

# SISTEMA LIDAR PARA LA MEDICIÓN SIMULTÁNEA DE PARÁMETROS ATMOSFÉRICOS EN LA TROPÓSFERA.

**Javier Fochesatto, Mario Lavorato, Juan C. Dworniczak, Pablo Cesarano, Eduardo Quel, Pierre Flamant\* y Jacques Pelon\*\*.**

DIVISION RADAR LASER. CEILAP (CITEFA - CONICET)  
Zufriategui 4380 (1603), Villa Martelli, Pcia.Bs.As. -ARGENTINA.

\* LMD - Ecole Polytechnique - Palaiseau - FRANCE.

\*\* Service d'Aeronomie du CNRS - Université Paris 6 - Paris - FRANCE.

foch@udceilap.edu.ar.

El lidar de retrodifusión que opera en el CEILAP fue adaptado para la observación y determinación simultánea de las propiedades ópticas de la capa límite atmosférica y de los cirrus, debido a que la gran diferencia en el rango dinámico de la señal de respuesta de ambos parámetros impide utilizar un único sistema de detección. El emisor del nuevo sistema lidar es un láser de Nd:YAG que emite en 532 nm con una energía de 300 mJ a 10 Hz. El esquema de recepción ahora está configurado por dos conjuntos de detección independientes. El de mayor alcance, aproximadamente 35 Km, que era el utilizado anteriormente, posee un telescopio de tipo newtoniano de 1 m de distancia focal y  $f/2$ . El nuevo sistema, de menor alcance, es un telescopio comercial tipo Cassegrain de 8 cm de diámetro y número  $f$  regulable de 16 hasta 20. Ambos están equipados con sendos fotomultiplicadores y sistemas de adquisición de datos independientes. Se discuten los factores geométricos, se analizan las figuras de ruido, la calibración y validación de cada subsistema de recepción.

The retrodiffusion lidar operating at CEILAP was adapted for simultaneous observation and determination of optical properties of atmospheric boundary layer (ABL) and cirrus clouds due to the different dynamic range of each one. The transmitter of this new lidar system is a Nd:YAG laser emitting at 532 nm with 300 mJ of energy per pulse at 10 Hz. The reception consist of two independent detection systems. One of them, arriving to 35 Km range, used before, is based on a Newtonian telescope of 1 m of focal length and  $f/2$  number. The new one of small range, consist of a Cassegrain type telescope 8cm diameter and  $f$  number adjustable between 16 up to 20. Both are equipped with a photomultiplier and acquisition data system operating at an independent way. In this work we discuss the geometric factors, signal to noise ratio and validation and calibration of the two systems.

## I. INTRODUCCION.

Desde 1994 en el CEILAP se monitorea mediante un lidar de retrodifusión en forma sistemática parámetros atmosféricos tales como la capa límite atmosférica (CLA), cirrus, aerosoles troposféricos y estratosféricos entre otros. Debido al tipo de fenómeno, se observa en la detección escalas que varían con varios órdenes de magnitud, lo que impide la detección simultánea de alguna de ellas. Para superar este problema se diseñó una modificación al sistema original, que consiste en el agregado de una vía adicional de detección de alcance medio, con luminosidad y factor de superposición adecuados al tipo de observaciones en la baja tropósfera.

El sistema completo se compone ahora de un mismo emisor láser de Nd:YAG con dos canales ópticos de recepción de señal completamente independientes con lo cual es posible monitorear simultáneamente cirrus, nubes bajas, densidad, temperaturas, aerosoles en la parte alta de la tropósfera (<30 Km) y seguimiento de la CLA en la tropósfera baja (0 - 3Km). Un sistema de esta naturaleza se denomina lidar dual.

Este sistema nos permitió efectuar seguimiento continuo y simultáneo de parámetros para el estudio de procesos atmosféricos en forma completa, en toda la tropósfera.

## II. DESCRIPCION DEL SISTEMA LIDAR DUAL.

En la figura 1 se muestra un diagrama en bloques del sistema desarrollado. El sistema emisor consiste de un láser de Nd:YAG que emite en 532 nm pulsos de 300 mJ de energía máxima, con una duración de 5 ns y una repetición de 10 Hz.

El sistema de recepción está integrado por:

a) un telescopio tipo newtoniano de 50 cm de diámetro y  $f/2$ , con base mecánica ajustable en azimut y elevación con sistema de detección con fotomultiplicador y sistema de adquisición de 16 bits de resolución vertical, 50 MS/seg. de velocidad de adquisición, 20 MHz de ancho de banda, con resolución espacial de 30 m y un alcance entre 300 m y 30 Km.

b) un telescopio tipo Cassegrain de 8 cm de diámetro y número  $f$  adaptable entre 16 y 20 posicionado verticalmente (solidario al telescopio de

gran alcance), con ajuste de paralelismo conjunto y un alcance entre 100 m y 3 Km.

En cada telescopio se dispone de un sistema de detección independiente en base a un fotomultiplicador Thorn Emi 9214B. En cuanto a la adquisición se dispone de un osciloscopio digital Tektronix TDS 540 de 500 MHz de ancho de banda y 1 GS/s de frecuencia de muestreo (acoplado al telescopio newtoniano), con resolución espacial de 30 m, y otro osciloscopio Tektronix TDS 210 de 60 MHz de ancho de banda y una frecuencia de muestreo de 1GS/s (acoplado al telescopio cassegrain), con resolución espacial de 3 m.

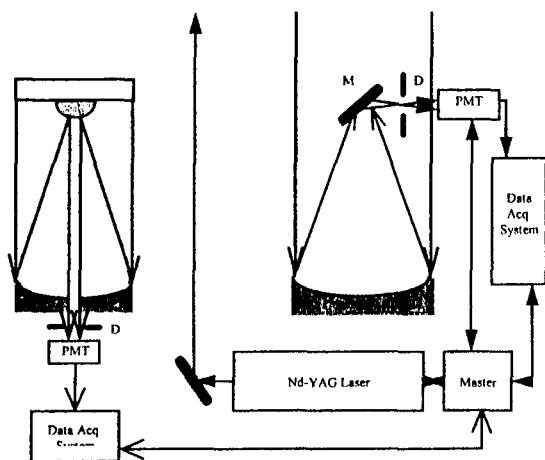


Figura 1. Esquema del Sistema Lidar Dual  
PMT, fotomultiplicador; D: diafragma, M: espejos,.

### III. PARAMETROS DEL SISTEMA LIDAR DUAL.

Con el fin de interpretar la señal de sondeo lidar es necesario conocer los parámetros del sistema en sus dos rangos de alcance. En ese sentido se procedió a la determinación de la ganancia de cada detector. Este resultó ser aproximadamente la misma en ambos fotomultiplicadores, al ser ensayados en un banco óptico con un espectrómetro preparado para tal fin con fuente luminosa pulsada a 90 Hz y con una energía por pulso de 2.5µJ, medida con un detector de patrón de Silicio (Energy Radiometer, Laser Precision Corp.), contrastado con un espectrómetro Jarrell Ash de 1nm de resolución, en idénticas condiciones experimentales y con una red de difracción similar, parametrizándose así las respectivas ganancias. En la figura 2 se representa la curva de ganancia del fotomultiplicador utilizado.

El factor geométrico de superposición  $g(R)$  es el parámetro que configura el mínimo de altura en la detección y adicionalmente interviene en la relación de señal a ruido, y que además es ajustable en los dos sistemas por medio de diafragmas controlables dispuestos en el foco de cada sistema óptico.

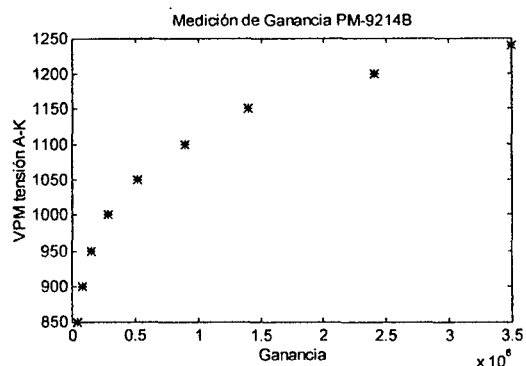


Figura 2. Curva de medición de ganancia del PMT.

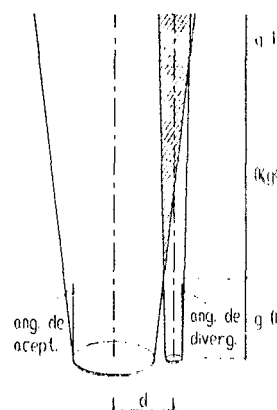


Figura 3. Factor geométrico de superposición.

Del cálculo de los ángulos de aceptación, entre 1mrad y 10 mrad, y la correlación con las señales capturadas por los sistemas se logran factores de superposición unitarios en el telescopio de gran alcance desde los 300 m hasta 3 Km y en el telescopio de bajo alcance entre 100 m y 300 m con  $f/16$ . En la figura 3 se visualiza un esquema del factor geométrico de superposición.

El alcance de ambos sistemas de detección fue probado por medio del estudio de la relación de señal a ruido del sistema de recepción contra el límite de detección de ruido del detector; mediante la siguiente expresión:

$$R\left[\frac{S}{N}\right] = \frac{\langle V_s(R) \rangle}{\sqrt{2 \cdot e \cdot Bw \cdot R_c \cdot [\langle V_s(R) \rangle + \langle V_r(R) \rangle]}}$$

donde  $\langle V_s(R) \rangle$  es el valor promediado de la señal medida en un canal y  $\langle V_r(R) \rangle$  es el valor de ruido electrónico del sistema más el de fluctuación atmosférica logrado ocultando la emisión láser de los telescopios. En la figura 4 se visualizan las curvas de  $R(S/N)$  para cada canal.

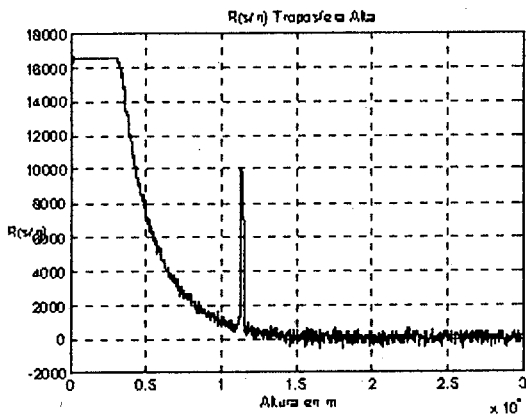
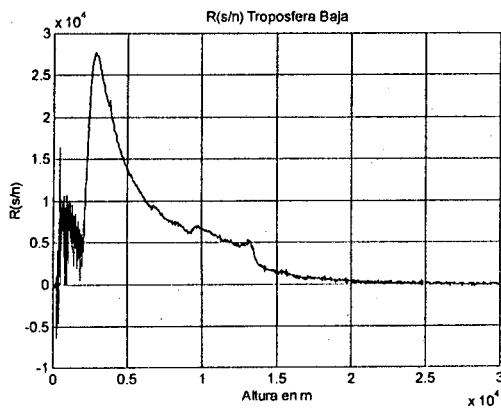


Figura 4. Relaciones de señal a ruido de ambos canales de detección.

**IV. CALIBRACION Y VALIDACION.**

Para efectuar la validación de cada uno de los canales de detección del sistema, se efectuaron observaciones en las mismas condiciones, que datos tomados anteriormente comparándolas con las publicadas en la literatura (1,2,3).

Con respecto a la calibración de cada canal se efectuaron observaciones del mismo fenómeno con los dos canales simultáneamente con rangos de adquisición en las mismas condiciones, observándose una buena correlación. Sin embargo se observan diferencias en cuanto a captura de señal y alcance, determinado por constantes propias de cada canal tales como áreas efectivas de colección y diferencias en las relaciones de señal a ruido y resolución de cada canal.

En la figura 5 se visualizan las curvas de inversión para cada canal con el fin de correlacionar los datos.

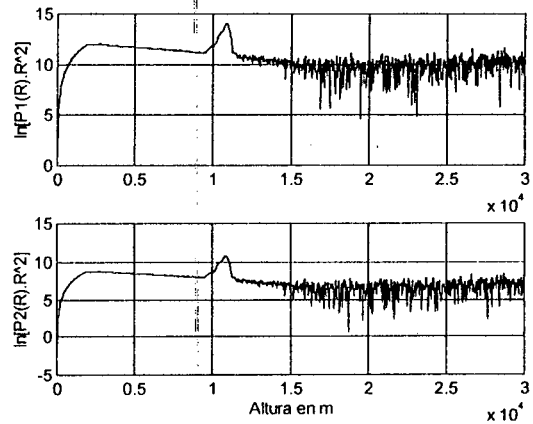


Figura 5. Inversión de señales lidar de ambos canales para obtener su calibración.

**VI. OBSERVACIONES**

Con el sistema lidar dual se efectuaron observaciones simultáneas de capa límite atmosférica CLA y formaciones nubosas tipo cirrus en las condiciones de óptima visibilidad sin vientos de superficie. En la figura 6 se presentan observaciones simultáneas de la detección de la capa límite atmosférica, en la parte baja de la tropósfera, y cirrus en la parte alta, en forma simultánea sin pérdida de resolución y rango dinámico.

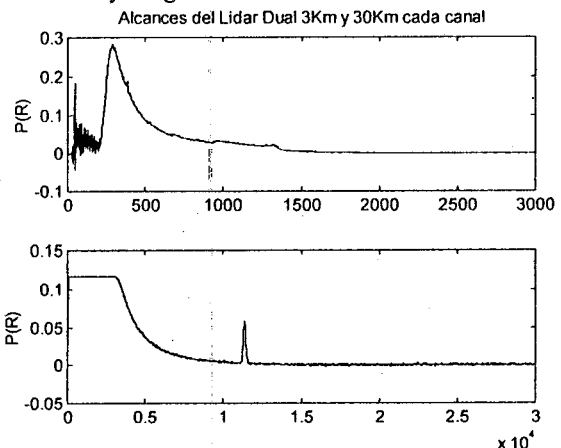


Figura 6. Observación con el sistema dual de CLA y cirrus simultáneamente.

**VII CONCLUSIONES.**

Se ha presentado un nuevo sistema de medición lidar en dos rangos simultáneos para efectuar observaciones sistemáticas en la tropósfera con el que se estudia el impacto de radiación en la CLA convectiva ocasionado por la presencia de cirrus diurnos y el impacto sobre la CLA estable nocturna debida a la presencia de cirrus nocturnos.

Asimismo se podrá estudiar con mayor precisión la carga aerosólica en toda la tropósfera permitiendo estimar la emisión de aerosoles a la atmósfera libre.

Además, considerando que uno de los telescopios posee la capacidad de rotar entre 0 - 270° manteniendo el otro en posición vertical, será posible evaluar los gradientes de concentración para estimar los fenómenos de transporte horizontal en la tropósfera.

**VIII REFERENCIAS.**

1. G.J.Fochesatto, M. Lavorato, C. Rosito, E. Quel, P.H.Flamant, Proceedings of the 5<sup>th</sup> Latin-American Meeting on Optics, Laser and Their Applications. La Habana, Cuba, 312 (1995)

2. M.B.Lavorato, G.J.Fochesatto, E.J. Quel, P.H.Flamant. Proceedings IGARSS' 96. International Geoscience and

Remote Sensing, Lincoln, Nebraska, U.S.A. Vol.1, 2 (1996)

3. M.B.Lavorato, G.J.Fochesatto, E.J. Quel, P.H.Flamant, J. Pelon. "Advances in Atmospheric Remote Sensing with Lidar". Springer, Berlin. 91 (1996).