

Ensayos de campo del sensor GTS-REMS en la Antártida. Resultados y optimización.

Ground Temperature Sensor (GTS-REMS) field test in Antarctica. First results.

B. Esteban¹, M. Ramos¹, E. Sebastián², C. Armiens², M. A. de Pablo.³ y W. Cabos¹

¹ Dpto. de Física, Universidad de Alcalá, 28871 Madrid, España.

² Centro de Astrobiología (CAB, INTA-CSIC). Madrid. España.

³ Dpto. de Geología, Universidad de Alcalá, 28871 Madrid, España.

Resumen

Una vez más, la Antártida ha actuado como escenario terrestre para los ensayos de campo de la instrumentación de futuras misiones a Marte. Fruto de la colaboración entre el Centro de Astrobiología (CAB-INTA, CSIC) y la Universidad de Alcalá (UAH), un modelo simplificado del sensor GTS-REMS (Ground Temperature Sensor - Rover Environmental Monitoring Station), perteneciente a la estación ambiental REMS de la futura misión MSL (Mars Science Laboratory) de la NASA, ha sido desplegado en las islas Livingston y Decepción (Archipiélago Shetland del Sur, Antártida) durante dos campañas consecutivas (2007-08 y 2008-09). Los resultados de este estudio ponen de manifiesto la importancia de realizar ensayos previos, que permiten la optimización de la electrónica del sistema y, la comparación con variables meteorológicas significativas para el estudio de la precisión de la medida. Todo ello nos ayuda a tener un conocimiento exhaustivo del comportamiento del experimento analizando los parámetros clave que describen los fenómenos físicos de interés.

Palabras clave: Sensor GTS-REMS, capa activa, permafrost, Antártida marítima.

Abstract

Once again, Antarctica has been the land scene for the field tests of the Martian missions' instrumentation. By the collaboration between the Center of Astrobiology (CAB-INTA, CSIC) and the University of Alcalá (UAH), a simplified model of the GTS-REMS sensor (Ground Temperature Sensor-Rover Environmental Monitoring Station), belonging to the REMS station of the MSL NASA future mission, has been deployed in the Livingston and Deception islands (Shetland Archipelago, Antarctica), during two consecutive campaigns (2007-08 and 2008-09). The results of this study show the importance of conducting preliminary tests, which allows system electronics optimization and a comparative study with meteorological significant variables to determine the sensors measure accuracy. This study helps us to have a better knowledge of the experiment behavior in the physical models comprehension.

Key words: GTS-REMS sensor, active layer, permafrost, maritime Antarctica.

Introducción

Las características climáticas actuales del planeta rojo favorecen la presencia de extensas áreas de permafrost (Carr, 2006). Por consiguiente, los sistemas de medida de parámetros ambientales incluidos en las diversas misiones a Marte, son usados para monitorizar la evolución térmica de la superficie del suelo, con objeto de estudiar el espesor de la capa activa del permafrost y el balance energético en la zona de contacto suelo-atmósfera (Barlow, 2008).

El REMS (Rover Environmental Monitoring Station) es una estación ambiental diseñada por el Centro de Astrobiología (CAB), con la colaboración de socios nacionales e internacionales (CRISA/EADS, UPC, FMI y UAH), que forma parte de la instrumentación más novedosa de la misión MSL NASA (Mars Science Laboratory) (NASA, 2006a, 2006b). Esta misión tiene previsto el lanzamiento en los últimos meses del año 2011, y fundamentalmente consistirá en un Rover, que transportará la mayor y más avanzada instrumentación científica jamás enviada a la superficie marciana. Seis sensores componen el instrumento REMS: el sensor de temperatura de suelo (GTS-REMS) (Sebastián et al. 2009), de temperatura ambiente, velocidad y dirección del viento, presión atmosférica, humedad y radiación ultravioleta (Gómez-Elvira, 2009).

Un sistema simplificado del sensor GTS-REMS de la misión MSL ha sido desplegado en la Antártida (Ramos et al., 2008a), en los alrededores de las Bases Antárticas Españolas en las islas Livingston y Decepción (Archipiélago Shetland del Sur, Antártica marítima), donde se han realizado estudios y prospecciones conducentes al conocimiento del estado térmico del permafrost (Ramos et al., 2008b 2008c). La colaboración entre la UAH y el CAB ha permitido realizar dichos ensayos de campo durante las campañas 2007-08 y 2008-09.

Los objetivos perseguidos por las experiencias llevadas a cabo en continente antártico estriban en: (1) Comprobar la precisión y respuesta del sensor GTS-REMS en condiciones ambientales rigurosas, así como calibrar sus medidas con ayuda de instrumentación estandarizada; (2) Analizar la evolución térmica de la superficie del suelo en función de los parámetros meteorológicos (temperatura del aire, radiación neta y temperatura de la superficie del suelo); y (3) Desarrollar un método que permita obtener, sólo con información de la temperatura de la superficie del suelo y del aire en una zona conocida, información sobre el régimen térmico de la capa activa, para su posterior aplicación a la superficie de Marte.

Análisis y resultados

Método de medida.

La instrumentación general de la experiencia REMS desplegada en la Antártida, mostrada en la Figura 1, incluye diversos componentes, todos ellos montados sobre un mástil de 1,8 m.

Se trata de: (1) un sensor de temperatura del aire basado en una resistencia de platino (Pt100) con protector de radiación solar ubicado en la parte alta del mástil, (2) un radiómetro meteorológico Kipp & Zonnen, CNR1, para la medida del infrarrojo (pirgeómetro 5-50 μm) y de la radiación solar de onda corta (piranómetro 305-2800 nm) a 1,5 m del suelo, (3) el instrumento REMS (soporte que contiene el sensor GTS simplificado, que se compone fundamentalmente por dos termopilas, una en el rango 8-14 μm y la otra 16-20 μm), que se ubica en posición horizontal en la parte baja del mástil (a 0,7 m de altura sobre la superficie del suelo), y (4) un sistema isotérmico de placas de aluminio (10 cm x 10 cm) para la medida de temperatura de la superficie del suelo, en cuyo centro geométrico dispone, cada placa, de un sensor basado en una resistencia de platino Pt100 estando la placa en contacto directo con la superficie del suelo, a 1cm aproximadamente de profundidad (Esteban et al., 2009). Además de estos sensores, la

instrumentación de la experiencia se completa con un soporte sobre el mástil, a 0,5 m de alto aproximadamente, que aloja el sistema de adquisición de datos, el sistema de alimentación (baterías y panel fotovoltaico), así como parte de la electrónica necesaria de amplificación de la señal necesaria para el registro de la salida de los sensores.

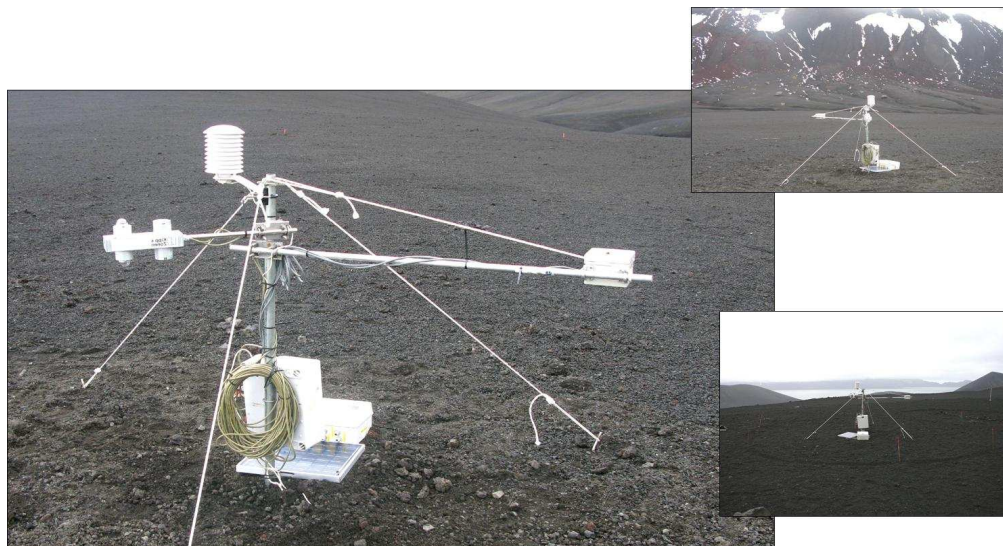


Figura 1.- Emplazamiento de la experiencia REMS y dos panorámicas de la localización experimental (Campaña 2008-2009, isla Decepción, zona de "Crater Lake")

Las placas en contacto con la superficie del suelo toman medidas de temperatura directas del mismo. No es éste el caso del sensor GTS y el radiómetro meteorológico CNR1, puesto que ambos miden la radiación infrarroja procedente del suelo. Se han empleado dos técnicas fundamentales de procesado de datos, con objeto de estimar la temperatura de la superficie del suelo a partir de la medida de dicha radiación infrarroja. La primera de ellas, consiste en un algoritmo de pirometría de color. Se trata de un modelo que pretende asegurar la autosuficiencia del sensor GTS en Marte, mediante la introducción de las variables conocidas y la asunción de otras de las que no se tendrán datos (Sebastián et, al. enviado). Paralelamente a este modelo de pirometría de color se ha utilizado el pirgeómetro del radiómetro meteorológico, CNR1, que mide en un rango del espectro muy amplio (5-50 μm), para calcular con una buena aproximación la temperatura del suelo, utilizando la Ley de Stefan Boltzmann, integral de la energía emitida en todo el rango del espectro electromagnético.

$$E = \epsilon \cdot \sigma \cdot T_e^4 \quad (1)$$

donde, T_e , es la temperatura efectiva, es decir, la temperatura absoluta de la superficie, ϵ es la emisividad, que se supone igual a 1 (cuerpo negro), y σ es la constante de Stefan Boltzmann ($\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$).

Como el período de realización de ensayos se lleva a cabo durante dos campañas antárticas consecutivas, cada una de ellas posee unas características propias, que aparecen detalladas, a modo de resumen, en la tabla 1.

Fecha/H ora Inicio	Fecha/H ora Fin	Evento	Radiación Solar Directa (RSD) (MJ/m ²)	Radiación Solar Reflejada (FSR) (MJ/m ²)	IR up (MJ/m ²)	IR down (MJ/m ²)	T media aire °C	Error			Dispersión				
								T placas - Test - GTS °C	T placas - T suelo - CNR1 °C	Test GTS - Test - CNR1 °C	Test GTS - T suelo - CNR1 °C	T placas - Test - GTS °C	T placas - T suelo - CNR1 °C	Test GTS - Test - CNR1 °C	
22-1-09 16:00	23-1-09 0:25	Día	1,9	0,2	10,0	9,8	0,5	2,2	0,5	0,2	2,0	0,7	0,4	0,1	0,3
23-1-09 0:30	23-1-09 6:50	Noche	0	0	7,4	6,9	1,3	2,3	0,8	0,3	1,6	0,4	0,3	0,2	0,3
23-1-09 6:55	24-1-09 0:15	Día	14,3	1,3	21,4	19,1	1,8	2,4	1,0	0,5	1,8	1,1	0,8	0,5	0,7
24-1-09 0:20	24-1-09 6:50	Noche	0	0	7,6	7,0	0,7	2,1	0,5	0,3	1,6	0,6	0,4	0,2	0,3
24-1-09 6:55	24-1-09 23:45	Día	4,8	0,05	20,0	19,7	1,7	2,9	0,7	0,3	2,2	0,3	0,3	0,3	0,3
24-1-09 23:50	25-1-09 6:10	Noche	0	0	7,5	7,3	1,6	2,7	0,8	0,1	1,8	0,3	0,2	0,2	0,2
25-1-09 6:15	25-1-09 22:55	Día	9,2	0,2	20,7	19,1	2,5	2,7	0,7	0,3	2,3	1,1	0,5	0,3	0,5
25-1-09 23:00	26-1-09 6:35	Noche	0	0	9,0	8,8	1,7	2,3	0,4	0,1	2,0	0,5	0,2	0,3	0,3
26-1-09 6:40	26-1-09 22:30	Día	8,2	0,2	19,5	18,7	2,6	2,7	0,7	0,3	2,1	0,9	0,5	0,4	0,5
26-1-09 22:35	27-1-09 5:00	Noche	0	0	7,6	7,4	1,8	2,5	0,6	0,1	1,9	0,4	0,2	0,2	0,2
27-1-09 5:05	27-1-09 21:20	Día	5,6	0,1	19,9	19,1	2,4	2,8	0,6	0,2	2,2	0,5	0,4	0,2	0,3
27-1-09 21:25	28-1-09 5:00	Noche	0	0	9,1	8,9	2,1	2,8	0,7	0,2	2,1	0,2	0,1	0,2	0,2
28-1-09 5:05	28-1-09 21:25	Día	8,5	0,3	19,7	18,9	1,5	2,7	0,6	0,6	2,6	0,9	0,5	0,5	0,6
28-1-09 21:30	29-1-09 5:15	Noche	0	0	9,1	9,0	1,0	2,8	0,6	0,3	2,3	0,3	0,2	0,2	0,2
29-1-09 5:20	29-1-09 20:30	Día	12,1	0,4	19,2	18,2	3,4	2,9	1,0	0,6	2,6	1,0	0,6	0,4	0,5
29-1-09 20:35	30-1-09 4:30	Noche	0	0	9,5	9,5	2,4	2,8	0,5	0,3	2,3	0,2	0,2	0,1	0,1
30-1-09 4:35	30-1-09 20:45	Día	10,2	0,3	19,6	18,3	1,5	2,7	0,6	0,4	2,4	1,0	0,6	0,2	0,4
30-1-09 20:50	31-1-09 3:45	Noche	0	0	8,1	7,8	0,8	2,8	0,6	0,3	2,2	0,3	0,2	0,1	0,1
31-1-09 3:50	31-1-09 11:55	Día	4,8	0,1	9,8	9,2	1,3	3,3	1,0	0,3	2,3	0,8	0,4	0,3	0,4
Promedios totales								2,7	0,7	0,3	2,2	0,8	0,5	0,4	0,5

Tabla 1.- Tabla resumen: Comparativa entre campañas.

La campaña 2008-09 se caracterizó por presentar una serie de mejoras instrumentales, establecidas a partir de los resultados extraídos de la campaña anterior. Entre las modificaciones más importantes, destacan: a) el traslado de la electrónica de amplificación, que en la primera campaña se ubicaba en el soporte del sensor GTS, a la caja del sistema de adquisición de datos (SAD), evitando así posibles perturbaciones inducidas por la emisión de calor de dicha electrónica, sobre la medida de las termopilas, las cuales necesitan una estabilidad térmica muy elevada para operar correctamente, b) el sensor GTS, a su vez, ha sufrido dos cambios fundamentales, se ha pasado de tres termopilas a dos (descartando así la termopila en la banda de absorción del CO₂ por problemas de ruido en La Tierra), y se ha aproximado más al modelo que irá a bordo en la misión MSL, incorporando una placa de calibración (Sebastián et al., enviado). Por último, también se ha reemplazado el SAD Squirrel serie SQ1250 de la primera campaña, por otro con mayor capacidad y posibilidades de configuración, serie SQ2040. Además de la mejora en tamaño de memoria y número de canales, el nuevo modelo permite la programación de salidas digitales. Con esto se consigue medir el "offset" introducido por el amplificador en la señal de salida del sensor GTS, para cada medida realizada por las termopilas, cuando en la campaña anterior sólo era posible estimar de forma aproximada un "offset" diario que se extrapolaba a todas las medidas realizadas durante ese día, cometiendo al final del día un error considerable.

A continuación, la tabla 2, especifica los rangos de medida para cada sensor así como las señales máximas esperadas y la resolución de los sistemas.

Canal	Rango	Señal máxima esperada	Resolución del sensor
GT-A	8-14 μm	± 20 °C	0,012 °C
GT-B	16-20 μm	± 20 °C	0,061 °C
CG3	5-50 μm	250 W/m ²	5 W/m ²
CM3	305-2800 nm	1000 W/m ²	5 W/m ²
Pt100	-	± 20 °C	0,015 °C

Tabla 2.- Señales esperadas y resolución para cada uno de los sensores de la experiencia REMS en la Antártida. Fuente: Esteban et al., 2009.

Análisis de resultados.

Durante la toma de datos, se han sucedido dificultades técnicas que, en líneas generales han correspondido a problemas electrónicos de distinta índole; alimentación, hardware de amplificador, cables y conectores, SAD, condiciones de campo, etc. Éstos han sido mucho más frecuentes durante la campaña 2007-08. Además, de forma generalizada, hubo mayor número de medidas espurias durante dicha campaña. Por ello, se puede concluir la mejora en el registro de datos durante la campaña 2008-09, con menos problemas técnicos y medidas más continuas y fiables gracias a la nueva configuración mejorada de la experiencia (Esteban, 2009).

En cuanto al análisis de resultados propiamente dicho, en general, cabe destacar la diferencia en la precisión del sensor GTS entre las noches y los días. Durante la campaña 2007-08, no se apreciaban estas diferencias de forma significativa, ya que el "offset" del amplificador del sensor GTS era mayor durante las noches. Sin embargo, una vez salvado este problema, durante la campaña 2008-09, se aprecia una menor dispersión de las medidas junto con un menor error en la estimación de la temperatura del suelo por medio del sensor GTS durante la noche, cuando existe mayor estabilidad térmica que permite un régimen isoterma en la carcasa de las termopilas. Este hecho se aprecia en la tabla 3, donde se muestran diferentes variables registradas durante el periodo del 22/01/09 al 31/01/09, en isla Decepción. Por un lado, se muestran los valores totales calculados para los episodios de días y noches de; radiación solar incidente y reflejada, así como radiación infrarroja emitida por el suelo, radiación infrarroja procedente del cielo y temperatura media del aire. La tabla 3 se completa con los

llamados “errores”, que corresponden a la media, para cada episodio, de la diferencia registrada entre los sensores señalados para cada columna. Además, en último término, también se muestra la dispersión de datos registrada entre parejas de sensores, de nuevo a modo de media para cada episodio. Así, en la tabla 3, aparecen resaltados en amarillo los cuatro episodios de mayor radiación solar incidente total, que se corresponden con máximos de dispersión de datos (recuadros en rojo), y algunos de ellos también con elevadas desviaciones en el registro de temperatura entre sensores (errores medios). Por el contrario, los recuadros en azul, que corresponden a errores mínimos y dispersiones bajas de los datos, aparecen registrados en los episodios de noche, cuando no existe radiación solar directa sobre la carcasa y ésta muestra una mayor estabilidad térmica.

	Campaña Antártica 2007-2008		Campaña Antártica 2008-2009
Localización de experiencia	Nuevo Incinerador, junto a la BAE JC I (isla Livingston)	Junto a la BAE GC (isla Decepción)	Crater Lake (isla Decepción)
Período y frecuencia de muestreo	Del 27/01 al 8/02 (2008) Medidas cada 5 minutos	Del 16/02 al 23/02 (2008) Medidas cada 5 minutos	Del 22/01 al 31/01 (2009) Medidas cada 5 minutos
Instrumentación y funcionamiento de sensores	Instrumentación en el entorno: Sondeos, sensores de T aire, nivómetros y estación meteorológica	Estación meteorológica junto a la BAE GC	Instrumentación en el entorno: Numerosos sondeos, cámaras fotográficas, sensores de T aire, nivómetros y estación meteorológica
	No existe modelo de calibración en vuelo		Existe modelo de calibración en vuelo
	Estimación diaria del offset del amplificador (aproximación grosera)		Medida de offset para cada dato registrado (aproximación certera)
	3 termopilas en las bandas: 8-14 μ m, 14,5-15,5 μ m (banda de absorción del CO ₂) y 16-20 μ m		2 termopilas en las bandas: 8-14 μ m y 16-20 μ m (banda de absorción del CO ₂ descartada)
	Problemas de funcionamiento de las resistencias internas de las termopilas		Funcionamiento adecuado de las resistencias internas de las termopilas
	Sólo la termopila 8-14 funcionó adecuadamente	Funcionamiento adecuado de termopilas	Sólo la termopila 8-14 funcionó adecuadamente
	Errores en la electrónica de una de las placas		Funcionamiento adecuado de las placas
	Registro de datos de radiación UV		Registro de datos de radiación UV descartado
	No existe canal para el Piranómetro down: No se registra radiación visible reflejada por el suelo		Existe canal para el Piranómetro down: Se registra radiación visible reflejada por el suelo (Albedo, Radiación Neta Total, etc.)
	SAD Squirrel 1250		SAD Squirrel 2040 / 4F16
	Electrónica dentro del instrumento REMS		Electrónica en la caja del SAD Squirrel

Tabla 3.- Tabla-resumen de datos. Campaña 2008-09, del 22/01/09 al 31/01/09, isla Decepción.

Entre las variables meteorológicas que más influencia tienen en la medida de la temperatura de la superficie del suelo realizada por el sensor GTS, como se ha visto en la tabla 3, se encuentra la radiación solar incidente. Durante las horas de sol, se ha observado cómo la radiación de onda corta, al incidir sobre el soporte que aloja al sensor GTS, provoca el calentamiento de la carcasa del mismo, desestabilizando la medida, debido a que la determinación de la temperatura de la superficie del suelo mediante las termopilas del sensor GTS está basada en la diferencia de temperatura existente entre el disco de absorción de la radiación (bolómetro) y la estructura exterior de la misma. Durante la campaña 2008-09, se observa cómo precisamente en los días de mayor radiación solar incidente, se registran las dispersiones más elevadas en las medidas que arroja el sensor GTS. En la Figura 2 se representan dos variables: (1) radiación solar incidente y (2) diferencia entre la temperatura media de las dos placas en contacto directo con la superficie del suelo y la medida de la temperatura de la superficie determinada indirectamente a partir de la radiación infrarroja emitida por el mismo y captada por las termopilas que componen el sistema GTS que, utilizando el método de pirometría de color, arrojan la medida indirecta de la temperatura de la superficie del suelo (Sebastián et. al, enviado). En el eje de ordenadas se muestran los días en los que se realizó la experiencia en la zona "Cráter Lake", en isla Decepción, durante la campaña antártica 2008-09. Las flechas naranjas, que aparecen en la Figura 2, señalan los momentos de mayor radiación solar incidente que se corresponden con altas dispersiones en las medidas. Por su parte, las flechas verdes resaltan tres días en los que la radiación solar incidente fue considerablemente menor, observándose elevadas desviaciones en la estimación de la temperatura por parte del sensor GTS respecto del sistema isotérmico de placas de contacto.

Un efecto similar se produce cuando se comparan las temperaturas de la superficie del suelo medidas directamente por las dos placas y las obtenidas por el radiómetro meteorológico CNR1, utilizando la ecuación de Stefan Boltzmann para estimación de la temperatura de la superficie del suelo. Aunque, en este caso, el error es menor que el obtenido para el sensor GTS (Figura 2), probablemente debido a la mayor inercia térmica del sensor CNR1 respecto del GTS. El sensor GTS, al ir a bordo de la futura misión MSL, debe cumplir ciertas especificaciones de ligereza y tamaño, así como de composición de materiales. Por ello, es menos estable térmicamente y su carcasa se ve más influenciada por las condiciones atmosféricas del entorno.

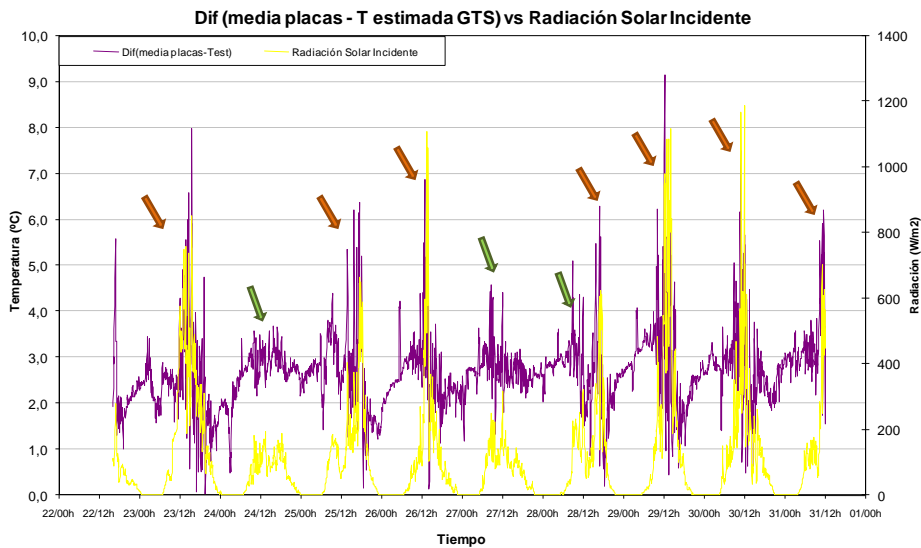


Figura 2.- Magnitud del error cometido por la estimación del GTS (en morado) frente a la radiación solar incidente (en amarillo). Campaña 2008-09, del 22/01/09 al 31/01/09, isla Decepción.

Por otro lado, en la tabla 3 para la campaña 2008-09, se mostraban los promedios totales de las diferencias en la estimación de la temperatura del suelo registradas entre sensores. Estos promedios, aumentan de 0,3°C a 2,2°C para el caso de la comparativa entre el sensor GTS y el sensor CNR1, cuando tan sólo varía la técnica de procesado de datos utilizada, pirometría de color o ecuación de Stefan (1). Por ello, y como se puede apreciar en la Figura 3, la discusión más concluyente sobre estos errores de escala parece corresponder a las técnicas utilizadas para la estimación de la temperatura del suelo, puesto que su aplicación modifica los valores obtenidos incluso utilizando la medida de un mismo sensor.

Por tanto, se puede afirmar que, tanto el algoritmo de pirometría de color como la aplicación de la Ley de Stefan Boltzmann (1) a la medida del radiómetro meteorológico CNR1, estarían introduciendo desviaciones en la estimación final de la temperatura del suelo. En la Figura 3 se observa que para la campaña 2008-2009 existe una diferencia en la estimación de la temperatura a partir de ambas técnicas de entorno a 2°C. Este error, que es de carácter sistemático, advierte de la necesidad futura de mejorar el control de las variables significativas que participan en la aplicación de dichas técnicas.

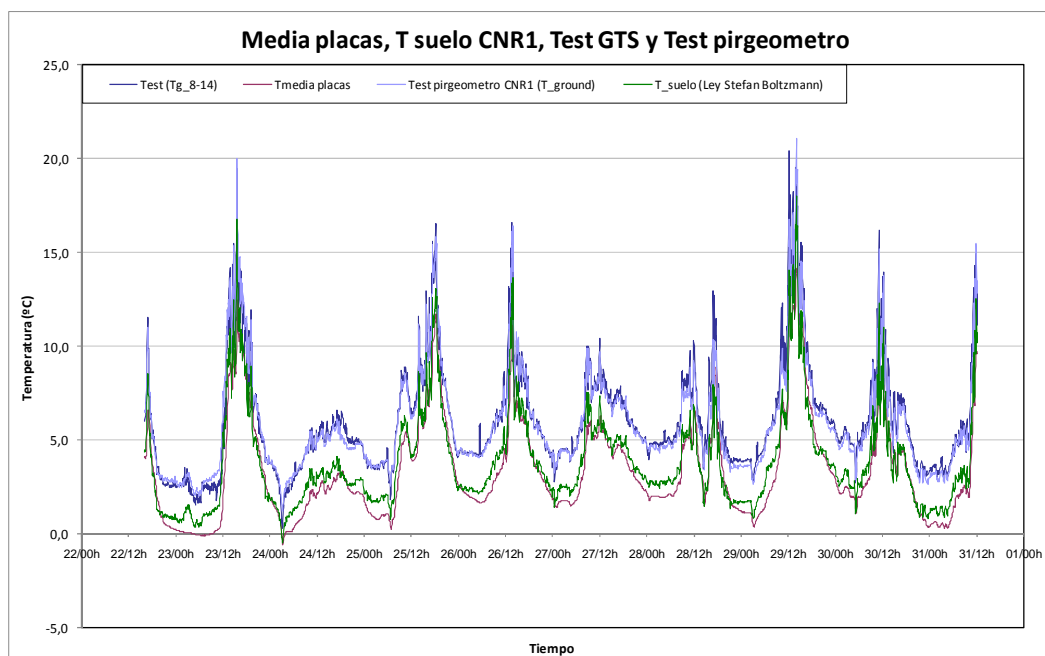


Figura 3.- Evolución de la temperatura del suelo estimada por el GTS (Algoritmo, en azul oscuro) frente a temperatura media de las placas de contacto (en granate), temperatura del suelo estimada por el CNR1 (Algoritmo, en azul claro) y temperatura calculada a partir del CNR1 (Ley de Stefan Boltzmann, en verde). Campaña 2008-09, del 22/01/09 al 31/01/09, isla Decepción.

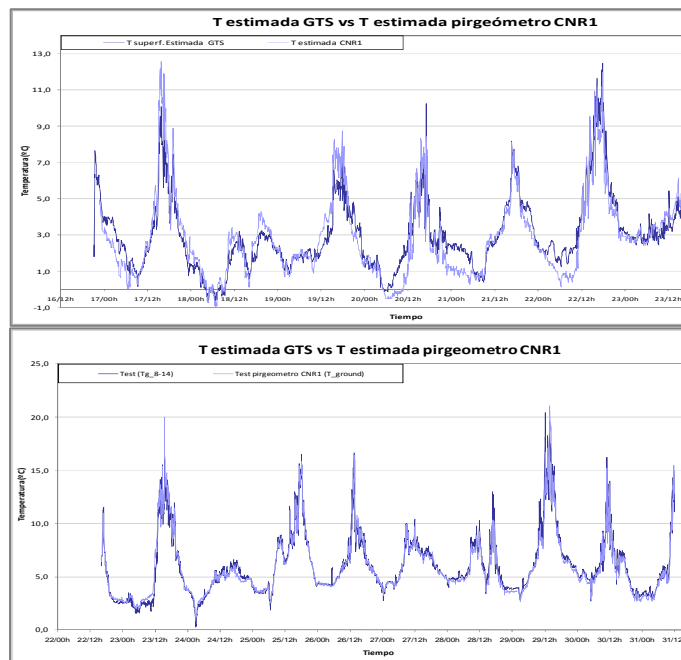


Figura 4.- Evolución de la temperatura del suelo estimada por el GTS (Algoritmo, en azul oscuro) frente a la temperatura del suelo estimada por el CNR1 (Algoritmo, en azul claro). Campaña 07-08, del 16/02/08 al 23/02/08, isla Decepción (arriba) y Campaña 08-09, del 22/01/09 al 31/01/09, isla Decepción (abajo).

Por último, durante la campaña 2008-09, de forma generalizada, se registraron errores medios más bajos que para la campaña anterior 2007-08. El ejemplo más significativo, que no está influenciado por técnicas de procesamiento de datos, es la mejora experimentada en la estimación de la temperatura del sensor GTS respecto del CNR1 (ver Figura 4). Así, se puede afirmar que el sensor GTS, diseñado para la misión MSL, es capaz de estimar la temperatura del suelo con un error aproximado de $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ respecto a un estándar meteorológico, como es el sensor CNR1, utilizando técnicas pirométricas.

Conclusiones

Algunas de las conclusiones fundamentales del estudio realizado son:

- Se ha probado el sensor GTS, a través de un modelo simplificado, desarrollando y mejorando sistemas muy próximos al modelo de vuelo en los que se ha logrado optimizar la electrónica.
- Los resultados del estudio han puesto de manifiesto la importancia de realizar ensayos previos en zonas terrestres con condiciones meteorológicas rigurosas y análogas a las que la misión planetaria encontrará en Marte.
- Se debe prolongar la investigación iniciada, con objeto de alcanzar metas más ambiciosas desde el punto de vista de la precisión y del control de variables significativas. Para ello, sería interesante desarrollar experimentación previa de la estabilidad térmica de la carcasa de vuelo completa, con la cual el sensor GTS viajará a bordo de la estación REMS, en la misión MSL.
- En cualquier caso, proteger la carcasa del GTS, cuya inercia térmica es baja, frente a la radiación solar incidente, aumentaría su estabilidad térmica y mejoraría la medida de las termopilas.

- Se propone, como continuación de este trabajo, la modelización, a partir del registro de la temperatura superficial en las experiencias antárticas, de la señal térmica que penetra en la capa activa del permafrost. Este modelo permitirá tener un conocimiento indirecto del comportamiento térmico de la capa activa y del estado térmico del permafrost, que puede ser utilizado en la futura misión REMS a Marte.

Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración de los miembros de los equipos de logística de las bases antárticas españolas por el apoyo ofrecido en las tareas de campo. Así mismo se agradece al proyecto REMS las facilidades aportadas en este trabajo. La realización de los trabajos de campo ha sido posible gracias al proyecto de investigación POL-2006/01918, financiado por la CICYT. Los autores finalmente, agradecen el apoyo dado por la Universidad de Alcalá, así como la ayuda en la financiación del congreso a través de los proyectos con referencia CGL2008-00826-E/BTE y de la Universidad de Alcalá AUH ORG2009004

Referencias

- Barlow, N. 2008. Mars, An introduction to its Interior, Surface and Atmosphere. *Cambridge University Press* (Nueva York) ISBN: 978-0-521-85226-5.
- Carr, M.H. 2006. The Surface of Mars. *Cambridge University Press* (Nueva York) ISBN: 978-0-521-47201-0.
- Esteban, B., Ramos, M., Sebastián, E., Armiens, C., Gómez-Elvira, J., Cabos, W. and De Pablo, M. A. 2009. The Antarctic permafrost as a testbed for REMS (Rover Environmental Monitoring Station-Mars Science Laboratory). *Geophysical Research Abstracts*, 11, EGU2009-562.
- Esteban, B. 2009. Análisis de los resultados de la experiencia REMS en la Antártida: Campañas 2007-2008 y 2008-2009. Proyecto final de carrera. Universidad de Alcalá (Madrid).
- Gomez-Elvira, J., Castañer, L., Lepinette, A., Moreno, J., Polko, J., Sebastián, E., Torres, J., Zorzano, M.P., REMS team, 2009. REMS, an instrument for Mars Science laboratory Rover, *Lunar and Planetary Science Conference, 40th*.
- NASA, 2006a <<http://mars.jpl.nasa.gov/msl/mission.html>>.
- NASA, 2006b <http://marsoweb.nas.nasa.gov/landingsites/msl/memoranda/MSL_overview_LS.pdf>.
- Ramos, M., Gómez-Elvira, J., Sebastián, E., Martín, J., Armiens, C., Blanco, J.J., Pablo, M.A. de, Tomé, D., 2008a. Antarctic experience on a permafrost region to test REMS (Rover Environmental Monitoring Station-Mars Science laboratory) sensors. *Geophysical Research Abstracts*, 10, EGU2008-A-01434.
- Ramos M, Vieira G, Gruber S, Blanco JJ, Hauck C, Hidalgo MA, Tome D, Neves M, Trindade A. 2008b. Permafrost and active layer monitoring in the Maritime Antarctic: Preliminary results from CALM sites on Livingston and Deception Islands. *U.S. Geological Survey and The National Academies*; USGS OF-2007-1047, Short Research Paper 070. DOI:10.3133/of2007-1047srp070.
- Ramos M, Vieira G, Blanco JJ, Gruber S, Hauck C, Hidalgo MA, Tome´ D. 2008c. Thermal active layer monitoring in two different sites on Livingston Island during the last seven years: a comparative study. *In Proceedings of the Ninth International Conference on Permafrost, Fairbanks, Alaska. Institute of Northern Engineering, University of Alaska Fairbanks: Alaska*;1463-1467.
- Sebastián, E, Armiens, C., Gómez-Elvira, J., Zorzano, M.P., Martínez-Frías, J., Esteban, B., Ramos, M. 2009. The Ground Temperature Sensor of the Rover Environmental Monitoring Station: A pyrometer for Mars ground temperature measurement. *Planetary and Space Science*, (Enviado).