

DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE EXTINCION EN CIRRUS DIURNOS Y NOCTURNOS POR MEDIO DE UN LIDAR DE RETRODIFUSION.

Mario Lavorato, Javier Fochesatto, 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.

e-mail mlavorato@citefa.gov.ar

Por medio del Lidar de Retrodifusión se efectuaron observaciones de nubes troposféricas tipo cirrus durante el día y la noche y en distintas épocas del año. En este trabajo se presenta la determinación del coeficiente de retrodifusión-atenuación en 532 nm. Se estudia la dependencia de las observaciones de las distintas condiciones de medición, así como también los algoritmos mas adaptados a la determinación de este problema inverso.

Nighttime and daytime cirrus clouds were observed by means of a Backscatter Lidar at different times of the year. The determination of backscatter to extinction coefficient at 532 nm is presented in this work. Observational different conditions were taken into account and the most adapted algorithms for coefficient determination are discussed.

I. INTRODUCCION.

Las nubes troposféricas tipo cirrus ubicadas entre los 7 y 13 Km de altura cubren la superficie terrestre con permanencia regular. Dos de sus características fundamentales son la de intercambiar radiación con la estratósfera modulando procesos fotoquímicos y afectar en la tropósfera el balance de radiación global tierra-atmósfera.

De acuerdo a la figura 1 aproximadamente el 20% del nivel de radiación promedio, en el espectro visible, que llega a la atmósfera es devuelta a la estratósfera; proceso caracterizado por el coeficiente volumétrico de retrodifusión (backscattering) $\beta(R)$.

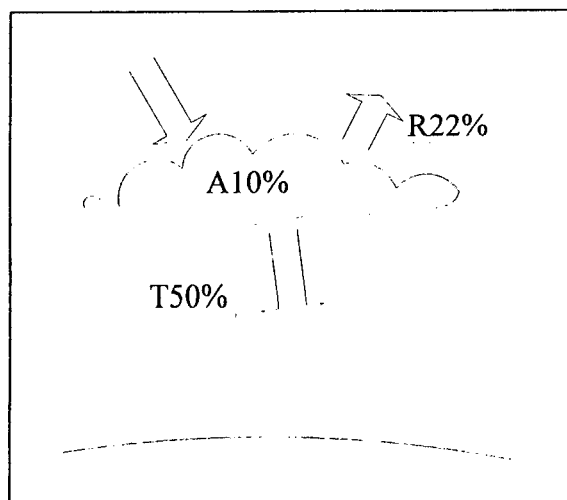


Figura 1. Esquema de Balance de radiación visible.
A: absorción; R: reflexión; T: transmisión.

Asimismo es posible estimar el nivel de radiación promedio, que al no ser absorbida por el estrato de cirrus, ingresa a la tropósfera intercambiando energía en procesos tales como el balance de radiación global tierra-atmósfera, gradientes térmicos en la Capa Límite Atmosférica, térmicas, etc. Esto se logra evaluando el coeficiente de atenuación volumétrico α de radiación. En este trabajo se estudia el coeficiente de relación de retrodifusión-atenuación (k) que caracteriza al proceso radiativo, sus variaciones durante las observaciones diurnas y nocturnas de estratos de cirrus en 532nm en Buenos Aires (34.6S/58.5W).

II. CONSIDERACIONES TEORICAS.

El proceso de intercambio de radiación puede ser modelizado considerando solo los procesos de atenuación y retrodifusión en la nube asumiendo que la interacción de la radiación láser y el medio se efectúan bajo las condiciones de difusión simple, cirrus con bajo nivel de cristalización y relación de señal a ruido mayor que 1 después del cirrus. En estas condiciones la señal lidar se puede modelizar según estos dos procesos cuya relación (k) es lo que pretendemos determinar. La ecuación de relación entre la emisión láser y los procesos de atenuación y retrodifusión será

$$P_r(R) = E_L \cdot Q \cdot g(R) \cdot \frac{c \cdot A}{2} \cdot \frac{\beta(R)}{R^2} \cdot e^{-2 \int_0^R \alpha(r) \cdot dr}$$

donde λ es la longitud de onda de emisión del láser, E_L energía de emisión láser, Q constante de detección, $g(R)$ factor de superposición del lidar, A es el área efectiva de colección del telescopio, c es la velocidad de la luz, R es la altura de la capa atmosférica difusora. $\beta(R)$ es el perfil de retrodifusión atmosférico y $\alpha(R)$ es la atenuación de la capa atmosférica considerada. Bajo

las hipótesis antes mencionadas es posible relacionar los coeficientes de atenuación y retrodifusión volumétricos y según la siguiente condición⁽¹⁾

$$\beta(R, \lambda) = k(R, \lambda) \cdot \alpha(R, \lambda)$$

Este coeficiente de retrodifusión/atenuación depende de la longitud de onda de irradiación y en el caso de un cirrus tiene un comportamiento que varía de acuerdo a las condiciones de observación.

III. PROCESAMIENTO DE LAS SEÑALES LIDAR PARA DETERMINAR EL PERFIL DE RETRODIFUSIÓN.

Es posible invertir la ecuación lidar con el fin de encontrar la relación entre retrodifusión y atenuación en el cirrus. Formamos la ecuación integral que resulta del problema inverso al despejar el coeficiente de retrodifusión $\beta(R)$ de la ecuación lidar^(2,3)

$$\beta(R) = X(R) \cdot \left[A - \frac{2}{k} \int_{R_b}^R X(r) \cdot dr \right]^{-1}$$

donde k es coeficiente de relación entre retrodifusión y atenuación, $X(R) = P(R) \cdot R^2$ y A es la constante de calibración del sistema.

En las condiciones instrumentales en las que fueron hechas las observaciones, según se muestra en las figuras 2 y 3, se incrementó la relación de señal a ruido por medio del tratamiento digital de la señal con el fin de estabilizar la inversión y definir los bordes del cirrus⁽⁴⁾. Se invirtió la ecuación integral utilizando un algoritmo recursivo al 1% por paso de integración, con una relación de señal a ruido mayor que uno, logrando el perfil de retrodifusión buscado.

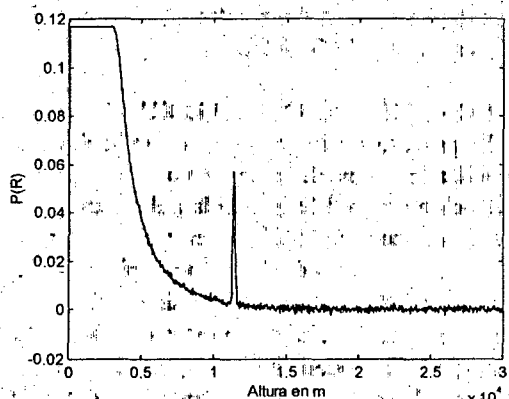


Figura 2. Señal lidar de monitoreo de cirrus del día 16/05/1997.

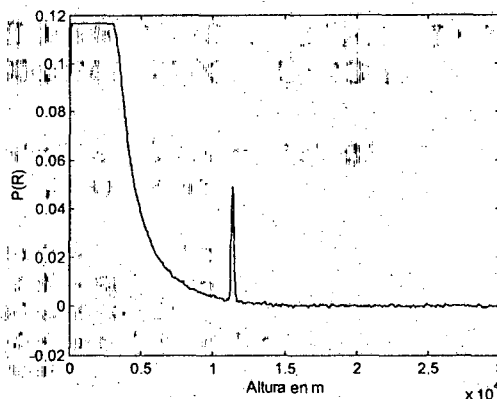


Figura 3. Señal lidar tratada digitalmente.

La determinación del coeficiente $k(532\text{nm})$ se logra calculando la atenuación promedio en el cirrus en forma directa a partir de la señal lidar corregida en rango y logaritmada como relación entre el espesor óptico y el geométrico del cirrus^(5,6) según el ejemplo expuesto en la figura 4.

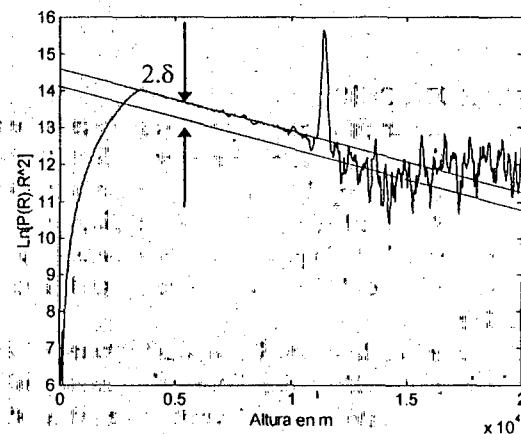


Figura 4. Cálculo de la atenuación total en el cirrus con espesor óptico $\delta = 0.1$ y geométrico de 2.5Km con $\alpha = 5 \cdot 10^{-5} \text{m}^{-1}$.

IV. VARIACIÓN DE LA RELACION ENTRE RETRODIFUSION Y ATENUACION.

Tomando la serie temporal de cirrus diurnos observados el día 16/05/1997 se integró por medio del método descrito anteriormente y en la figura 5 se expone la variación de la relación retrodifusión/atenuación en el cirrus.

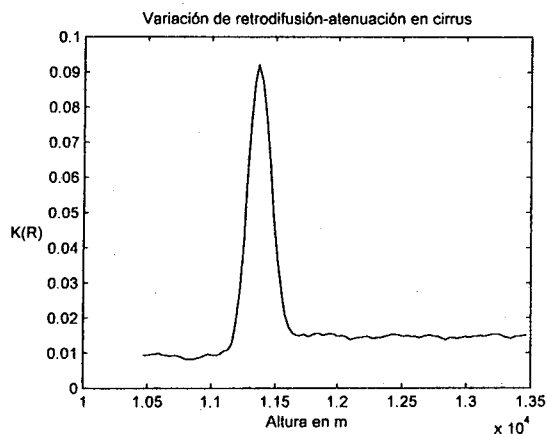


Figura 5. Variación del coeficiente k de para la observación diurna.

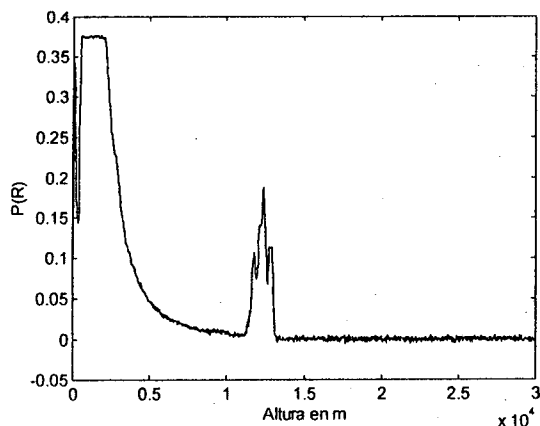


Figura 6. Cirrus nocturno 14/07/1997, 15000 promediaciones.

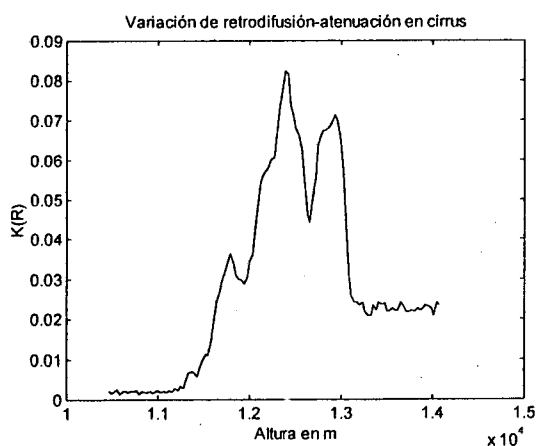


Figura 7. Variación del coeficiente k para la observación nocturna.

Con el mismo criterio se procesó la serie temporal de la figura 6 correspondiente a la observación de cirrus nocturno y en la figura 7 se expone la variación de la relación retrodifusión/atenuación en la longitud de onda de observación. Comparando las figuras 5 y 7 se puede observar una variación del 50% de esta relación así como el cambio en el tipo de estructura del cirrus.

V. CONCLUSIONES.

Se han presentado observaciones diurnas y nocturnas de cirrus por medio del Lidar de retrodifusión de CITEFA.

La aplicación de la ecuación de inversión efectuada es posible sólo en las condiciones mencionadas, lo cual si bien es un caso posible y frecuente, no es el único. De esta forma es posible monitorear en corto y largo plazo las variabilidad del intercambio de radiación visible entre la capa de cirrus y la estratósfera así como también entre el cirrus y la tropósfera.

Existen otros casos no considerados en este trabajo, de cirrus multicapas con términos de intercambio de radiación mutuos así como procesos de cristalización en la nube que varían completamente las hipótesis de tratamiento. Para la observación de este tipo de formación nubosa es necesario detectar la señal de depolarización de radiación producto de la interacción entre la radiación láser polarizada y la muestra cristalizada en la nube.

VI. REFERENCIAS.

1. S. Elouragini, Thèse de doctorat de l'Université Paris VI. "Etude des propriétés optiques et géométriques des cirrus par télédétection optique active (lidar) et passive (radiomètre)". (1991).
2. S. Elouragini and Pierre Flamant. Appl. Opt. 35, 1512. (1996).
3. J.D. Klett, "Lidar inversion with variable backscatter /extinction ratios". Appl. Opt. 24, 1638. (1985).
4. G.J.Fochesatto et al, "Métodos de estudio de Capa Límite Atmosférica (CLA) mediante un Lidar de retrodifusión". Enviado para su publicación en Anales AFA 1996.
5. M.B.Lavorato, G.J.Fochesatto, E.J. Quel, P.H.Flamant, J.Pelon. "Advances in Atmospheric Remote Sensing with Lidar". Springer, Berlin. pp. 91-94 (1996).
6. M.B.Lavorato, G.J.Fochesatto, E.J. Quel, P.H.Flamant. Proceedings IGARSS' 96. International Geoscience and Remote Sensing, Nebraska. U.S.A. Vol. 1, 2. (1996).