

DESARROLLO DE UN GONIOFOTÓMETRO PARA CARACTERIZACIÓN DE LUMINARIAS

V. F. Muñoz, J. Gómez de Gabriel, J. Fernández Lozano, R. Molina-Mesa, J. Serón-Barba

Instituto de Automática y Robótica Avanzada de Andalucía. Universidad de Málaga
Severo Ochoa, 4. Parque tecnológico de Andalucía

E-mail: victor@ctima.uma.es

Málaga

España

Resumen

Un goniofotómetro se define como un fotómetro especializado en la medida de la variación angular de una determinada magnitud fotométrica, como por ejemplo la iluminancia, intensidad luminosa, etc. Consta de un sistema óptico-fotométrico (detector + filtro fotométrico + diafragmas + amplificador) montado sobre un sistema posicionador que le permite el movimiento relativo con respecto a la fuente luminosa o luminaria que se desea evaluar. Esta comunicación describe los trabajos realizados por los investigadores del Instituto Andaluz de Automática Avanzada y Robótica en el marco del proyecto FD 97-1584-C02-01.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el *aseguramiento de la calidad* se ha extendido a prácticamente todos los sectores productivos. La industria de la iluminación, en particular, se encuentra en un periodo de transición, en el que ya ha entrado en vigor parte de la legislación que obligará a ampliar las necesidades actuales de certificación.

La certificación de luminarias exige el uso de un goniofotómetro. Hasta el momento, la certificación de luminarias se realiza mediante goniofotómetros que reproducen las metodologías propuestas en las normas de la CIE (*Commission Internationale de L'Éclairage*). En su cuerpo de normas, la CIE propone diversas estructuras que permiten caracterizar luminarias. En general se trata de tomar medidas del flujo luminoso en distintos puntos de una esfera virtual de un radio determinado, y centrada en la luminaria. Con estos datos, más o menos completos, se construye un mapa del flujo luminoso, o de otra magnitud de interés.

Esta situación conlleva varios problemas. En primer lugar, el funcionamiento de las instalaciones basadas en las propuestas de la CIE es en gran medida manual: se coloca la luminaria, se sitúa el fotómetro en la posición requerida, se toma la medida y se repite el proceso. Además de las inexactitudes propias de este procedimiento, el tiempo necesario para caracterizar una luminaria es elevado, y más si tenemos en cuenta que la CIE especifica un formato para esta información [4]. En segundo lugar, el radio de la esfera virtual sobre la que tomamos la medida depende de las dimensiones de la luminaria. En general, el radio que se obtiene al aplicar los límites expuestos en las normas es diez veces la dimensión mayor de la luminaria. Para caracterizar luminarias de 1,5 metros (un tamaño de lámpara fluorescente cada vez más común), la norma indica que la distancia del sensor a la luminaria deber establecerse en 15 metros como mínimo.

En este trabajo se describe el desarrollo realizado en el marco del proyecto FD 97-1584-C02-01. el desarrollo de un goniofotómetro que permite la caracterización automática de luminarias. En primer lugar se resumen algunas de las propuestas de la CIE referentes a las características de los goniofotómetros, y las restricciones que ello impone a su diseño. Después se describe la estructura mecánica del sistema, que supone una innovación respecto a las normas de la CIE y que permite reducir considerablemente el tamaño del goniofotómetro. A continuación se describe el sistema de control, tanto a nivel funcional como a nivel hardware. Por último se presentan las conclusiones.

2. SOLUCIONES DE LA CIE

El flujo luminoso puede obtenerse principalmente mediante tres metodologías diferentes [3]: con una esfera fotométrica, a partir de la medida de la distribución de iluminancia, o a partir de la medida de distribución de intensidad luminosa.

2.1. CÁLCULO DEL FLUJO LUMINOSO MEDIANTE ESFERA FOTOMÉTRICA.

Una esfera fotométrica mide el flujo luminoso por comparación de la fuente luminosa con otras fuentes estándar. Esta técnica es apropiada para la caracterización de fuentes cuyo flujo varía bruscamente (lámparas tipo *flash*) y para la medida del flujo luminoso como función del tiempo [3]. No se recomienda el cálculo de la eficiencia de luminarias cuyas distribuciones de flujo luminoso en luminaria y lámpara difieren considerablemente.

2.2. CÁLCULO DEL FLUJO LUMINOSO A PARTIR DE LA MEDIDA DE LA DISTRIBUCIÓN DE ILUMINANCIA.

Para la medida de la distribución de la iluminancia se utiliza un goniómetro que describe una superficie esférica alrededor de la fuente luminosa. El flujo luminoso se obtiene integrando la medida de iluminancia a lo largo de toda la superficie. Sin embargo, no es posible la medición directa de otra propiedad muy utilizada en caracterización de fuentes de luz: la distribución de intensidad luminosa. La mencionada medida puede obtenerse, no obstante, con unos límites de error razonables haciendo algunas adaptaciones. Otra posibilidad es optar por un goniómetro que mida intensidad luminosa.

La distancia mínima entre la fuente luminosa y el sistema óptico-fotométrico puede ser tan pequeña como las restricciones mecánicas lo permitan. La resolución angular en los ejes polar y azimutal debe ser mejor que $0,1^\circ$. Las distintas configuraciones para un goniómetro de este tipo atienden a la forma en que se realiza el movimiento relativo del fotómetro con respecto a la fuente de luz. Pueden ser: [3]

1. Con fuente luminosa fija.
2. Con movimiento de la fuente sólo en el eje vertical (figura 1).

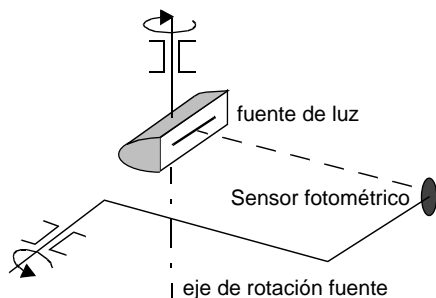


Figura 1. Goniómetro con rotación de la fuente en el eje vertical.

3. Con movimiento de la fuente en el eje vertical y desplazamiento del centro de la lámpara (figura 2). El flujo luminoso puede verse afectado por el movimiento del material dentro de la fuente luminosa.

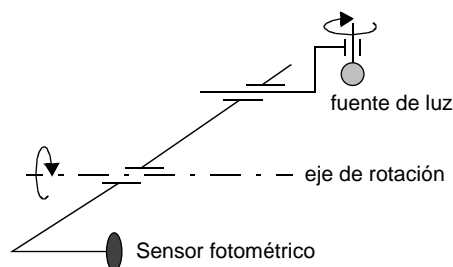


Figura 2. Goniómetro con desplazamiento del centro de la fuente.

2.3. CÁLCULO DEL FLUJO LUMINOSO A PARTIR DE LA MEDIDA DE LA DISTRIBUCIÓN DE INTENSIDAD LUMINOSA.

Si se parte de un goniómetro capaz de caracterizar la distribución de intensidad luminosa de una fuente luminosa, la obtención de su flujo luminoso es inmediata. El problema de este tipo de mediciones radica en situar el sistema óptico-fotométrico a una distancia de al menos cinco veces la dimensión mayor de la fuente luminosa (límite de distancia fotométrica). Este hecho obliga a construir un sistema posicionador de dimensiones considerables que puede reducirse utilizando espejos reflectores. Las configuraciones que recomienda la CIE son [2]:

1. Con giro de la fuente luminosa (figura 3). No es muy recomendable para mediciones de precisión, por la necesidad de detectores auxiliares y la limitación en los tipos de fuentes luminosas que admite.

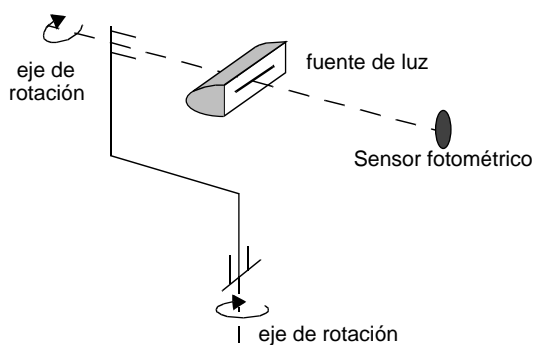


Figura 3. Giro de la fuente luminosa.

2. Desplazamiento del sistema óptico-fotométrico, o situar un número suficiente de sensores fotométricos en posiciones fijas (figuras 1, 2 y 4).

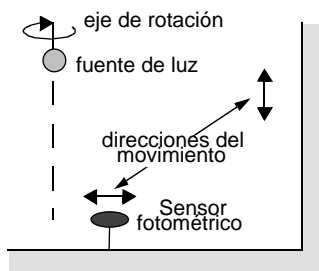


Figura 4. Goniófotómetro con movimiento del sistema óptico-fotométrico.

3. Moviendo un espejo auxiliar (figura 5). Permiten medir todo tipo de luminarias siempre que cumplan el límite de distancia fotométrica.

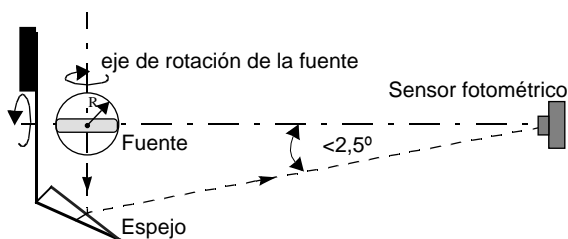


Figura 5. Goniófotómetro con espejo giratorio.

3. OBJETIVOS DEL PROYECTO.

Se trata de un proyecto coordinado en el que han participado el Grupo de Ingeniería de Sistemas y Automática de la Universidad de Málaga y el Grupo de Óptica de la Universidad de Granada, y la empresa del Parque Tecnológico de Andalucía denominada Centro de las Tecnologías de las Comunicaciones (CETECOM).

La construcción de un sistema para la medición automática del flujo luminoso de luminarias, con el objeto de caracterizarlas para diversos fines, constituye la finalidad del presente proyecto. Se han identificado los siguientes objetivos concretos para alcanzar la meta descrita arriba por cada subproyecto:

3.1. SUBPROYECTO 1.

1. Diseño de la estructura que permita el movimiento relativo del sensor fotométrico respecto a la luminaria describiendo una esfera. Este objetivo implica el diseño y la realización de una estructura mecánica poliarticulada y motorizada, que porte el sensor mencionado más arriba. Asimismo, se contempla la implantación de un sistema de

control de movimientos que permita posicionar el elemento terminal según las consignas deseadas y con las especificaciones de error requeridas.

2. Adquisición de medidas tanto de forma estática como en movimiento. Diseño y realización del sistema informático encargado de gobernar el posicionador, descrito en el punto anterior, a la vez que registra las medidas proporcionadas por el fotogoniómetro.
3. Generación automática de informes. En este punto se contempla el procesado de los datos registrados para el cálculo de la magnitud deseada y su posterior presentación en diversos formatos de salida, tales como pantalla, impresoras o archivos de datos.

3.2. SUBPROYECTO 2.

1. Diseño del sistema óptico-fotométrico. Este objetivo global puede desglosarse en los siguientes objetivos parciales:

- Selección de un conjunto detector + filtro fotométrico que cumpla las especificaciones de rango dinámico y cuya respuesta espectral se acerque lo más posible a la del observador patrón en condiciones fotópicas.
- Selección del conjunto de diafragmas adecuados para limitar el campo de visión del sensor a los valores especificados, teniendo en cuenta los efectos de difracción.
- Estabilización térmica del detector. Es necesaria debido a que la temperatura ambiente en la que se desenvolverá podrá tener variaciones notables a largo del día y de las estaciones del año.
- Diseño del amplificador adecuado para que no limite el rango dinámico del detector y el conversor A/D apropiado para que la resolución del mismo no limite la incertidumbre del equipo de medida.

2. Calibración del sistema óptico-fotométrico. Con este objetivo global se pretende conseguir una caracterización experimental completa del sistema óptico-fotométrico incorporado en el goniófotómetro. La calibración del fotómetro incluye la evaluación y determinación de un gran número de magnitudes y propiedades.

4. RESULTADOS DEL PROYECTO

La solución adoptada se basa en la configuración detallada en la figura 5. Con esta estructura sería necesario alejar el sensor fotométrico más de 20 metros en luminarias de 0.5 metros de radio equivalente (R), de forma que cumpla las especificaciones de ángulo (θ) y de límite de distancia fotométrica. Para reducir esta distancia se emplea un sistema de espejos que reduce el volumen final de la instalación.

4.1. LA ESTRUCTURA MECÁNICA.

La estructura ha sido construida para caracterizar luminarias de hasta 0'7 m de eje principal, y puede instalarse en una planta de 3 m de ancho por 5'5 de largo, y una altura de 3 m. Los elementos se han fabricado en acero y el peso total de la máquina ronda los 450 Kg. La figura 6 muestra un momento del montaje de la máquina, donde se aprecia el brazo principal que sostiene el espejo.

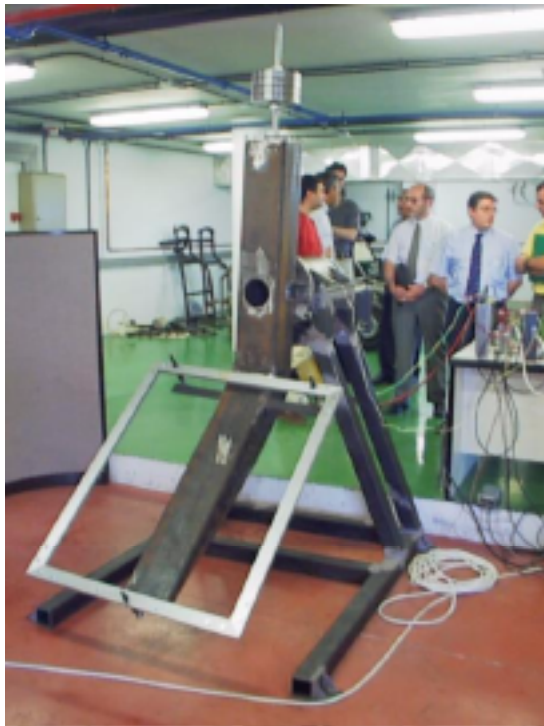


Figura 6. Detalle del brazo principal del goniofotómetro desarrollado.

Los detalles acerca de la estructura cinemática del goniofotómetro desarrollado y la funcionalidad se encuentran bajo un proceso de patente. En posteriores publicaciones serán descritos los detalles concretos de estos aspectos.

4.2. SISTEMA DE CONTROL.

El sistema de control se encarga de coordinar los movimientos de la estructura mecánica con la adquisición de datos del sistema óptico-fotométrico, de generar las consignas de posición y velocidad adecuadas para hacer óptimo un índice de funcionamiento (máxima velocidad para un determinado límite de incertidumbre en las medidas) y de calcular las magnitudes fotométricas para mostrarlas al operador por un dispositivo de salida dado con un determinado formato. La diversidad de tareas enumeradas conlleva, de manera habitual en robótica, el diseño de una arquitectura de control jerárquica basada en los siguientes módulos: supervisor y control de bajo nivel.

La mencionada división responde al tipo de las variables controladas. En concreto, el módulo supervisor se encarga de resolver cuestiones de alto nivel tal como validar la integridad del sistema informático de control o gestionar las acciones de entradas y salidas de datos. Asimismo, sincroniza los procesos de control de los movimientos y de registro de datos del sensor.

El control de bajo nivel traduce las consignas de posicionamiento en referencias articulares de posición y velocidad sobre las que se emplean técnicas de servocontrol. Concretamente se compara la posición actual con la deseada y se obtiene la actuación por medio de un algoritmo PIDVF (*Proportional, Integral, Derivative, Velocity Feedback and Velocity Feed Forward*). Para la obtención de los parámetros implicados en dicho algoritmo se deben conocer las variables dinámicas del sistema mecánico de posicionamiento tales como centro de masas o sensores inerciales.

En la figura 7 se muestra el diagrama de bloques del sistema de control, que se puede dividir en tres subsistemas.

1. Subsistema óptico-fotométrico: se encarga de obtener la señal analógica proporcionada por el sensor fotométrico y, una vez amplificada y muestreada, se procesa para obtener las magnitudes ópticas de interés.
2. Subsistema de control mecánico: comprende el sistema mecánico, el control de bajo nivel y el control de movimiento. Los motores del sistema mecánico proporcionan las señales de resolver y del interruptor térmico al control de bajo nivel. Éste, a su vez, le suministra la actuación. Por otra parte, el control de bajo nivel traduce la señal de resolver a una señal de encoder que transmite,

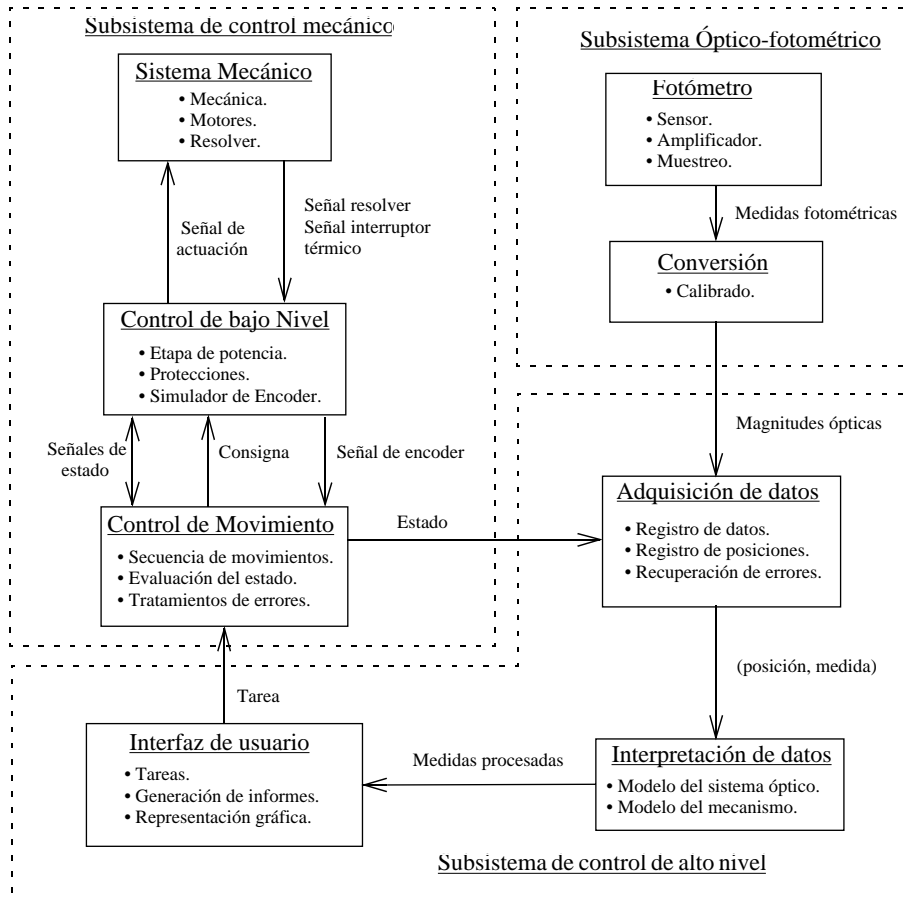


Figura 7. Diagrama de bloques del sistema

junto a una serie de señales de estado, al control de movimiento. Éste último genera las consignas para la ejecución de la tarea requerida por el usuario.

- Subsistema de control de alto nivel: está dividido en un bloque de adquisición de datos, otro de interpretación de los mismos y un último bloque de interfaz de usuario. A partir de las señales suministradas por el subsistema de control mecánico y las magnitudes ópticas realiza un registro de posiciones y medidas ópticas. Así mismo, recupera errores que se hayan podido producir en los subsistemas inferiores. En el bloque de interpretación de datos se utilizan los modelos del sistema óptico y del mecanismo para procesar las medidas obtenidas. Basándose en las medidas ya procesadas, en el bloque de interfaz de usuario se generan informes y se realizan las representaciones gráficas de las magnitudes de interés. Finalmente, este módulo establece la

tarea a realizar.

4.3. ELECTRÓNICA DE CONTROL

El sistema se divide en una estación de operación y el goniofotómetro. Desde el punto vista funcional se tienen los bloques de control de movimientos y de adquisición de datos.

Dentro del control de movimiento se ha optado por servocontroladores industriales y motores de corriente continua sin escobillas. Éstos proporcionan un par de fuerzas constante, uno por cada grado de libertad. El control y la sincronización de los motores se realiza mediante un DSP de 32 bits en punto flotante.

El sistema de adquisición de datos consta de un fotómetro, un amplificador de instrumentación de ganancia variable y un convertor A/D de 12 bits.

5. CONCLUSIONES

El periodo de ejecución del proyecto de investigación finaliza con el presente año, y en la actualidad, el prototipo realiza sus pruebas de calibración y de validación.

Según los resultados preliminares obtenidos, la configuración de goniofotómetro desarrollada presenta mejoras de rendimiento con respecto a otras soluciones comerciales. La precisión de las medidas es mayor, y a pesar de ello las primeras pruebas demuestran que el tiempo de caracterización de una luminaria queda por debajo de los cuatro minutos, frente a los siete del goniofotómetro más rápido de la actualidad (que se basa en un número de medidas cuatro veces menor que el del goniofotómetro propuesto). Además, en estos tiempos no se tiene en cuenta la elaboración de los informes. De considerar este apartado, el sistema propuesto en este trabajo obtendría mayor ventaja por ser una generación automática.

6. REFERENCIAS

- [1] CIE 69. "Methods of characterizing illuminance meters and luminance meters". Commission Internationale de L'Éclairage. Central Bureau of the CIE. A-1033 Viena, P.O.BOX 169- Austria. 1987.
- [2] CIE 70. "The measurement of absolute luminous intensity distribution." Commission Internationale de L'Éclairage. Central Bureau of the CIE. A-1033 Viena, P.O.BOX 169- Austria. 1987.
- [3] CIE 84. "The measurement of luminous flux". Commission Internationale de L'Éclairage. Central Bureau of the CIE. A-1033 Viena, P.O.BOX 169- Austria. 1989.
- [4] CIE 102. "Recommended file format for electronic transfer of luminaire photometric data". Commission Internationale de L'Éclairage. Central Bureau of the CIE. A-1033 Viena, P.O.BOX 169- Austria. 1993.