

# **ANÁLISIS TÉRMICO DE LOS SUBSISTEMAS ELECTRÓNICOS EN UN RECINTO DE CANSAT**

## *THERMAL ANALYSIS OF ELECTRONIC SUBSYSTEMS IN A CANSAT ENCLOSURE*

**Antonio Gómez Roa**

Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología ECITEC UABC  
*gomez\_roa@uabc.edu.mx*

**José Cruz Núñez Pérez**

Instituto Politécnico Nacional – CITEDI  
*nunez@citedi.mx*

**Andrés Calvillo Téllez**

Instituto Politécnico Nacional - CITEDI  
*calvillo@citedi.mx*

### **Resumen**

Se presenta la medición de temperatura de cinco regiones térmicas que influyen en la operación de los componentes electrónicos del picosatélite tipo lata (CanSat). En el análisis térmico de los subsistemas electrónicos se consideran los valores que reflejan las hojas técnicas de la resistencia térmica unión-encapsulado tanto de la computadora de abordo, como del sistema de adquisición de datos y el subsistema de comunicaciones, así como la temperatura del recinto y la temperatura externa al CanSat. Con la distribución física de los subsistemas, se logró mantener un equilibrio térmico confortable observando que en las lecturas no se rebasaron los márgenes de seguridad de los componentes electrónicos, por lo que ningún subsistema alcanzó esfuerzos térmicos, lo que permite prolongar su vida útil. Los resultados muestran que la fuente de calor, de los tres subsistemas genera aproximadamente 200 mW de calor. Las lecturas de prueba se levantaron en la Laguna Salada, que es una de las zonas más calurosas del país, en este lugar frecuentemente se alcanzan los 50 °C en verano y en invierno rara vez llega a 0 °C. El área de del recinto fue de 282.74 cm<sup>2</sup>, y la resistencia de radiación de la superficie de la lata se estimó en  $100 \text{ mW} / 282.74 \text{ cm}^2 = 0.3638 \text{ mW/cm}^2$ . Los componentes

electrónicos funcionaron dentro de la región segura de las temperaturas y no sobrepasaron el límite de los 115 °C.

**Palabras Claves:** Región térmica, Resistencia térmica, Temperatura de unión.

## **Abstract**

*The measurement of the temperature of five thermal regions that influence the operation of the electronic components of the can-type picosatellite (CanSat) is presented. In the thermal analysis of the electronic sub-systems the values that the technical sheets of the union-encapsulated mechanical resistance of the onboard computer, as well as the data acquisition system and the communication subsystem, as well as the temperature of the enclosure and the external temperature to CanSat. With the physical distribution of the subsystems, it was possible to maintain a comfortable thermal equilibrium, it was observed that the readings were not exceeded the safety margins of the electronic components, which allows their useful life to be extended. The results show that the heat source, of the three subsystems, generated 200 mW of heat. The test readings were raised in the Laguna Salada, which is one of the warmest areas of the country, in this place frequently reach 50 °C in summer and in winter rarely reaches 0 °C. The area of the enclosure was 282.74 cm<sup>2</sup>, and the radiation resistance of the can surface was estimated at 100 mW / 282.74 cm<sup>2</sup> = 0.3638 mW / cm<sup>2</sup>. The electronic components operated within the safe region of the temperatures and did not exceed the limit of 115 °C.*

**Keywords:** *Junction temperature, thermal region, thermal resistance.*

## **1. Introducción**

El análisis térmico se ha utilizado por diseñadores de sistemas electrónicos, donde una de las principales interrogantes a atender es cuál es el desempeño de los subsistemas del satélite operando en temperaturas extremas mostradas en la figura 1. Considerando que el circuito atmel 326 muestra que funciona adecuadamente dentro del rango de confort de -40 a 80 °C, siendo sus temperaturas extremas -50 a 125 °C. Siendo la localidad de la laguna salada en Mexicali B. C. donde las temperaturas alcanzan máximos de 0 y 50 °C [1]. Este experimento

permitirá Identificar el comportamiento de la disipación calor en los subsistemas electrónicos en un recinto sellado como el CanSat. Otro tópico que llama la atención es identificar las lecturas térmicas que permitan medir que tan severo puede ser el grado de afectación térmica en la vida útil de los dispositivos electrónicos, sobre todo cuando están expuestos a la acumulación de calor en el recinto. Es de especial interés el detectar el sobrecalentamiento en el recinto, considerando que esto puede acortar la expectativa de vida útil de los componentes más costosos, así como desencadenar una falla catastrófica inutilizando todo el sistema [2].

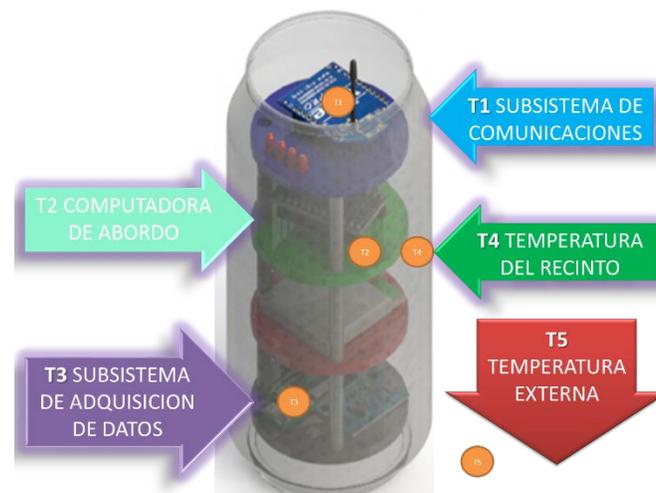


Figura 1 Las cinco regiones de temperatura.

El recinto de aluminio, es cerrado y sin ventilación, por lo que la transferencia de calor radiante es más eficiente. El área de la superficie del recinto y su tamaño físico son el factor principal que determina la capacidad para disipar el calor. Cuanto mayor sea el área de superficie del recinto, menor será el aumento de temperatura debido al calor generado dentro de él.

La fuente que genera calor dentro del recinto producirá el aumento de temperatura, por lo que es necesario conocer con precisión el calor generado dentro del recinto. Esta información se puede obtener del proveedor de los componentes montados en el gabinete [3].

Es muy importante observar el incremento de la temperatura del alojamiento ( $\Delta T$ ) y se debe considerar debido a que por cada aumento de 10 °C por encima de la

temperatura ambiente normal de 22 a 24 °C, la confiabilidad de los componentes electrónicos se reduce a la mitad [4].

El aumento de temperatura ilustrado por las curvas en el gráfico de elevación de la temperatura del recinto sellado es la diferencia de temperatura entre el aire dentro de un recinto no ventilado y no refrigerado y el aire ambiente fuera del recinto. Este valor es descrito dentro del gráfico como una función de la potencia de entrada en watts por cm<sup>2</sup>. Para predecir la temperatura dentro del gabinete, el aumento de temperatura indicado en el gráfico debe agregarse a la temperatura ambiente donde se encuentra el gabinete.

Para determinar el aumento de temperatura dentro de un gabinete sellado sin ventilación forzada se puede aproximar de la siguiente manera.

Primero se calcula el área de superficie del gabinete y, a partir de la carga de calor esperada, así como el área de superficie, se determina la potencia de entrada de calor en watts / cm<sup>2</sup>. Luego, el aumento de temperatura esperado se puede leer desde el gráfico que muestra la subida de la temperatura del gabinete sellado. Se localiza posteriormente la potencia de entrada que se cruza con la línea del material del recinto y se lee el aumento aproximado de temperatura esperado a la izquierda. El margen de seguridad en la gráfica proporciona una aproximación del aumento de temperatura. Se debe usar un margen de seguridad en aplicaciones críticas y se recomienda contemplar un margen de seguridad del 25% [4]. Cuando el gabinete está expuesto al aire libre, hay exposición al sol, la temperatura dentro del gabinete puede aumentar significativamente por encima de las estimaciones calculadas.

## **2. Métodos**

Para determinar la potencia máxima permitida por el recinto del CanSat, primeramente, se debe considerar a la fuente que genera calor y obtener la potencia total consumida los subsistemas electrónicos; posteriormente identificar cual será la máxima temperatura ambiente esperada (fuera del gabinete) y la temperatura máxima de funcionamiento nominal del sistema residente, dentro del recinto [5-10]. Posteriormente se debe estimar la potencia total esperada que consumirá el equipo que albergará el gabinete.

Comparar con la temperatura operativa máxima del equipo para asegurarse de que la temperatura calculada no exceda la temperatura nominal del dispositivo.

La resistencia térmica ilustrada en la figura 2, es un parámetro de prueba importante, especialmente para subsistemas de potencia, comúnmente se emplea para caracterizar el rendimiento térmico de los componentes electrónicos.

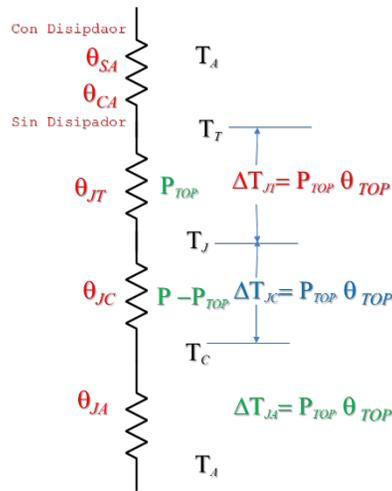


Figura 2 Disipación de temperatura del componente electrónico al ambiente.

La resistencia térmica indica el aumento de la temperatura constante de la unión del troquel por encima de una referencia dada por cada Watt de potencia. Se denota por la letra griega "theta" o  $\theta$ . Están definidos por ecuaciones 1 [11-17].

$$\theta_{JA} = \frac{(T_J - T_A)}{P}, \theta_{JC} = \frac{(T_J - T_C)}{P}, \theta_{JT} = \frac{(T_J - T_T)}{P} \quad (1)$$

Donde:

- $\theta_{JA}$  = Resistencia Térmica de la unión-a-ambiente °C/W
- $\theta_{JC}$  = Resistencia Térmica de la unión -a- encapsulado °C/W
- $\theta_{JT}$  = Resistencia Térmica de la unión -al-tope °C/W
- $T_J$  = Temperatura de unión del Chip °C
- $T_A$  = Temperatura Ambiente °C
- $T_C$  = Temperatura del encapsulado °C
- $T_T$  = Máxima temperatura del encapsulado en el centro °C
- $P$  = Disipación de Potencia W

En La medición de las cinco regiones de temperatura, se empleó un registrador (en inglés datalogger) de temperatura con Arduino (figura 3). Se insertaron dentro de la lata cuatro sensores de temperatura (LM35), y uno más, registro lecturas de la temperatura exterior al recinto cerrado. El registrador de temperatura se activa previo al funcionamiento del CanSat, con la finalidad de tener lecturas antes y después de estar activo el CanSat.

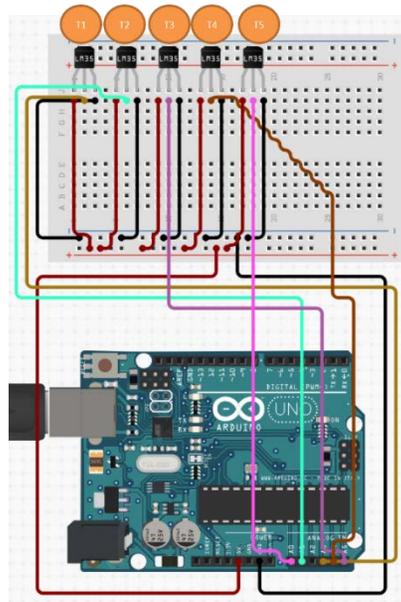


Figura 3 Registrador de temperatura con Arduino de cinco sensores LM35.

### 3. Resultados

Calcular el área del recinto, un cilindro de estructura tridimensional con una base circular. El cilindro se puede ver como un conjunto de discos circulares que se apilan entre sí, por lo tanto, se debe estimar el área de todas las caras del contenedor. La superficie total del cilindro es igual a la suma de las áreas de todas sus caras. La fórmula general para el cálculo del área de superficie de un cilindro, de radio base 'r' y altura 'h' cm. Esta ecuación incluye las seis superficies del gabinete. Si alguna superficie no está disponible para transferir calor, el área de esa superficie se debe restar.

La superficie curva de este cilindro, si se abre a lo largo del diámetro ( $d = 2r$ ) de la base circular, se puede transformar en un rectángulo de longitud ' $2\pi r$ ' y altura 'h'.

Así, área de superficie curvada de un cilindro de radio base 'r', y altura 'h' =  $2\pi \times r \times h$ . La superficie total de la base del cilindro de radio 'r', y altura 'h' =  $2\pi \times r \times h + \text{área de dos bases circulares} = 2\pi r h + 2\pi r^2 = 2\pi r (h + r)$ , ecuación 2.

$$h = 2\pi r h + 2 \text{ áreas circulares} = 2\pi r h + 2\pi r^2 = 2\pi r (h + r) \quad (2)$$

Área de superficie del cilindro de radio 3 cm y altura de 12 cm, Resultado: Área de superficie base =  $2\pi \times 3^2 = 56.548667764616 \text{ cm}^2$ , Área de superficie lateral =  $2\pi \times 3 \times 12 = 226.19467105847 \text{ cm}^2$ , Área de superficie total =  $282.74333882308 \text{ cm}^2$ , Este valor se describe en el gráfico como una función de la potencia de entrada en vatios por pie cuadrado. Para predecir la temperatura dentro del gabinete, el aumento de temperatura indicado en gráficos (figuras 4 y 5) debe agregarse a temperatura ambiente donde se encuentra el recinto.

$$100 \text{ mW} / 282.74333882308 \text{ cm}^2 = 0.3638 \text{ mW} / \text{cm}^2$$

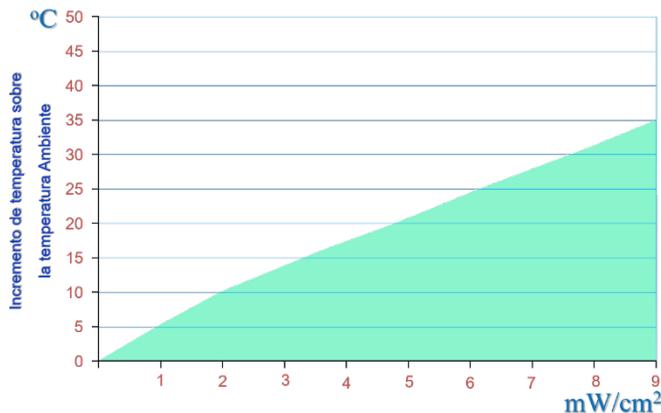


Figura 4 Incremento de temperatura sobre la temperatura Ambiente ( $^{\circ}\text{C}$ ).

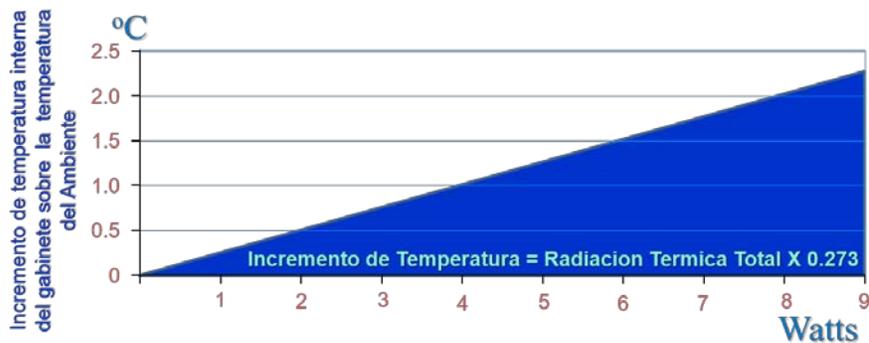


Figura 5 Gráfico de aumento de la temperatura interna del gabinete.

## **4. Discusión**

Los rangos de temperatura de operación no fueron exigidos en condiciones normales de funcionamiento, por lo que las pruebas siempre se manejaron dentro de un rango seguro. La contribución reside en que se deben presentar métricas que eviten inferir y llevar un histórico de temperaturas que permita garantizar la operatividad del diseño y focalizar el elemento que sufrir deterioro, desgaste y que entrara en una condición de falla.

## **5. Conclusiones**

Los valores de las hojas de datos muestran al máximo absoluto, donde una vez que se alcanza no hay retorno y lo siguiente es una falla generalizada. El fabricante no garantizará la operación fuera de esos límites y cualquier cosa puede suceder si opera el dispositivo fuera de ellos.

Probablemente el mayor problema con las bajas temperaturas es el hecho de que casi todas las químicas de la batería se caen por completo en el frío. También es probable que ocurran problemas similares con los condensadores electrolíticos, que probablemente solo operen de 0 a 85 °C.

Algunas condiciones pueden ser más agresivas que otras, si se está a la sombra, la temperatura del calor probablemente no importe demasiado, ya que está dentro de los límites de los componentes. Sin embargo, si el recinto no está sellado puede ser afectado por la condensación matutina.

## **6. Bibliografía y Referencias**

- [1] Hu, B., Song, G., & Ma, X. (2015). An Efficient Method to Estimate the Maximum Junction Temperature of IGBT Modules. *PCIM Asia*, 108-113.
- [2] Wang, T. Y., & Schmitt, M. (2007). Accurate Thermal Analysis of Chip/Package System. *EDA DesignLine magazine*.
- [3] Olarte, W., Botero, M., & Zabaleta, B. C. (2011). Aplicación de la termografía en el mantenimiento predictivo. *Scientia et technica*, 2(48), 253-256.
- [4] Howell, J. R., Menguc, M. P., & Siegel, R. (2010). *Thermal radiation heat transfer*. CRC press.

- [5] Rohan Chaudhary, Swati Sharma, Manish Kumar (2014). Thermal analysis of semiconductor systems, IJIRT | Volume 1 Issue 7 | ISSN: 2349-6002 IJIRT 101234 International journal of innovative research in technology 312.
- [6] Ting-Yuan Wang and Margaret Schmitt (March 15, 2007). Accurate Thermal Analysis of Chip/Package Systems, Apache Design Solutions. [https://www.eetimes.com/document.asp?doc\\_id=1276063](https://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1276063).
- [7] Freescale Semiconductor (2008). White Paper. Thermal Analysis of Semiconductor Systems.
- [8] Technical Information. Thermal Management Heat Dissipation in Electrical Enclosures: [http://www.hoffmanonline.com/stream\\_document.aspx?rRID=233.309&pRID=162533](http://www.hoffmanonline.com/stream_document.aspx?rRID=233.309&pRID=162533).
- [9] Bruce Guenin (November 1, 2002). Thermal Calculations for Multi-chip Modules. Calculation Corner, Design, Number 4, Semiconductor, Test & Measurement, Volume 8.
- [10] Zhang, M. T., Jovanovic, M. M., & Lee, F. C. (1997, February). Design and analysis of thermal management for high-power-density converters in sealed enclosures. In Applied Power Electronics Conference and Exposition, 1997. APEC'97 Conference Proceedings 1997. Twelfth Annual (Vol. 1, pp. 405-412). IEEE.
- [11] Ghaffarian, R. (2000). Accelerated thermal cycling and failure mechanisms for BGA and CSP assemblies. Journal of Electronic Packaging, 122(4), 335-340.
- [12] Y. Zhan, S. V. Kumar and S. Sapatnekar, (2008). Thermally Aware Design. Foundations and Trends R in Electronic Design Automation Vol. 2, No. 3 (2007) 255–370 DOI: 10.1561/15000000007.
- [13] Robert E. Simons, (May 1, 2004). Simple Formulas for Estimating Thermal Spreading Resistance Calculation Corner, Design, Number 2, Test & Measurement, Volume 10.
- [14] Zhan, Y., Kumar, S. V., & Sapatnekar, S. S. (2008). Thermally aware design. Foundations and Trends® in Electronic Design Automation, 2(3), 255-370.
- [15] Gerardo I. Palafox A. (2017). Diseño y manufactura de un disipador de calor para transistores de potencia igbt, Tesis Cd. de Huajuapán de León, Oax.

- [16] DISIPACIÓN. DE POTENCIA. Federico Miyara. Segunda Edición - Año 2006. B26.00. Universidad Nacional de Rosario. Facultad de Ciencias Exactas. <https://www.fceia.unr.edu.ar/enica3/disipa.pdf>.
- [17] Zhang, Y., Liang, L., Xia, Y., Liu, Y., Irving, S., & Luk, T. (2008, April). Thermal analysis automation system for semiconductor package. In Thermal, Mechanical and Multi-Physics Simulation and Experiments in Microelectronics and Micro-Systems, 2008. EuroSimE 2008. International Conference on (pp. 1-7). IEEE.
- [18] Alfonso Méndez (enero de 2016) Disipadores térmicos para dispositivos electrónicos. Laboratori d'Instrumentació i Bioenginyeria. Tècnic de Laboratori v 1.0.