

PRIMERA REALIZACIÓN DE LA CANDELA A PARTIR DEL RADIÓMETRO CRIOGÉNICO

D.A. Luna¹, A. Zinzallari², L.E. Jazwinski, V. Jesiotr, E. Scatena
INTI Física y Metrología – U.T. Luminotecnia - Lab. Radiometría y Fotometría
luna@inti.gob.ar ; az@inti.gob.ar

OBJETIVO

La candela (unidad de intensidad luminosa) es una de las siete unidades de base del SI. Actualmente la candela es mantenida en INTI mediante lámparas patrones de intensidad calibradas en PTB. La validez de la calibración de estos patrones está limitada en minutos de uso, por lo que requieren de frecuentes y costosas recalibraciones. En los últimos años se avanzó hacia la realización de esta unidad en INTI. El objetivo de este trabajo es realizar la candela a partir de la caracterización de detectores de silicio (Trap detector) calibrados con el radiómetro criogénico.

DESCRIPCIÓN

La realización requiere diversos pasos, que involucran mediciones de diferentes especialidades de la metrología, como ópticas, mecánicas y eléctricas.

El primer paso consiste en medir la potencia óptica de un láser mediante un radiómetro criogénico, el cual opera a temperaturas cercanas a los 4K. A partir de aquí se calibran radiómetros secundarios (Traps). Dado que la definición de la candela para el resto de las frecuencias visibles implica la ponderación de la radiación con la respuesta del ojo humano, es necesario agregar al detector trap un filtro en su entrada. Por otro lado, es necesario limitar la entrada de luz al detector mediante una apertura calibrada. Finalmente se enfrenta el conjunto trap, filtro y apertura a una lámpara incandescente caracterizada por una temperatura de distribución de 2 856 K, y se determina su intensidad luminosa.

En la figura 1 se muestra el laboratorio de radiometría.

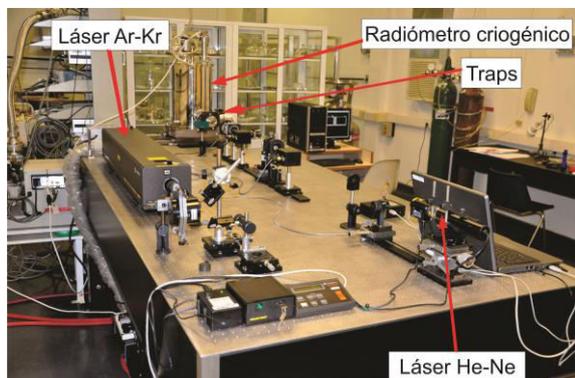


Figura 1 - Mesa óptica con láseres alineados. con el filtro espacial, el LPC, diafragmas, shutter, traps y el radiómetro criogénico (ver detalle en el poster N°1).

RESULTADOS

La realización de la candela puede dividirse en tres etapas:

1- Etapa Radiométrica

A partir del trabajo descrito en el poster:

“Expansión de las capacidades radiométricas de INTI: Caracterización de un radiómetro criogénico”, se procedió con la realización de la candela. El primer paso fue interpolar las mediciones de responsividad espectral absoluta $R(\lambda)$ del trap, obtenidas mediante el radiómetro. Para ello se usó el siguiente modelo de detector ^[1]

$$R(\lambda) = \frac{\lambda e}{hc} (1 - n(\lambda))(1 - \rho(\lambda)) \quad (1)$$

Donde λ es la longitud de onda, e la carga del electrón, h la constante de Planck, c la velocidad de la luz en el vacío, $n(\lambda)$ la deficiencia cuántica interna, y $\rho(\lambda)$ la reflectancia espectral del detector. Esta última se modela como ^[2]:

$$\rho(\lambda) = ae^{b/\lambda} + c\lambda + d \quad (2)$$

Donde a, b, c y d son parámetros de ajuste.

Para $n(\lambda)$ se utilizó el modelo ^[3]:

$$n(\lambda) = K \left(A_1 \exp\left(-\frac{\lambda}{\lambda_1}\right) + A_2 \exp\left(-\frac{\lambda^2}{\lambda_2^2}\right) \right) \quad (3)$$

A partir de los valores ajustados del modelo de reflectancia, junto con los valores medidos de $R(\lambda)$, se obtienen los parámetros de ajuste de $n(\lambda)$. El resultado se muestra en la figura 2.

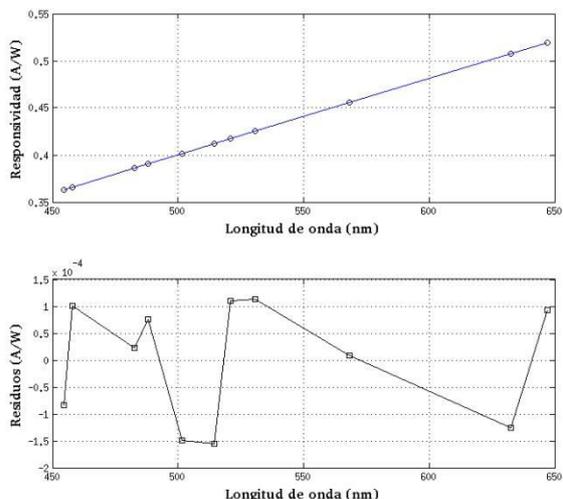


Figura 2- Responsividad espectral absoluta $R(\lambda)$ e interpolación.

2- Etapa Fotométrica

La calibración fotométrica del detector corresponde al proceso de emular la respuesta del ojo humano mediante el detector [4]. Con este fin se agrega un filtro de transmitancia espectral $\tau(\lambda)$, que en conjunto con $R(\lambda)$, aproximan dicha respuesta a la curva $V(\lambda)$ (función de eficiencia luminosa espectral para visión fotópica) según la ecuación (4):

$$s(\lambda) = R(\lambda) \cdot \tau(\lambda) \quad (4)$$

La transmitancia espectral de los filtros se midió con un espectrofotómetro Shimadzu UV 1800. En la siguiente figura se muestran la función de eficiencia luminosa espectral para visión fotópica $V(\lambda)$, la curva de transmitancia espectral $\tau(\lambda)$ del filtro y la responsividad espectral absoluta corregida $s(\lambda)$, del Trap N°2

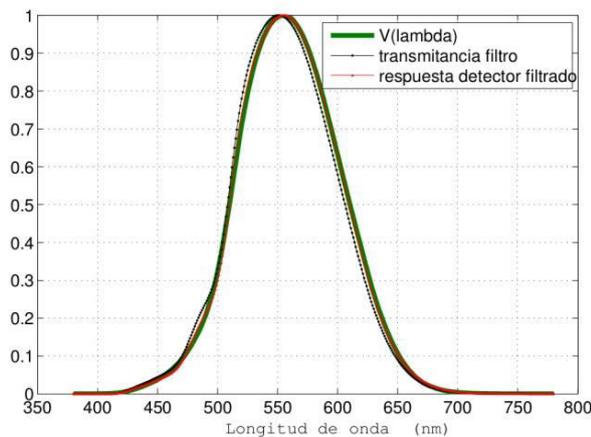


Figura 3: Respuesta espectral del detector filtrado.

Para determinar la responsividad fotométrica del conjunto trap + filtro + apertura, partiendo de la calibración espectral en potencia óptica del Trap debemos conocer $R_{v,f}$ ecuación (5)

$$R_{v,f} = \frac{\int P(\lambda)s(\lambda)d\lambda}{K_m \int P(\lambda)V(\lambda)d\lambda} \quad (5)$$

Donde $R_{v,f}$ es la responsividad fotométrica (A/lm), $P(\lambda)$ la distribución espectral de la luz a medir (distribución del iluminante CIE "A") y K_m la eficacia espectral máxima (683 lm/W).

3- Etapa Mecánica

Finalmente, la responsividad en iluminancia (Ampere/lx) esta dada por (6):

$$R_{v,i} = AR_{v,f} \quad (6)$$

Con A el área de la apertura del detector.

La intensidad luminosa I_v de la fuente en candelas (cd) será:

$$I_v = \frac{d^2 y}{R_{v,i}} \quad (7)$$

Con y la intensidad de corriente de salida del Trap y d la distancia entre la superficie de la apertura calibrada del Trap y la fuente de luz.

Apertura de entrada

Se midieron las aperturas de dos Traps con un dispositivo óptico modelo: SIP UM 214B en 3 orientaciones diferentes y 25 mediciones para cada apertura.

Diámetro Trap N°1: (3,0045±0,0020) mm, k=2

Diámetro Trap N°2: (3,0023±0,0020) mm, k=2

En la siguiente figura se muestra una foto del Trap con su filtro y apertura de entrada.

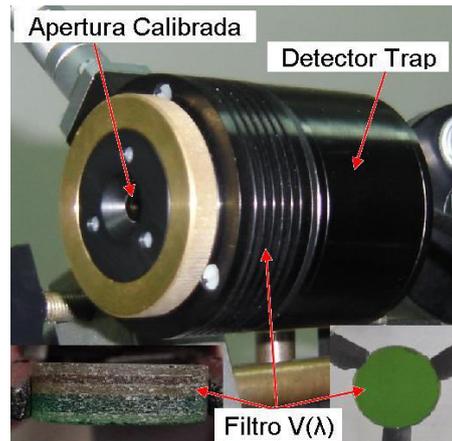


Figura 4 - Detector Trap y su filtro $V(\lambda)$

En esta primera realización de la candela (con trazabilidad a patrones eléctricos nacionales) se encontraron diferencias significativas en el Trap N°2 respecto del valor de intensidad luminosa del PTB, posiblemente atribuibles a la medición de la transmitancia espectral del filtro.

	Responsividad A/lx	Dif. con PTB
Trap 1	$2,073 \cdot 10^{-9} \pm 0,9\%$	-0,5 %
Trap 2	$1,632 \cdot 10^{-9} \pm 0,9\%$	-2,8%

CONCLUSIONES

Se realizó la candela a partir del radiómetro criogénico por primera vez en la Argentina. Esto permite independizarse de las calibraciones en institutos del exterior, y cerrar la trazabilidad de la unidad de intensidad luminosa a los patrones eléctricos nacionales realizados en INTI.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Parr, Albert, Raju Datla, and James Gardner. Optical radiometry. Vol. 41. Academic Press, 2005.
- [2] Werner, L., Fischer, J., Johannsen, U., & Hartmann, J. (2000). Accurate determination of the spectral responsivity of silicon trap detectors between.... Metrologia, 37(4), 279.
- [3] Bazkır, Ö., & Samadov, F. (2005). Characterization of silicon photodiode-based trap detectors and ..., 43(2), 131-141.
- [4] Y. Ohno NIST Special Publication 250-37