

CARACTERIZACIÓN TEÓRICA Y EXPERIMENTAL DEL RUIDO EN AUSENCIA DE SEÑAL EN EL SISTEMA DE DETECCIÓN DE UN LIDAR

S. Fraga, M. B. Lavorato, E. J. Quel, C. A. Rosito

Centro de Investigaciones en Láseres y Aplicaciones (CEILAP), (CITEFA-CONICET),
Zufriategui 4380, (1603) Villa Martelli, Argentina.

Se estudian las características de ruido de fondo del cielo en condiciones diurnas y nocturnas en el entorno de las frecuencias de 1064 y 532 nm. Estos datos son necesarios en proceso de diseño de los sistemas de recepción de LIDARES actualmente en curso. Para las mediciones se ha desarrollado un nuevo método de calibración absoluta de los fotomultiplicadores y fotodiodos basado en el ruido del cuerpo negro. Se analizan las coincidencias con mediciones realizadas en el hemisferio norte.

Sky background noise measurements under daytime and nighttime conditions, in the frequency ranges around 1064 and 532 nm were performed. These data will be used in LIDAR reception system design. A new absolute calibration method for the photomultiplier and photodiode was developed. This was based in the blackbody noise. Coincidences with northern hemisphere measurements are analyzed.

I. INTRODUCCIÓN

La señal en un LIDAR^{1,2} es la suma de la asociada con la potencia recibida de la retrodispersión y la del ruido de fondo. Las fuentes del ruido, provenientes del medio exterior son las siguientes:

- a) la radiación de fondo debida a la luminosidad del cielo;
- b) la radiación dispersada por aerosoles y moléculas de la emisión proveniente de fuentes terrestres. A ellas deben agregarse las diferentes fuentes de ruido asociados con el proceso de detección (ruido de "shot", ruido de la amplificación electrónica, etc.).

Para diseñar correctamente un LIDAR³ estas fuentes de ruido deben ser convenientemente caracterizadas. El objetivo de este trabajo es desarrollar un nuevo método de calibración absoluta de fotodetectores y su utilización en la medición de la radiancia espectral (número de fotones). Este método se aplicó luego a la determinación de dicha radiancia espectral proveniente del cielo nocturno en la instalaciones del CEILAP (Villa Martelli, provincia de Buenos Aires), lugar destinado a la instalación de un LIDAR en base a un láser de Nd-YAG.

II. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

El láser a utilizar en el LIDAR emite en 1064 nm, y un doblador de frecuencias permite también obtener emisión en 532 nm. Por consiguiente la caracterización de las fuentes de ruido se realizó en

el entorno de estas dos longitudes de onda.

Se efectuaron determinaciones diurnas y nocturnas. Por razones de disponibilidad se utilizaron para las mediciones diurnas un fotodiodo (FD) de silicio RCA de gran área tipo C30845 y para las mediciones nocturnas un fotomultiplicador (FM) Philips XP1116 tipo C(S1) de 10 etapas. Durante las mediciones se antepusieron a los detectores filtros centrados en las respectivas longitudes de onda de operación.

Las responsividades espectrales relativas de ambos detectores, las transmitancias de los filtros, así como los respectivos productos, se muestran en las Figs. 1, 2, 3 y 4.

Dado que es necesario obtener mediciones absolutas, resulta indispensable disponer de métodos de calibración absoluta de los detectores a utilizar. Para ello, en ambos casos se utilizó el esquema de la Fig. 5.

El método propuesto se basa en la comparación del ruido del cuerpo negro con el ruido proveniente del fondo del cielo (Fig. 6). Las mediciones de ruido se efectuaron mediante el método tangencial⁴.

La corriente de ruido producida por la radiación de un cuerpo negro a temperatura T en un fotocátodo viene dada por⁵:

$$i_{nBB\lambda}^2 = \frac{2\eta q^2 \lambda \Delta f \overline{W_{BB\lambda}}}{hc} + \frac{2\eta^2 q^2 \lambda \Delta f e \overline{W_{BB\lambda}}}{hc} \left(e^{\frac{hc}{\lambda kt}} - 1 \right)^{-1} \quad (1)$$

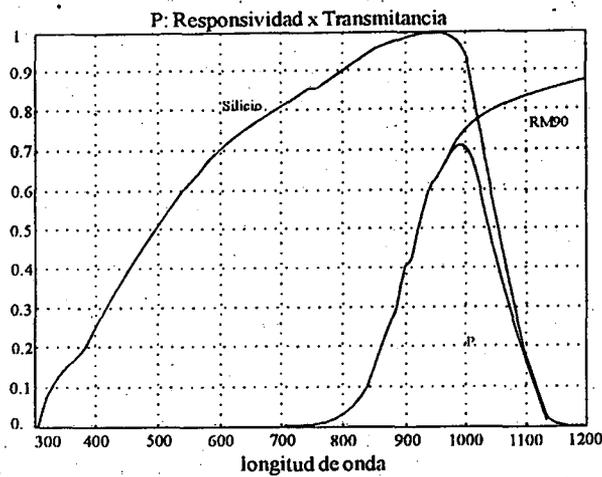


Fig. 1: P: Responsividad (F.D.) x Transmítancia (Filtro IR).

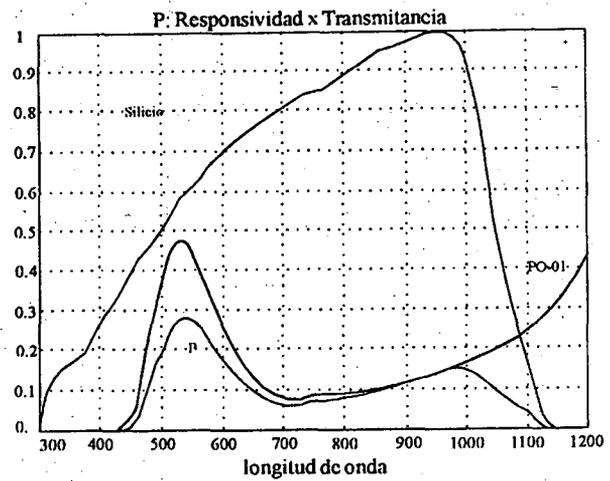


Fig. 2: P: Responsividad (F.D.) x Transmítancia (Filtro Verde).

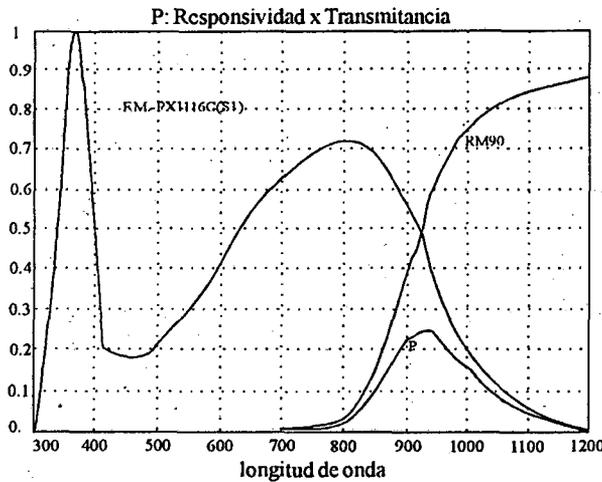


Fig. 3: P: Responsividad (F.M.) x Transmítancia (Filtro IR).

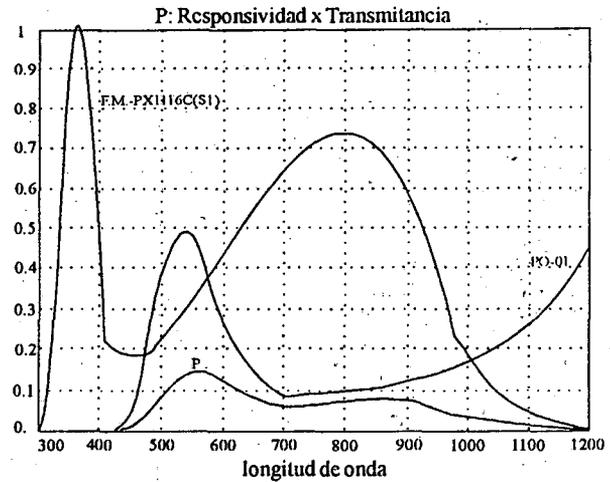


Fig. 4: P: Responsividad (F.M.) x Transmítancia (Filtro Verde).

donde:

- $i_{nBB\lambda}$: corriente de ruido espectral;
- η : eficiencia cuántica del fotocátodo;
- Δf : ancho de banda electrónico;
- $\overline{W_{BB\lambda}}$: Potencia media espectral;
- q : carga del electrón;
- ϵ : emisividad del cuerpo negro;
- y los demás factores tienen significados usuales.

El primer sumando representa el ruido de "shot" asociado con el arribo de los fotones al fotocátodo

y el segundo las fluctuaciones debidos al "photon bunching" asociados con la estadística de Einstein-Bose, el cual para un número bajo de fotones por modo, ($h\nu \gg kT$), que es nuestro caso, resulta despreciable. Esto equivale a suponer que la distribución de los fotones emitidos por el cuerpo negro responde a la estadística de Poisson.

La tensión de ruido a la salida del FM obtenida con el cuerpo negro será entonces:

$$\overline{V_{n\lambda}^2} = 2q^2\eta \overline{N_{BB\lambda}} G^2 R^2 \Gamma \Delta f \quad (2)$$

donde:

G: Ganancia del fotomultiplicador;
 R: Resistencia de carga;
 Γ: factor de ruido de multiplicación;

en el cual:

$$\overline{N_{BB\lambda}} = \frac{W_{BB\lambda}}{hc} \lambda \quad (3)$$

es el número medio espectral de fotones a la longitud de onda λ . Este número es el flujo espectral de fotones por unidad de tiempo y puede obtenerse a través de la siguiente expresión:

$$\overline{N_{BB\lambda}} = \frac{2c}{\lambda^4} \left(e^{\frac{hc}{\lambda T}} - 1 \right)^{-1} \epsilon \Delta \Omega_{BB} A_{BB} \quad (4)$$

donde:

$\Delta \Omega_{BB}$: ángulo sólido de emisión del cuerpo negro;
 A_{BB} : área de emisión del cuerpo negro;
 ϵ : emisividad (0,99 para el cuerpo negro comercial utilizado).

Se ha supuesto en la Ec. (2) que la tensión de ruido asociada con la corriente de oscuridad del FM es despreciable en relación con la generada por el ruido del cuerpo negro. Experimentalmente esta situación es fácilmente alcanzable haciendo que el producto $\Delta \Omega_{BB} \cdot A_{BB}$ sea suficientemente grande.

Una fórmula similar a la Ec. (2) se obtiene para la radiación proveniente del cielo aceptando que ésta responde a la estadística de Poisson. $\overline{N_{BB\lambda}}$ de la fórmula anterior es ahora reemplazado por:

$$\overline{N_{C\lambda}} = L_{\lambda} \Delta \Omega_C A_C \quad (5)$$

donde:

$\overline{N_{C\lambda}}$: flujo medio espectral de fotones provenientes del fondo del cielo;

L_{λ} : radiancia espectral (en número de fotones), a determinar;

A_C : área de recepción;

$\Delta \Omega_C$: ángulo sólido de recepción.

Haciendo el cociente entre las tensiones de ruido provenientes del cuerpo negro $V_{nBB\lambda}$ y del cielo $V_{nC\lambda}$ a la salida del fotodetector y despejando, L_{λ} , se obtiene:

$$L_{\lambda} = \frac{A_{BB}}{A_C} \frac{\Delta \Omega_{BB}}{\Delta \Omega_C} \frac{2c\epsilon}{\lambda^4} \left(e^{\frac{hc}{\lambda T}} - 1 \right)^{-1} \left(\frac{V_{nC\lambda}}{V_{nBB\lambda}} \right)^2 \quad (6)$$

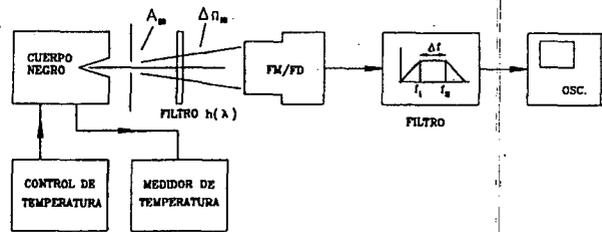


Fig. 5: Esquema de calibración.

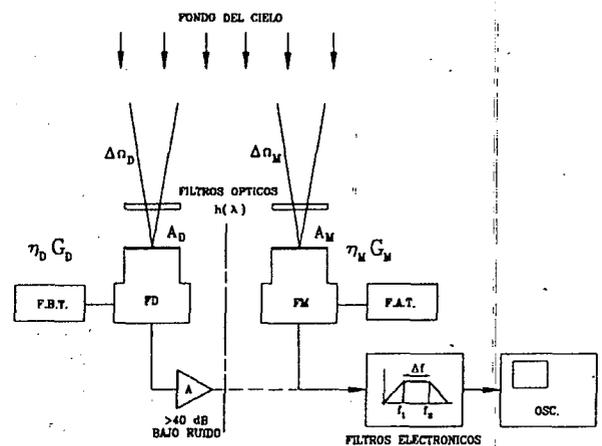


Fig. 6: Esquema de Medición.

Esta fórmula cuyos parámetros son conocidos y/o medibles constituye la base del método.

III. RESULTADOS OBTENIDOS

(A) MEDICIONES NOCTURNAS

Se realizaron mediciones zenitales. En base a la fórmula (6), operando el cuerpo negro estabilizado a la temperatura de 1124°K, con el filtro a 532 nm, se obtuvo en una noche típica, estrellada, sin luna y próxima al equinoccio de la primavera, la radiancia

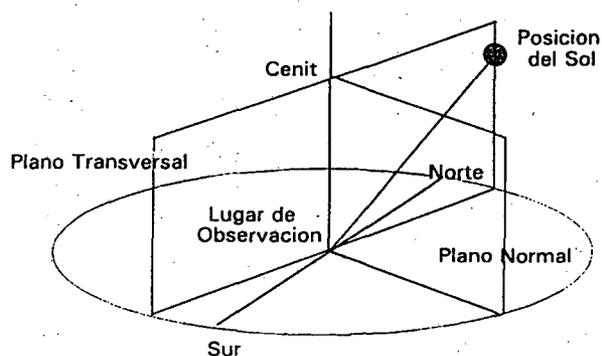


Fig. 7: Geometría de medición diurna utilizada en el CEILAP (12-13 hs.).

espectral (en números de fotones):

$$L_{\lambda} = 1.1 \times 10^{10} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ sr}^{-1} \text{ nm}^{-1} \quad (7)$$

El método no presenta errores sistemáticos significativos. El error asociado a la medición es del orden de $\pm 5\%$ que en su mayor parte es debido al método tangencial de medición de ruido. Con otros métodos o instrumentos de medición de ruido, la precisión puede mejorarse.

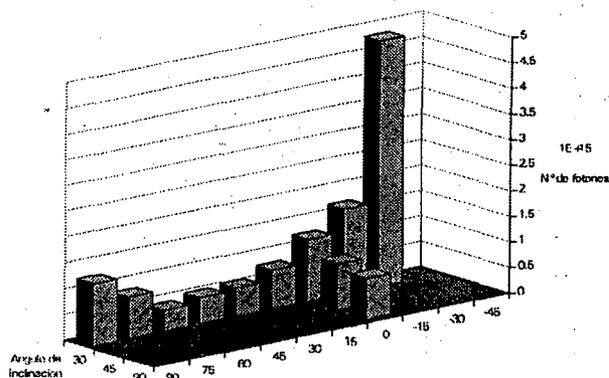


Fig. 9: Número de fotones por m^2 , sr , nm , seg , en función de los ángulos de inclinación en la zona de 1064 nm.

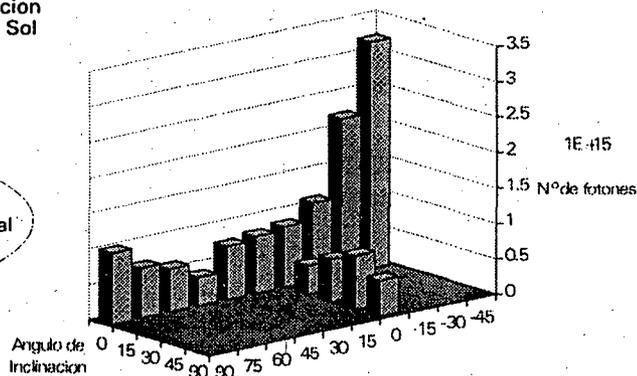


Fig. 8: Número de fotones por m^2 , sr , nm , seg , en función de los ángulos de inclinación en la zona de 532 nm.

El valor medido es 6 veces más bajo que el obtenido en el observatorio de Monte Porzio en las afueras de Roma que se utiliza en el IFA de Frascati³. La diferencia es atribuible a la fuerte luminosidad de fuentes artificiales en el entorno de dicho observatorio; mientras que nuestras mediciones, se efectuaron dentro de un Campus de 13 ha con la iluminación artificial interrumpida. Por otra parte, nuestro valor es muy próximo al de $0,9 \cdot 10^{10} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ sr}^{-1} \text{ nm}$ medido en el hemisferio norte sin fuentes artificiales y sin luna⁶ y consistente con las señales de ruido

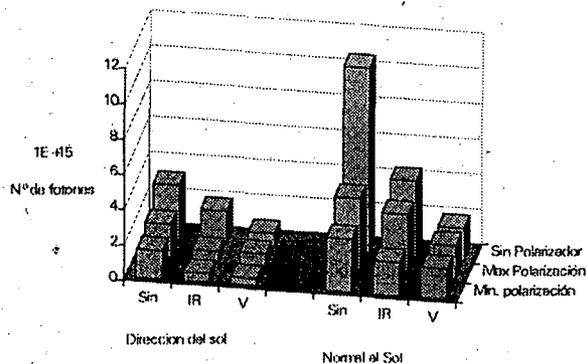


Fig. 10: Número de fotones medidos en la dirección vertical por m^2 , sr , nm , seg , combinando filtros IR (RM90) o Verde (PO-01) con un polarizador.

reportadas en la referencia 7.

(B) MEDICIONES DIURNAS

Las mediciones diurnas se realizaron en un día típico; próximo al equinoccio de la primavera, con atmósfera clara, sin nubes, y al mediodía. La Fig. 7 muestra la geometría de medición. Estas se efectuaron en el plano que contiene al sol y a la línea cenital. En ningún momento se apuntó directamente al sol.

Las Figs. 8, 9, y 10 muestran los resultados obtenidos para la radiancia espectral (en número de fotones). Para la medición cenital en 532 nm se obtuvo un valor de $1 \cdot 10^{15} m^{-2} s^{-1} sr^{-1} nm^{-1}$, incrementándose notablemente en la dirección del sol. Esta medición coincide con los datos suministrados en *E.O.H. de RCA*⁶.

IV. CONCLUSIONES

Se ha desarrollado un método de medición absoluta del ruido del fondo del cielo, en base al ruido del cuerpo negro.

Las mediciones absolutas de las radiancias espectrales tanto diurnas como nocturnas dan valores del mismo orden que los obtenidos mediante otros métodos en diversos lugares del hemisferio norte.

Estos valores son necesarios para el diseño de los LIDARES en proceso de desarrollo en el CEILAP.

REFERENCIAS

1. E. D. Hinkley. "Laser monitoring of atmosphere". Springer-Verlag, (1976).
2. H. Kildal y R. L. Byer. Proc. IEEE, vol. 59, N°12, pp. 1644 (1971).
3. F. Congedutti, G. P. Gobbi, A. Adriani, C. Rosito, E. Quel. *IV Encuentro Latinoamericano sobre Láser, Óptica y Aplicaciones*. Oaxtepec, México, (1993).
4. G. Franklin and Troy Hatley. *Electronic Design*, vol. 24, pp. 184 (1973).
5. R. H. Kingston. "Detection of optical and infrared radiation". Springer-Verlag, (1978).
6. *Electro-Optics Handbook*. RCA, (1974).
7. D. L. Rosen and J. B. Gillespie. *Appl. Opt.*, vol 31, N° 21, pp. 4214 (1991).

