



ESTUDIO PRELIMINAR DE PANELES SOLARES CON SUSTRATO FLEXIBLE

Roberto GARAY(1), Eugenio GALIAN, Gustavo TORRESAN
Instituto Universitario Aeronáutico
Av.Fuerza Aérea Km.6,5 - Córdoba - R. Argentina,

RESUMEN Las cargas dinámicas ocasionadas durante el lanzamiento de micro y nano satélites comprometen la integridad estructural de sus paneles solares y la interconexión entre celdas fotovoltaicas. Por otra parte las limitaciones de peso impiden el uso de estructuras sustrato rígidas de cierto espesor. Los sustratos flexibles para paneles solares brindan la posibilidad de colocar las celdas en una estructura liviana, con muy baja transmisibilidad y elevado amortiguamiento a las vibraciones. Una investigación bibliográfica sobre la tecnología básica aplicable a los proyectos en curso del IUA fue realizada. Se diseñaron y construyeron paneles solares prototipo para ensayos mecánicos y evaluación tecnológica. Los resultados de la evaluación tecnológica demuestran la factibilidad de fabricación de este tipo de paneles solares a bajo costo y con equipamiento sencillo. Además mostraron baja transmisibilidad a vibraciones y choque. Como conclusión se puede afirmar que esta tecnología es aplicable a micro y nano satélites.

Palabras Clave: sustrato, celdas, nano, micro, satélites.

OBJETO

El objeto del presente trabajo es exponer las consideraciones y resultados que surgen de los estudios realizados para determinar la factibilidad y perfil tecnológico tentativos de un sistema de paneles solares con sustrato flexible para aplicación en micro y nano satélites.

INTRODUCCIÓN

Una de las características más restrictivas y/o penalizantes en micro satélites son sus reducidas dimensiones, en general no mayores de 500x500x500 mm. Esto implica en caso de emplearse paneles adheridos a las caras una pequeña área de captación de energía y por consiguiente severas limitaciones de disponibilidad de potencia a bordo. La solución obvia que marca la tendencia actual es el uso de paneles solares desplegables.

En grandes satélites dichos paneles se fabrican actualmente con sustrato de tecnología sándwich o de sustrato flexible (tela o esterilla) [ref.1]. Estos últimos se vienen popularizando merced a la practicidad para el empaquetado y despliegue posterior y por presentar un comportamiento apropiado para resistir cargas vibratorias, choques y excitaciones sonoras que aparecen durante el despegue y vuelo propulsado de los lanzadores.

Durante el año 1998 y 1999 se efectuaron estudios sobre el desarrollo de paneles solares desplegables aplicable a satélites en el IUA.[ref.2 y 3]. De sus conclusiones se pudo establecer la conveniencia y factibilidad del desarrollo de paneles solares desplegables con sustrato flexible.

Se plantearon distintas opciones y se construyeron prototipos para ensayos y evaluación tecnológica.

El caso de los paneles solares de nano Satélites es diferente al ya citado de los micro satélites. En General los nano satélites lanzados hasta ahora tienen paneles fijos de configuración muy sencilla y compacta ya que su transporte al espacio no debe causar ningún trastorno ni implicar cuidados especiales. La eyección desde el satelizador se lleva a cabo mediante dispositivos sencillos o contenedor eyector normalizado. Estos dispositivos generalmente ocasionan choques o vibraciones de cierta importancia. En cuanto a los paneles solares en si, es imperativo su bajo peso y desacople térmico con el interior del satélite. Respecto de esto último cabe mencionar que muchos de los nano satélites lanzados hasta ahora quedaron fuera de operación por baja temperatura en sus equipos internos.

La necesidad de ampliar la base tecnológica para encarar futuros desarrollos en el campo de micro y nano satélites motivó la decisión de efectuar un programa de desarrollo con recursos propios para implementar estas tecnologías.

DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE PANELES PROTOTIPO

A partir de una prospectiva de tecnologías de posible aplicación en futuros proyecto del IUA se definieron dos áreas de Investigación y Desarrollo a saber:

- Panel desplegable de sustrato flexible de tipo encordado para micro satélite
- Panel solar de sustrato flexible de tela con aislación térmica para adosar a las caras laterales de nano satélites

PANEL SOLAR PROTOTIPO PARA MICRO SATÉLITE

La configuración de paneles solares para un micro satélite es fuertemente dependiente de su misión. Para el caso de micro satélites con control de actitud y/o paneles orientables, la configuración típica puede ser como la que se muestra en la figura 1. Para el caso de los que son orientados por espín la configuración típica es la que se muestra en la figura 2.

(1) robgaray@hotmail.com

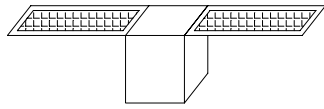


Fig. 1

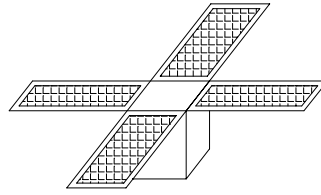


Fig. 2

En el caso de micro satélites sin control de actitud la configuración puede tomar el aspecto que se muestra en la Fig. 3 y 4. Se decidió desarrollar un panel aplicable a la configuración de la fig. 4. Sus principales características son

- Estructuras marco con sustrato encordado pretensado con celdas en ambas caras.
- Celdas solares de silicio fijadas con adhesivo
- Interconexión entre celdas con conductores convencionales

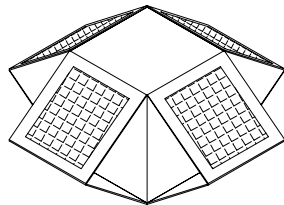


Fig.3

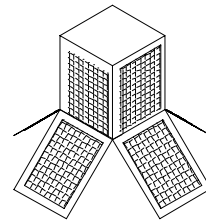


Fig.4

La estructura con marco y sustrato encordado pretensado permite un importante ahorro de peso manteniendo una rigidez apropiada a las excitaciones de vibraciones, choques y sonoras que ocurren en el lanzamiento. El sustrato trabaja en forma similar a una membrana controlando su rigidez con la pretensión.

Se optó por emplear celdas de silicio de tecnología conocida similares a las empleadas en los proyectos μ sat1 y μ sat2.

Por razones constructivas y de control térmico se adhirieron entre si celdas de caras opuestas empleando un pegamento de alta conductividad térmica como se muestra en la figura 5.

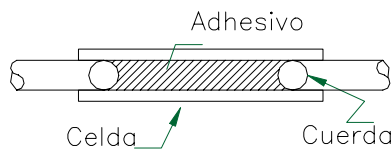


Fig. 5: Detalle de fijación de celdas solares

La conexión entre celdas se realizó con conductores Mil W 16878E type ET calibre 28 AWG aislación de teflón®, a los fines de favorecer la flexibilidad y reducir problemas de fatiga en las conexiones y soldaduras .

PANEL SOLAR PROTOTIPO PARA NANO SATÉLITES: Los nano satélites como se sabe deben ser lo más pequeños, compactos y livianos posible. En general su configuración estructural consiste en una caja o contenedor para los equipos electrónicos de tipo tarjetero y un esqueleto para fijar las caras laterales donde se ubican los paneles solares. De los estudios de concepto de los nano satélite efectuados en el IUA se vio la conveniencia de reemplazar los paneles de sustrato metálico usados corrientemente por otro flexible de tela engomada y pretensada con las celdas solares pegadas, y una aislación térmica multicapa posterior (fig.6).

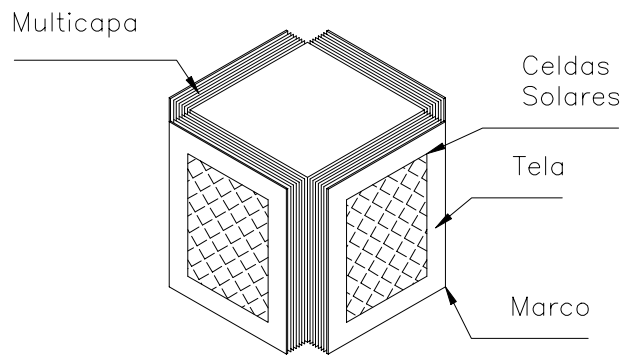


Fig. 6 Nano sat con multicapa

Este tipo de estructura presenta un excelente amortiguamiento a vibraciones y choques y un buen desacople térmico con el interior del satélite .

Se construyó un prototipo con las características mencionadas a los fines de evaluación y ensayos. Las fotos se muestran la fig. 7 y 8.

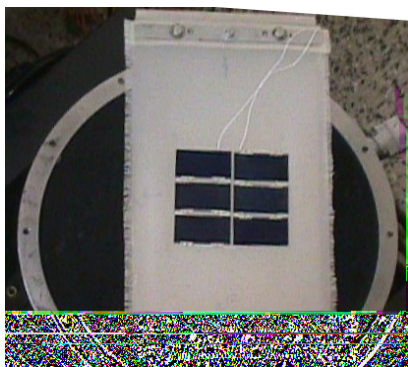


Fig. 7: Panel prototipo entelado sobre la mesa vibradora

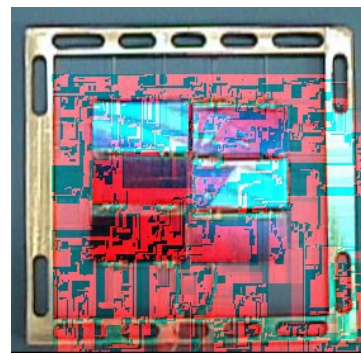


Fig.8 Panel prototipo encordado

ENSAYOS DINÁMICOS

Para evaluar la respuesta a cargas dinámicas de los paneles prototipo se hicieron ensayos de barrido en frecuencia, con distintos valores de aceleración pico a pico, según los tres ejes de la pieza. El equipamiento de ensayo se muestra en la figura 9. Se efectuaron barridos de 20 a 2000 Hz con amplitud de 1g para detectar resonancias.

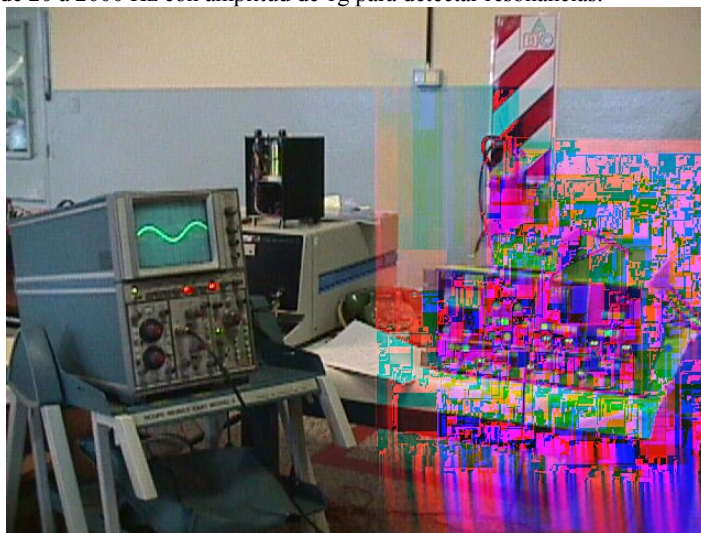


Fig. 9: equipamiento de ensayo

Los resultados más importantes para los paneles de micro y nano satélites se muestran en las figuras 10 y 11 y se sintetizan en la tabla I.

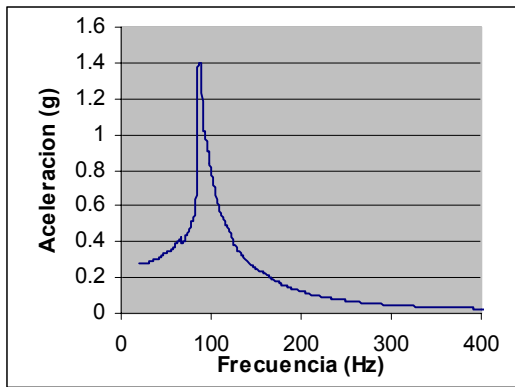


Fig.10: respuesta en frecuencia de panel encordado

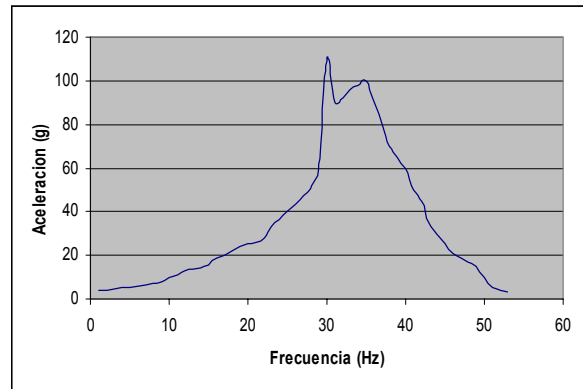


Fig.11 respuesta en frecuencia de panel entelado

	Dirección X	Dirección Y	Dirección Z	Observaciones
Panel entelado	25	31	30	Primer modo
			35	Segundo modo
Panel encordado	490 (1)	586 (2)	99	(1) max. Factor de amplificación: 1,1 (2) max Factor de amplificación: 1,4

Tabla I: Valores de aceleración y frecuencia de resonancia para cada eje de dos tipos de paneles solares

Seguidamente se efectuaron barridos con amplitudes de 10g para verificar la integridad estructural de las celdas solares.

ENSAYOS TECNOLÓGICOS:

Se llevaron a cabo para verificar la factibilidad y el grado de complejidad en la fabricación.

- Marco soporte: se hizo por fresado convencional con perforaciones de alivianamiento . Se usó una fresadora de control numérico Maho BS35. Otro método de fabricación para paneles más complejos incluirá fresado químico y/o sectores de material compuesto de fibra de carbono-epoxi.
- Encordado: Después de varias pruebas con distintos hilos se seleccionó uno de nylon® reforzado con agregado de agentes anti -UV. El proceso de tejido se hizo de manera similar a una raqueta de tenis, cuidando que todos los hilos tengan la misma tensión.
- Conexión eléctrico y pegado de celdas: el conexionado fue realizado con conectores flexibles como se describió anteriormente, soldados con aporte de estaño calidad espacial Sn 63. Para el pegado de celdas se construyó una matriz flexible de acetato. Los adhesivos empleados fueron mencionados anteriormente.
- Panel entelado: Se seleccionó un tejido de fibra orgánica de alta resistencia y bajo peso que fue impregnada con silicona transparente de uso espacial mediante un sencillo dispositivo diseñado ad hoc

CONCLUSIONES

En base a los ensayos mecánicos y las evaluaciones tecnológicas llevadas a cabo se puede formular las siguientes conclusiones:

- Los paneles solares de sustrato entelado presentan características que permitirían contemplar su uso en nano satélites como una alternativa válida. La misma conclusión se puede extender al caso de los paneles de sustrato encordado para micro satélites.
- La factibilidad de fabricación quedó demostrada. Se puede agregar que no es necesario el empleo de procesos sofisticados ni equipos de alta precisión. Los costos son compatibles con los proyectos de nivel universitario así como en programas de mayor envergadura.
- El comportamiento mecánico de los paneles de sustrato flexible, tanto encordados como entelados, los hace particularmente aptos para uso espacial ya que la transmisibilidad de choques y vibraciones a las celdas solares es extremadamente baja. Sin embargo se debe puntualizar que una investigación profunda sobre el comportamiento térmico y la resistencia al ambiente espacial debe ser llevada a cabo para calificar su uso en este tipo de misión.

REFERENCIAS

- 1-Solar cell Array Design Handbook Vol.1, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California 91103, USA, Octubre 1976.
- 2-“Desarrollo de Paneles Solares Desplegables para Micro Satélite” Fernanda del Bono, Universidad Nacional de Córdoba. Julio de 1998
- 3-“Diseño Preliminar de Paneles Solares Desplegables para Microsatélite”, Guillermo Marí , Andrés Pereyra, Leandro Orsi, Instituto Universitario Aeronáutico. Diciembre 1999.

ABSTRACT: Dynamic loads resulting from launching can produce damage, malfunctions and/or disconnection in solar panels. The severe restrictions in size and weight exclude the use of thick sandwich plates or massive substrates. Flexible substrate panels structures allows mounting solar cells on a lightweight, highly damped structure and with low shock and vibration transmissibility.

A research on the basic technology of this type of panels was performed in the IUA regarding actual and future micro and nano satellites programs. Prototype solar panels were designed, built, tested and evaluated. Results show simplicity and low cost in manufacturing. Shock and vibration transmissibility is lower than in rigid substrate structure, and structural dumping is high. As conclusion it can be stated that this technology is well adapted for micro and nano satellites.

Key words: substrate, nano, micro, satellites.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a las instituciones siguientes:

INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO-CENTRO DE INVESTIGACIONES APLICADAS. Córdoba R.A.

LOCKHEED MARTIN AIRCRAFT ARGENTINA S.A. - Departamento de Ensayos Estructurales, Córdoba R.A.