

DESARROLLO DE PANELES SOLARES DE MICROSATÉLITE " VICTOR "

Gustavo Torresán, Roberto Juan Garay y Eugenio S. Galián

Instituto Universitario Aeronáutico - Centro de Investigaciones Aplicadas- Proyecto μ -SAT.

Ruta 20, km. 6,5 (5022) Córdoba - R. Argentina.

Tel. (54)(351) 465-9017, Fax (54)(351)433-3967

E-mail : victor@make.com.ar

RESUMEN : Los requerimientos de los microsátélites implica que algunos de sus subsistemas o partes deben ser obtenidas en el mercado, especialmente adaptados o desarrollados.

El diseño y desarrollo de los paneles solares del μ -sat se presentan en este trabajo. Primeramente se llevó a cabo estudios de consumo a fin de tener los requerimientos necesarios. Los cálculos de control térmico proveen información a cerca de la temperatura de servicio de las celdas solares. Las exigencias ambientales fueron compatibilizadas después de un intenso estudio de las normas y de la literatura de microsátélites disponibles. Las celdas solares fueron obtenidas en el mercado y un intenso programa de ensayos fueron llevados a cabo para simular fatiga térmica, daño por U.V. y degradación. Las propiedades ópticas fueron determinadas a fin de aportar datos para cálculos teóricos. También fueron ejecutados ensayos de desgarramiento entre celdas pegadas sobre sustrato de aluminio a fin de determinar terminación superficial y espesor de capas óptimas.

Otro prototipo fue construido para evaluar su comportamiento en ensayo acústico, vibraciones y ensayos ambientales.

Finalmente dos paneles de vuelo fueron construidos y ensayados para el satélite μ -SAT Víctor y continúa operando exitosamente desde su lanzamiento en agosto de 1996.

Estas actividades proveen al equipo técnico un buen conocimiento de la tecnología de paneles solares y la confianza de que estos componentes trabajarán adecuadamente en condiciones espaciales.



Fig. 1 μ -SAT 'VICTOR'.

INTRODUCCIÓN : Cuando el satélite argentino μ -sat fue concebido (fig. 1) la decisión de desarrollar en el país sus paneles solares fue tomada. La principal razón de esta decisión fue que su tecnología fue considerada muy importante y valiosa para futuros desarrollos.

Los principales ítems de este desarrollo están presentados en este trabajo.

REQUERIMIENTOS TECNOLÓGICOS GENERALES: Del estudio de la literatura obtenida y de acuerdo a los documentos preliminares [1] y [2] se pudieron establecer los siguientes requerimientos tecnológicos.

- A- Requerimientos de consumo : no menos que 16,5 V y 8W con 0° de incidencia y 30°C asimismo asegurar una mínima degradación después de un año en órbita.
- B- Requerimientos mecánicos y técnicos : el control térmico debe asegurar una temperatura de servicio comprendida entre +45°C y -20°C. La frecuencia de resonancia debe estar por encima de 50 Hz. y un factor de amplificación menor a 5 en la primera armónica.
- C- requerimientos tecnológicos :
 - a) Uso de celdas de calidad espacial con cristales protectores incorporados.
 - b) Pegado de las celdas a la estructura sostén con adhesivo de tipo goma silicona de calidad espacial.
 - c) Interfaces eléctrica entre celdas solares con soldaduras de estaño de calidad espacial.
 - d) Estructura de sostén o cofia de aluminio con buena continuidad térmica entre las caras a los fines de disminuir y homogeneizar las temperaturas de los paneles solares.
 - e) Estructura de sostén o cofia alivianada por medio de fresado químico.
 - f) Instalación de sensores de temperatura en cada panel solar para verificación de su comportamiento en el espacio, para datos utilizables en próximos desarrollos y/o diagnósticos de fallas.
 - g) Posibilidad de reparar "in situ" las celdas dañadas durante el manipuleo, transporte y/o montaje.
 - h) Uso de terminaciones superficiales de gran emisividad y baja absorptividad en zonas no ocupadas por celdas solares.
 - i) Fácil montaje y desmontaje de paneles.

DEFINICIÓN DE CONCEPTO : en base a los ya mencionados requerimientos, estudios y cálculos preliminares, y restricciones geométricas(350x350x400mm), su diseño fue definido. A los fines de su descripción lo dividimos en los siguientes ítems :

a) Arreglo de celdas solares : en base a celdas solares comerciales, datos del fabricante y ensayos propios, fue diseñado un esquema eléctrico que satisface los requerimientos. el mismo consiste de dos circuitos serie-paralelo con un total de 88 celdas por cara.(fig.3) Los conectores entre celdas y series deben ser ejecutadas con soldadura de estaño y tiras de cobre de alta calidad.

a) Estructura soporte o cofia: Se trata de una chapa de aleación de aluminio con cuatro caras rectangulares plegadas y soldadas. Presenta perforaciones para interfaces con estructura interna , muescas y agujeros roscados para instalación de conectores. Las caras están conformadas mediante un proceso de fresado químico y su terminación superficial adecuada a los procesos ulteriores. El espesor de la placa fue definido después de cálculos mecánicos y térmicos empleando método de cálculo de elementos finitos (fig.2).

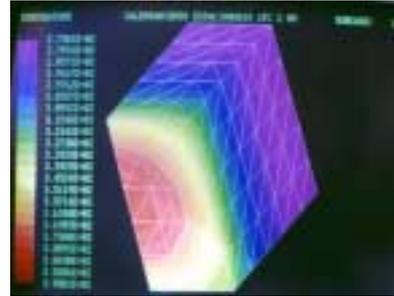


Fig.2 452-990 tipo

b) Interfaces eléctricas : Se trata de un conector comercial Micro Metal 9W RS miniatura, de 9 pines, con conexiones protegidas, y cables calidad espacial según NASA D-8008.

c) Sensor de temperatura : fue seleccionado un termistor YSI-44005 ubicado en el centro de cada cara.

d) Soporte elástico de celdas solares: una capa de goma de silicona fue ubicada sobre la estructura de acuerdo a un procedimiento desarrollado especialmente, y descrito en documento separado.

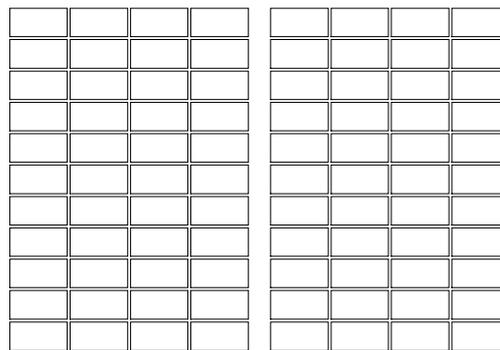


Fig.3 Arreglo de celdas

DESARROLLO DE MATERIALES Y PROCESOS : a los fines de elaborar un diseño detallado y definir los materiales y procesos asociados, un plan de ensayos fue llevado a cabo.

Los especímenes fueron construidos y evaluados de acuerdo a :

- Ensayos de puesta a punto de procesos tecnológicos.
- Especímenes para ensayo de aptitud en ambiente espacial (vacío, ciclado térmico y radiación).
- Especímenes y probetas para determinación cuantitativa y cualitativa de propiedades físico mecánicas.
- Especímenes y probetas comparativas para ayuda en la toma de decisiones.
- Especímenes y probetas con fallas para estudio de degradación en el ambiente espacial.

El ensayo más importante llevado a cabo fue el de ciclado térmico combinado con radiación U.V. sobre un panel experimental. 1200 ciclos entre +80°C y -45°C, y radiación U.V. equivalente a 9 veces la radiación solar. Se controló la potencia entregada bajo las mismas condiciones de iluminación y no se observó una degradación apreciable en el espécimen.

DISEÑO DETALLADO : Una vez obtenido un cierto grado de dominio de la tecnología básica, se completó el de diseño definitivo de los paneles del μ -SAT consistente en

- Diseño del circuito eléctrico.
- Diseño geométrico (planos).
- Documentación de fabricación (M. y P., y Aseguramiento de Calidad).

CONSTRUCCIÓN : la siguiente etapa consistió en la manufactura de un prototipo el cual fue usado para :

- pruebas tecnológicas
 - diseño y calificación de materiales y procesos.
- Para llevar a cabo estas actividades fue necesario :
- establecer estándares de calidad y procedimientos para evaluar componentes y materiales.
 - diseño, y construcción de dispositivos de Control de Calidad.
 - diseño , construcción de utilajes de fabricación.

Todas estas actividades fueron debidamente documentadas

Descripción de especímenes y probetas realizadas :

- Panel prototipo n°1 : Este prototipo consiste en una Estructura Externa con celdas solares en dos de sus caras. Se fabricó con el fin de evaluar el comportamiento ante cargas acústicas similares a las originadas en el momento del lanzamiento [3] .

b) Panel prototipo n°2 :Este prototipo consiste en una Estructura Externa con celdas solares en todas sus caras. Se fabricó con el fin de evaluar el comportamiento ante cargas vibratorias (similares a las producidas en el lanzamiento) y simulación de ambiente espacial.

c) Paneles solares de vuelo : finalmente , después de la calificación del prototipo N° 2, dos paneles fueron construidos, inspeccionados y calificados con ensayos de vibraciones y pruebas eléctricas.

ENSAYOS DE CALIFICACIÓN : Para asegurar el correcto funcionamiento en servicio de los paneles solares, un detallado plan de ensayos fue llevado a cabo :

Ensayos acústicos : Según las normas MIL-S-83576, ASAP (ARIANE 4) y recomendaciones del Instituto Lavochkin aplicables al lanzador Molnya, los niveles de ruido en la zona de instalación μ -SAT podían ser muy importantes produciendo la rotura de las celdas propiamente dichas, o sus vidrios protectores. De tal manera la integridad de las celdas debió ser ensayada. El ensayo acústico fue llevado a cabo en una cámara de reverberancia empleando parlantes y generadores comerciales (fig.4). El espectro de ruido usado alcanza los 140 db a 100 Hz. [4].

Se efectuó una cuidadosa inspección visual antes y después del ensayo, no detectándose daños.

Fig.4 Ensayo Acústico



Ensayo de vibraciones : A fin de evaluar el comportamiento ante cargas vibratorias en el momento del lanzamiento, se procedió a ejecutar una serie de ensayos a saber :

- Ensayo sinusoidal de resonancia en los tres ejes (1/2 octava/minuto, 1g.)
- Ensayo de vibraciones random.
- Ensayo de choque

El prototipo N° 2 fue usado para este propósito Ver fig 5.

Las excitaciones son indicadas en User's Manual ASAP Cap.5 "Environmental Conditions"[4].

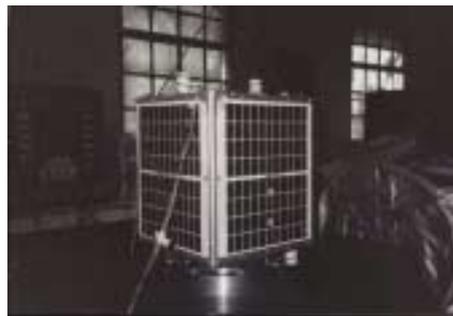


Fig.5 : Ensayo de vibraciones y choque

Ensayo de simulación de ambiente espacial : A los fines de evaluar el diseño de paneles solares en ambiente espacial, se ensayaron los paneles con el modelo de Ingeniería Calificación (MIC).

Se simularon estas condiciones en la cámara de alto vacío (10^{-5} torr.) con paredes refrigeradas con nitrógeno líquido (ver fig.6).

Las excitaciones térmicas se llevaron a cabo con un simulador solar de lámpara de xenón y un simulador de radiación infrarrojo terrestre.



Fig.6 :Ensayo de simulación ambiente espacial

Los resultados de este ensayo demostró la aptitud del diseño, la calidad de la construcción, y que el sistema de control térmico asegura la temperatura de servicio requerida, por cuanto no se observaron degradaciones físico mecánica ni de rendimiento eléctrico posteriores al ensayo.

Ensayos eléctricos : una exhaustiva evaluación eléctrica los paneles solares fue llevada a cabo posterior a los ensayos de vibraciones y acústicos, mostrando ninguna degradación en performance. Un simulador solar de xenón fue usado para este fin.

EXPERIENCIA EN VUELO : Desde su lanzamiento ocurrido el 29 de agosto de 1996 se viene controlando cuidadosamente su performance. Más de 270 datos de potencia, tensión y temperatura fueron registrados. Con ellos se hicieron dos tipos de cálculos estadísticos :

a) Cálculo de la desviación standard suponiendo una distribución gaussiana. Los resultados son presentados en la tabla I.

	<i>Panel 1</i>	<i>Panel 2</i>	<i>Panel 3</i>	<i>Panel 4</i>
Temperatura	-0,53 °C	-0,38 °C	1,74 °C	1,60 °C
Desv.Standard	8,48 °C	8,57 °C	10,46 °C	8,58 °C
Tensión			16,825 V	
Desv.Standard			1,619 V	
Potencia			11,444 W	
Desv.Standard			3,902 W	

b) Cálculo de medianas y cuartiles.

c) Cálculo estadístico de datos cronológicos. El análisis de estos datos no muestra cambios significativos en los valores de desviación standard. Esto evidencia que no pudo ser detectada degradación en performance en 2,5 años de muestreo.

CONCLUSIONES : Los resultados obtenidos durante los ensayos de calificación, resultados en servicio, procesos de fabricación, y ensayos de laboratorio, nos permiten extraer las siguientes conclusiones:

- 1- El diseño cubrió todas las exigencias de las especificaciones.
- 2- Calificación del producto: El producto quedó calificado como APTO de acuerdo a las normas aplicadas: Mil STD, ESA-ASAP, y recomendaciones del Instituto Lavochkin (Federación Rusa).
- 3- El “know-how” ganado durante el desarrollo del proyecto asegura una confianza en la constancia de la calidad y el correcto funcionamiento del producto. Asimismo permite el desarrollo de mayores y más complejos paneles solares en vista a futuros proyectos.
- 4- Costo: El desarrollo de los paneles del μ -SAT fue ejecutado en tiempo y forma y a un costo compatible con el presupuesto global del proyecto.
- 5- El procedimiento para calificación de componentes comerciales estuvo de acuerdo con nivel de calidad deseado.
- 6- La experiencia en vuelo satisfacen las expectativas y muestra un buen comportamiento en ambiente espacial.

Referencias Bibliográficas [1] Estudio Preliminar de Paneles Solares para Microsatélite. IUA Ing. G. TORESAN , año 1995.- [2] Solar Cell Array Design Handbook, Vol. 1 Jet Propulsion Laboratory Pasadena -Ca 1976 [3] Mission Requirements Document Revision 01, 1995 [4] User’s Manual ASAP Cap. 5, “Environmental Conditions”.

AGRADECIMIENTOS : Los autores agradecen a las siguientes instituciones :

- 1 INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO - Centro de Investigaciones Aplicadas. Córdoba R.A.
- 2 SECRETARÍA DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA.
- 3 LOCKHEED MARTIN AIRCRAFT ARGENTINA S.A.
- 4 CENTRO DE INVESTIGACIONES ACUSTICAS Y LUMINOTECNICAS - UNIVERSIDAD NACIONAL DE CORDOBA.
- 5