

Medida de la temperatura y la emisividad con datos multiespectrales del sensor DAIS

V. Caselles, C. Coll, E. Rubio, E. Valor y F. Sospedra
vicente.caselles@uv.es

Departament de Termodinamica, Facultat de Física, Universitat de Valencia
c/ Dr Moliner; 50. 46100 Burjassot (Valencia)

RESUMEN

En este trabajo hemos aplicado una técnica de inversión a imágenes térmicas del sensor DAIS para determinar la temperatura y la emisividad de la superficie terrestre. Los datos suministrados por el DAIS han sido corregidos del efecto atmosférico mediante el uso de un radiosondeo cercano y el modelo MODTRAN. Utilizando como referencia medidas de emisividad realizadas en el campo, se ha aplicado el Método de la Emisividad Normalizada a las radiancias corregidas con el fin de obtener una estimación de la temperatura y la emisividad en los 6 canales térmicos del DAIS. Como resultado hemos observado diferencias considerables entre los valores de emisividad obtenidos y los esperados en función de las medidas de campo. En particular, los canales 74 y 79 subestiman significativamente las temperaturas. Hemos analizado las posibles causas que explican estas desviaciones, y proponemos un procedimiento simple para corregirlas.

PALABRAS CLAVE: Temperatura, emisividad, corrección atmosférica, método de inversión.

ABSTRACT

Field measurements of emissivity are used for inverting Land Surface Temperature (LST) and emissivity from DAIS thermal infrared images. DAIS data have been corrected for atmospheric effects by means of a nearby radiosounding and fue MODTRAN modelo The Normalised Emissivity Method has been applied to the corrected channel radiances using the field emissivity measurements as a reference value to derive the LST and the 6 DAIS thermal channel emissivities. Large differences are found between the derived emissivities and the expected values. Especially channels 74 and 79 appear to underestimate surface temperatures. Possible reasons for such differences have been discussed and a simple correction procedure has been proposed.

KEY WORDS: Spectral emissivity, temperature, DAIS sensor.

INTRODUCCION

Para poder obtener medidas precisas de la emisividad y la temperatura de la superficie terrestre a partir de datos de teledetección, debemos enfrentarnos a la solución de dos problemas. En primer lugar hay que corregir el efecto de absorción y emisión por parte de la atmósfera, para poder recuperar la radiancia realmente emitida por la superficie observada. En segundo término, debemos romper la indeterminación inherente a la medida en el infrarrojo térmico, donde temperatura y emisividad son dos variables independientes pero acopladas. Hemos analizado ambos problemas en el marco del proyecto ReSeDa, cuyo objetivo es la asimilación de datos de teledetección con el fin de analizar los procesos de interacción entre suelo y vegetación. En particular, la emisividad y la temperatura de la superficie terrestre son magnitudes esenciales en la determinación de los balances hídrico y energético en la superficie. Para realizar el estudio hemos utilizado imágenes térmicas tomadas por el instrumento *Digital Airborne Imaging Spectrometer* (DAIS 7915) sobre el área ex-

perimental del proyecto ReSeDa el 8 de julio de 1997. La mencionada zona es un área agrícola bastante llana situada en la región de Alpilles cercana a Avignon (Francia), siendo los principales cultivos el trigo, el maíz, el girasol y la alfalfa. En abril y julio de 1997 se llevaron a cabo dos campañas de campo intensivas, en las que medimos la emisividad en diferentes puntos de la zona de estudio. Para determinar la temperatura y la emisividad a partir de los datos DAIS aplicamos el Método de la Emisividad Normalizada (NEM, Gillespie, 1986) tomando como referencia las medidas de emisividad realizadas en el campo. Previamente llevamos a cabo la corrección atmosférica de los datos DAIS calculando los parámetros atmosféricos necesarios con el modelo de transferencia radiativa MODTRAN (Berk et al., 1989) y un radiosondeo efectuado en una estación cercana. El objeto de este trabajo es presentar y discutir los resultados obtenidos en nuestra investigación.

MEDIDAS DEL INSTRUMENTO DAIS

El sensor DAIS es un espectrómetro de alta resolución provisto de 79 canales que cubren la región espectral entre 0,5 y 13 mm, desarrollado y operado por DLR (Centro Aeroespacial Alemán). El 8 de julio de 1997 registró tres líneas de vuelo (líneas 4, 5 y 7) sobrevolando el área experimental ReSeDa a unos 3000 m de altitud. La línea 5 cubrió la mayor parte de la zona, mientras que la línea 7 incluía algunos de los puntos de estudio en la parte occidental de la misma. Cada escena contiene alrededor de 2000 líneas de barrido con 512 píxeles cada una de ellas (el ángulo de barrido nominal es de $\pm 32^\circ$), con una resolución espacial aproximada de 5 m. En este estudio sólo hemos usado los canales 74 al 79, los cuales cubren el infrarrojo térmico (Figura 1).

Los datos DAIS vienen proporcionados por DLR en cuentas digitales (CD) calibradas en términos de radiancia (Strobl et al., 1996). En los canales térmicos, 1 CD equivale a $10^{-4} \text{ m W / (cm}^2 \text{ sr mm)}$. La imagen que hemos usado contiene 736 líneas de barrido ($\sim 3,3 \text{ km}$) de 512 píxeles ($\sim 2,8 \text{ km}$) extraídas de la línea 5, exhibiendo la mayor parte de la zona experimental. Dicha imagen corresponde a las radiancias térmicas medidas en el canal 76 a la altura del avión (por tanto, sin la corrección atmosférica), las cuales se encuentran entre 0,91 y 1,47 $\text{mW/(cm}^2 \text{ sr mm)}$ (de 22 a 55°C aproximadamente).

MEDIDAS DE EMISIVIDAD

Se realizaron medidas sobre alfalfa y trigo en abril, y girasol y maíz en julio. Para ello se utilizó el método de la caja en sus dos variantes de una y dos tapas (Rubio et al., 1997). Las medidas de emisividad fueron corregidas de los efectos relacionados con la naturaleza no ideal de la caja. En función del tipo de cultivo se tomaron medidas en suelo y vegetación separadamente, o bien en plantas sobre el suelo como fondo conjuntamente. Para cada muestra se realizaron unas 30 medidas individuales que posteriormente fueron promediadas (Tabla 1).

Se recogieron muestras de suelo en distintos puntos de medida para medir en el laboratorio su

signatura espectral. Los espectros de emisividad fueron medidos por el Dr. S. Hook (comunicación personal) en el *Jet Propulsion Laboratory* (Pasadena, California, USA). Con estos espectros hemos calculado las emisividades integradas en los canales DAIS (Tabla 2).

101 (trigo)	planta + suelo $0,987 \pm 0,008$	suelo + rastrojo $0,961 \pm 0,011$
120 (trigo)	planta + suelo $0,987 \pm 0,005$	suelo + rastroj $0,957 \pm 0,015$
214 (trigo)		suelo desnudo $0,955 \pm 0,018$
Le Mas Neuf (maíz)	planta $0,984 \pm 0,007$	suelo (húmedo) $0,979 \pm 0,006$
500 (maíz)	planta $0,986 \pm 0,009$	suelo desnudo $0,958 \pm 0,013$
102 (girasol)	planta $0,979 \pm 0,011$	suelo desnudo $0,969 \pm 0,009$
	veg. natural $0,980 \pm 0,003$	
121 (girasol)		suelo desnudo $0,953 \pm 0,012$
304 (girasol)		suelo desnudo $0,958 \pm 0,013$
203 (alfalfa)	Planta + suelo $0,987 \pm 0,004$	

Tabla 1. Emisividad en el nadir en la región espectral 8-14 mm medida en el área ReSeDa. Se muestran los valores medios y las desviaciones estándar de emisividad, $e \pm s(e)$, para cada muestra.

Campo	Canal					
	74	75	76	77	78	79
101	0,949	0,968	0,973	0,970	0,973	0,977
102	0,949	0,967	0,973	0,970	0,973	0,977
120	0,947	0,966	0,972	0,968	0,971	0,976
121	0,953	0,970	0,974	0,972	0,975	0,979
304	0,951	0,968	0,974	0,972	0,975	0,979

Tabla 2. Valores de emisividad integrada en los canales DAIS a partir de medidas espectrales, para varias muestras de suelo tomadas en los campos indicados.

Los resultados obtenidos indican una alta homogeneidad en la emisividad del suelo en toda la zona ReSeDa. Simultáneamente al vuelo del DAIS, se realizaron medidas de temperatura radiativa en un transecto llevado a cabo en el campo 120 (rastros de trigo sobre suelo) mediante un radiómetro de mano. Después de corregir los valores medidos de los efectos de emisividad, y de reflexión de la radiación atmosférica descendente sobre la super-

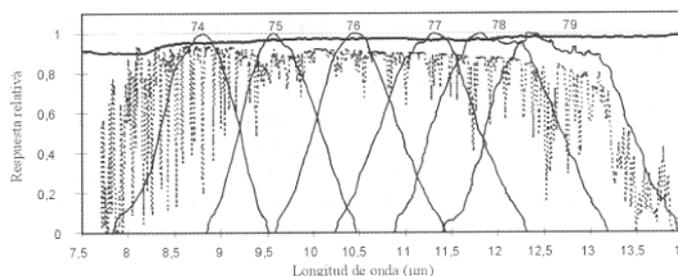


Figura 1. Funciones filtro de los canales DAIS 74 a 79 en trazo continuo (P. Strobl, comunicación personal). Se incluyen espectros típicos de emisividad del suelo (línea de trazo grueso) y de la transmisividad atmosférica (línea de puntos)

ficie observada, se obtuvo una temperatura media de 45,3°C. Podemos considerar este valor como la referencia de campo para validar las temperaturas obtenidas del DAIS.

MODELO DE INVERSION

La radiancia térmica medida por el canal j del DAIS a nivel del sensor, L_j^{sens} , puede escribirse como:

$$L_j^{sens}(\theta) = L_j^{surf} - \tau_j(\theta) + L_j^{atm}(\theta) \quad (1)$$

donde q es el ángulo de observación, t_j es la transmisividad atmosférica entre la superficie y el sensor, y L_j^{atm} es la radiancia atmosférica ascendente en la dirección de observación. L_j^{surf} es la radiancia emitida por la superficie, dada por:

$$L_j^{surf} = \epsilon_j B_j(T) + (1 - \epsilon_j) I_j^{atm} \quad (2)$$

donde ϵ_j es la emisividad de la superficie, T es su temperatura, B_j es la función de Planck promediada según la función filtro del canal j, e I_j^{atm} es la irradiancia atmosférica descendente. Las radiancias a nivel del sensor han sido corregidas del efecto atmosférico usando un radiosondeo medido en Nimes (a 35 km al oeste del área) a las 12 UT. Para calcular los parámetros atmosféricos hemos usado el modelo MODTRAN (Berk et al., 1989), integrando en los canales DAIS los espectros de radiancia atmosférica y transmisividad con él obtenidos. Así, de la ecuación (1):

$$L_j^{surf} = \frac{L_j^{sens}(\theta) - I_j^{atm}(\theta)}{\tau_j(\theta)} \quad (3)$$

Usando las radiancias de superficie, L_j^{surf} , hemos aplicado el algoritmo NEM (Gillespie, 1986). Para ello suponemos un valor de emisividad, ϵ_{NEM} para todos los canales. Con él, la ecuación (2) puede resolverse en los 6 canales del instrumento, obteniéndose:

$$B_j(T_{NEMj}) = \frac{L_j^{surf} - (1 - \epsilon_{NEM}) I_j^{atm}}{\epsilon_{NEM}} \quad (4)$$

de donde T_{NEM} se calcula mediante inversión de la función de Planck promediada (I_j^{atm} se obtiene también mediante cálculos con MODTRAN). De este modo obtenemos un conjunto de 6 valores de temperatura (una por canal) del cual se selecciona el valor máximo, $T_{max} = \max(T_{NEMj})$, $j=1, \dots, 6$. Dicha temperatura máxima se utiliza de nuevo en la ecuación (2) para obtener los 6 valores de emisividad:

$$\epsilon_j = \frac{L_j^{surf} - I_j^{atm}}{B_j(T_{TAM}) - I_j^{atm}}; j=1, \dots, 6 \quad (5)$$

T_{max} y la ecuación (5) proporcionan una primera estimación de la temperatura de la superficie y de ϵ_j , respectivamente. La precisión de dichas estimaciones depende del valor supuesto inicialmente, ϵ_{NEM} . Para minimizar el error, hemos seleccionado ϵ_{NEM} de acuerdo con las medidas de emisividad de campo. El algoritmo NEM ha sido aplicado a matrices de 5x5 píxeles extraídas de campos seleccionados en las líneas 5 y 7, de las que mostramos los resultados para suelo con rastrojo de trigo ($\epsilon_{NEM}=0,96$) en el campo 120, y para maíz ($\epsilon_{NEM}=0,985$) en *Le Mas Neuf* (Figura 2). Los resultados sobre alfalfa y girasol son similares a los mostrados aquí para maíz.

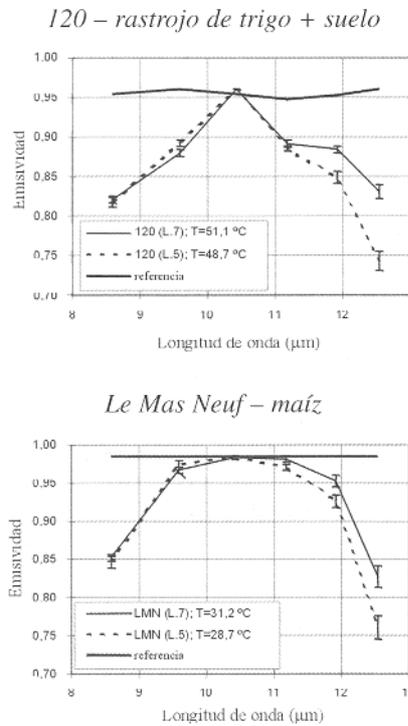


Figura 2. Emisividades obtenidas con el NEM en el campo 120 y *Le Mas Neuf*, de las líneas 5 y 7. Las temperaturas se muestran en la leyenda. También se incluyen los espectros de referencia.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

En comparación con los espectros de referencia, las emisividades obtenidas son generalmente subestimadas, especialmente en los canales extremos. En el campo 120, sólo el canal 76 proporciona un buen resultado, debido a que este canal presenta la temperatura máxima, con lo que el valor asumido ϵ_{NEM} es el que se obtiene.

En los campos con vegetación los tres canales centrales (75-77) dan los resultados más razonables. Las temperaturas máximas generalmente se obtienen en el canal 76 en todos los tipos de super-

ficie. En el campo 120 ($T \sim 50^{\circ}\text{C}$) dicha temperatura es mayor que la medida directamente en el campo ($\sim 45^{\circ}\text{C}$). En el caso del cultivo de maíz completamente desarrollado de *Le Mas Neuf* ($T \sim 30^{\circ}\text{C}$) es cercana a la temperatura del aire medida en las proximidades ($\sim 28^{\circ}\text{C}$). Los canales 74 y 79 parecen subestimar significativamente las radiancias de superficie: para el canal 74 las temperaturas T_{NEM} obtenidas de la ecuación (4) son de 6 a 9°C más bajas que T_{max} y de 8 a 14°C menores en el canal 79, lo que se traduce en emisividades anormalmente bajas. Estas importantes diferencias no pueden atribuirse enteramente a errores en la corrección atmosférica, ni tampoco a las hipótesis realizadas sobre los valores iniciales de la emisividad, lo cual sugiere posibles defectos en el calibrado en vuelo de los canales térmicos. Las medidas de temperatura y emisividad realizadas en el campo en puntos de referencia *calientes* y *fríos* (por ejemplo suelo desnudo y cultivos plenamente desarrollados, respectivamente) proporcionan un modo simple de recalibrar los datos brutos. Con las medidas experimentales en los campos de referencia se puede simular las radiancias a nivel del sensor en los 6 canales DAIS, que se compararían con los datos brutos. De esta comparación se obtendrían ecuaciones lineales de recalibrado local, con lo que se podrían corregir los datos DAIS originales en el caso particular de esta zona de estudio.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por la Unión Europea (proyecto ReSeDa, contrato ENV4CT96-0326-PL952071) y por la CICYT (proyecto AMB96-1928-CE). Deseamos -expresar nuestro agradecimiento al Dr. S. Hook (JPL) por las medidas espectrales de emisividad, y al Dr. P. Strobl (DLR) por su asistencia en el tratamiento de los datos DAIS.

BIBLIOGRAFIA

- BERK, A., BERNSTEIN, L. S. y ROBERTSON, D. C. 1989. *MODTRAN: A Moderate Resolution Model for LOWTRAN 7*. Tech. Rep. GL-TR-89-0122, Geophys. Lab, Bedford Mass.
- GILLESPIE, A. 1986. Lithologic mapping of silicate rocks using TIMS. *Proceedings of TIMS Data User's Workshop*, JPL Publ. 83-38: 29-44.
- RUBIO, E., CASELLES, V. y BADENAS, C. 1997. Emisivity measurements of several soils and vegetation types in the 8-14 mm wave band: Analysis of two field methods. *Remote Sensing of Environment*. **59**: 490-521.
- STROBL, P., RICHTER, R., LEHMANN, F., MUELLER, A., ZHUKOV, B. y OERTEL, D. 1996. Preprocessing for the Airborne Imaging Spectrometer DAIS 7915. *SPIE Proceedings*, n° 2758: 375-382.