

UTILIDAD DEL PTFE COMO PANEL DE REFERENCIA EN MEDIDAS DE RADIOMETRÍA

F. Camacho-de Coca, M. A. Gilabert y J. Meliá

Departament de Termodinàmica. Facultat de Física. Dr. Moliner, 50.

46100 Burjassot (Valencia)

Fernando.Camacho@uv.es

Resumen

El PTFE (*polytetrafluoroethylene*) es un material que por sus propiedades, físicas y químicas, así como por su precio, es idóneo para la fabricación de paneles de “grandes dimensiones”, necesarios para la obtención de medidas angulares de superficies naturales en radiometría. Hemos comprobado la utilidad de este material, justificando su empleo frente al de otros materiales y comprobando cómo calibrando dicho material, con un Spectralon, se consigue recuperar el mismo factor de reflectividad bidireccional que se obtendría con un panel estándar, como el Spectralon.

Resumen

The PTFE is considered as an important material in reflectance studies for its physical and chemical properties, and the availability of large dimension necessary for angular measurements. The PTFE material was calibrated with the Spectralon standard reference panel. Very high similarity between both material was obtained after the application of the calibration factor

Palabras claves: Radiometría, BRDF, PTFE

INTRODUCCIÓN

La radiometría comprende el estudio de las relaciones entre las características espectrales de las superficies naturales y sus atributos biofísicos. Así, midiendo la reflectividad de la superficie podemos inferir propiedades de las mismas.

La medida de la reflectividad, bien mediante radiometría de campo o teledetección espacial, también está ligada a la geometría de observación y de iluminación. La magnitud que caracteriza para cada una de las geometrías posibles las propiedades reflectantes de las superficies es la BRDF (*Bidirectional Reflectance Distribution Function*).

La BRDF, como es bien sabido, se define como el cociente entre la radiancia reflejada, por unidad de ángulo sólido en una determinada dirección, y la irradiancia por unidad de ángulo sólido que desde una determinada dirección incide en la superficie. Sin embargo, la medida de ésta no es posible, pues requiere medidas a ángulos sólidos infinitesimales. La alternativa consiste en calcular el factor de reflectividad bidireccional (en alusión a las dos direcciones involucradas en el problema) o BRF (*Bidirectional Reflectance Factor*). Para ello, se utiliza un panel de referencia perfectamente difusor y completamente reflectante. Así, midiendo la radiancia reflejada por éste, en las mismas condiciones de observación y de iluminación en que mediremos posteriormente la radiancia reflejada por la muestra, podremos calcular la reflectividad.

Esta configuración de medida se denomina bi-cónica haciendo referencia al ángulo sólido que subtiende el FOV del sensor. En la práctica, la expresión que se utiliza para calcular la BRF es:

$$R(\vartheta_i, \phi_i; \vartheta_r, \phi_r) = \frac{dL_t(\theta_r, \phi_r)}{dL_p(\theta_r, \phi_r)} k(\vartheta_i, \phi_i; \vartheta_r, \phi_r)$$

Donde k tiene en cuenta la no linealidad de los paneles de referencia, es decir, su desviación respecto al comportamiento de un panel perfectamente reflectante y perfectamente difusor o lambertiano. El subíndice “t” hace referencia a la superficie de estudio o *target*, el subíndice “p” al panel de referencia, y el resto de subíndices indican la dirección de la radiación, incidente o reflejada, ϑ representa el ángulo cenital y ϕ el acimutal. Por tanto, para la obtención de medidas radiométricas, el panel de referencia jugará un papel fundamental, debiendo de estar, por tanto, bien caracterizado.

La BRDF de las superficies naturales, y en particular de las cubiertas vegetales, es anisótropa, es decir, no reflejan la radiación que les llega de igual modo en todas direcciones. Así, decimos que éstas no tienen un comportamiento lambertiano frente a la reflexión de la radiación.

Por tanto, una interpretación más exacta de los datos de teledetección requiere incorporar medidas angulares de la reflectividad de la superficie.

En este sentido, las principales agencias espaciales han ido incorporando a sus programas medioambientales sensores como el AATSR (ESA), el AVHRR (NOAA), el MISR (NASA), o el POLDER (CNES), que son capaces de obtener medidas angulares de la superficie.

Se espera que las medidas direccionales mejoren la recuperación de diferentes parámetros biofísicos y ecológicos, tanto a escala regional como a escala global (Asner *et al.*, 1998).

Por todo ello, nuestro grupo de trabajo está interesado en desarrollar una metodología que permita obtener medidas radiométricas no verticales en el laboratorio, para posteriormente hacerla extensiva a las campañas de campo. Esto nos permitirá investigar sobre las ventajas que *a priori* estos datos aportarán al estudio de las superficies naturales en teledetección. En este trabajo analizaremos el papel del panel de referencia en dicha metodología.

Para medir la reflectividad de escenas realistas con vegetación, donde podamos apreciar los efectos debidos a la estructura de la cubierta así como al suelo de fondo, utilizaremos un FOV de 10°, con el cual, a una altura de 2m, el campo de visión circular es de, aproximadamente, 35 cm de diámetro en el nadir. Este campo, circular en el nadir, se irá convirtiendo en elíptico a medida que el ángulo cenital aumente. Efecto producido por la variación del camino óptico, producida en el plano de observación, entre los puntos del blanco más próximos y más alejados del sensor. Esto, afecta directamente a las dimensiones de la superficie de estudio y, en particular, a las del panel de referencia que debe contener, sin efectos de borde, el campo de visión del sensor.

Por tanto, la obtención de medidas angulares, de escenas naturales “realistas”, nos lleva a la necesidad de utilizar un panel de referencia de “grandes dimensiones”, entendiéndose por “grandes dimensiones” las que posee un panel cuadrado de 1m de lado. El espesor mínimo necesario puede variar para cada material en función de sus propiedades físicas. A continuación presentamos como se ha resuelto el problema de las dimensiones del panel de referencia.

ELECCIÓN DEL PANEL DE REFERENCIA.

Un panel estándar construido según las especificaciones del NBS (*National Bureau of Standar*), calibrado y bien caracterizado, como puede ser el Spectralon fabricado por Labsphere, puede resultar excesivamente caro para nuestros propósitos, sirva de ejemplo que, mientras uno de estos paneles de 30 cm de lado está alrededor de las 250.000 pta., uno de 60 cm. vendría a costar

cerca de 700.000 pta., siendo desorbitado el precio por uno de 100 cm. Por ello, muchos grupos que trabajan en radiometría, deciden fabricar su propio panel de referencia, de acuerdo a sus necesidades reales. Estos paneles para ser operativos deberán de ser calibrados.

El calibrado de un panel consistirá en determinar la relación existente entre la radiancia del panel y la radiancia de una superficie estándar para una determinada configuración de iluminación y observación. Además, debemos de obtener la relación de la reflectividad con los ángulos de observación e iluminación, para corregir las propiedades difusoras no lambertianas que presente el panel.

Entre las substancias con mayor aceptación por sus propiedades difusoras y reflectantes, se encuentran el Sulfato de Bario ($BaSO_4$), que tratado ligeramente con PVA (*polyvinyl alcohol*) ha sido muy utilizado y cuyas características reflectantes se pueden encontrar en Young *et al.*, (1980); y el PTFE (*polytetrafluorethylene*), comercializado con el nombre de teflón, cuyas propiedades ópticas y físicas fueron investigadas por Weidner and Hsia, 1981.

Un estudio de Shutt *et al.*, (1981) reveló que el $BaSO_4$ es sensible a los cambios de humedad y su aplicación está limitada bajo ciertas condiciones medioambientales fuera del laboratorio. Sin embargo, el PTFE, material hidrófobo, se presenta como superficie lavable e insensible a los cambios de humedad, siendo innecesaria una nueva calibración cada vez que se limpia.

Asumir un comportamiento lambertiano del panel de referencia introduce sistemáticamente errores en el cálculo de la reflectividad. Kimes & Kirchner (1982) obtuvieron para un cielo claro errores de 0.6, 6.0, 13.0 y hasta un 27% en la reflectividad para ángulos solares cenitales de 0°, 45°, 60° y 75°, asumiendo isotropía azimutal del panel de referencia. Para corregir este error, Jackson *et al.*, (1987) desarrollan una metodología que permite obtener la reflectividad del panel para diferentes ángulos de observación, así como el calibrado de cualquier panel respecto a un panel estándar construido según las especificaciones del NBS. Un trabajo posterior (Jackson *et al.*, 1992) desarrolla esta metodología sobre 11 paneles Spectralon (fabricados a partir de PTFE tratado), 16 $BaSO_4$ y una lámina de PTFE virgen. Llegando a obtener un polinomio de calibración válido para los Spectralon. A su vez se calcula para un panel de PTFE la variación de su reflectividad con el ángulo cenital solar, siendo idéntica a los Spectralon. Sin embargo, para los paneles

construidos de BaSO₄, más brillantes en el infrarrojo que el PTFE, no se puede obtener una relación de calibrado válida para todos ellos, debido a que tienen diferentes propiedades difusoras, observándose diferencias en la rugosidad de la superficie, debidas al proceso seguido en la aplicación del BaSO₄ para la fabricación de los paneles. De acuerdo con los resultados obtenidos por Jackson *et al.*, (1992) y por Shutt *et al.*, (1981), hemos optado por utilizar una placa de PTFE virgen. Ésta debe mostrar un comportamiento difusor similar al Spectralon, escogido como panel de referencia standard por nuestro grupo por su alta reflectividad y su comportamiento cuasi-lambertiano (Gilbert, 1990).

DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

Para comprobar la idoneidad del PTFE virgen, como panel de referencia, se ha adquirido una placa cuadrada de 15 cm de lado y 8 mm de espesor. La densidad del material es de 2.18 g/cm³, su dureza de 51 Shore D, la resistencia a la tracción varía desde 250 hasta 315 kg/cm², y el alargamiento se sitúa entre el 300% y el 400%. Su absorción del agua es de tan sólo el 0.001% y el coeficiente de dilatación térmica lineal es de $12.2 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, lo que le confiere gran estabilidad térmica¹. Podemos encontrar en el mercado este material sobre las 3500 pta/kg, con lo que una placa de 1m² y 8 mm de espesor podría costar alrededor de 60000 pta. Las medidas han sido realizadas utilizando dos radiómetros, un GER-SIRIS de 875 canales, 2 minutos de tiempo de adquisición y un FOV estándar de 13x3°; y un GER 3700, de 704 canales, 50ns de tiempo de adquisición, y un FOV de 3° que seleccionará blancos homogéneos. Ambos cubren el rango espectral desde los 300 nm hasta los 2500 nm. El primero, con mayor resolución mostrará con más detalle la radiancia reflejada por ambos paneles, el segundo, utilizado habitualmente por su corto tiempo de adquisición y otras mejoras, ha sido empleado para la calibración tomando 5 medidas consecutivas de cada muestra para reducir ruido. Se han situado los radiómetros en el mismo plano de iluminación, y se han realizados para cada muestra 5 medidas, a 1m de altura. Se han medido muestras de Filitas y Margas por su contraste espectral. Las Filitas son oscuras y presentan un espectro suave de baja reflectividad, mientras que las Margas, de color amarillento, formadas por arcillas y óxidos de hierro, presentan una

pendiente considerable en el visible, mostrando valores del 60% de reflectividad en el infrarrojo medio.

RESULTADOS

En la Figura 1, se presenta la radiancia reflejada por el Spectralon y por el PTFE en función de la longitud de onda, para las condiciones geométricas especificadas anteriormente. Las curvas presentan rasgos de absorción idénticos, consecuencia de que Labsphere utiliza el PTFE como material para la fabricación de los Spectralon. El tratamiento que éstos le dan al PTFE virgen, le confiere una mayor reflectividad, desde los 600 nm hasta los 2000 nm. Desde los 2000 nm hasta los 2400 nm la curva es prácticamente lineal eliminando la absorción que en el PTFE virgen se produce en los 2200 nm. Esta última parte del intervalo espectral será dónde las diferencias entre la utilización de uno u otro, como panel de referencia, sean más significativas y menos lineales.

Las diferencias radiométricas entre ambos paneles se pone de manifiesto cuando calculamos la reflectividad del PTFE virgen frente al Spectralon. Dicha reflectividad (Figura 2) nos proporciona el calibrado del PTFE virgen. Como puede observarse, el calibrado será una función lineal hasta los 1800 nm, que ajusta a la ec: $y = -0.0152x + 103.76$ y cuyo coeficiente de regresión lineal es del 99.4%. En el rango 2000-2400 nm aparece en primer lugar una disminución de la reflectividad, consecuencia de la mayor pendiente que presenta el PTFE virgen hasta los 2200 nm, la absorción durante los procesos de multiple *scattering* puede ser responsable de este comportamiento (Jackson *et al.*, 1992). Después de los 2200 nm se vuelve a estar dentro del ajuste lineal para terminar en los últimos 100 nm con una pendiente mayor.

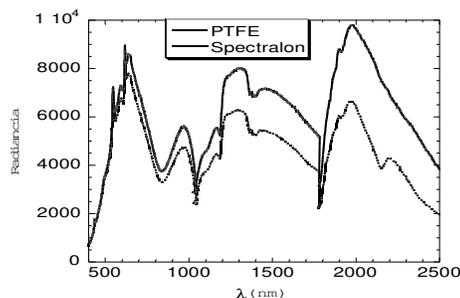


Figura 1. Espectro del PTFE y del Spectralon. La radiancia está expresada en $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$

¹ Datos proporcionados por el fabricante, sólo deben ser considerados a nivel orientativo.

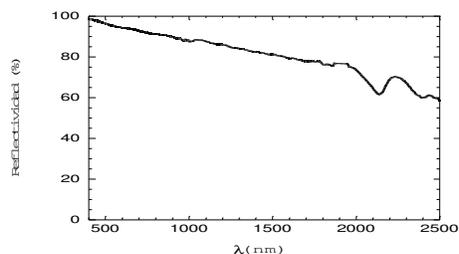


Figura 2. Calibrado del PTFE respecto al Spectralon

En la Figura 3 y Figura 4, representamos el factor de reflectividad, de Margas y Filitas, obtenido a partir del panel Spectralon, del PTFE virgen y el que se obtiene de aplicar el factor corrector al PTFE. Podemos apreciar como la influencia sobre la reflectividad del rasgo de absorción que presenta el PTFE virgen a 2200 nm, desaparece al aplicar el factor corrector. Además, se recupera la forma de la curva, siendo ligeramente superior. Esto demuestra como podemos utilizar el PTFE, junto con su calibrado, para obtener el BRF

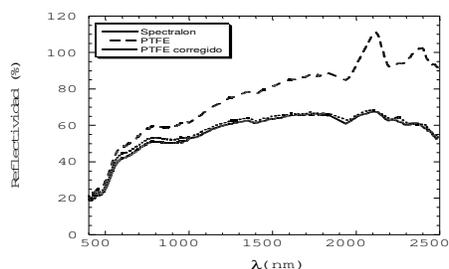


Figura 3. Reflectividad de Margas obtenidas con el Spectralon, el PTFE y con el PTFE corregido.

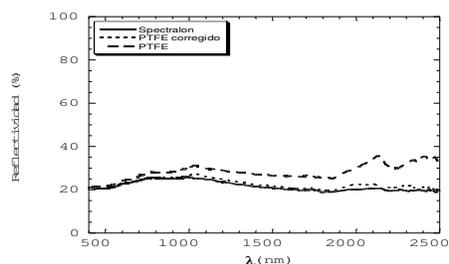


Figura 4. Reflectividad de la Filita obtenidas con el Spectralon, el PTFE y el PTFE corregido

CONCLUSIONES

Se ha comprobado como el PTFE virgen, disponible en el mercado, se puede utilizar como panel de referencia. Su coste permite fabricar

paneles de “grandes dimensiones”, útiles para la obtención de medidas de radiometría de superficies naturales. Antes de poder obtener medidas de radiometría, debemos de calibrar y caracterizar dicho panel para comprobar si las medidas realizadas con el PTFE tendrán validez.

Se ha realizado el calibrado con un Spectralon (Labsphere), y se ha comprobado como para una geometría determinada el PTFE es útil, por lo que esperamos sea útil para todas ellas.

Para completar la calibración deberemos de caracterizar las propiedades difusoras de dicho panel, siguiendo, por ejemplo, el método empleado por Jackson *et al.*, (1991). Esta parte la realizaremos posteriormente, una vez hemos comprobado que el material disponible es útil para ser utilizado como panel de referencia.

Bibliografía

- Asner, G.P., Braswell, B.H., Schimel, D.S. and Wessman, C.A. (1998). Ecological Research Needs for Multiangle Remote Sensing Data. *Remote Sens. Environ.*, 63:155-165
- Gilbert, M.A. 1990. Caracterización radiométrica en el intervalo solar, de cultivos cítricos. Modelo geométrico de reflectividad de aplicación en teledetección. *Tesis doctoral*. Universitat de València.
- Jackson, R.D., Moran, M.S., Slater, P.N. and Biggar, S.F. (1987). Field Calibration of Reference Reflectance Panels. *Remote Sens. Environ.*, 22:145-158.
- Jackson, R.D., Clarke, T.R. and Moran, M.S. (1992). Bidirectional Calibration Results for 11 Spectralon and 16 BaSO₄ Reference Reflectance Panels. *Remote Sens. Environ.*, 40:231-239
- Kimes, D.S. and Kirchner, J.A. (1982). Irradiance Measurements Errors Due to the Assumption of a Lambertian Reference Panel. *Remote Sens. Environ.*, 12: 141-149
- Schutt, J.B., Holben, B.N., Shai, C.M. and Henninger, J.H. (1981). Reflectivity of TFE -a washable surface- compared with that of BaSO₄. *Applied Optics*, Vol. 20, No. 12
- Weidner, V.R. and Hsia, J.J. (1981). Reflection Properties of Pressed Polytetrafluorethylene Powder. *J. Opt. Soc. Am.*, 71, 856
- Young, E.R., Clark, K.C., Bennet, R.B. and Houk, T.L. (1980) *Applied Optics* 19, 3500

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado dentro del marco del proyecto RESYSMED, subencionado por la Unión Europea (ENV4-CT97-0683)