DOCUMENTACIÓN TÉCNICA SOBRE TESTS INSTRUMENTALES EN LALINET



1. TEST 1: ZERO BIN Y BIN-SHIFT

1.1 Introducción a la medida de zero bin y bin-shift

El disparador de un laser se usa para producir pulsos con una cierta frecuencia de repetición y, en muchos casos, también se usa para activar la adquisición de datos mediante un registrador LICEL. Sin embargo, puede existir cierto retraso entre la emisión del haz láser y el comienzo de la adquisición de datos. Este retraso temporal (trigger delay) se traduce finalmente en un desplazamiento vertical de la señal lidar medida, lo que implica una distorsión del perfil detectado por el sistema lidar. Para analizar el trigger delay se deben realizar dos medidas: la medida del zero bin en los canales analógicos (AN) y la medida del bin-shift en los canales photon counting (PC).

1.2 Ejemplo de medida de zero bin

Este test consiste en detectar un pico en el perfil de señal lidar retrodispersada por un objeto cercano (por ejemplo una cartulina colocada a unos pocos metros sobre el haz láser). Debido a que esta señal se retrodispersa por un objeto muy cercano (menos de la resolución vertical nominal del sistema lidar considerado), el pico debería detectarse en la posición cero (zero bin). Si el pico se detecta en una posición diferente, el trigger delay se puede determinar mediante un cálculo simple.

En la Figura 1.1 se muestra un ejemplo de medida durante el test del zero bin realizado durante 1 min, donde se aprecia que el pico intenso de señal retrodispersada generada por un objeto cercano al sistema lidar no se encuentra en la posición cero. Este test se aplica para obtener el trigger delay tanto en señales AN como en señales PC. Sin embargo, generalmente no se detectan picos en los canales PC como consecuencia de la saturación sufrida por los canales en modo PC en el rango cercano. En la Tabla 1.1 se recoge el trigger delay para los canales analógicos del sistema lidar mostrado en el ejemplo. Para determinar el trigger delay de los canales PC se realiza la medida de bin-shift.



Figura 1.1. Señal bruta sustraída de fondo cada uno de los canales en modo AN (adaptado de Guerrero-Rascado [2009]).

Canal (nm)	Trigger delay AN (bins)
532 p	7
532 s	6
355	6
1064	6

Tabla 1.1. Trigger delay determinado para los canales de un sistema lidar en modo AN (adaptado de Navas-Guzmán [2012] y Bravo-Aranda [2014]).

1.3 Ejemplo de medida de bin-shift

Una vez que todos los canales AN se corrigen de trigger delay, y por tanto ya son perfiles reescalados en distancia a la posición cero, se puede observar en algunos casos que existe un desplazamiento entre los perfiles medidos en modo AN y PC (Figura 1.2). Conociendo el desplazamiento entre ambos perfiles se determina el bin-shift entre ellos, y gracias a que conocemos el trigger delay de los canales AN se puede determinar el trigger delay de los canales PC.



Figura 1.2. Señal corregida de rango en el canal 532p en modo AN (tras corrección de trigger delay) y PC (sin corrección de trigger delay) donde se aprecia el desplazamiento entre ambos perfiles (adaptado de Bravo-Aranda [2014]).

Este test compara la forma de las señales AN y PC, de forma que ambas señales deben detectar las diferentes estructuras de la atmósfera en la misma altura (es decir, una capa de aerosol o nube debe ser detectada en la misma altura por los modos AN y PC). En otras palabras, las señales AN y PC deben estar correlacionadas. En este test se determina el bin-shift mediante el mejor ajuste lineal entre las señales AN y PC tomando como referencia la señal AN tras ser corregida de trigger delay, y desplazando la señal PC en torno a ésta (por ejemplo, entre -20 y +20 bins). Aquel desplazamiento con mejor coeficiente de correlación nos indica el bin-shift.

En el caso de la Figura 1.2, un desplazamiento de +2 bins en la señal PC respecto de la señal AN es el que produce la mejor correlación (Figura 4.3). Teniendo en cuenta que el trigger delay para este canal AN se había determinado que era 7 bins (sección 1.2), el trigger delay para el canal PC es 9 bins (zero-bin + bin-shift). Tras corregir de trigger delay ambas señales, se aprecia que la señal AN y PC determinan adecuadamente la posición de las diferentes estructuras atmosféricas (Figura 1.3).



Figura 1.2. Coefficiente de correlación del ajuste lineal entre la señal AN (corregida de trigger delay) y diferentes señales PC desplazadas entre -20 y +20 bins. La mejor correlación ocurre para un desplazamiento de +2 bins (adaptado de Bravo-Aranda [2014]).



Figura 1.3. Señal corregida de rango en el canal 532p en modo AN y PC tras corrección de trigger delay ambas señales (adaptado de Bravo-Aranda [2014]).

1.4 Formato de datos para entregar de la medida de zero bin

Nombre del fichero:

Zero_Bin_XXXX_MM_lidarName.txt

donde:

XXXX es la longitud de onda (1064, 0607, 0532, 0408, 0387, 0355)

MM es el modo de detección (AN: analógico, PC: photon counting)

Cabecera:

fila 1: estación lidar

fila 2: nombre del sistema lidar

fila 3: longitud de onda y modo de detección (es decir, XXXX_MM)

fila 4: fecha de la medida (yyyy/mm/dd) fila 5: duración de la medida (zz min) fila 6: nombre de las columnas (Altitude, Signal)

Datos:

Las columnas se separan por tabulador y se usa el punto como signo decimal. columna 1: altura en km sobre el nivel del instrumento columna 2: señal en bruto medida en unidades arbitrarias

Se deben entregar las señales en bruto de todos los canales medidos (es decir, en todas las longitudes de onda y en los modos de detección) en un fichero ASCII por cada longitud de onda y modo de detección. La duración de la medida debe ser aproximadamente 1 min situando un objeto a una distancia menor que la resolución vertical nominal del sistema lidar considerado.

1.4 Formato de datos para entregar de la medida de bin-shift

Nombre del fichero:

Bin_Shift_XXXX_lidarName.txt

donde:

XXXX es la longitud de onda (1064, 0607, 0532, 0408, 0387, 0355)

Cabecera:

fila 1: estación lidar

fila 2: nombre del sistema lidar

fila 3: longitud de onda y modos de detección (XXXX_AN_PC)

fila 4: fecha de la medida (yyyy/mm/dd)

fila 5: duración de la medida (zz min)

fila 6: nombre de las columnas (Altitude, Signal_AN, Signal_PC)

Datos:

Las columnas se separan por tabulador y se usa el punto como signo decimal. columna 1: altura en km sobre el nivel del instrumento columna 2: señal en bruto medida en modo AN en unidades arbitrarias columna 3: señal en bruto medida en modo PC en unidades arbitrarias

Se deben entregar las señales en bruto de todos los canales medidos (es decir, en todas las longitudes de onda) en un fichero ASCII por cada longitud de onda. La duración de la medida debe ser entre 15 y 30 min en condiciones atmosféricas con capas de aerosol o nubes detectables con ambos modos detección (AN y PC).

2. TEST 2: MEDIDA DE CORRIENTE OSCURA

2.1 Introducción a la medida de corriente oscura

La medida de corriente oscura consiste en una medida realizada con el telescopio totalmente cubierto o con los detectores cubiertos, que se realiza con suficiente tiempo de promediado (se puede cubrir el telescopio con una lámina oscura que impida que la radiación alcance al sistema óptico). Esta señal muestra picos parásitos y distorsiones de la señal que no provienen de la interacción de la radiación con la atmósfera sino que provienen de propio sistema lidar, como por ejemplo picos parásitos debido a los pulsos de la lámpara flash o al sistema de disparo. Para llevar a cabo el test de corriente oscura es necesario que todos los parámetros del sistema, como por ejemplo los voltajes aplicados a los detectores, se configuren de la misma forma que para una medida normal. Además hay que prestar especial atención a que ninguna porción de radiación láser alcance a los detectores.

2.2 Ejemplo de medida de corriente oscura

En la Figura 2.1 se muestra el perfil de corriente oscura para el canal de 355p nm promediado durante un periodo de 10 minutos. Como se aprecia en la Figura 2.1 la señal de corriente oscura presenta valores muy pequeños, oscilando en torno al valor cero, en gran parte del rango de alturas sondeado. Sin embargo, como puede observarse, en este ejemplo aparecen picos parásitos en torno a 7.5 km y por debajo de 0.4 km (en la región afectada de solapamiento incompleto). Debido a estas distorsiones, es necesario sustraer la medida de corriente oscura a la señal medida antes de procesar las señales mediante cualquier algoritmo lidar. A tal fin es aconsejable realizar una medida de corriente oscura antes o después de cada sesión de medida lidar.



Figura 2.1. Medida de corriente oscura en el canal 355p nm.

2.3 Formato de datos para entregar de la medida de corriente oscura

Nombre del fichero:

Dark_Current_XXXX_MM_lidarName.txt

donde:

XXXX es la longitud de onda (1064, 0607, 0532, 0408, 0387, 0355)

MM es el modo de detección (AN: analógico, PC: photon counting)

Cabecera:

fila 1: estación lidar

fila 2: nombre del sistema lidar

fila 3: longitud de onda y modo de detección (es decir, XXXX_MM)

fila 4: fecha de la medida (yyyy/mm/dd)

fila 5: duración de la medida (zz min)

fila 6: nombre de las columnas (Altitude, DC)

Datos:

Las columnas se separan por tabulador y se usa el punto como signo decimal.

columna 1: altura en km sobre el nivel del instrumento

columna 2: señal en bruto medida en unidades arbitrarias

Se deben entregar las señales en bruto de todos los canales medidos (es decir, en todas las longitudes de onda y en los modos de detección) en un fichero ASCII por cada longitud de onda y modo de detección. La duración de la medida debe ser aproximadamente 10 min tapando completamente el telescopio o los detectores.

3. TEST 3: TELECOVER

3.1 Introducción al test telecover

En un sistema lidar ideal las señales retrodispersadas desde todas las alturas dentro del rango de medida tienen la misma transmisión en el sistema óptico. El principal problema en un sistema real es que la unidad de transmisión-recepción presenta una transmisión dependiente de la altura. Este factor en la ecuación lidar se denomina función de solapamiento O(z) y tradicionalmente se define en término del solapamiento incompleto entre el campo de visión del telescopio receptor y el haz láser emitido (Figura 3.1). Ésta es una primera aproximación y en condiciones reales es posible que otras características opto-mecánicas tengan influencia en la función de solapamiento. Entre ellas deben tenerse en cuenta la dependencia con el ángulo de incidencia de la transmisión de los recubrimientos ópticos en los divisores de haz y filtros interferenciales, el viñeteo del haz de luz por las aperturas mecánicas y la inhomogeneidad espacial de los detectores.



Figura 3.1. Configuración esquemática de los sistemas emisor y receptor de un sistema lidar (adaptado de Guerrero-Rascado et al. [2011]).

El test telecover se utiliza para comparar varias señales recogidas usando diferentes partes del telescopio. El procedimiento consiste en cubrir el telescopio de forma que solamente se use un cuadrante del telescopio en cada medida (Figura 3.2). En el caso del sistema lidar mostrado en la Figura 3.2, es necesario realizar dos tests telecover debido al diseño estructural del sistema con dos salidas diferentes para el haz de 355 nm y de 532/1064 nm. Para cada haz láser los cuadrantes se definen en referencia a la posición del haz láser de 355 nm o 532/1064 nm. Así, el haz láser considerado en el test debe quedar alineado con la bisectriz del cuadrante

Norte, siguiendo un sentido horario los siguientes cuadrantes (Este, Sur y Oeste). En un sistema ideal, las señales retrodispersadas normalizadas desde los diferentes cuadrantes deben ser iguales (excluyendo el rango con solapamiento incompleto). Las diferencias entre las señales podrían ser debidas a inclinación del haz, desalineamiento del telescopio, viñeteo o las otras causas mencionadas previamente.

El test telecover se realiza a través de la siguiente secuencia: Norte-Este-Sur-Oeste-Norte2 (Figura 3.2). Algunas recomendaciones a seguir son: i/ se toman las medidas en cada cuadrante durante un breve periodo de tiempo (típicamente 2 minutos); ii/ la primera medida (cuadrante Norte) se repite al realizar las mediadas en los restantes cuadrantes (Norte2), para así evaluar la estabilidad atmosférica durante el test; iii/ es preferible realizar el test en condiciones nocturnas donde se supone que la variabilidad atmosférica es menor, aunque se puede realizar durante el día si se puede asegurar una variabilidad mínima; y iv/ es aconsejable realizar el test en condiciones de baja carga de aerosol ya que la variabilidad de la atmósfera puede incrementarse en presencia de capas de aerosol inhomogéneas. El seguimiento de las indicaciones mencionadas anteriormente permite detectar diferencias en las señales medidas en cada cuadrante que dependen exclusivamente de parámetros instrumentales, excluyendo cualquier variabilidad atmosférica.



Figura 3.2. Cuadrantes para el test telecover. Para cada haz láser los cuadrantes se definen en referencia a la posición del haz láser de 355 nm o 532/1064 nm. Así, el haz láser considerado en el test debe quedar alineado con la bisectriz del cuadrante Norte (adaptado de Guerrero-Rascado [2009] y Guerrero-Rascado et al. [2011]).

3.2 Ejemplo de test telecover

Se muestra un ejemplo de análisis de test telecover realizado en tres días distintos bajo diferentes condiciones atmosféricas. En la Figura 3.3 se muestra la señal corregida de rango

normalizada en 355 nm (configuración derecha en la Figura 3.2). La medida en el cuadrante Norte se ha llevado a cabo tanto al comienzo como al fin del experimento para valorar la variabilidad atmosférica durante el proceso. El análisis en el rango cercano (indicado por el círculo en las gráficas de la Figura 3.3) hasta alcanzar la altura del máximo (en el rango cercano) en cada cuadrante permite comprobar el alineamiento del sistema lidar.

En un sistema ideal, la altura del máximo (en el rango cercano) en los diferentes cuadrantes debe ser: Norte=Norte2 < Este = Oeste < Sur, como queda esquematizado en la Figura 3.4. De la comparación de las señales de los cuadrantes Norte y Norte2 se puede afirmar que las condiciones atmosféricas fueron suficientemente estables durante los tests B y C. En cambio, para el test A las diferencias entre las curvas Norte y Norte2 indican una ligera variabilidad atmosférica, por lo que el test telecover puede no ser completamente fiable. En la Tabla 3.1 se recogen las alturas del máximo (en el rango cercano) correspondiente a las gráficas de la Figura 3.3 para cada cuadrante en los tres test telecover del ejemplo. En el test B las diferencias obtenidas entre los cuadrantes Norte y Norte2, y entre los cuadrante Este y Oeste son menores o iguales que la resolución vertical del instrumento (7.5 m), así que se puede afirmar que el alineamiento realizado durante esta medida era bueno. En el test C las diferencias entre los cuadrantes Este y Oeste muestra una ligera inclinación del haz láser hacia el sector Oeste, ya que la altura de solapamiento del cuadrante es menor (15 m) que la del Este.

Cuadrante	Altura del valor máximo a 355 nm (m)		
	Caso A	Caso B	Caso C
Norte	221.25	318.75	228.75
Este	453.75	416.25	341.25
Sur	363.75	461.25	386.25
Oeste	273.75	423.75	326.25
Norte 2	221.25	326.25	228.75

Tabla 1.1. Alturas donde se alcanza en valor máximo de la señal lidar (a 355 nm) en el rango cercano para cada cuadrante durante el test telecover en tres días diferentes (adaptado de Guerrero-Rascado [2009]).



Figura 3.3. Señales corregidas de rango normalizadas a 355 nm según los diferentes cuadrantes del test telecover para los diferentes días del experimento. Se incluye el rango de normalización en cada gráfica (adaptado de Guerrero-Rascado [2009]).



Figura 3.4. Variación con la altura de la función de solapamiento. Para cada cuadrante, el solapamiento completo se alcanza a diferente altura. Cerca de superficie no se produce ningún solapamiento entre el campo de visión del telescopio y el haz láser, O(z) = 0. A medida que aumenta la distancia respecto al instrumento, comienza a producirse un solapamiento incompleto, 0 < O(z) < 1, que es diferente para cada cuadrante. A distancias suficientemente grandes respecto del instrumento, se alcanza el solapamiento completo O(z) = 1 (adaptado de Guerrero-Rascado [2009] y Guerrero-Rascado et al. [2011]).

3.3 Formato de datos para entregar del test telecover

Nombre del fichero:

telecover_XXXX_MM_lidarName.txt

donde:

XXXX es la longitud de onda (1064, 0607, 0532, 0408, 0387, 0355)

MM es el modo de detección (AN: analógico, PC: photon counting, GL: glued)

Cabecera:

fila 1: estación lidar

fila 2: nombre del sistema lidar

fila 3: longitud de onda y modo de detección (es decir, XXXX_MM)

fila 4: fecha de la medida (yyyy/mm/dd)

fila 5: nombre de las columnas (Altitude, N, E, S, W, N2)

Datos:

Las columnas se separan por tabulador y se usa el punto como signo decimal. columna 1: altura en km sobre el nivel del instrumento columnas 2-5: señal corregida de rango¹ (SIN NORMALIZAR) de medida en cada sector.

Se deben entregar las señales corregidas de rango de todos los canales medidos (es decir, en todas las longitudes de onda y modos de detección) en un fichero ASCII por cada longitud de onda y modo de detección.

¹ señal corregida de rango se refiere a la señal lidar multiplicada por la distancia al cuadrado una vez que se ha corregido de zero-bin, dark current y background.

4. TEST 4: AJUSTE RAYLEIGH

4.1 Introducción al ajuste Rayleigh

El ajuste Rayleigh o molecular es una herramienta que permite analizar la calidad de la señal en el rango lejano. Este test es muy importante porque indica el rango máximo para poder calcular las propiedades ópticas del aerosol atmosférico y muestra el rango disponible para realizar la calibración (altura de referencia) mediante los métodos Klett-Fernald y Raman. Para ello se compara la señal corregida de rango medida por el sistema lidar con la señal molecular corregida de rango.

La señal molecular corregida de rango tiene en cuenta el coeficiente de retrodispesión molecular, la corrección con la distancia al cuadrado y la atenuación debido a la transmisividad atmosférica. Así la señal molecular corregida de rango se define como:

$$R.C.S._{mol}(z) = \beta_{mol}(z) \cdot \exp\left\{-2\int_{0}^{z} \alpha_{mol}(\xi)d\xi\right\} \equiv \beta_{mol}^{att}(z)$$
(4.1)

donde los coeficiente de retrodispersión y extinción molecular, β_{mol} y α_{mol} respectivamente, se pueden calcular a partir de la teoría Rayleigh empleando perfiles de presión y temperatura obtenidos mediante radiosondeo cercano o una atmósfera estándar escalada con los valores reales de presión y temperatura en superficie (ver sección 4.2). Así, la señal molecular corregida de rango (*R.C.S.*_{mol}) no es más que el coeficiente de retrodispersión molecular multiplicada por la transmitancia atmosférica molecular en el camino de ida y de vuelta, lo que se conoce como coeficiente de retrodispersión molecular atenuado β_{mol}^{att} . De forma análoga, la señal corregida de rango medida experimentalmente (*R.C.S.*) es proporcional al coeficiente de retrodispersión atenuado (β^{att}):

$$R.C.S.(z) = K \cdot \beta(z) \cdot \exp\left\{-2\int_0^z \alpha(\xi)d\xi\right\} \propto \beta^{att}(z)$$
(4.2)

donde K es la constante del sistema lidar. Para comparar la señal molecular corregida de rango molecular con la señal corregida de rango medida se normalizan las señales. La constante de normalización se calcula en una región que suponemos libre de aerosol, típicamente en la troposfera libre.

4.2 Cálculo de la componente molecular

La componente molecular se puede obtener a partir de datos reales de radiosondeos (no siempre disponibles en la estación de medida) o a partir de una atmósfera estándar escalada a las condiciones de temperatura y presión registradas en la estación de superficie. Una atmósfera estándar es una representación simplificada de la Atmósfera de la Tierra. Una de las más usadas es la atmósfera estándar de 1976 [U. S. Standard Atmosphere, 1976] por su simplicidad de cálculo, como se podrá apreciar en las siguientes líneas.

En esta formulación la atmósfera se modela en diferentes capas, en cada una de las cuales existe un gradiente de temperatura fijo (dependencia lineal de la temperatura con la altura) y la presión se calcula usando la ecuación hidrostática. Así, la atmósfera estándar se parametriza mediante las siguientes expresiones:

$$P = P_0 \cdot \exp\left[-\frac{G \cdot (z_g - z_0)}{T_0}\right] \qquad \text{si} \qquad \frac{dT}{dz} = 0 \qquad (4.3)$$

$$P = P_0 \cdot \left[\frac{T_0}{T}\right]^{\frac{G}{dT/dz}} \qquad \text{si} \qquad \frac{dT}{dz} \neq 0 \qquad (4.4)$$

siendo T_0 , P_0 y z_0 la temperatura, presión y altura de la base de la capa, z_g la altura geopotencial definida como $z_g = z \cdot R_E / (z + R_E)$ con R_E el radio de la Tierra (6372795 m), y G la constante hidrostática definida como $G = g \cdot M / R$ con g la aceleración de la gravedad a nivel del mar, M la masa molecular media del aire (de valor constante igual a 28.9644 g/mol hasta 86 km donde el efecto de la separación difusiva se vuelve importante) y R la constante universal de los gases (8.31432 $J \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$).

Capa atmosférica (km)	dT/dz (K/km)
0-11	-6.5
11-20	0
20-32	1.0
32-47	2.8
47-51	0
51-71	-2.8
71-86	-2

 Tabla 4.1.
 Gradientes de temperatura según capas atmosféricas para la atmósfera estándar de 1976 (adaptado de Guerrero-Rascado [2009]).

Por otra parte, el índice de refracción es un importante parámetro en la interacción de la radiación con medios dispersantes y absorbentes. El índice de refracción es un número complejo cuya parte real es el cociente entre la velocidad de fase de la onda electromagnética en el medio de interés y la velocidad en el vacío. La parte imaginaria está relacionada con la capacidad de absorber la radiación electromagnética. La parte real del índice de refracción del aire se puede parametrizar en función de la longitud de onda como indica Bucholtz [1995]:

$$(n_{s}-1)\cdot10^{8} = \frac{5791817}{238.0185 - \left(\frac{1}{\lambda}\right)^{2}} + \frac{167909}{57.362 - \left(\frac{1}{\lambda}\right)^{2}} \qquad \lambda > 0.23\,\mu m \quad (4.5)$$

$$(n_{s}-1)\cdot10^{8} = 8060.15 + \frac{2480990}{132.274 - \left(\frac{1}{\lambda}\right)^{2}} + \frac{17455.7}{39.32957 - \left(\frac{1}{\lambda}\right)^{2}} \qquad \lambda \le 0.23\,\mu m \tag{4.6}$$

donde n_s es del índice de refracción para aire estándar a la temperatura 15 °C y λ la longitud de onda en micrómetros.

Así, finalmente el coeficiente de retrodispersión molecular y el coeficiente de extinción molecular se pueden calcular a partir de la teoría Rayleigh y de la ecuación fundamental de los gases ideales, mediante las siguientes expresiones:

$$\beta_{mol}(z) = \frac{9\pi^2 (n_s^2 - 1)^2}{\lambda^4 N_s^2 (n_s^2 + 2)^2} \left(\frac{6 + 3\rho}{6 - 7\rho}\right) N_s \frac{T_0}{P_0} \frac{P(z)}{T(z)}$$
(4.7)

$$\alpha_{mol}(z) = \frac{24\pi^3 (n_s^2 - 1)^2}{\lambda^4 N_s^2 (n_s^2 + 2)^2} \left(\frac{6 + 3\rho}{6 - 7\rho}\right) N_s \frac{T_0}{P_0} \frac{P(z)}{T(z)}$$
(4.8)

donde n_s el índice de refracción del aire, γ el factor de depolarización (γ es 0.0301, 0.0284 y 0.0273 para 355, 532 y 1064 nm respectivamente) [Bucholtz, 1995] y la densidad numérica de moléculas $N_s = 2.547 \cdot 10^{19} \, cm^{-3}$ para condiciones de atmósfera estándar a nivel de superficie ($P_0 = 1013.25hPa$ y $T_0 = 15^{\circ}C$).

4.3 Ejemplo de ajuste Rayleigh

En la Figura 4.1 se muestra la comparación de la señal molecular corregida de rango molecular y la señal medida corregida de rango (ajuste Rayleigh) para el canal de 355 nm. El rango apropiado para calcular la normalización de las señales se sitúa en el intervalo de 8-9 km. En este test sólo se usan las señales en el modo de detección empleado para estudiar el rango lejano (PC en el ejemplo mostrado). La figura muestra un buen acuerdo entre la señal molecular (β_{mol}^{att}) y la señal medida experimentalmente (*R.C.S.*) con una tendencia muy similar entre 5 y 30 km. De hecho, la desviación relativa es inferior al 2% en el rango de alturas de 5-10 km. Este rango es el más importante porque normalmente la altura de referencia requerida en los métodos Klett-Fernald y Raman se elige en el rango entre 6 y 10 km.



Figura 4.1. Ajuste Rayleigh para el canal 355 nm. El rango de normalización de ambas señales se ha elegido entre 8 y 9 km (adaptado de Bravo-Aranda [2014]).

4.4 Formato de datos para entregar del ajuste Rayleigh

Nombre del fichero:

Rayleigh_XXXX_MM_lidarName.txt

donde:

XXXX es la longitud de onda (1064, 0607, 0532, 0408, 0387, 0355)

MM es el modo de detección (AN: analógico, PC: photon counting, GL: glued)

Cabecera:

fila 1: estación lidar

fila 2: nombre del sistema lidar

- fila 3: longitud de onda y modo de detección (es decir, XXXX_MM)
- fila 4: fecha de la medida (yyyy/mm/dd)
- fila 5: duración de la medida (zz min)
- fila 6: método de componente molecular (radiosounding, scaled standard atmosphere)
- fila 7: rango para normalización (min-max km)
- fila 8: nombre de las columnas (Altitude, RCS, attBackMol)

Datos:

Las columnas se separan por tabulador y se usa el punto como signo decimal.

columna 1: altura en km sobre el nivel del instrumento

columna 2: señal corregida de rango² (SIN NORMALIZAR) medida en unidades arbitrarias

columna 3: coeficiente de retrodispersión molecular atenuado (SIN NORMALIZAR) medida en unidades arbitrarias

Se deben entregar las señales corregidas de rango de todos los canales medidos (es decir, en todas las longitudes de onda y en los MODOS DE DETECCIÓN usados para estudiar el RANGO LEJANO) en un fichero ASCII por cada longitud de onda y modo de detección. La duración de la medida debe ser aproximadamente 30 min con una atmósfera limpia (libre de partículas y nubes) en el rango de normalización.

² señal corregida de rango se refiere a la señal lidar multiplicada por la distancia al cuadrado una vez que se ha corregido de zero-bin, dark current y background.

AGRADECIMIENTOS

La elaboración de este documento ha sido financiada por FAPESP (Fundação da Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) mediante la ayuda de profesor visitante con referencia 2013/21087-7. Este documento se ha beneficiado del enorme esfuerzo de la red EARLINET (European Aerosol Research Lidar Network), y en especial del Dr. Volker Freudenthaler, para mejorar el conocimiento de los sistemas lidar en la comunidad científica. Los ejemplos mostrados se han tomado de las diferentes actividades que el Grupo de Física de la Atmósfera de la Universidad de Granada (España) viene realizando en los últimos años en el marco de la red EARLINET.

REFERENCIAS

- Bucholtz A., "Rayleigh-scattering calculations for the terrestrial atmosphere", Appl. Opt., 34, 2765-2773, 1995.
- Bravo-Aranda, J.A., "Lidar depolarization technique: assessment of the hardware polarizing sensitivity and applications", PhD. Dissertation. University of Granada (Spain), 2014.
- Guerrero-Rascado, J. L., "Técnica Lidar para la caracterización atmosférica mediante dispersión elástica y Raman", PhD. Dissertation. University of Granada (Spain), D.L.: GR. 187-2009, ISBN: 978-84-691-8587-2, 2009.
- Guerrero-Rascado, J. L., F. Navas-Guzmán, J. A. Díaz, J. A. Bravo-Aranda, and L. Alados-Arboledas, "Quality assurance at the EARLINET Granada station. Characterization of the optical subsystem for a multichannels Raman lidar", Óptica Pura y Aplicada, 44 (1), 19-23, 2011.
- Navas-Guzmán, N., "Atmospheric vertical profiling by Raman lidar". PhD. Dissertation. University of Granada (Spain), D.L.: GR 3118-2012, ISBN: 978-84-9028-244-1, 2012.
- U. S. Committee on Extension to the Standard Atmosphere, U.S. Standard Atmosphere (National Oceanic and Atmospheric Administration, Washington, D. C.), 1976.