

VERIFICACIÓN TÉRMICA DE LA CAJA ELECTRÓNICA DE UN MICROSATÉLITE

Gustavo J. Torresán^{*}, Diego Peñaloza⁺; Eduardo N. Zapico^{*+}

^{*} Centro de Investigaciones Aplicadas
Instituto Universitario Aeronáutico
Av. Fuerza Aérea km 6.5, 5023 Córdoba, Argentina

⁺ Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales
Universidad Nacional de Córdoba
Av. Vélez Sarsfield 1601, 5000 Córdoba, Argentina
e-mail: ezapico@com.uncor.edu

Palabras Clave: Microsatélite, Control Térmico, Análisis Térmico

Resumen: *Durante la fase de Definición del Concepto del proyecto μ Sat-2 se hizo patente la necesidad de encarar el rediseño de la caja contenedora de la Computadora de A Bordo, con el fin de reducir su volumen y peso, a la vez que mejorar sus cualidades de Control Térmico. Con el objetivo de realizar la calificación de esta nueva configuración se realizó una verificación térmica de su performance, utilizando para este fin el Método de Elementos Finitos. Dada la complejidad de la configuración decidida se consideró que un cálculo teórico no resultaría representativo de la realidad, por lo que se decidió complementar este análisis con un plan de ensayos térmicos sobre el Modelo de Ingeniería de la Caja Electrónica del μ Sat-1, la cual estaba disponible y resultaba adecuada para ello. El MI de la Caja Electrónica del μ Sat-1 fue instrumentado con termistores en distintos puntos, instalándole además resistencias de calentamiento. Las historias de temperatura obtenidas fueron empleadas para ajustar los parámetros del modelo teórico de EF. Los principales parámetros ajustados fueron la conductividad térmica de las plaquetas de circuitos impresos y la resistencia térmica en la interfaz entre las plaquetas y la caja en sí. Una vez ajustado este modelo, la nueva caja (correspondiente al μ Sat-2) fue modelada y su comportamiento térmico bajo cargas típicas de su vida en órbita verificado, lo que se considera válido dada la similitud de concepción entre ambas*

1. INTRODUCCIÓN

Debido al cambio del equipamiento de la computadora de a bordo (OBC) del μ Sat-2 respecto a su antecesor μ Sat-1 fue necesario el rediseño de su caja contenedora. De acuerdo a los criterios de calificación definidos en el proyecto se debía demostrar que este rediseño no degradaría el funcionamiento del Sistema de Control Térmico de la misma.

Para cumplimentar con este criterio se decidió realizar un estudio comparativo utilizando resultados de modelos de Elementos Finitos y de ensayos térmicos realizados sobre la caja electrónica del μ Sat-1, conjuntamente con una simulación numérica sobre la caja rediseñada.

Las principales metas de este trabajo pueden resumirse en:

- Caracterizar experimentalmente la caja electrónica del μ Sat-1, con el fin de obtener un detallado conocimiento de las propiedades y parámetros térmicos.
- Utilizar este conocimiento y experiencia para definir un modelo de Elementos Finitos adecuado para la caja rediseñada.
- Simular el comportamiento térmico de ambas cajas en condiciones típicas de diseño, comparando sus performances.

2. DESCRIPCIÓN DE LA CAJA ELECTRÓNICA

Como se muestra en la fig. 1, la caja electrónica del μ Sat-1 consiste básicamente en un contenedor de aleación de aluminio con once placas de circuitos montadas, además de una “motherboard” y de los cableados accesorios. Una subestructura, que contiene la Unidad de Acondicionamiento de Potencia, está adosada a uno de los laterales de la caja, actuando a la vez como pozo de calor de dicha unidad.

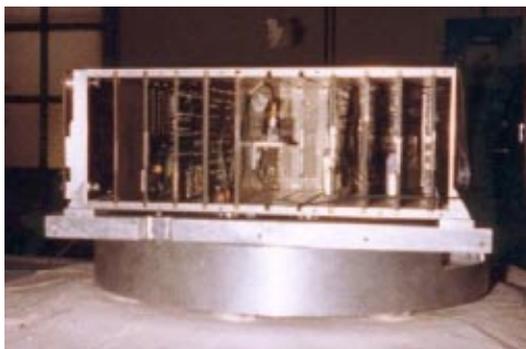


Fig. 1.- Caja Electrónica del μ Sat-1

La platina inferior se fija a la estructura del satélite a través de insertos, cuya definición puede variar de modo de ajustarse a los requerimientos de control térmico.

3. SISTEMA DE CONTROL TÉRMICO DE LA CAJA ELECTRÓNICA DEL μ Sat-2

La caja electrónica del μ Sat-2 está montada sobre una platina de “honeycomb”, soportada por ocho insertos de fibra de carbono-epoxi. La conducción térmica entre la caja y la platina se regula por medio de flejes de cobre. Para la integridad de los equipos electrónicos, se debe asegurar un rango de temperaturas entre -15°C y 45°C . Los componentes individuales montados en los circuitos impresos admiten un rango de trabajo desde -5°C hasta 65°C .

La transferencia de calor en la caja electrónica es realizada principalmente por conducción; la radiación entre las placas es muy baja debido a que poseen temperaturas muy próximas entre sí. También se desprecia la radiación entre la caja y el satélite, dado el uso de superficies de aluminio pulido y de protecciones térmicas multicapa.

Se adoptó un Sistema de Control Térmico pasivo; en éste las propiedades térmicas de los materiales y las formas de los distintos elementos son de importancia, pero el parámetro fundamental en el sistema es la magnitud de las resistencias térmicas de contacto en las interfaces de los distintos componentes, parámetro que es muy difícil de predecir. Por esto se decidió realizar una caracterización de estas propiedades a través de ensayos, para permitir la obtención de un adecuado modelo matemático.

4. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ENSAYO TÉRMICO

Los ensayos térmicos se realizaron con el fin de obtener curvas Temperatura-Tiempo para distintos nodos de la OBC; con estos datos se llevó a cabo una caracterización térmica de la misma.

El calentamiento de los nodos se hizo a través de calentadores eléctricos, siendo instalados termistores en los mismos nodos para controlar sus historias de calentamiento-enfriamiento; también fueron instrumentados distintos nodos, con el mismo tipo de termistores. Las historias Temperatura-Tiempo fueron utilizadas de la siguiente manera:

- Las historias obtenidas de los nodos calentados fueron usadas como historias nodales en el ingreso de datos en el programa de cálculo de Elementos finitos COSMOS/M.
- Las obtenidas en los otros nodos fueron utilizadas como comparación con la salida del programa COSMOS/M para realizar el ajuste de los parámetros y propiedades térmicas del modelo.

Los ensayos fueron llevados a cabo en una cámara de vacío (fig. 2), cubriendo los calentadores y sensores con aislación térmica multi-capa; cuando fue necesario esta aislación también se utilizó para aislar elementos particulares y la caja completa.

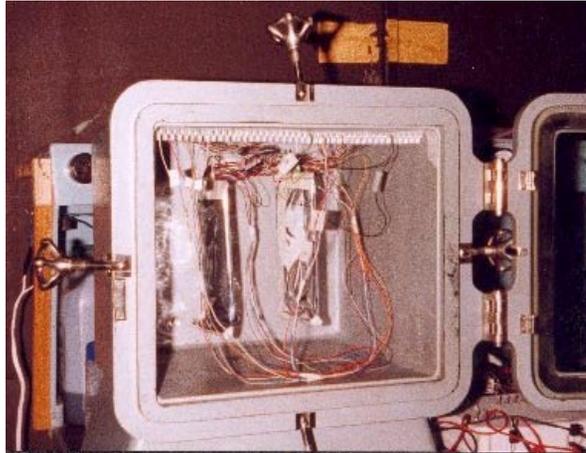


Fig. 2 – Cámara de Vacío

Previo a los ensayos térmicos fueron realizados ensayos de calibración de la cadena de medición y de verificación de los procedimientos.

5. MODELO TEÓRICO

Para la simulación de ambas cajas electrónicas fueron construídos modelos de Elementos Finitos simplificados, utilizando elementos de placa SHELL4T, barras conductoras unidimensionales, elementos sólidos de 8 nodos y elementos de radiación¹. Inicialmente las propiedades térmicas fueron tomadas de la literatura² y luego ajustadas a los resultados de los ensayos.

La fig. 3 muestra el modelo de EF usado para la simulación y el ajuste de parámetros, mientras que en la fig. 4 se esquematizan los principales parámetros que fueron ajustados.

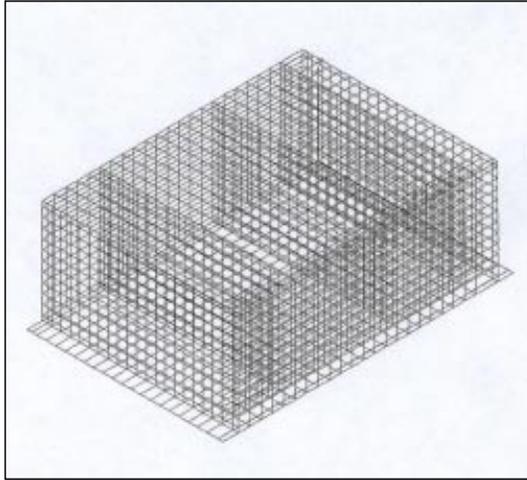


Fig. 3 – Modelo de EF de la Caja Electrónica

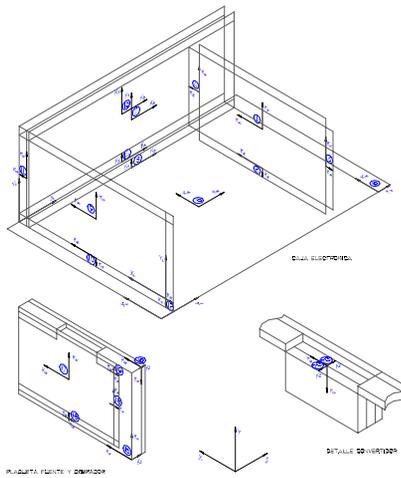


Fig. 4 – Principales Coeficientes ajustados en el Modelo de EF

6.1- Modelo De Elementos Finitos De La Caja Electrónica Del μ Sat-1

El modelo térmico se realizó de acuerdo a los conceptos explicados; las propiedades térmicas de las placas electrónicas fueron obtenidas ajustando los resultados de ensayos y las simulaciones, lo que es ilustrado en las figs. 5, 6 y 7.



Fig. 5 – Disposición de calefactores y sensores de temperaturas en la plaqueta de ensayos

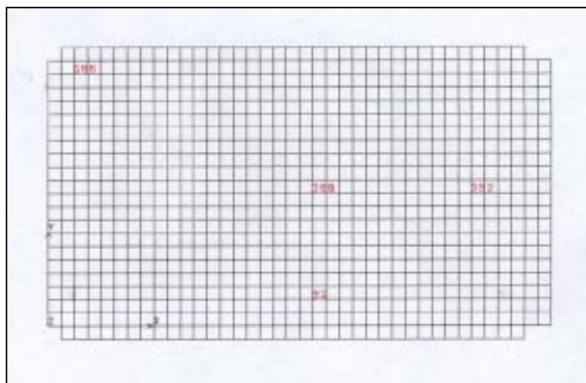


Fig. 6 – Modelo de EF de la plaqueta de fig. 5

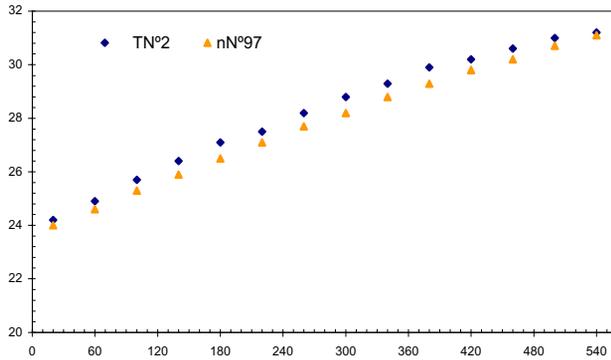


Fig. 7 – Comparación de curvas Tiempo-Temperatura (ensayos y modelo de EF)

Finalmente se construyó un modelo completo con las propiedades ajustadas según los resultados de ensayos. A modo de ilustración se muestra en las figuras 8 a 10 el ajuste de la resistencia térmica en la interfaz entre la placa electrónica y la estructura de la caja.

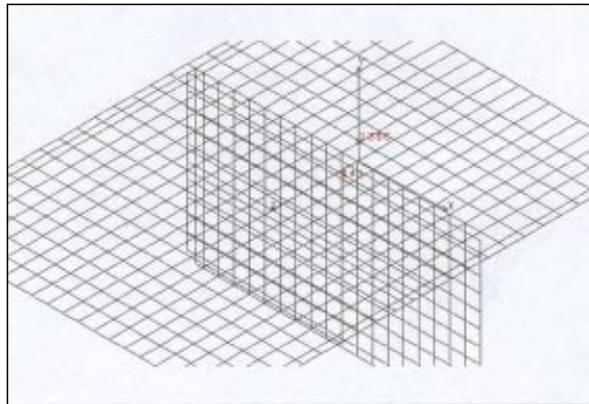


Fig. 8 – Modelo de EF de la interfaz placa electrónica-estructura

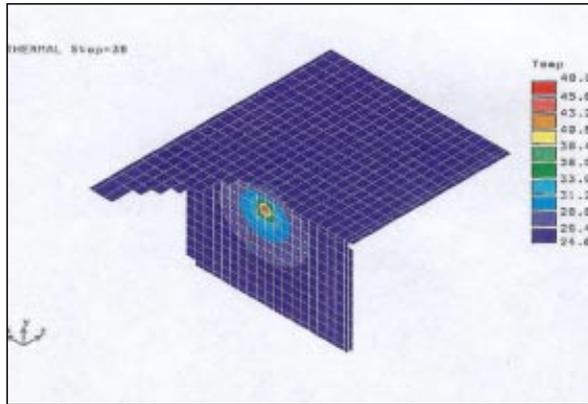


Fig. 9 – Distribución de temperaturas modelo anterior – inestacionario

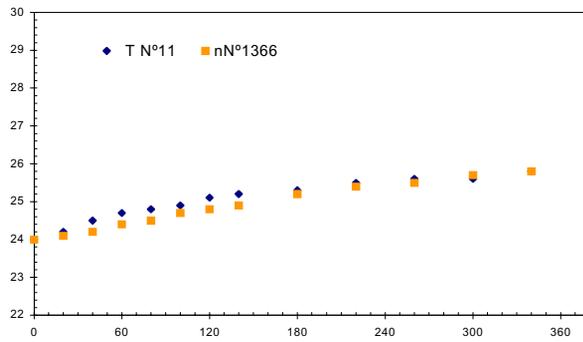


Fig. 10 – Ajuste de las curvas de ensayo y el modelo de EF

Una vez realizados estos ajustes para la caja electrónica del μ Sat-1 fue construido el modelo térmico de EF de la caja rediseñada para μ Sat-2, utilizando los parámetros térmicos ajustados.

6. SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL TÉRMICO

Con los modelos de ambas cajas electrónicas construídos, se realizaron las simulaciones numéricas considerando los siguientes casos:

- Platina Fría
- Platina Caliente
- Enfriamiento accidental

La primera condición consiste en una temperatura fija de 258K en los soportes estructurales de la caja electrónica, mientras que la de platina caliente fija una temperatura de 318K; en ambos casos la temperatura inicial para el cálculo transitorio es de 273K para los nodos de la caja, como asimismo que los equipos electrónicos estaban encendidos (esta es, disipando energía). Las figs. 11 y 12 muestran las respectivas distribuciones de temperatura.

La condición de enfriamiento accidental consiste en una temperatura fija de 258K en los soportes, manteniendo la temperatura inicial en los 273K y la electrónica desconectada; esta condición es usada para calificar las capacidades de disipación y aislamiento del Sistema de Control Térmico.

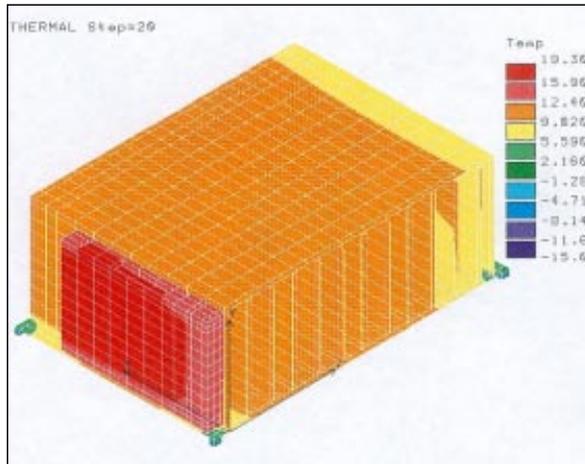


Fig. 11 – Distribución de temperaturas μ Sat-1. Condición de Platina Fría, tiempo 20 horas

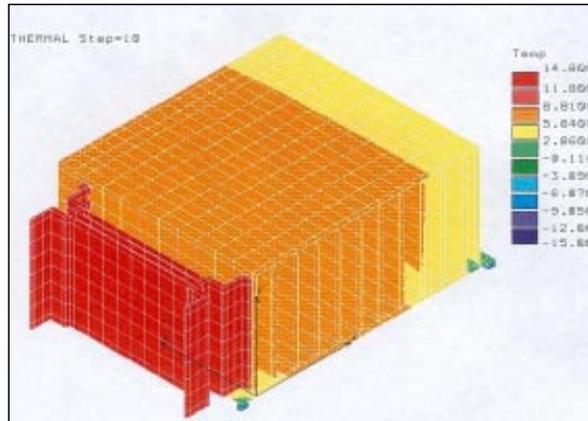


Fig. 12 – Distribución de temperaturas μ Sat-2. Condición de Platina Fría, tiempo 20 horas

7. COMPARACIÓN TÉRMICA DE AMBAS CAJAS ELECTRÓNICAS

De la comparación de las historias de temperatura de ambas cajas puede inferirse la similitud en su comportamiento térmico (figs. 13 y 14). Se observan pequeñas diferencias en la condición de platina fría, pero con un impacto despreciable en las condiciones térmicas de la electrónica. Estas diferencias se deben, principalmente, a la diferente configuración de la placa fuente y al menor tamaño y masa de la caja del μ Sat-2 respecto al μ Sat-1.

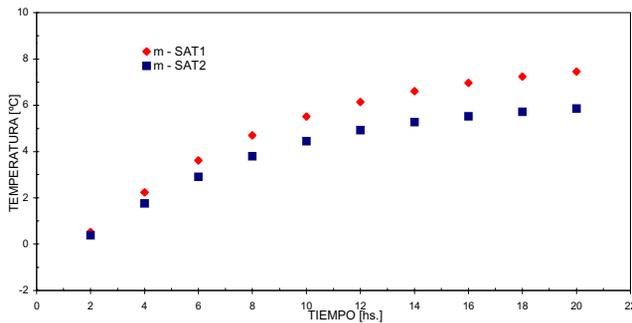


Fig. 13 – Comparación de la evolución de temperaturas entre las cajas electrónicas de μ Sat-1 y μ Sat2. Condición de platina Fría

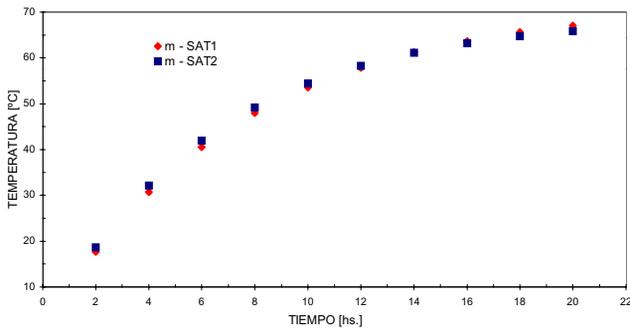


Fig. 14 – Comparación de la evolución de temperaturas entre las cajas electrónicas de μ Sat-1 y μ Sat2. Condición de platina Caliente

En cuanto la condición de enfriamiento accidental puede observarse en la fig. 15

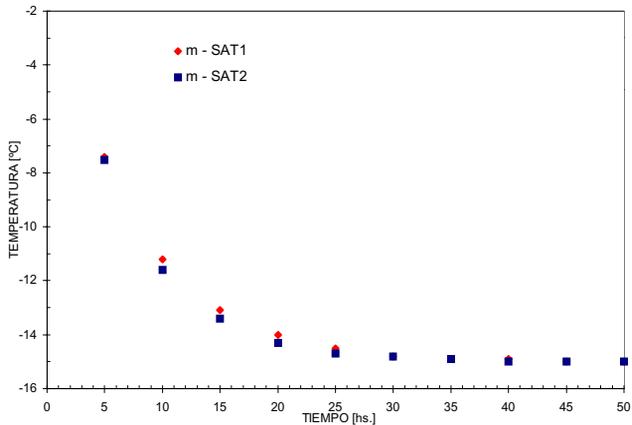


Fig. 15 – Comparación de la evolución de temperaturas entre las cajas electrónicas de μ Sat-1 y μ Sat2. Condición de Enfriamiento Accidental

8. CONCLUSIONES

- La performance de los Sistemas de Control Térmico de ambos satélites es similar, observándose sólo diferencias menores causadas por el rediseño y redistribución de los componentes electrónicos.
- Se construyó un modelo de EF simple y de gran flexibilidad para el ajuste de los parámetros térmicos; un modelo más complejo hubiera implicado un costoso y largo programa de ensayos para la identificación de parámetros.
- Aunque no explicitado en este estudio, se puede considerar la utilización de un Sistema de Control Térmico activo, a través del encendido/apagado de diferentes componentes electrónicos. La factibilidad de esta opción será evaluada en el futuro.

9. REFERENCIAS

- [1] COSMOS/M Manuals – Version 1.71, 1994
- [2] Satellite Thermal Control Handbook – Gilmore, David. The Aerospace Corporation, 1994