

# Mediciones preliminar con el lidar de retrodifusión en 1064 nm.

## Preliminary measurements with a backscatter lidar in 1064 nm.

H. A. Lacomí<sup>a,b</sup>, M. B. Lavorato<sup>a,c</sup>, C. L. Arrieta<sup>a,b</sup>, D. David de Lima<sup>a, ∇</sup>

- a. División Radar Láser, Dto. Láser, CITEDEF, Juan B. La Salle 4397, B1603ALO, Villa Martelli, Buenos Aires, Argentina.  
b. Grupo SyCE-FRH, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Haedo, París 680, Haedo, Buenos Aires, Argentina.  
c. Grupo TAMA, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Haedo, París 680, Haedo, Buenos Aires, Argentina.

Recibido: 29/11/2013; aceptado: 10/03/2015

A partir de junio del 2013 comenzaron los ensayos preliminares con el nuevo sistema de detección de señales LIDAR que opera en 1064 nm. El LIDAR de retrodifusión comenzó sus operaciones de prueba en el mes de agosto del 2012 y desde el mes de julio del corriente año se habilitó un segundo telescopio que lleva acoplado un sensor NIR. Dicho *antropogénicas más importantes* sensor está conectado a un amplificador de gran ganancia y gran ancho de banda. El emisor láser emite 600 mJ en 1064 nm y 240 mJ en 532 nm (polarizado) con una frecuencia de repetición de 1 hasta 20 pulsos por segundo. Ambas longitudes de onda son emitidas en forma simultánea a través de un divisor de haz lo que simplificó el montaje de los telescopios. Se presentan los primeros resultados obtenidos con el nuevo sistema de detección, el detecto-amplificador se diseñó y construyó íntegramente en CITEDEF, consta de dos etapas y está adaptado a 50 Ω. Para evaluar el ancho de banda del amplificador se utilizó un analizador vectorial de redes donde se obtuvieron los parámetros 'S' del sistema para luego ser transformados en parámetros impedancia ('Z') que permitió caracterizar el mismo. Se analizan los resultados en función de la detección simultánea de las dos líneas del Láser: del fotomultiplicador de 532 nm y del sensor NIR correspondiente a los 1064 nm.

*Palabras clave: LIDAR, NIR, Amplificador, 1064 nm.*

From June 2013 we present the preliminary measurements with the new IR signal detection LIDAR system in 1064 nm. In August 2012 we tested the new backscatter LIDAR operating in 532 nm; since July 2013 was enabled a second Cassegrain telescope with a NIR sensor. The new detection system was connected to an amplifier with a high gain and high bandwidth. The emitter Laser works in two wavelength, the emission energy is around 600 mJ in 1064 nm and 240 mJ in 532 nm (polarized), with a repetition rate between 1 and 20 Laser shots per second. Both wavelengths are emitted simultaneously with a beam splitter unit. We present the measurements acquired with the NIR detection system, the detector unit added to an amplifier was fully designed and built entirely in CITEDEF. The amplifier is compound by two stages and adapted to 50 Ω. To evaluate the amplifier's bandwidth we used a Vector Analyzer Network (VNA) to obtain the 'S' parameters. Finally, to characterize them, they was transformed into 'Z' parameters. In this work, we analyze the results comparing the two Laser signals with a simultaneous detection of: 532 nm with a photomultiplier tube and NIR sensor corresponding to 1064 nm.

*Keywords: LIDAR, NIR, Amplifier, 1064 nm.*

### I. INTRODUCCIÓN

Las partículas o aerosoles son fragmentos sólidos diminutos más pequeños que las gotas de agua pulverizadas y están formadas por una composición química muy variada. Hay dos tipos de aerosoles, los que se denominan primarios, son los que se emiten directamente a la atmósfera, y los secundarios, producto de reacciones físico-químicas que ocurren en ésta. La concentración de partículas o aerosoles en aire se expresa en mg o µg por m<sup>3</sup> de aire.

La fuente generadora de aerosoles en la atmósfera es en un 80% de origen natural (aerosoles marinos, producto de las olas al romper, arrastre de polvo por el viento, erupciones, incendios, polen, etc.); las fuentes son los procesos de combustión y los desechos o procesos

mecánicos de extracción, fundamentalmente minería, canteras, fábricas de cemento, tratamientos de residuos, etc. y desechos o subproductos de procesos industriales mal procesados. También es importante cuantitativamente la formación de aerosoles secundarios a partir de contaminantes gaseosos primarios.

En la atmósfera: las partículas se depositan de varias formas donde las más importantes son: 1) Por sedimentación o deposición seca (~25 %); 2) Por deposición húmeda, mediante el arrastre de las partículas por agua de lluvia (~45 %) y 3) Por combinación de ambas, los aerosoles en suspensión pueden favorecer la condensación del agua, causando ellos mismos las precipitaciones.

<sup>∇</sup> e-mail: mlavorato@citedef.gob.ar

Los efectos sobre la atmósfera va a depender del tamaño de las partículas (en volumen), si modelizamos los aerosoles como si fueran esferas de diferentes diámetros, éstas pueden variar entre un micrón y un milímetro de diámetro. Su composición puede ser de lo más variada: metálicas, tanto en estado atómico como en sales, fundamentalmente de calcio y alúmina, también de hierro y plomo (éstos últimos actualmente atenuados por haber reducido su uso en combustibles y pinturas); otras sales, especialmente sulfatos y nitratos; y compuestos orgánicos, tanto de origen natural (isoprenoides o terpenos y aceites esenciales) o antropogénicos como los hidrocarburos.

Los aerosoles independientemente de su composición, se depositan sobre la tierra, cuando estos se depositan sobre las plantas, provocan una obstrucción de las estomas de los cultivos, disminuyendo su capacidad de fotosíntesis y termina afectando a la producción. En los seres vivos, puede afectar al aparato respiratorio (todo tipo de alergias); incrementar la corrosión y la erosión de los materiales, alterar los procesos naturales de la vegetación en general al afectar la permeabilidad y el intercambio gaseoso con el medio ambiente y por último, puede disminuir notablemente la visibilidad. La presencia de aerosoles, afecta directamente al balance radiativo terrestre y a la salud humana<sup>1</sup>.

Algunas partículas pueden llegar a adsorber en su superficie sustancias tóxicas provocando en algunos casos reacciones físico-químicas originando contaminantes secundarios p.ej. la formación de ácido sulfúrico en la atmósfera superior. Otras partículas pueden contener metales que son considerados tóxicos, como: berilio, mercurio, plomo y níquel, como así también cadmio, estaño, antimonio y bismuto. Todos ellos cancerígenos en mayor o menor grado y que llegan a los humanos y animales a través de los alimentos.

## II. OBJETIVOS

Resulta de suma importancia realizar observaciones y mediciones de la evolución temporal de los aerosoles troposféricos, estratosféricos y en particular los que evolucionan dentro de la Capa Límite Atmosférica. Es importante el desarrollo de nuevos sistemas de detección que permitan realizar esta tarea mejorando considerablemente la detectividad de los aerosoles mediante el uso de nuevos sensores. Como aporte a este desafío, el presente trabajo muestra los resultados preliminares de un nuevo sistema de detección para el Lidar de retrodifusión en uso en la División Radar Laser del DEILAP de CITEDEF con un nuevo Detecto-Amplificador basado en un sensor infrarrojo.

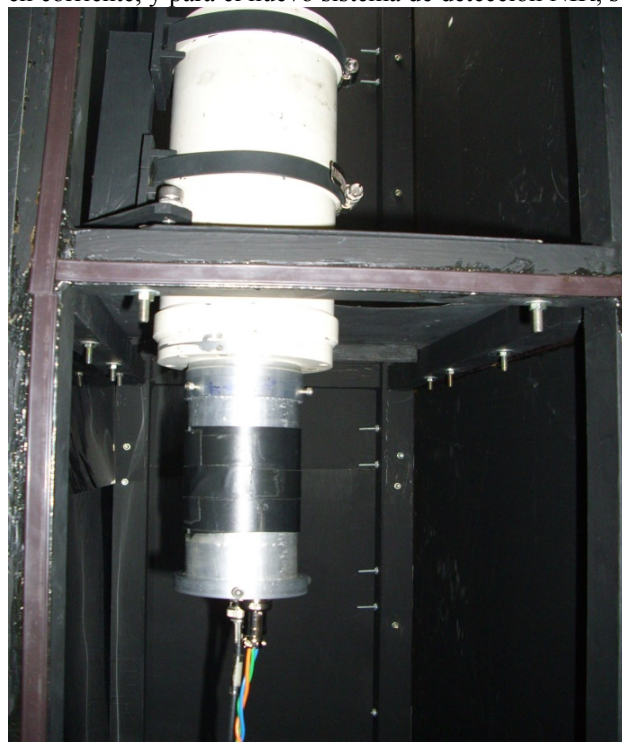
Se propuso una mejora en el LIDAR de retrodifusión para que emita en dos longitudes de onda simultáneamente (532 nm y 1064 nm) y con dos sistemas de detección independiente. Y además, la construcción de un amplificador de gran ganancia acoplado a un sensor NIR (Near Infra Red) desarrollado en CITEDEF que opera con una eficiencia cuántica >90% en 1064 nm<sup>2-3-4</sup>.

## III. INSTRUMENTAL

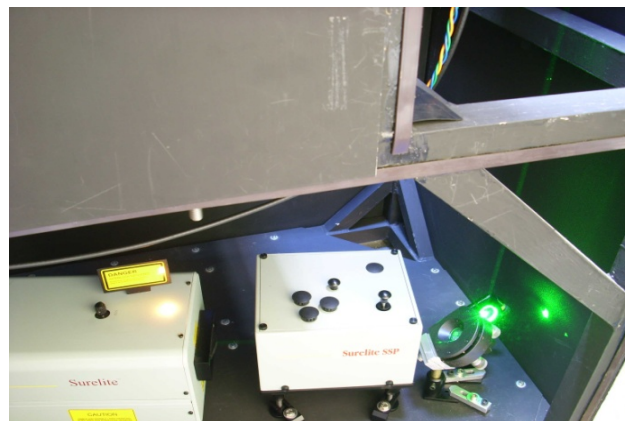
## LIDAR

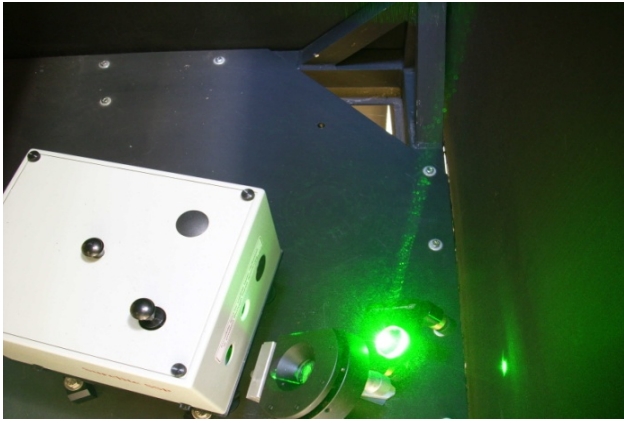
Se presenta el nuevo sistema de detección en 1064 nm que se agregó al LIDAR que se encuentra en operación en la Estación de Monitoreo Atmosférico de la División Radar Láser de CITEDEF. El sistema consta con una emisión Láser con divisor de haces logrando tener disponibles dos longitudes de onda separadas, en 532 nm (polarizada) y en 1064 nm. El sistema consta de un Láser Continuum – Surelite III que emite hasta 500 mJ en 1064 nm y hasta 250 mJ en 532 nm, con una frecuencia de repetición de hasta 20 Hz con un ancho de pulso de 6 ns.

El sistema de detección posee, por ahora 2 telescopios; uno para la detección en 532 nm, que trabaja con un telescopio Newtoniano de 50 cm de diámetro en cuyo foco se encuentra un fotomultiplicador de  $10^6$  de ganancia en corriente, y para el nuevo sistema de detección NIR, se



Fotografía 1 - Sistema de detección NIR + Amplificador acoplados al Telescopio Cassegrain de 8,2 cm de diámetro para 1064 nm.



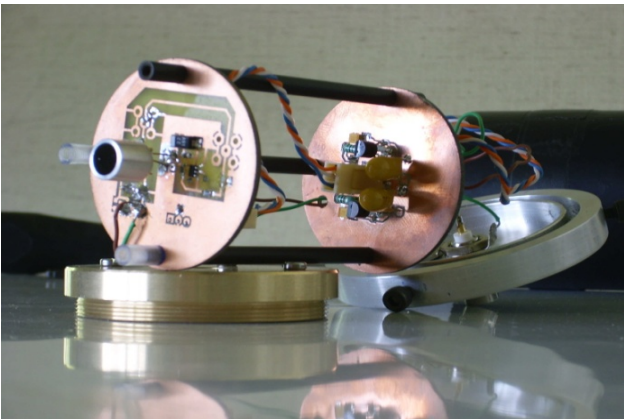


Fotografías 2 y 3 - Vista superior del Emisor Láser en operación con la Unidad Divisora de haces. Se observan los dos espejos de salida con la emisión individual y simultánea de 532 nm y 1064 nm.

realizaron las pruebas con un telescopio Cassegrain de 8,2 cm de diámetro al que se le acopló un detector-amplificador que trabaja en 1064 nm.

El amplificador posee un ancho de banda que va desde la CC a 15 MHz con una ganancia superior a las 600.000 veces en tensión. Las fotos 1, 2 y 3 muestran las nuevas secciones del LIDAR donde se puede observar el telescopio, la caja divisora de haces y los dos posicionadores ópticos con los espejos (específicos para cada longitud de onda) a 45 ° montados para la emisión simultánea en 532 y 1064 nm.

#### Detecto - Amplificador NIR



Fotografía 4 - Vista general del Detecto-Amplificador NIR desarrollado para el sistema de detección LIDAR para 1064 nm.

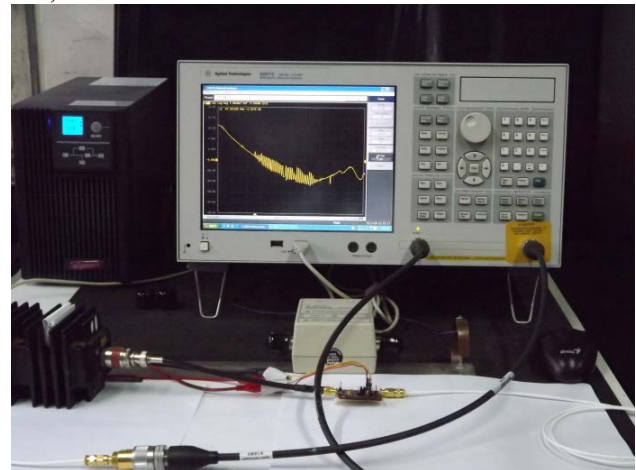
Desarrollo del Amplificador: El dispositivo activo elegido como amplificador de dos etapas, fue el CI OPA657 de la firma Texas Instruments, debido a sus prestaciones: grandes niveles para el producto ganancia por ancho de banda (Gain x BW) y bajos niveles de ruido a la entrada (Fotografía 4). El diseño del PCB (p/placa) se llevó a cabo sobre el sustrato RO4350 de la firma ROGERS, y se realizaron los cálculos correspondientes para obtener los anchos de líneas adecuados para poder trabajar con un sistema adaptado (impedancia característica  $Z_0=50 \Omega$ ), y evitar, de esta manera, las

reflexiones no deseadas entre la entrada y la salida del sistema. Para evaluar la topología circuital y su funcionamiento, el amplificador se diseñó y construyó en material FR2<sup>5-6-7</sup>.

Calibración con el VNA: Se realizó la calibración de los dos puertos del equipo Analizador Vectorial de Redes (VNA) Marca Agilent modelo E5071C, con el dispositivo E-CAL<sup>8</sup>.

Medición del Atenuador: Se midió el atenuador utilizado para la caracterización del amplificador, para luego realizar el de-embedding del atenuador y que solo quede la respuesta del amplificador. Los parámetros S de transferencia obtenidos arrojaron los siguientes resultados: S<sub>21</sub> y S<sub>12</sub> que representan la transferencia directa e inversa, presentaron un valor de -30 dB al igual que la especificación.

Medición del amplificador: Las mediciones de Ancho de Banda se realizaron con VNA, marca Agilent modelo E5071C (Fotografía 5). Debido a la gran ganancia de la cascada amplificadora se debió utilizar un atenuador a la salida del amplificador para así evitar posibles daños en los puertos del VNA. Las mediciones de Rise Time se realizaron con dos láseres; uno Marca Continuum Modelo Surelite III de 600 mJ en IR con 6ns de ancho de pulso y una, FRP de 1 a 20 Hz.



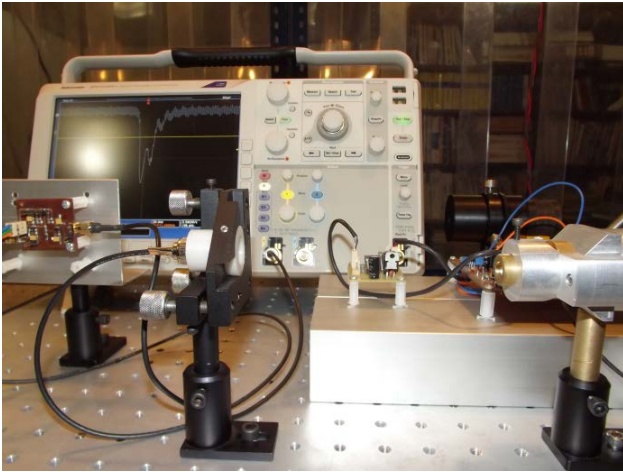
Fotografías 5 - Se aprecia el 'set' de mediciones del conjunto Atenuador - Amplificador - VNA E5071C.

El otro láser Marca Power Technology inc. modelo LCM-LL-12QS de 1,7μJ en IR con 50ns de ancho de pulso y una FRP de 1 KHz (Fotografía 6). La representación del pulso se hizo sobre un Osciloscopio Marca Tektronix Modelo: DPO4102B.

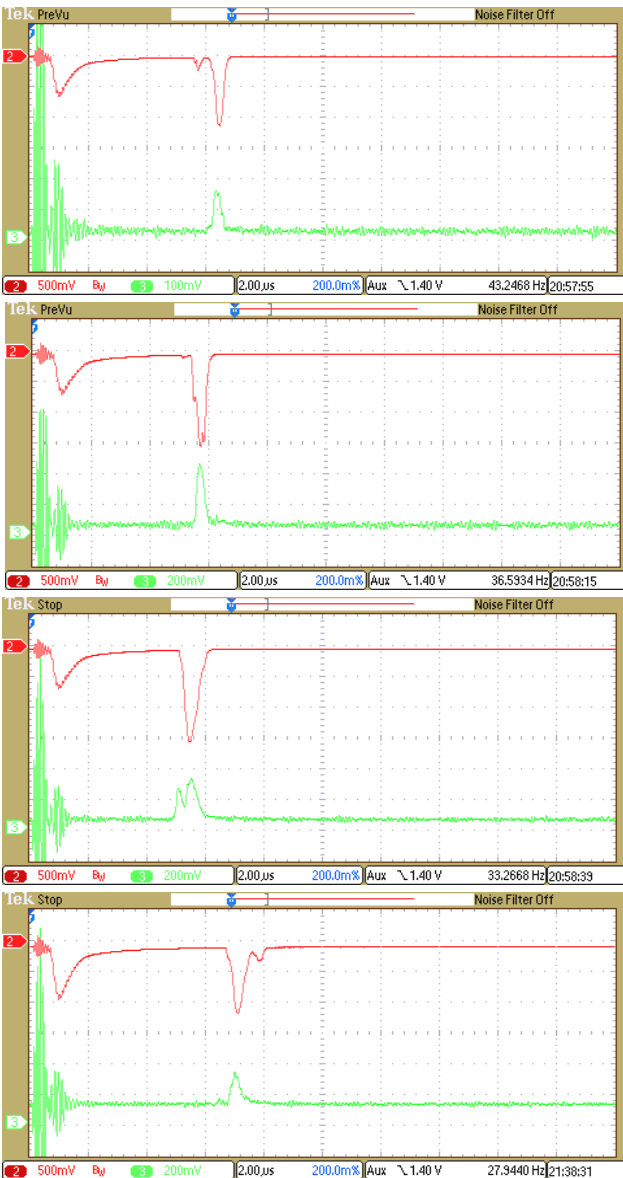
El VNA nos entrega los parámetros S pero para poder analizar la ganancia de trans-impedancia, hay que convertirlos en parámetros Z. Se utilizó la ecuación 1, y se consideró despreciable la transferencia inversa S<sub>12</sub>.

$$Z_{21} = \frac{2 * S_{21} * Z_0}{(1 - S_{11}) * (1 - S_{22}) - S_{12} * S_{21}}$$

Ecuación 1: Ecuación de transformación de parámetros S a Z.



Fotografías 6 - Vista general del 'set' de mediciones del Amplificador con el láser LCM-LL-12QS + DPO4102B.



Figuras 1 a 4 - Secuencia de imágenes donde muestra las señales adquiridas con un osciloscopio digital Tektronix MSO2024 y promediadas cada 128 disparos del Láser.

#### IV. OBSERVACIONES

En las figuras de 1 a 4 se pueden observar las señales originales digitalizadas y adquiridas por el Osciloscopio marca Tektronix MSO2024 de 200 MHz de ancho de banda y 1 GS/s de frecuencia de muestreo. Las señales que se muestran fueron adquiridas simultáneamente, la señal invertida (rojo) corresponde a la detección de 532 nm y la otra señal (verde) corresponde a 1064 nm. Se observa que la señal de 1064 es más ruidosa que la de 532 nm; el detector amplificador es mucho más sensible que el fotomultiplicador a las interferencias radioeléctricas. Esto se hace más notorio al inicio de la detección.

La figura 5a muestra la señal original adquirida promediando 128 disparos de láser. Mientras que la figura 5b muestra las mismas señales adquiridas en 5a, pre-procesadas con filtrado digital, donde se puede observar la señal de 1064 nm con bajo nivel de ruido. Cabe aclarar que cada longitud de onda va a detectar diferentes componentes atmosféricos, por ello las señales no son iguales, se destaca que las dos señales observadas pese a medir el mismo evento de cirrus en forma simultánea, tienen formas y niveles de señal diferentes. Esto es debido a que los 532 nm detecta con mayor intensidad los componentes gaseosos de la nube, mientras que los 1064 nm solo detectan con buena intensidad las partículas en suspensión (aerosoles) y los cristales de hielo presentes en gran medida en el interior de las nubes<sup>9-10</sup>.

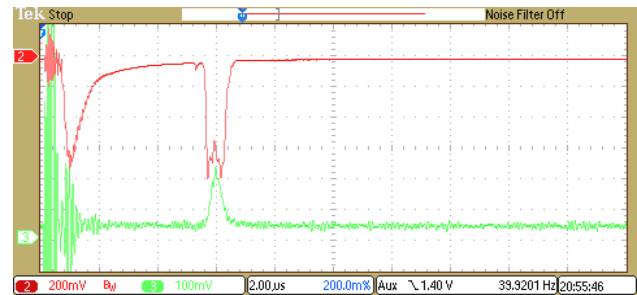


Figura 5a - Señal adquirida, promediada con 128 disparos de Láser.

#### V. CONCLUSIONES

Los resultados presentados en este trabajo permiten concluir que la estación LIDAR de Retrodifusión ya se encuentra en condiciones de operar en forma permanente para continuar con las tareas de detección, análisis y estudio de los parámetros atmosféricos. Se va a comenzar con el estudio de la evolución temporal de los Cirrus y aerosoles troposféricos dado que ya se cuenta con la emisión independiente de los 532 nm polarizados y de 1064 nm. La emisión en ambas longitudes de onda cuentan con sistemas de recepción óptica y sensado individuales. Esto nos permitirá realizar, en condiciones normales de operación estudios de Cirrus, Aerosoles, Capa Límite Atmosférica y la evolución de la Tropopausa, esta vez se podrán utilizar tanto los Cirrus como los Aerosoles como trazadores de la Tropopausa. Por último, ya se encuentra en operación el nuevo sistema de adquisición de datos a partir de la puesta en marcha de la placa PCXI-5105 de 8 canales de entrada y con una resolución de 12 bits x 60 M S/s. Resta la instalación de

un tercer telescopio que va a trabajar con los sensores NIR desarrollados en la División Radar Láser para aumentar el rango dinámico.

Dada la enorme ganancia que el amplificador posee (~ 600.000 veces en tensión), puede seguir flancos del orden de los 25 ns, lo que equivale a un ancho de banda que va desde la corriente continua hasta los 15 MHz, y su ganancia resulta plana en toda la banda. Como la

frecuencia máxima de corte es excesiva para la detección de las señales LIDAR y dado que existe una gran contaminación radioeléctrica en el entorno de CITEDEF, se va a recortar el ancho de banda reduciéndolo a unos 2 o 3 MHz, y se va a aumentar la cantidad de disparos Láser con lo cual aumentaríamos considerablemente la relación señal/ruido de la señal adquirida.

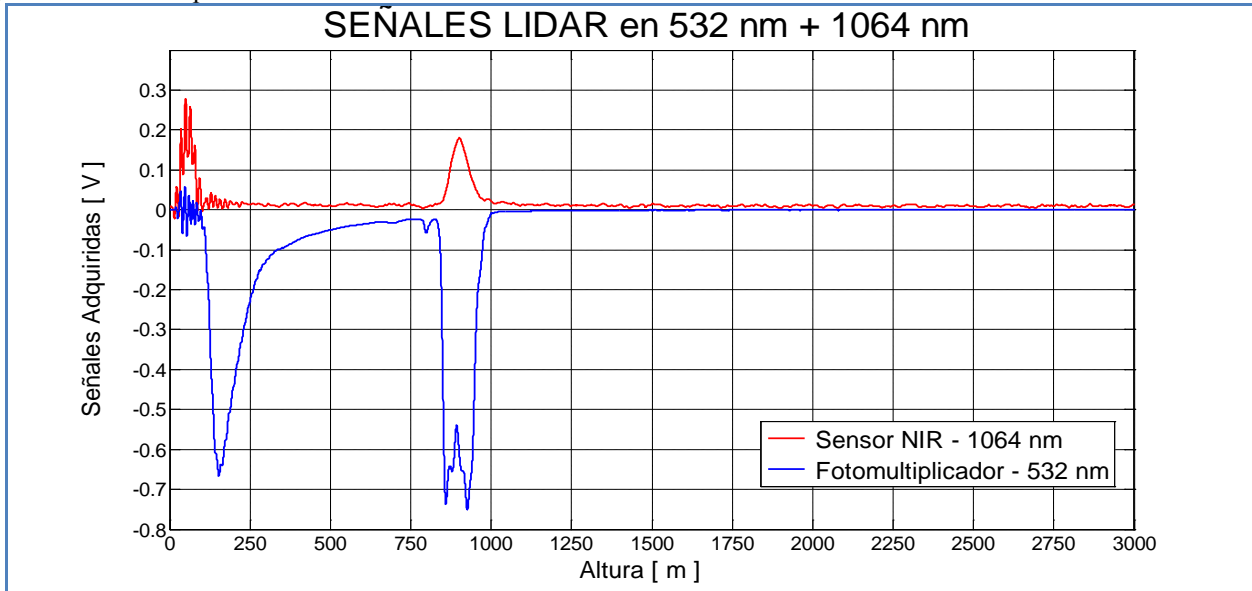


Figura 5b - Señal original de la figura 5a, procesada con filtro digital tipo Butterworth con  $f_c \leq 2,5$  MHz.

Con respecto al amplificador hay que mejorar las adaptaciones de impedancia dado que la impedancia de las 'microstrip' obtenidas con el sustrato FR2 difieren a las del sustrato RO4350, por lo tanto deberíamos poder corregir dichas desadaptaciones en el sistema.

Por último, el amplificador resultó ser muy sensible a la impedancia de la rama de realimentación, por lo tanto, hay que trabajar en la topología del circuito y así mejorar la respuesta en frecuencia. Estas conclusiones nos van a permitir modificar la topología circuital para que estos factores puedan ser compensados en el modelo final del amplificador.

## VI. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a las autoridades de CITEDEF por el soporte financiero y por el apoyo dado para la reconstrucción y mantenimiento de la Estación LIDAR; agradecen también a las autoridades de la UTN-FRH - "UTN Regional Haedo" por el apoyo logístico y soporte para recursos humanos para la realización del presente trabajo (PID-56/11).

## VII. REFERENCIAS

- 1 - Solomon, S., et al.: Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change - Technical Summary, in Climate Change 2007: Edited by S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. Averyt, M. Tignor, and H. L. Miller, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007. 2560.
- 2 - M. Lavorato, P. Cesarano, E. Quel and P. Flamant, "A dual receiver-backscatter lidar operated in Buenos Aires (34.6 S /

58.5 W) to ". Proceeding: 21th ILRC (International Radar Laser Conference), pp75-78, Quebec – Canada, (2002).

- 3 - M. Lavorato, M. Pagura, P. Cesarano y P. Flamant, "Monitoreo de la troposfera mediante un lidar de retrodifusión en Buenos Aires: recopilación anual de las series de datos adquiridos", Anales Asociación Física Argentina, ISSN:: 0327-358 X, vol 16, p.275-278, (2004).
- 4 - Lakis, G; Lavorato, M.; Canziani P., *Monitoring cirrus clouds with LIDAR in the Southern Hemisphere: a local study over Buenos Aires. I. Tropopause heights*. Atmospheric Research (2009), doi:10.1016 / j.atmosres.2008.08.003.
- 5 - Behnam Analui, Ali Hajimiri, Bandwidth Enhancement for Transimpedance Amplifiers, IEEE JOURNAL OF SOLID-STATE CIRCUITS, VOL. 39, NO. 8, 1263-1270, AUGUST 2004.
- 6 - P. Palojarvi, T. Ruotsalainen and J. Kostamovaara, ElectronGain Control with Constant Propagation Delay for Integrated Transimpedance Preamplifiers, 0-7803-3694-1/97/\$10.00© 1997 IEEE.
- 7 - T. Ruotsalainen, P. Palojarvi, and J. Kostamovaara, A Wide Dynamic Range Receiver Channel for a Pulsed Time-of-Flight Laser Radar, IEEE JOURNAL OF SOLID-STATE CIRCUITS, VOL. 36, NO. 8, 1228-1237, AUGUST 2001
- 8 - Agilent Application Note 1364-1: Agilent - De-embedding and Embedding S-Parameter Networks Using a Vector Network Analyzer (VNA).
- 9 - A. ROGALSKI and Z. BIELECKI, Detection of optical radiation, Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences, Vol. 52, No. 1, 43-65, 2004.
- 10 - A. L. Muñoz Zurita, J. Campos Acosta, A. Pons Aglio, A. Shcherbakov, Medida de la Reflectancia de Fotodiodos de InGaAs/InP, Opt. Pura Apl. 40 (1), 105-109, 2007.