fondo de cielo, en función de cualquier longitud de onda comprendida como mínimo entre los 380 nm y los 780 nm (rango espectral visible) y como máximo el rango espectral que permitan los sistemas opto-electrónicos usados en la adquisición de las imágenes.

25

Como ha sido indicado, la solución proporcionada por esta invención se basa en un sistema de calibración (Figura 1) y observación de todo el cielo de elevadas prestaciones técnicas, mediante una combinación de una esfera integradora (1), una lámpara de emisión continua (4), un objetivo fotográfico ojo de pez (3), filtros interferenciales (5), un detector CCD (2) de gran formato y un software específico.

30

El patrón de medida será la radiación emitida por cualquier lámpara de calibración de flujo conocido (ver Figura 7) en el interior de una esfera integradora. Éstas lámparas han sido caracterizadas usando un radiador cuasi-ideal (cuerpo negro).

- 5 Con la ayuda de un programa informático específico se puede controlar la adquisición de los datos en forma de imágenes o mapas de color así como la interpretación de dichos datos que darán como resultado el cuánto, cómo y dónde de la contaminación lumínica.

- 10 El programa informático controla todo el proceso, desde el control de la cámara hasta el cálculo de los niveles de radiación luminosa emitida por el fondo de cielo siguiendo la secuencia siguiente:
 - Selección de longitud de onda de medición: el programa informático se
15 comunica con la cámara para posicionar o intercambiar los filtros interferenciales (5) con el propósito de escoger la longitud de onda de la radiación a medir.
 - Selección de temperatura del detector: el programa informático se comunica
20 con la cámara (2) para establecer la temperatura de trabajo del detector mediante un sistema de enfriamiento Peltier con el propósito de disminuir el ruido térmico de éste. Idealmente se desearía disminuir al máximo la temperatura del detector pero en realidad pudiera no ser lo más óptimo dependiendo de la temperatura exterior de la cámara.
 - Determinación del tiempo de exposición: el programa controla la captura de
25 imágenes permitiendo determinar el tiempo de exposición de las mismas. Este tipo de control evitará la saturación de "cuentas" en los píxeles iluminados disminuyendo los tiempos de exposición ó si los niveles de iluminación son bajos poder aumentar los tiempos de exposición en virtud de incrementar la sensibilidad del detector.
 - 30 - Captura de imágenes de calibración: el programa informático se comunica con la cámara para la adquisición de las imágenes de calibración, una para cada filtro, del interior de la esfera integradora iluminada por la lámpara de calibración.

- Captura de imágenes del fondo de cielo: con la cámara orientada al cénit se capturan las imágenes de toda la bóveda celeste (como la expuesta en la Figura 9), una por cada filtro.
- Corrección del gradiente de iluminación y cálculo: Cada imagen del cielo es dividida por la imagen de calibración obtenida con el mismo filtro y su resultante es multiplicada por el valor calculado en la ecuación 1 descrita en el apartado de la explicación de la invención. Literalmente, se divide las cuentas de cada píxel de la imagen de cielo por las cuentas del mismo píxel de la imagen de calibración y el resultado en cada píxel se multiplica por el valor de la radiancia emitida por las paredes internas de la esfera integradora iluminada por la lámpara de calibración (ver Figura 10). Para calcular los valores fotométricos de cada longitud de onda (luminancias, iluminancias y flujos fotométricos) se deberán multiplicar los valores obtenidos de radiancia, irradiancia y flujo radiante por el valor correspondiente de la curva escotópica o fotópica.
- Representación de resultados mediante mapas de color con los niveles calculados en la secuencia anterior (ver figuras 10 y 11).

Respecto al fundamento técnico del invento, se sabe que la radiación emitida (por reflexión) de las paredes internas de la esfera integradora (1) es uniforme en todas las direcciones (la superficie interna de la esfera integradora es perfectamente lambertiana), consecuentemente, una imagen obtenida con la cámara (objetivo fotográfico ojo de pez (3) + filtro de color (5) + CCD (2)) del interior de la esfera integradora debía ser "idealmente" un círculo de luz completamente uniforme y cuya longitud de onda es la que deja pasar el filtro, sin embargo, debido a la distorsión óptica provocada por el objetivo ojo de pez en la imagen obtenida del interior de la esfera integradora el resultado es un notable gradiente de iluminación radial (ver figura 4). Esto significa que cualquier imagen capturada del cielo llevará implícita el mismo gradiente de iluminación.

Gracias al programa informático se puede corregir el gradiente de iluminación como se puede observar en la figura 5 donde, tras aplicarlo sobre la imagen original, el resultado es el esperado: una imagen circular completamente uniforme.

Las radiaciones emitidas por el fondo de cielo, como consecuencia de las emitidas hacia él por las fuentes de luz artificial del alumbrado vial, serán capturadas por la cámara estando éstas también afectadas por el gradiente de iluminación, por lo que también deberán ser corregidas del gradiente.

5

Comparando el número de “cuentas” en cada píxel de la imagen patrón (figura 5) las cuentas de cada píxel están relacionadas con un valor de radiancia) con el número de cuentas de cada píxel de la imagen de la bóveda celeste (Figura 9) corregida del gradiente de iluminación, se podrá deducir por una regla de proporcionalidades la radiancia ($W\ m^{-2}\ sr^{-1}$) de cada porción de fondo de cielo proyectado en cada píxel del detector.

10

Multiplicando la radiancia medida en cada píxel por su correspondiente factor de eficiencia luminosa fotópica o escotópica (Figura 8) obtendremos la luminancia ($cd\ m^{-2}$) medida en cada píxel para la longitud de onda seleccionada a través del filtro interferencial.

15

Tanto el flujo radiante (W) como la irradiancia ($W\ m^{-2}$) percibida de la bóveda celeste son fácilmente calculados aplicando las ecuaciones descritas.

20

El flujo luminoso (lm) y la Iluminancia (lx) se obtienen de multiplicar el flujo radiante y la irradiancia por su correspondiente factor de eficiencia luminosa fotópica o escotópica (Figura 9)

25

Estos mapas de color permiten al usuario no sólo conocer los niveles de radiación luminosa emitida por el cielo (como consecuencia de la recibida por la iluminación artificial) sino deducir qué tipo de lámparas se están usando y en qué zonas geográficas están situadas, ya que las lámparas de alumbrado público son mayoritariamente de descarga y tienen muy bien definidas sus líneas espectrales de emisión.

30

Ejemplo de uso de la invención.

Con el objetivo de probar la aplicación de la invención presentada en esta memoria se adquirieron los elementos opto-electrónicos mostrados en la Figura 3 y fueron

35

montados según el esquema mostrado en la Figura 1 para la obtención de las imágenes de calibración.

Puesto que el patrón de medida es cualquier lámpara de emisión continua en el interior de una esfera integradora en el que se conocen sus propiedades radiométricas, para el calibrado del sistema y ante las determinaciones a realizar se empleó una lámpara halógena de cuarzo-tungsteno Qth (4) de 10 vatios de potencia. En la figura 6 está representada la curva de irradiancia espectral proporcionada por el fabricante de la lámpara (4), y en la figura 7 está representada la del flujo radiante. Los datos de la curva del flujo espectral radiante son los que están programados en el software que realiza los cálculos de contaminación lumínica.

La lámpara (4) está alimentada por una fuente de corriente continua (6) regulada a 1.67 amperios y potencia nominal de 10 vatios.

La esfera integradora (1) tiene un diámetro de 5.131 pulgadas, con un puerto principal de 2.5 pulgadas de diámetro y dos puertos auxiliares de 1 pulgada de diámetro. La esfera integradora (1) está recubierta en su interior por spectralon (material altamente difusor y reflectivo). En uno de los dos puertos auxiliares insertamos la lámpara (4), para ello fue necesario el uso de un adaptador (7) que permite conectar la lámpara Qth (4) de 10 vatios desde el interior de la esfera integradora (1) a la fuente de alimentación de corriente continua (6).

El segundo puerto auxiliar es cerrado para que no haya fuga de radiación luminosa por medio de un "obturador de puerto" de esfera integradora de 1 pulgada de diámetro, recubierto también por spectralon.

En el puerto principal de 2.5 pulgadas de diámetro se introducirá completamente el objetivo fotográfico de ojo de pez (3), que en el presente ejemplo de aplicación tiene una apertura total de lente de 63 mm de diámetro y una longitud focal efectiva de 10.5 mm.

La cámara digital contiene un detector CCD (2) de alta resolución espacial de 4008 × 2672 píxeles (10.7 Mpx) y un tamaño de píxel de 9 micras (la superficie útil del detector tiene un tamaño de 36 × 24 mm) sensible en el rango espectral que va desde los 300 nm hasta los 1000 nm y con un pico de eficiencia cuántica en 500 nm

del 50%. Ésta cobertura espectral permitirá medir radiaciones fuera del rango espectral visible (380 – 780 nm).

5 En el interior de la carcasa que envuelve la electrónica y el detector hay una rueda intercambiadora de filtros que alberga los filtros interferenciales (5). El número de filtros que se pueden usar en éste prototipo es 5 y son intercambiados automáticamente acorde con la rutina de medida programada en el software que controla el instrumento. Si se quiere usar otros filtros con otra respuesta espectral se podrían sustituir manualmente.

10

Para la adquisición de imágenes de cielo, se utiliza un trípode que permite orientar la cámara al cénit.

15 La figura 4 muestra una imagen de la cara interna de la esfera integradora, para ello se ha utilizado un filtro interferencial de 555 nm. El flujo radiante emitido por la lámpara a 555 nm es de 2.9 mW (ver Figura) entonces se deduce que la radiancia emitida por la cara interna de la esfera integradora es de $0.219 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$.

20 La figura 8 muestra la imagen del interior de la esfera corregida del gradiente de iluminación siendo el número de cuentas de cada píxel de 0.219. Ésta será la imagen patrón con la que tenemos que comparar las imágenes de cielo tomadas con el mismo filtro.

25 La figura 9 es una imagen del fondo de cielo tomada con la cámara habiendo utilizado el filtro de 555 nm. Tras corregir el gradiente de iluminación y realizar los cálculos con la imagen patrón se obtendrá el mapa de color completo con los valores de radiancia relativa del fondo de cielo (ver Figura 10) Multiplicando los valores obtenidos de radiancia en cada píxel por el valor de eficiencia luminosa en 555 nm (Figura 8), se obtiene el mapa de color (Figura 11) de la luminancia relativa del fondo
30 de cielo.

En el borde de la imagen se aprecian las zonas cuyo alumbrado público usa lámparas de alta emisión en 555 nm, que mayoritariamente son las lámparas de descarga de vapor de sodio, y puesto que geográficamente conocemos nuestra posición y la orientación de la imagen obtenida del cielo, se podrá deducir fácilmente
35 la ubicación de tales zonas. Cambiando los filtros y realizado el mismo procedimiento

descrito obtendremos las características fotométricas y radiantes para otras longitudes de onda.

5

REIVINDICACIONES

1. Sistema para la medida y monitorización de la contaminación lumínica del cielo nocturno que comprende

5 (a) unos primeros medios de calibración que comprenden, a su vez, una fuente de alimentación regulada en intensidad o potencia; una lámpara de flujo radiante cuyo rango espectral contiene el rango que va desde 380 nm a 780 nm; y una esfera integradora recubierta de un material lambertiano y que aloja dicha lámpara en su interior mediante un adaptador configurado a tal efecto;

10 (b) unos segundos medios para medir la contaminación lumínica del fondo de cielo de toda la bóveda celeste provocada por las fuentes de iluminación artificial que comprenden una cámara digital con un detector CCD de alta resolución sensible en un rango espectral que contiene el rango que va desde 380 nm a 780 nm; un objetivo fotográfico con un ángulo de visión superior a 180 grados; un intercambiador de filtros ópticos de más de cuatro posiciones situado entre el detector CCD y el
15 objetivo; una pluralidad de filtros interferenciales de longitudes de onda central pertenecientes al rango espectral que contiene el rango que va desde 380 nm a 780 nm; y medios para la estabilización y apuntado de la cámara hacia el cénit; y

(c) unos medios lógicos de procesamiento configurados para corregir el
20 gradiente de iluminación debido a la distorsión óptica producida por el objetivo en las imágenes, y para posteriormente, mediante un algoritmo programado, realizar una comparación entre la imagen de calibración y la imagen objeto de medida.

2. Sistema de acuerdo con la reivindicación 1 caracterizado porque los medios
25 lógicos de procesamiento se comunican con la cámara para posicionar o intercambiar los filtros interferenciales.

3. Sistema de acuerdo con las reivindicaciones 1 y 2 caracterizado porque los
30 medios lógicos de procesamiento seleccionan la temperatura del detector comunicándose con la cámara (2) y establecen la temperatura de trabajo del detector.

4. Sistema de acuerdo con las reivindicaciones 1 a 3 caracterizado porque los
35 medios lógicos de procesamiento determinan el tiempo de exposición.

5. Sistema de acuerdo con las reivindicaciones 1 a 4 caracterizado porque los medios lógicos de procesamiento están configurados para que cada imagen del cielo sea comparada con la imagen de calibración obtenida con el mismo filtro de tal forma que se divide las cuentas de cada píxel de la imagen de cielo por las cuentas del mismo píxel de la imagen de calibración y el resultado en cada píxel se multiplica por el valor de la radiancia emitida por las paredes internas de la esfera integradora iluminada por la lámpara de calibración; y donde para calcular los valores fotométricos de cada longitud de onda (luminancias, iluminancias y flujos fotométricos) se multiplican los valores obtenidos de radiancia, irradiancia y flujo radiante por el valor correspondiente de la curva escotópica o fotópica.

6. Método para la medida y monitorización de la contaminación lumínica del cielo nocturno configurado para la calibración, medida y cálculo para cuantificar los niveles de contaminación lumínica a través del brillo artificial del fondo del cielo que comprende un proceso de calibración, un proceso de adquisición de imágenes y una etapa de análisis, implementado en el sistema según reivindicaciones 1 a 5.

7. Método para la medida y monitorización de la contaminación lumínica del cielo nocturno según reivindicación anterior caracterizado porque

el procedimiento de calibración comprende, a su vez, las etapas de introducir una lámpara halógena de radiación conocida en el interior de una esfera integradora así como la cámara digital; mantener la lámpara esté encendida en el interior de la esfera integradora durante el tiempo aconsejado por el fabricante para alcanzar la estabilidad en la emisión del flujo; y tomar una imagen de la cara interna e iluminada de la esfera con cada uno de los filtros seleccionados;

el procedimiento de adquisición de imágenes consiste en obtener una imagen de todo el fondo de cielo para cada uno de los filtros seleccionados; y

el procedimiento de análisis consiste en la corrección del gradiente de iluminación de las imágenes obtenidas del fondo de cielo debido a la distorsión óptica del objetivo y la comparación píxel a píxel de la imagen del fondo de cielo, corregida del gradiente de iluminación, con la imagen de calibración, de donde se conocen además los datos radiométricos y fotométricos, y así obtener el valor de las mismas magnitudes en las imágenes de fondo de cielo.

8. Método de acuerdo con la reivindicación 7 caracterizado porque la etapa de análisis se obtiene, al menos un valor seleccionado entre

ES 2 415 774 B1

- a) la medida de radiancia espectral relativa emitida por todo el cielo observado como mínimo en el rango de longitudes de onda comprendido entre 380 a 780 nanómetros;
- 5 b) la medida de irradiancia espectral recibida de todo el cielo observado como mínimo en el rango de longitudes de onda comprendido entre 380 a 780 nanómetros;
- c) la medida de flujo radiante espectral relativo emitido por el cielo observado como mínimo en el rango de longitudes de onda comprendido entre 380 a 780 nanómetros;
- 10 d) la medida de luminancia relativa emitido por el cielo observado como mínimo en el rango de longitudes de onda comprendido entre 380 a 780 nanómetros;
- e) la medida de iluminancia recibida de todo el cielo observado como mínimo en el rango de longitudes de onda comprendido entre 380 a 780 nanómetros; y
- 15 f) la medida de flujo fotométrico relativo emitido por el cielo observado como mínimo en el rango de longitudes de onda comprendido entre 380 a 780 nanómetros.

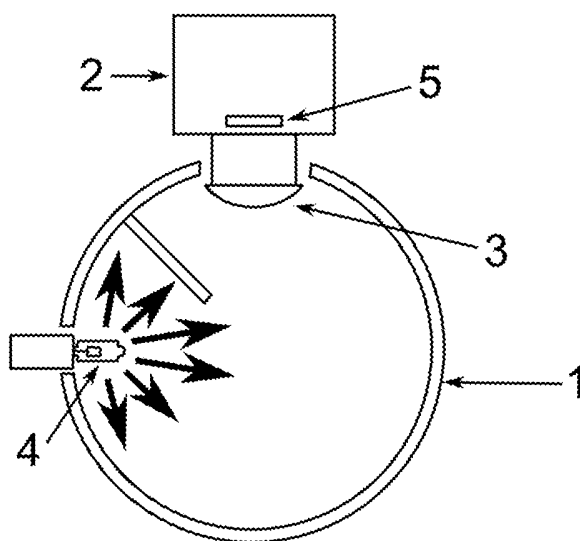


Figura 1

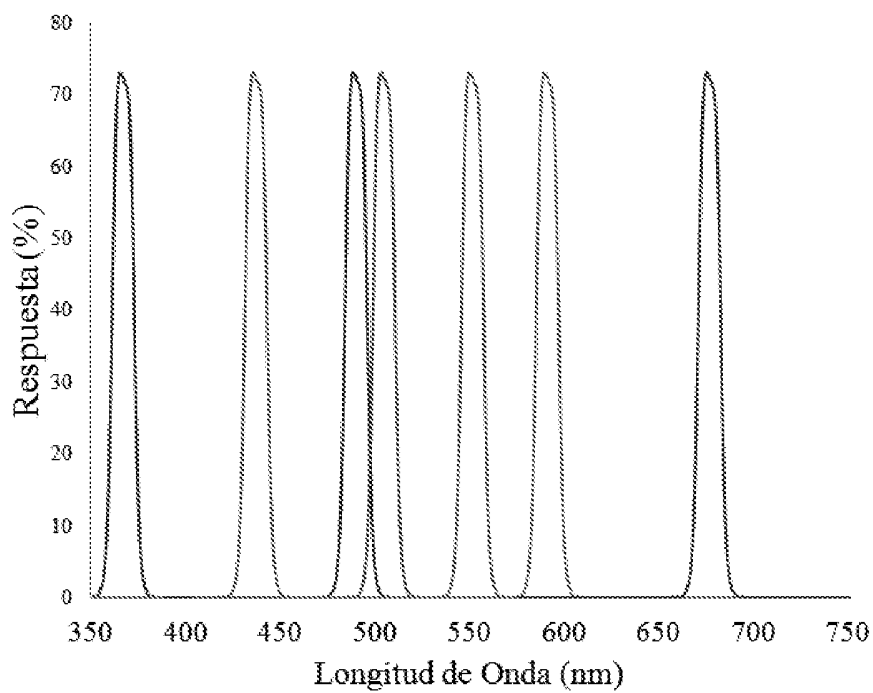


Figura 2

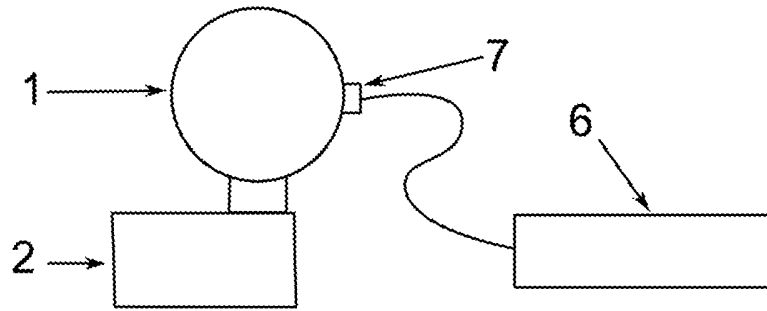


Figura 3

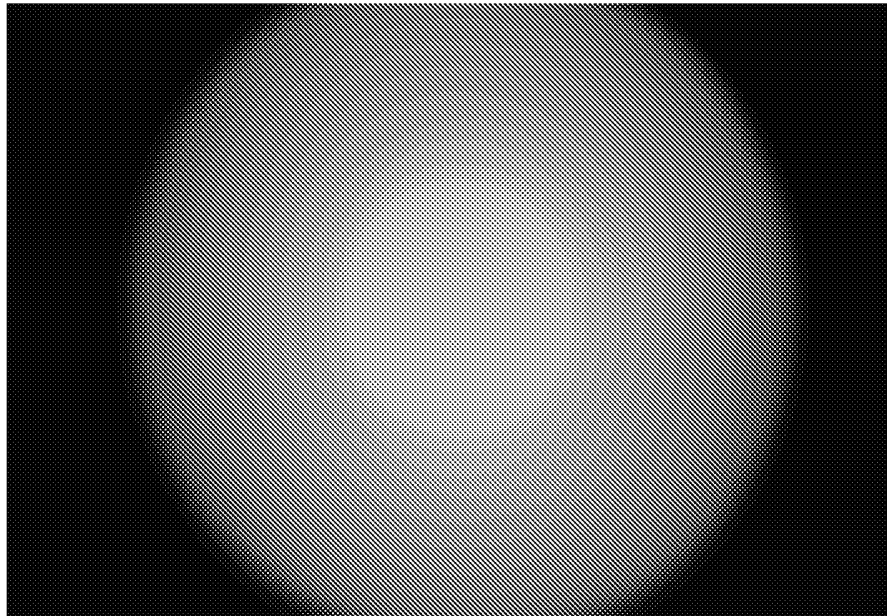


Figura 4

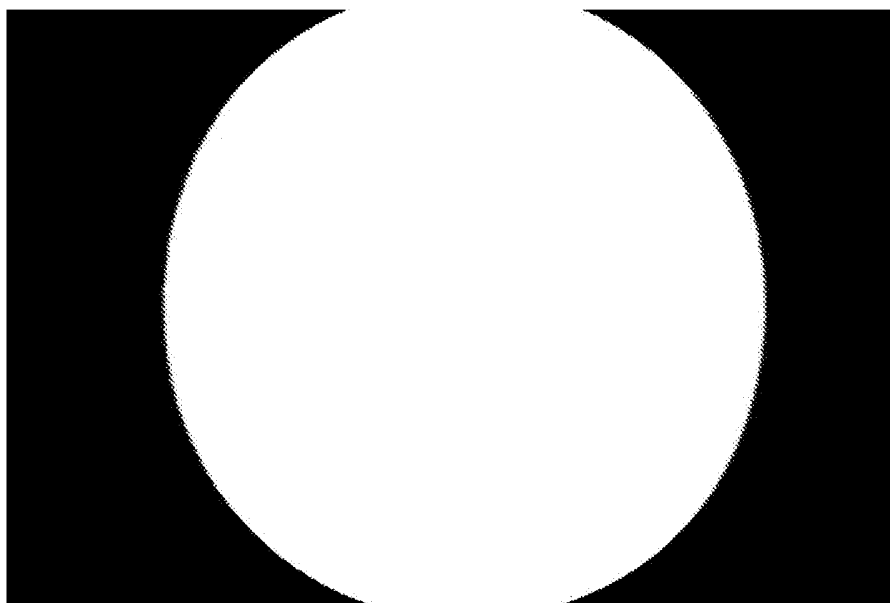


Figura 5

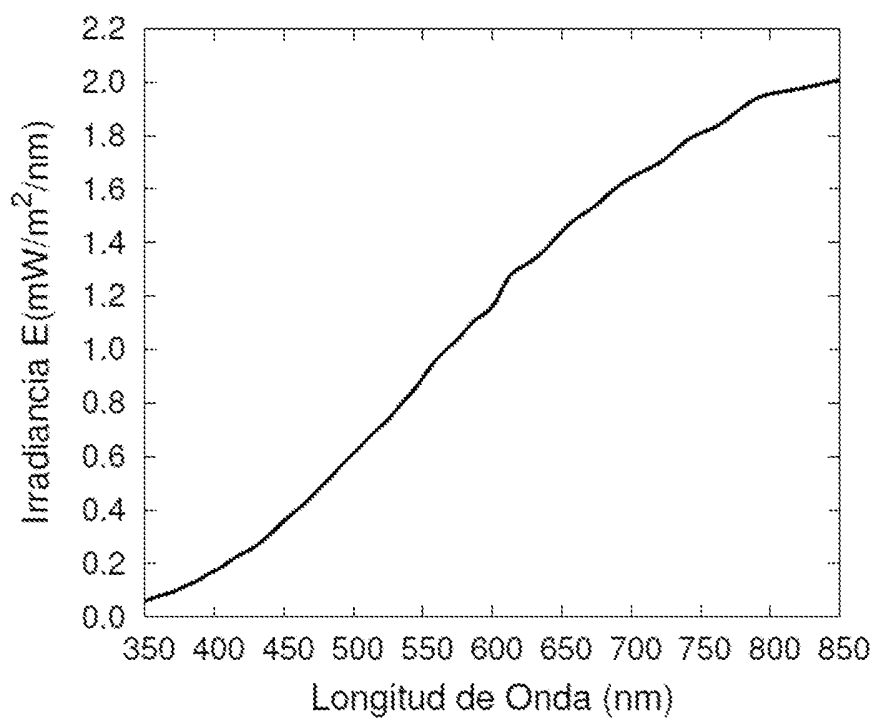


Figura 6

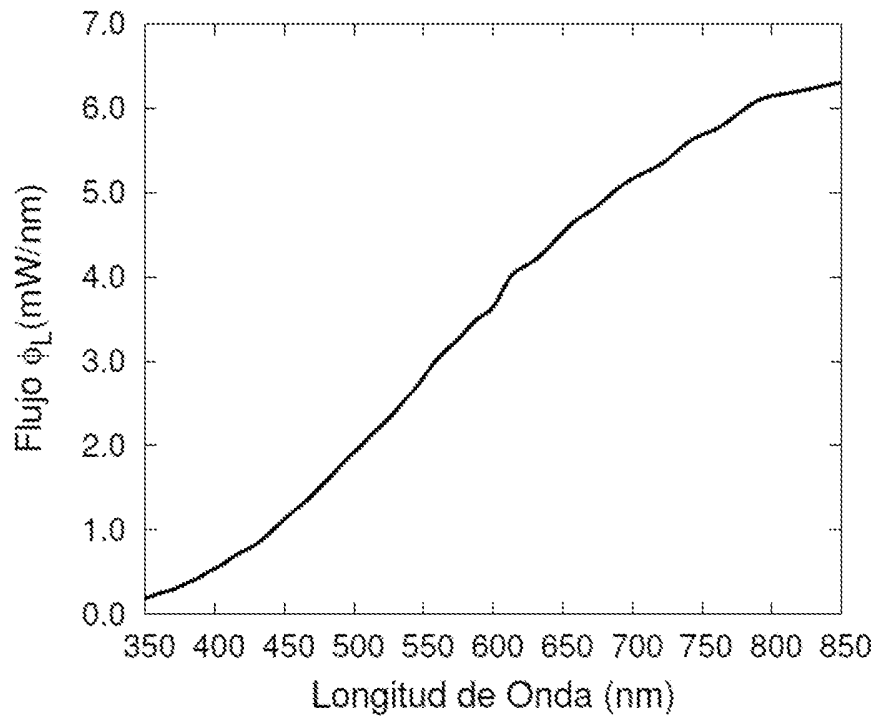


Figura 7

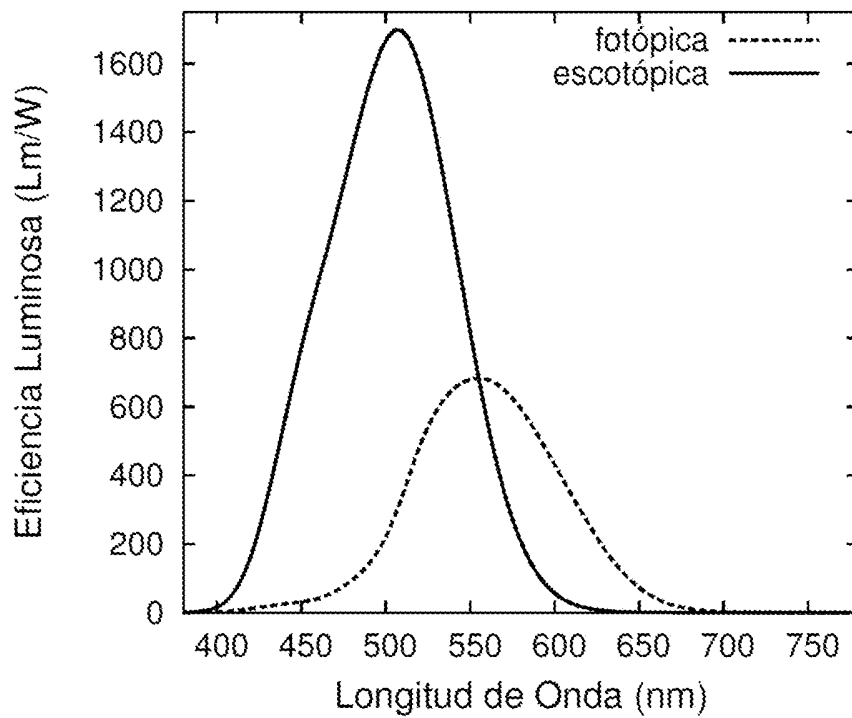


Figura 8



Figura 9

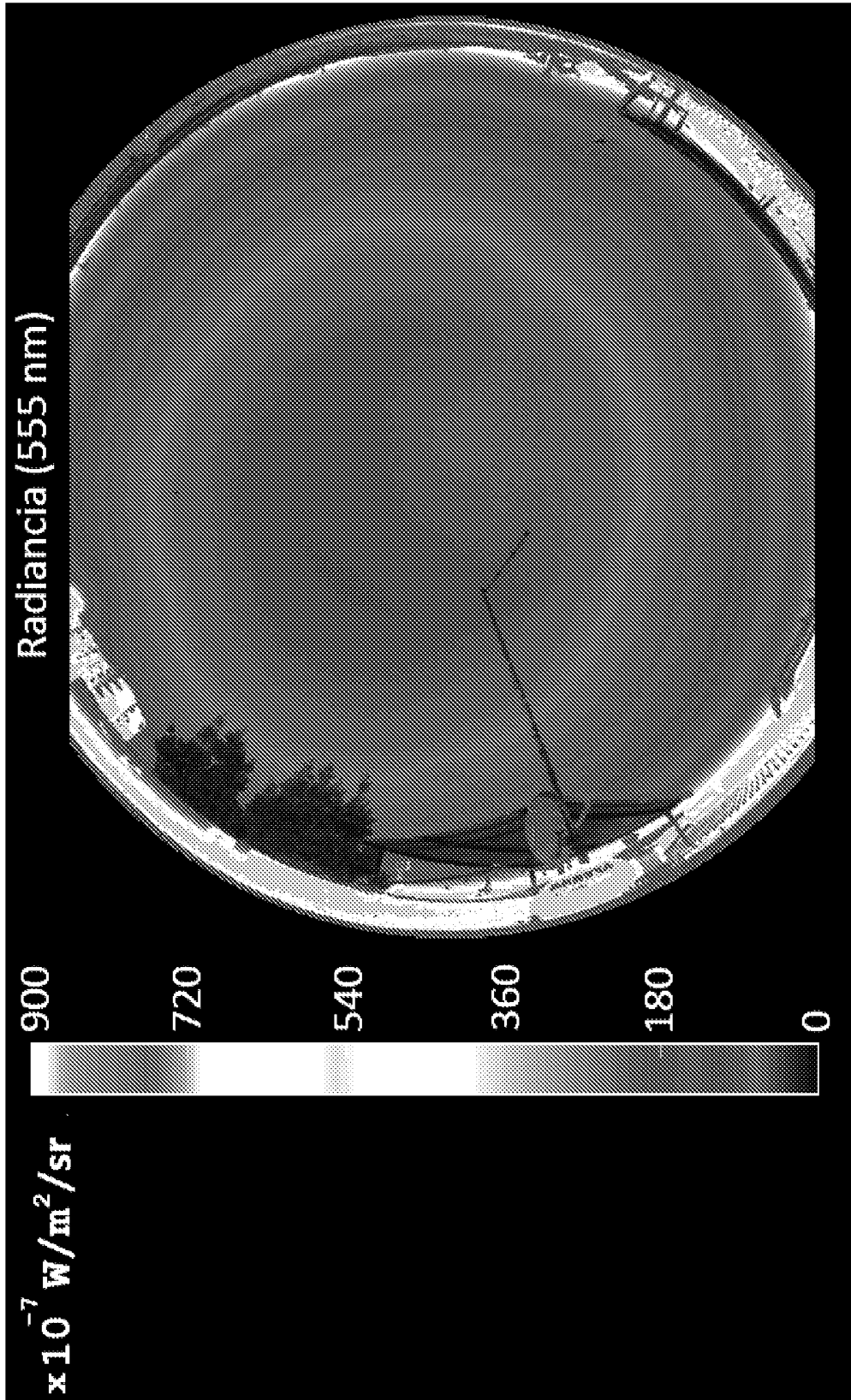


Figura 10

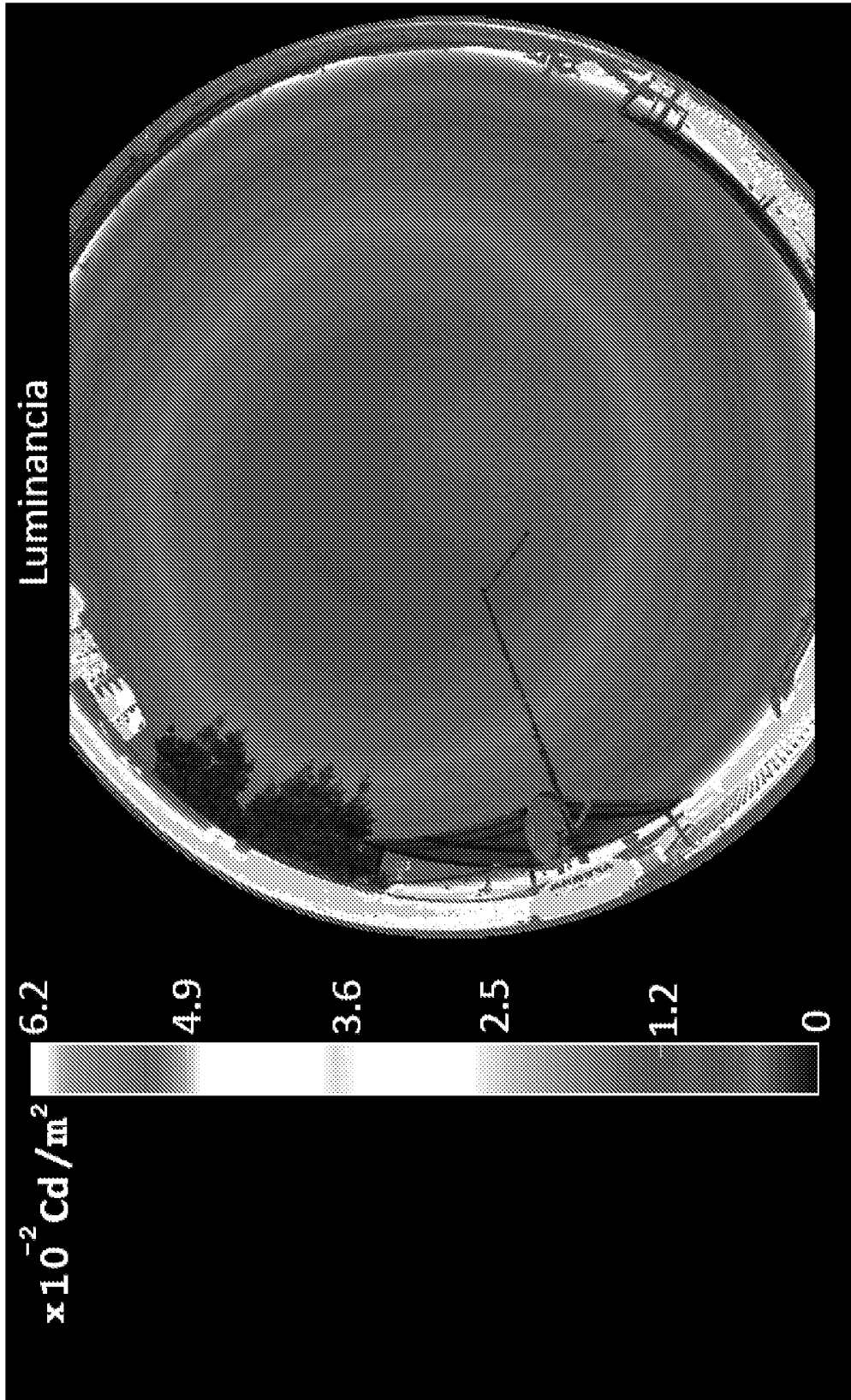


Figura 11



- ① N.º solicitud: 201200024
② Fecha de presentación de la solicitud: 23.12.2011
③ Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤ Int. Cl. : Ver Hoja Adicional

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	EP 2249136 A2 (APPLE INC) 10/11/2010,	1
A	WO 2007012839 A2 (UNIV BELFAST ET AL.) 01/02/2007,	1
A	US 2005110416 A1 (VESKOVIC DRAGAN) 26/05/2005,	1
A	US 3825352 A (UNO N) 23/07/1974,	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
06.06.2013

Examinador
M. d. González Vasserot

Página
1/5

CLASIFICACIÓN OBJETO DE LA SOLICITUD

G01J1/10 (2006.01)

G01J1/16 (2006.01)

G01J1/22 (2006.01)

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

G01J

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

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 06.06.2013

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones 1-9	SI
	Reivindicaciones	NO
Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)	Reivindicaciones 1-9	SI
	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 se publica.

1. Documentos considerados.-

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

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	EP 2249136 A2 (APPLE INC)	10.11.2010
D02	WO 2007012839 A2 (UNIV BELFAST et al.)	01.02.2007
D03	US 2005110416 A1 (VESKOVIC DRAGAN)	26.05.2005
D04	US 3825352 A (UNO N)	23.07.1974

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

Los documentos citados solo muestran el estado general de la técnica, y no se consideran de particular relevancia. Así, la invención reivindicada se considera que cumple los requisitos de novedad, actividad inventiva y aplicación industrial.

1.- El objeto de la presente solicitud de patente consiste en un método y un sistema donde se pueden medir los niveles de contaminación lumínica en función de la longitud de onda de forma ágil y precisa, y además conocer la posición y las características de las fuentes de luz artificiales que provoquen la contaminación.

Es un objeto de la invención un procedimiento de calibración y un instrumento para medir con exactitud e instantáneamente los niveles de contaminación lumínica del cielo (en unidades físicas o del sistema internacional) para cualquier longitud de onda comprendida como mínimo entre los 380 nm y los 780 nm (rango espectral visible) y como máximo el rango espectral que permitan los sistemas opto-electrónicos de adquisición de imágenes, independientemente de las condiciones climáticas y corrigiendo el gradiente de iluminación debido a la distorsión provocada por los elementos ópticos usados para tal fin. El patrón de medida será la radiación emitida por cualquier lámpara de calibración de flujo conocido en el interior de una esfera integradora. Así, un objeto de la invención es un sistema de calibración de flujo radiante y un procedimiento, que se realiza utilizando una esfera integradora (o esfera de Ulbricht) de luz, lámparas de emisión continua y filtros interferenciales.

Otro objeto de la presente invención es el sistema que permite la medición de la contaminación lumínica del fondo de cielo de toda la bóveda celeste provocada por las fuentes de iluminación artificial y que comprende una cámara digital de alta resolución espacial y temporal.

Las imágenes obtenidas serán procesadas mediante un software desarrollado específicamente, que también es objeto de la presente invención.

Se desea obtener: Una información espectralmente completa y exacta del flujo electromagnético percibido de todo el cielo, debido a fuentes de luz artificiales calibradas a su vez con radiadores cuasi-perfectos, en unidades físicas y no en unidades astronómicas,

Una información de las zonas geográficas donde están situadas las fuentes de radiación artificial así como la identificación general del tipo de alumbrado instalado en dichas zonas donde están las fuentes de emisión; por ejemplo el alumbrado vial de ciudades, municipios, carreteras, etc.

2.- El problema planteado por el solicitante resuelve una serie de problemas que presentan los sistemas como la falta de precisión, procesamiento manual de datos, ninguna representación gráfica o información en unidades físicas, falta de corrección de la distorsión óptica o dependencia total de las condiciones climatológicas. Entre las mejoras que presenta se encuentran las siguientes:

- Medir automáticamente y con exactitud los niveles de contaminación lumínica en cualquier longitud de onda del rango espectral visible, o radiación electromagnética en cualquier longitud de onda que abarca como mínimo el rango espectral visible y como máximo el rango espectral que permiten los sistemas opto-electrónicos.

- Las lámparas de calibración utilizadas han sido calibradas teniendo como referencia a un cuerpo negro, (radiador ideal), a diferencia de los métodos clásicos de astro-fotometría en el que utilizan a las estrellas como elementos de calibración estando estas muy lejos de ser un radiador ideal.
- Los resultados obtenidos están expresados en unidades físicas en unidades del sistema internacional: flujo radiante espectral. Irradiancia espectral, radiancia espectral, flujo luminoso, iluminancia y luminancia.
- Los resultados se representan con un mapa de color de toda la bóveda celeste obtenidos instantáneamente después de cada exposición identificando a primera vista las regiones geográficas donde están las fuentes artificiales que producen la contaminación lumínica.
- Para obtener resultados exactos, se ha desarrollado un método y un protocolo de calibración que corrige la distorsión óptica producida por el uso de objetivos de ojo de pez.
- El instrumento medirá los niveles de contaminación lumínica ,independientemente,de las condiciones atmosféricas y climáticas, ya que no se usan a las estrellas como fuentes de calibración.

El documento D1 puede considerarse como el representante del estado de la técnica más cercano ya que en este documento confluyen la mayoría de las características técnicas reivindicadas.

Análisis de las reivindicaciones independientes 1,6

D1 se diferencia del documento de solicitud de patente en que no es un sistema para la medida y monitorización de la contaminación lumínica del cielo nocturno que comprende

(a) unos primeros medios de calibración que comprenden, a su vez, una fuente de alimentación regulada en intensidad o potencia; una lámpara de flujo radiante cuyo rango espectral contiene el rango que va desde 380 nm a 780 nm; y una esfera integradora recubierta de un material lambertiano y que aloja dicha lámpara en su interior mediante un adaptador configurado a tal efecto;

(b) unos segundos medios para medir la contaminación lumínica del fondo de cielo de toda la bóveda celeste provocada por las fuentes de iluminación artificial que comprenden una cámara digital con un detector CCD de alta resolución sensible en un rango espectral que contiene el rango que va desde 380 nm a 780 nm; un objetivo fotográfico con un ángulo de visión superior a 180 grados; un intercambiador de filtros ópticos de más de cuatro posiciones situado entre el detector CCD y el objetivo; una pluralidad de filtros interferenciales de longitudes de onda central pertenecientes al rango espectral que contiene el rango que va desde 380 nm a 780 nm; y medios para la estabilización y apuntado de la cámara hacia el cenit; y

(c) unos medios lógicos de procesamiento configurados para corregir el gradiente de iluminación debido a la distorsión óptica producida por el objetivo en las imágenes, y para posteriormente, mediante un algoritmo programado, realizar una comparación entre la imagen de calibración y la imagen objeto de medida.

La reivindicación 1 es nueva (Art. 6.1 LP 11/1986) y tiene actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986).

Análisis del resto de los documentos

De este modo, ni el documento D1, ni ninguno del resto de los documentos citados en el Informe del Estado de la Técnica, tomados solos o en combinación, revelan la invención en estudio tal y como es definida en las reivindicaciones independientes, de modo que los documentos citados solo muestran el estado general de la técnica, y no se consideran de particular relevancia. Además, en los documentos citados no hay sugerencias que dirijan al experto en la materia a una combinación que pudiera hacer evidente la invención definida por estas reivindicaciones y no se considera obvio para una persona experta en la materia aplicar las características incluidas en los documentos citados y llegar a la invención como se revela en la misma.