

# Lidar de Nd:YAG para medición de parámetros atmosféricos

M. B. LAVORATO, J. C. DWORNICZAK, G. FOCESATTO\*, L. DE PABLO PARDO,  
M. PAGURA, A. PEURIOT, E. QUEL, C. ROSITO, G. SANTIAGO\*\*, O. VILAR.

CEILAP (CITEFA-CONICET)  
ZUFRIATEGUI 4380 (1603), VILLA MARTELLI, BS. AS.  
e-mail: postmaster@ceilap.edu.ar

\*CONICET.

\*\*Facultad de Ingeniería. UBA.

Se diseñó y construyó un sistema lidar basado en un láser pulsado de Nd:YAG, para el sensado remoto de parámetros atmosféricos. El láser emite simultáneamente pulsos con energía de 330 mJ en 1,06  $\mu\text{m}$  y 320 mJ en la segunda armónica de 532 nm con repetición variable hasta 10 Hz. La radiación retrodispersada por scattering de Rayleigh y de partículas es colectada por un telescopio newtoniano, con espejo de 500 mm de diámetro y  $f/2$ . Un espejo dicróico separa la fundamental de la segunda armónica. Las señales son detectadas en el foco por medio de un fotodiodo IR y un fotomultiplicador, respectivamente. Se utilizan filtros interferenciales de 10 nm de banda pasante con el fin de limitar el ruido del cielo. El fotomultiplicador es operado en modo corriente para señales recibidas desde alturas inferiores a 20 Km y en el modo de conteo de fotones para alturas superiores. Las señales retornadas mostraron la capa límite, nubes finas y aerosoles, y permiten calcular densidad y temperatura del aire.

A lidar based on a pulsed Nd:YAG laser for remote sensing of the atmosphere was designed and built. The laser emits pulses of 330 mJ at 1.06  $\mu\text{m}$  and 320 mJ at 532 nm, (second harmonic of the laser), simultaneously, with variable frequency up to 10 Hz. Particle and Rayleigh backscattering are collected on a 500 mm diameter, 1 m focal length paraboloid mirror. A dichroic mirror splits the fundamental and the second harmonic. The signals are detected at the focus by means of an IR photodiode and a photomultiplier. Multilayer filters with 10 nm bandwidth are used in order to limit the sky noise. Photomultiplier operates in current mode for signals coming from up to 20 Km and in photon counting regime for higher altitudes. The returned signals show the boundary layer, clouds and aerosols and may be used for obtaining air temperature and density.

## Introducción

El monitoreo atmosférico mediante lidar es una técnica bien establecida que permite la adquisición remota de parámetros tales como presión y temperatura del aire, concentración de aerosoles, espesor y altura de nubes y capa límite. Respecto de balones y cohetes sonda y mediciones satelitales por radiofrecuencia, presenta las ventajas de operar en tiempo real con buena resolución espacial, menor costo y de manera permanente.

La mayoría de las estaciones lidar del mundo están situadas en latitudes medias del hemisferio norte. Solo dos sistemas operaban en el hemisferio sur, a 23S y 38S respectivamente. Hay un gran interés internacional por establecer una red mundial de lidares para el monitoreo de parámetros atmosféricos, útiles en el modelo del cambio global.

En este trabajo se presenta el diseño y la construcción de un lidar a dos longitudes de onda, en base a un láser de Nd:YAG, instalado en el CEILAP, Villa Martelli, Pcia. de Buenos Aires, (34.6S/58.5W), siendo el primero operable en la Argentina.

## Consideraciones de diseño

La señal retrodispersada por la atmósfera es proporcional al producto de la energía del pulso láser por el área de recepción. El costo de fabricación y la estabilidad del montaje mecánico para espejos (parabólicos) de diámetro mayores a 0,6 m, pone un límite práctico al área de recepción.

Limitando el alcance del lidar a una altura comprendida entre los 60 y 70 Km, para condiciones de atmósfera "limpia" y considerando una relación señal/ruido = 10, se estimó por simulación de la señal lidar <sup>1)</sup> el valor del producto energía láser por área de

recepción, y la frecuencia de repetición necesaria para un tiempo de acumulación de señal no mayor de 10 minutos.

Con un espejo de 0,5 m de diámetro se obtiene que la energía por pulso requerida en el láser de Nd:YAG debe ser del orden de 500 mJ o mayor, suponiendo una eficiencia en la generación de segunda armónica del 50%.

Los láseres comerciales con una energía por pulso de hasta 600 / 700 mJ a una repetición de 10 pps tienen la ventaja de no requerir sistemas externos de refrigeración por agua y en general no utilizan etapas amplificadoras. Estas consideraciones permitieron definir las características del sistema de emisión y del telescopio de recepción que se resumen en la Tabla 1.

### Descripción del lidar

El sistema de emisión utiliza un láser de Nd-YAG - Continuum, modelo Surelite II, de 10 Hz de repetición, con 650 mJ de energía por pulso en 1064 nm y un ancho de pulso inferior a 10 ns. La salida es doblada en frecuencia con un cristal KDP obteniéndose 310 mJ a 532 nm.

El sistema de recepción utiliza un telescopio newtoniano con un espejo parabólico aluminizado de 500 mm de diámetro y una distancia focal de 1000 mm, construido completamente en el país. El sistema permite detectar simultáneamente las dos longitudes de onda emitidas por el láser. El conjunto está compuesto por un separador de haces a 45 grados ( $R=99,5\%$  a 532 nm y  $T=85\%$  a 1064 nm), que separa los haces de las señales retrodispersadas como muestra la fig. 1.

Para la detección en 532 nm, se utilizó un fotomultiplicador THORN-EMI 9214B "biálcali". El mismo cuenta con un dinodo auxiliar de apagado de señal, que fue sincronizado con el disparo del láser a fin de evitar la saturación del detector debida a la señal de baja altura. Un diafragma con diámetro variable entre 1 y 10 mm fue ubicado en el foco del espejo controlando de esta manera el ángulo de aceptación. Éste se ajusta a un valor ligeramente superior al

ángulo de emisión, minimizándose así el ruido óptico proveniente del fondo del cielo. Con la misma finalidad se intercaló delante del fotomultiplicador un filtro interferencial de 10 nm de ancho espectral centrado en 532 nm.

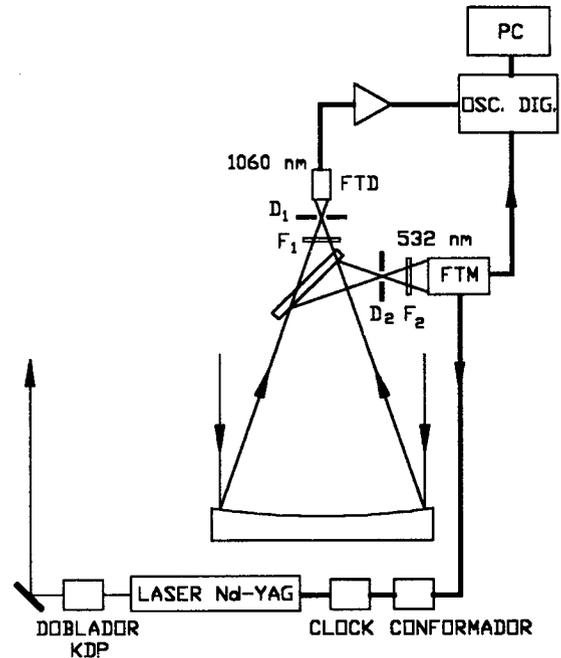


Figura 1. Diagrama esquemático del lidar.  
*D1, D2: Diafragmas ajustables, F1, F2: Filtros  
 B.S.: Separador de haz dicróico FTD: Fotodiodo  
 FTM: Fotomultiplicador*

Para la detección en 1064 nm se utilizó un conjunto detector-amplificador compuesto por un filtro interferencial de 10 nm ancho espectral, un diafragma para controlar el ángulo de aceptación, un fotodiodo de silicio y un amplificador de bajo ruido con respuesta en frecuencia de 0 a 40 MHz.

Ambas señales fueron adquiridas y promediadas por un osciloscopio digital Tektronix TDS-540 limitado en ancho de banda a 20 MHz, y transferidas a una computadora PC 386 para su análisis.

El láser fue montado horizontalmente sobre una estructura solidaria al telescopio. El haz láser es dirigido, por medio de un espejo multicapa, paralelamente al eje óptico de recepción. La separación entre ejes ópticos es de 650 mm. El telescopio puede girar de 0 a 360 grados en la horizontal y de 0 a 90 grados

en elevación. Ambos movimientos son controlados por grupos moto-reductores.

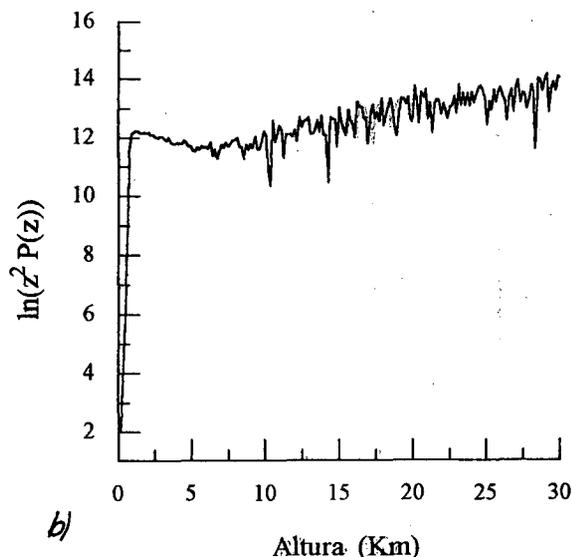
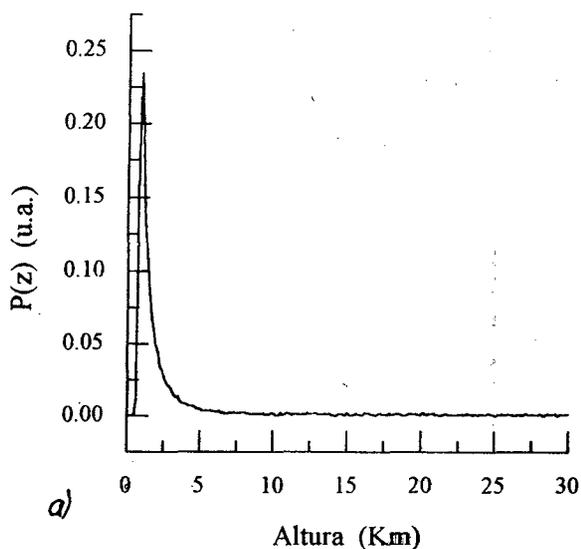


Figura 2. a) Señal lidar a 532 nm para atmósfera despejada de nubes. b) Señal corregida por altura

## Resultados

La figura 2a muestra una señal de retrodispersión  $P(z)$  en función de la altura  $z$ , para una atmósfera despejada de nubes. En la figura 2b se muestra la misma señal corregida por altura:  $S(z) = \ln [z^2 P(z)]$ , suavizada con un filtro de Savitzky-Golay<sup>2</sup>.

Cualitativamente, en el entorno de 15 a 25 Km, se observa un comportamiento aproximadamente lineal con una pendiente pronunciada que indica la presencia de una

capa de partículas y aerosoles. Esta pendiente es proporcional al coeficiente medio de extinción de la capa<sup>3</sup>. Por encima de los 30 Km, en ausencia de partículas y aerosoles, la señal decae suavemente (por dispersión de Rayleigh) haciéndose comparable al ruido del fotomultiplicador por encima de los 50 Km.

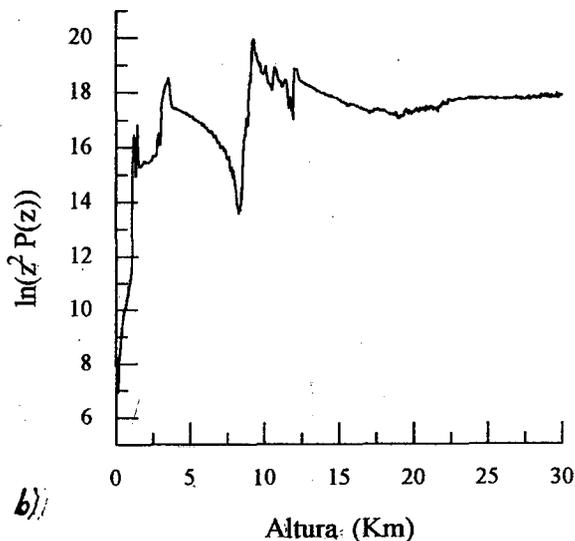
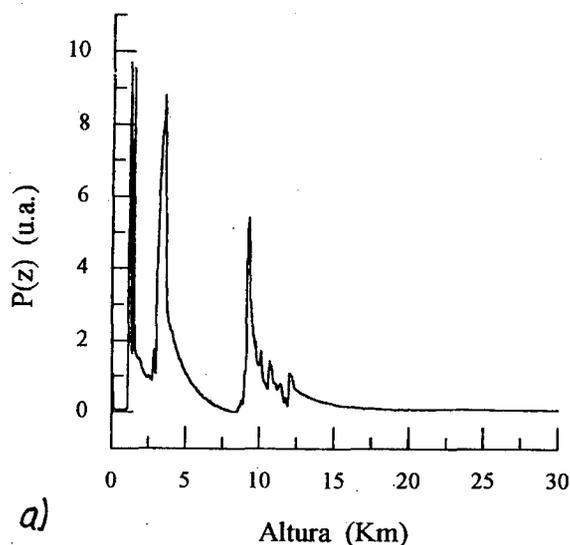


Figura 3. a) Señal lidar a 532 nm en presencia de nubes. b) Señal corregida por altura.

Las figuras 3(a) y 3(b) muestran las señales  $P(z)$  y  $S(z)$  respectivamente que corresponden a diferentes estratos de nubes. Las mediciones dan directamente la altura, el espesor óptico y geométrico de las nubes.

El lidar desarrollado permite medir directamente capa límite, altura y espesores

ópticos y geométricos de nubes. Por medio de la inversión de la ecuación del lidar <sup>(3 - 6)</sup> puede obtenerse información sobre contenido de aerosoles y el perfil de temperatura y presión como función de la altura. Este dispositivo, provee señales utilizables hasta distancias del orden de los 70 Km.

TABLA I. CARACTERÍSTICAS DEL LIDAR

Sistema de emisión

- Láser: Nd-YAG Continuum Surelite II.
- Longitudes de onda: 532 nm y 1064 nm.
- Frecuencia de repetición: 1 - 10 pps.
- Divergencia: 0,3 mrad.
- Energía: 310 mJ @ 532 nm y 320 mJ @ 1064 nm.

Sistema de recepción

- Area de colección: 1770 cm<sup>2</sup>.
- Angulo de aceptación: 0,8 mrad.
- Ancho espectral de filtros: 10 nm.
- Detectores:
  - fotodiodo EG&G YAG 444 @ 1064 nm,
  - fotomultiplicador Thor EMI 9214B @ 532 nm.
- Alcance: modo fotoconteo ≈ 70 Km; modo corriente ≈ 40 Km.
- Adquisición de señales:
  - fotoconteo: escalímetro multicanal de 100 Mc/s, plaqueta EG&G ORTEC MCS-plus, discriminador EG&G ORTEC 9307,
  - fotocorriente: osciloscopio digital Tektronix TDS-540.

**Agradecimientos**

Los autores desean agradecer a la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, por el otorgamiento de un subsidio que permitió concluir el equipo lidar, y a los Dres. O. Di Rocco, G. Bertuccelli, R. Grattón y H. Ranea Sandoval, del Instituto de Física "Arroyo Seco" de la Universidad del Centro, por las fructíferas discusiones sobre el tema.

**Referencias**

1. J.G.Fochesatto, M.B.Lavorato, A.Peuriot, E.J.Quel, C.A.Rosito, G.D.Santiago. Presentado a la 79a Reunión Nacional de Física (publicado en este volumen)
2. W.H. Press et al: *Numerical Recipes in FORTRAN. The Art of Scientific Computing*. Second Edition 1992, Cambridge Univ Press.
3. J. D. Klett, *Appl. Opt.*, **22**,514,(1983)
4. M. Mulders, *Appl. Opt.*, **23**,2855,(1984)
5. J.D.Klett, *Appl. Opt.*, **24**,1638,(1985)
6. J.D.Klett, *Appl. Opt.*, **25**,2462,(1986)