

# DETERMINACIÓN DE LA UNIFORMIDAD ESPACIAL DEL FLUJO RADIANTE EN LAS MEDICIONES DE IRRADIANCIA A 365nm

J. G. Suárez Romero, R. Cardoso y E. Rosas

Centro Nacional de Metrología

km. 4,5 carretera a los Cués, Municipio del Marqués, Qro. 76241, México

++52 (442) 211 05 00 ext. 3345, fax: ++52 (442) 211 05 53

jsuarez@cenam.mx

**Resumen:** Se presentan resultados sobre el análisis de la uniformidad espacial del campo radiante utilizado en la realización de mediciones de irradiancia a la longitud de onda de 365 nm, generado por una lámpara de descarga con atmósfera de mercurio y concentrado con diferentes dispositivos ópticos en un área de referencia.

La falta de uniformidad de este campo constituye una fuente de incertidumbre en la calibración de detectores de radiación ultravioleta, misma que se realiza mediante comparación directa en el Laboratorio de Dosimetría Óptica de CENAM.

## 1. INTRODUCCIÓN

En el Centro Nacional de Metrología se ha implementado un sistema radiométrico de referencia para la medición de densidad de flujo radiante (irradiancia) en el ultravioleta.

Esencialmente el sistema radiométrico forma un campo óptico con una densidad de energía constante, el cual sirve de referencia para las mediciones de irradiancia y servicios de calibración de radiómetros UV.

Debido a las imperfecciones de los componentes ópticos empleados y a la misma emisión espacial de la lámpara, el campo óptico presenta pequeñas no uniformidades que inducen a errores de medición, por lo que es necesario medir la uniformidad del campo [1].

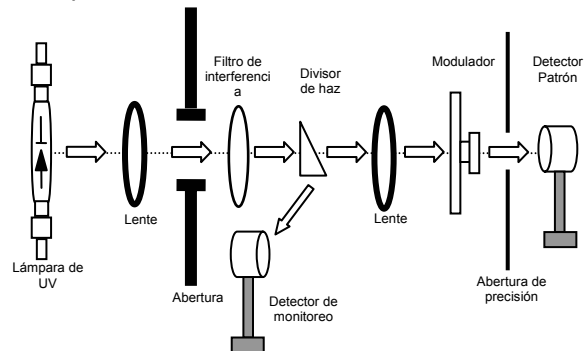
En este trabajo se presenta un estudio de la uniformidad espacial del campo óptico de referencia. Se describe el método de medición y se estima su contribución en la incertidumbre.

## 2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El arreglo óptico se describe en el diagrama de la Fig. 1. Una lámpara de arco de mercurio que se opera con 1 000 W de potencia eléctrica genera la radiación ultravioleta. La emisión espectral abarca desde 250 nm aproximadamente hasta 400 nm, además de radiación visible e infrarroja.

La radiación generada por la lámpara se colima con un arreglo de lentes condensadoras. Dicha radiación se hace incidir sobre una abertura de

campo a la cual se ilumina en forma uniforme. La abertura tiene la función de limitar espacialmente el campo óptico disponible para la formación del campo de referencia. A continuación se encuentra un filtro de interferencia cuyo máximo de transmitancia se encuentra en 365 nm y tiene un ancho de banda de 10 nm. Posteriormente se localiza una lente de 20 cm de distancia focal que concentra la radiación divergente proveniente de la abertura y forma su imagen en un plano de referencia. Finalmente sigue el detector de referencia, formado por un modulador óptico y un sensor piroeléctrico, el cual funciona con señal DC.



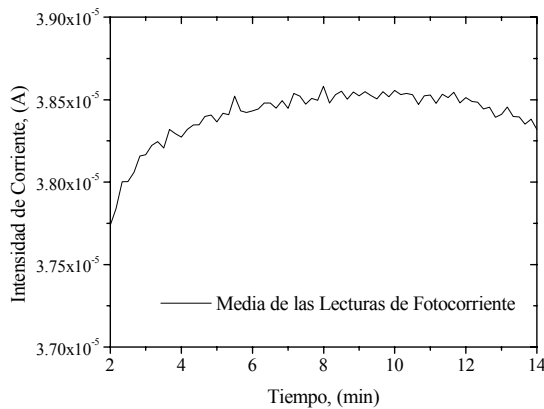
**Fig. 1** Diagrama esquemático del arreglo experimental usado para la medición de la uniformidad espacial de flujo radiante.

La imagen formada es circular y, salvo efectos de difracción en los bordes, tiene una densidad de flujo “uniforme” en toda su superficie; es decir, el área iluminada representa un campo radiante con irradiancia constante. El valor absoluto de la irradiancia se mide con un patrón de potencia óptica y una abertura de referencia de área conocida.

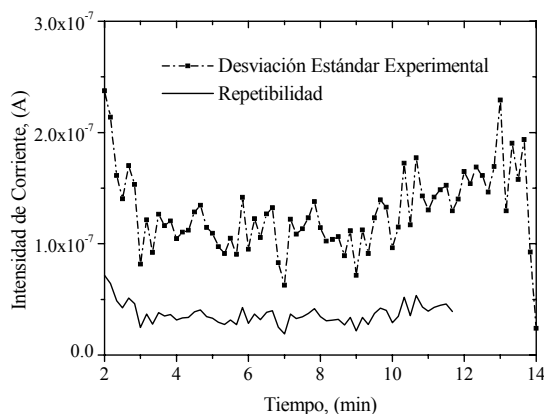
La calibración de instrumentos para medir radiación ultravioleta se realiza en este mismo campo radiante de referencia comparando su valor de irradiancia contra el valor indicado por el instrumento.

### 3. DERIVA DE LA LÁMPARA

Para la medición de la uniformidad del campo radiante se deben de resolver otras fuentes de error que la pueden afectar, entre las cuales la más importante es la deriva de la lámpara. Para esto se realizaron mediciones de la deriva por periodos de 15 minutos, medidos a partir del encendido de la lámpara.



**Fig. 2-a** Deriva de la lámpara de descarga.



**Fig. 2-b** Desviación estándar y repetibilidad de las mediciones de la deriva.

La deriva se midió con un detector de silicio y una abertura de 0,52 mm de diámetro; y se monitoreó la

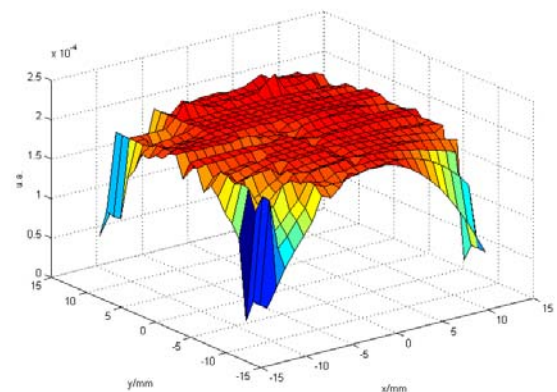
región central del campo óptico. Se tomaron 11 mediciones las cuales muestran una baja desviación estándar, de hasta un 0,5 %. En la Fig. 2 se muestra el promedio de las derivas medidas y su dispersión estándar.

Como se muestra en la gráfica, las mejores condiciones de medición se presentan a partir de los primeros 4 minutos de encendida la lámpara. La deriva a partir de este tiempo es de aproximadamente 1,3 % a lo largo de 10 minutos. Esta deriva se puede corregir en las mediciones de la uniformidad con la ayuda de un detector de monitoreo, el cual se implementó en el arreglo experimental utilizado.

### 4. UNIFORMIDAD DEL CAMPO DE REFERENCIA

A continuación se describe el procedimiento de medición, mismo que consistió en un barrido de un área circular de 4 cm<sup>2</sup> aproximadamente, con pasos de 3 mm en ambos ejes. Para la medición se usó un detector de respuesta espectral plana y de un principio de funcionamiento térmico. En frente del detector se colocó una abertura de 3 mm de diámetro, con la cual se limitó el área de medición del campo radiante.

Los resultados de las mediciones se tabulan en la Tabla 1 y se muestran en la Fig. 3, donde se han calculado puntos interpolados a cada milímetro.



**Fig. 3** Uniformidad del campo óptico, con puntos interpolados a cada milímetro. El área total graficada es de 30mm x 30mm.

El campo radiante tiene variaciones espaciales que promedian un 4,1% obtenido como la desviación estándar de los datos que caen en un área de

**Tabla 1** Uniformidad espacial del campo óptico.

<b>9</b>	2,74E-5	1,63E-4	1,80E-4	1,85E-4	1,89E-4	1,93E-4	1,94E-4	1,83E-4	3,50E-5
<b>6</b>	1,53E-4	1,87E-4	1,90E-4	1,93E-4	1,94E-4	1,95E-4	1,94E-4	1,95E-4	1,94E-4
<b>3</b>	1,69E-4	1,84E-4	1,87E-4	1,88E-4	1,89E-4	1,92E-4	1,93E-4	1,91E-4	1,92E-4
<b>0</b>	1,74E-4	1,84E-4	1,84E-4	1,81E-4	1,86E-4	1,94E-4	1,93E-4	1,93E-4	1,93E-4
<b>-3</b>	1,88E-4	1,99E-4	1,99E-4	1,97E-4	1,98E-4	1,97E-4	1,98E-4	1,97E-4	1,99E-4
<b>-6</b>	1,83E-4	1,98E-4	2,10E-4	1,99E-4	1,98E-4	1,97E-4	1,97E-4	1,98E-4	1,92E-4
<b>-9</b>	8,82E-5	1,88E-4	1,87E-4	2,80E-4	2,50E-4	2,40E-4	2,30E-4	2,50E-4	9,63E-5
	<b>-12</b>	<b>-9</b>	<b>-6</b>	<b>-3</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>12</b>

**Nota:** Los números en “negritas” representan los desplazamientos en el eje x (horizontal) y en el eje y (vertical).

18mm x 18mm respecto del centro de la zona iluminada. Esta no uniformidad del campo se combina con la no uniformidad del detector que sirve de patrón de irradiancia en ultravioleta, y que de acuerdo al fabricante, es del orden de 2,0 % [2].

La evaluación de ambas uniformidades en las mediciones de irradiancia del campo óptico se describe en la siguiente sección.

### 5. INCERTIDUMBRE POR UNIFORMIDAD

El efecto en las mediciones de irradiancia debidas a la no uniformidad del campo óptico y del detector es la combinación espacial de ambas no uniformidades. Esta combinación se describe con la convolución como a continuación se menciona [3].

Denotemos como  $E(x, y)$  la irradiancia del campo óptico y con  $D(x, y)$  la respuesta relativa del detector. La irradiancia  $E_d(x', y')$  medida por el detector cuando éste se centra en la posición  $(x', y')$  está dada por la relación:

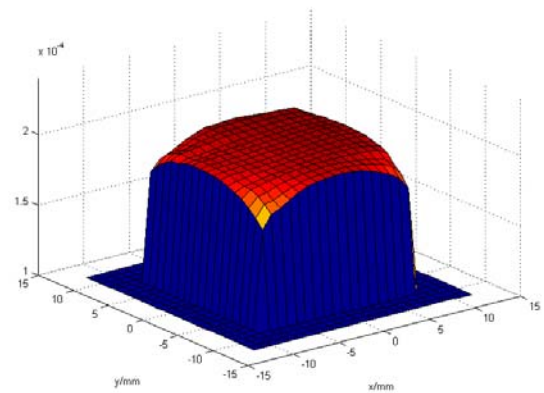
$$E_d(x', y') = E(x', y') \otimes D(x', y') \\ = \frac{1}{A} \iint E(x, y) D(x - x', y - y') dx dy, \quad (1)$$

donde  $A$  es el área real de medición, es decir, el área del detector.

Los datos de la no uniformidad del detector  $D(x, y)$  los proporciona el fabricante, éstos se tomaron haciendo incidir un haz de 3 mm de diámetro sobre la superficie del detector. El diámetro del detector es de  $7,969 \pm 0,005$  mm, lo cual da un área de  $49,877 \pm 0,063$  mm<sup>2</sup>, ésta es el área  $A$  del detector que se

combina con el campo óptica para cada centrado del detector.

El cálculo numérico de la combinación de ambas no uniformidades se muestra en la Fig. 4, el cálculo se hizo con pasos de 1mm en cada eje. Por espacio solo se tabula en la Tabla 2 los resultados que están cerca del centro del la zona iluminada.



**Fig. 4** Irradiancia resultante de la combinación de las no uniformidades del campo radiante y del detector.

De la Fig. 4 se observa que la combinación de ambas no uniformidades produce mediciones de irradiancia con menos variaciones, esto como un resultado de la convolución. Como se observa de los valores de la Tabla 2, la irradiancia medida depende de la posición resultante al momento de centrar el detector. La reproducibilidad en el centrado es mejor que  $\pm 3$  mm para cada eje, sin embargo para el cálculo de la incertidumbre consideraremos los datos contenidos en los 3mm de cada lado del centro. La desviación estándar de

estos datos es de 0,53% y la incertidumbre correspondiente es de 0,076%. La incertidumbre se obtuvo dividiendo la desviación estándar entre la raíz cuadrada del número de datos. Esta es la incertidumbre de las mediciones de irradiancia en ultravioleta debidas a la no uniformidad del campo óptico y del patrón de irradiancia ultravioleta en el caso particular evaluado. Es importante aclarar que esta incertidumbre refleja el error aleatorio del efecto que se está analizando, adicionalmente se tiene el error sistemático el cual se debe de calcular para corregir las mediciones. Lo anterior queda fuera del alcance del presente trabajo.

**Tabla 2.** Resultados numéricos de la combinación de las no uniformidades del campo y del detector. Los datos son a pasos de un milímetro para cada lado a partir del centro.

1,96E-4	1,97E-4	1,97E-4	1,98E-4	1,98E-4
1,96E-4	1,97E-4	1,97E-4	1,98E-4	1,99E-4
1,97E-4	1,97E-4	1,96E-4	1,98E-4	1,99E-4
1,97E-4	1,97E-4	1,98E-4	1,98E-4	1,99E-4
1,97E-4	1,97E-4	1,98E-4	1,98E-4	1,99E-4

## 6. CONCLUSIONES

En este trabajo se analizó la no uniformidad del campo radiante en el sistema de referencia de irradiancia ultravioleta. Se determinó la influencia de la deriva de la lámpara en las mediciones de la no uniformidad, para lo cual se implementó un detector de monitoreo al sistema óptico.

Se evaluó la medición de la irradiancia considerando el efecto de la no uniformidad del campo óptico y de la no uniformidad del detector de referencia. Tal efecto se calculó mediante la convolución de ambas no uniformidades.

La variación de la irradiancia debida a las diferentes posiciones posibles del detector permite estimar la incertidumbre por ambas no uniformidades; misma que resultó del orden de 0,076 % considerando un posible error de posicionamiento de  $\pm 3,0$  mm.

## REFERENCIAS

- [1] Publication CIE No. 64 (1984), Determination of the spectral responsivity of optical radiation detectors, Bureau Central de la CIE, 52, Boulevard Malesherbes 75008 Paris, Francia.
- [2] RS-5900 Electrically Calibrated Pyroelectric Radiometer Instruction Manual, LaserProbe Inc., 12802 Rev B, January 1991.
- [3] Arfken, G. Mathematical Metodes for Physicists Academic Press Inc., San Diego, E.E.U.U. (1985).