

**CONVENIO DE COOPERACIÓN CONAE-CNEA:  
DESARROLLO, FABRICACIÓN Y ENSAYO DE PANELES SOLARES PARA  
MISIONES SATELITALES ARGENTINAS\***

C.G. Bolzi<sup>1</sup>, C.J. Bruno<sup>1</sup>, E.M. Godfrin<sup>1</sup>, M.G. Martínez Bogado<sup>1</sup>, J. Plá<sup>1</sup>, S.E. Rodríguez<sup>1</sup>, M.J.L. Tamasi<sup>1</sup>,  
M. Alurralde<sup>2</sup>, P. Cabot<sup>3</sup>, E. Carella<sup>3</sup>, J. Fernández Vázquez<sup>1</sup>, C.D. Franciulli<sup>4</sup>, V. Goldbeck<sup>2</sup>, E. Mezzabolta<sup>4</sup>,  
F. Antonuccio<sup>1</sup>, S.L. Nigro<sup>1</sup> y J.C. Durán<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Física – Centro Atómico Constituyentes – CNEA

<sup>2</sup>Departamento de Materiales – Centro Atómico Constituyentes – CNEA

<sup>3</sup>Departamento de Ensayos No Destructivos y Estructurales - Centro Atómico Constituyentes – CNEA

<sup>4</sup>Profesional Independiente

Av. General Paz 1499 - (1650) San Martín - Argentina

Tel. (011) 6772-7132, Fax (011) 6772-7121, www.tandar.cnea.gov.ar, duran@cnea.gov.ar

## RESUMEN

Con el fin de proveer total o parcialmente los módulos fotovoltaicos para las futuras misiones satelitales previstas en el Plan Espacial Nacional, la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) y la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) suscribieron, en marzo de 2001, un Convenio Específico de colaboración cuyos objetivos son: (i) montaje de un laboratorio para la integración de paneles solares, (ii) diseño y elaboración de celdas solares de silicio cristalino, (iii) desarrollo de los procesos de interconexión de las celdas y su integración al panel solar, y (iv) identificación y/o montaje de laboratorios para ensayos. En este trabajo se describen las principales características del proyecto, el cual tendrá una duración de 36 meses, analizándose el estado actual de desarrollo de los diferentes temas. Asimismo, se presentan las características del área limpia diseñada para el laboratorio de integración.

paneles solares – uso espacial – silicio cristalino – soldadura – adhesivos – caracterización eléctrica

## INTRODUCCIÓN

El Grupo Energía Solar (GES) del Departamento de Física del Centro Atómico Constituyentes realiza tareas de investigación y desarrollo en el campo de la conversión fotovoltaica desde el año 1986. Las primeras actividades estuvieron orientadas al desarrollo de materiales para uso fotovoltaico, mientras que a partir de 1992 el trabajo se centró principalmente en el diseño, elaboración y caracterización de celdas solares de silicio cristalino para usos terrestres y espaciales.

A fines de 1995, la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) y la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) firmaron un Acuerdo Específico, dentro del marco del Convenio de Cooperación entre ambas Instituciones, con el objeto de diseñar y poner en práctica conjuntamente un experimento de celdas solares argentinas en un satélite espacial. Como consecuencia de ello, se construyó un conjunto de dispositivos que fueron integrados y ensayados exitosamente en el satélite de aplicaciones científicas argentino SAC-A (Bolzi et al., 1997; Bolzi et al., 2000; Godfrin et al., 2000), el cual estuvo en órbita durante aproximadamente diez meses a partir de diciembre de 1998.

Como continuación del Acuerdo mencionado y con el objeto de disponer en el país de las herramientas de diseño y de las técnicas de fabricación, caracterización, calificación y ensayo de paneles solares para usos espaciales, ambas instituciones suscribieron un Convenio Específico en el marco de la Ley N° 23.877, actuando como Unidad de Vinculación Tecnológica la Asociación Cooperadora del Departamento de Física de la CNEA. Este Convenio dio lugar a la iniciación, en abril de 2001, al Subproyecto Paneles Solares, el cual forma parte del Proyecto SAOCOM de la CONAE. Para la ejecución de este Subproyecto, se constituyó en el Centro Atómico Constituyentes un grupo de trabajo interdepartamental, contándose también con la participación de profesionales externos a la CNEA. En el presente trabajo se describen las actividades a desarrollar, el estado de avance de las mismas, los primeros resultados obtenidos y las características del laboratorio de integración donde se realizará el montaje de los paneles.

## PLAN DE TRABAJO

Las actividades a desarrollar están relacionadas esencialmente con dos etapas del proceso de fabricación: (i) elaboración de celdas solares de silicio monocristalino, y (ii) interconexión de las celdas y su integración al panel. La integración de los prototipos de ensayo y de vuelo será realizada utilizando celdas solares de GaAs (monojuntura o multijuntura) importadas o

---

\* Trabajo financiado fundamentalmente por la CONAE y la CNEA. Cuenta también con aportes de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica a través del subsidio BID 1201/OC-AR, PICT N° 10-06981.

de silicio fabricadas en la CNEA, dependiendo de los requerimientos de potencia y de la disponibilidad de espacio de los satélites a los cuales estén destinados los paneles. El Subproyecto tendrá una duración total de 36 meses y consta básicamente de las siguientes etapas:

- Montaje del laboratorio de desarrollo, integración y ensayo.
- Diseño, fabricación y ensayo de celdas solares de silicio monocristalino.
- Análisis teórico y ensayos en Tierra del daño por radiación sobre las celdas solares.
- Fabricación o adquisición y ensayo de interconectores.
- Puesta a punto de los procesos de soldadura y de las técnicas de ensayo correspondientes.
- Desarrollo de técnicas de alineación y pegado de los vidrios sobre las celdas y de las celdas sobre el sustrato.
- Diseño del circuito eléctrico de los paneles y su interconexión al satélite, con las interfaces correspondientes.
- Estudio y desarrollo de modelos para la estimación de la energía generada por los paneles solares durante la misión espacial, al principio de la misma (*Beginning of Life, BOL*) y al final de su vida útil (*End of Life, EOL*).
- Elaboración de sensores de radiación solar, paneles de ingeniería y prototipo de panel de vuelo para la realización de ensayos de calificación en Tierra y/o en el espacio.
- Integración de paneles de vuelo.
- Realización de ensayos eléctricos, mecánicos y de termovaciación sobre los diferentes componentes y sobre los paneles de ingeniería y de vuelo.
- Calificación de paneles tecnológicos en ambiente espacial a través de su integración a satélites tecnológicos.

## LABORATORIO DE INTEGRACIÓN

La integración o armado de los paneles solares para usos espaciales puede resumirse en los siguientes procesos:

- a) clasificación de celdas solares,
- b) formación de cadenas de celdas en serie mediante su interconexión utilizando láminas metálicas apropiadas,
- c) pegado de vidrios a la cara frontal de las celdas,
- d) cableado eléctrico del panel,
- e) pegado de las cadenas de celdas al sustrato e interconexión al cableado,
- f) ensayos eléctricos.

Estos procesos se realizarán en un laboratorio montado específicamente a tal fin, y estará ubicado en la planta baja del denominado Sector "C" del edificio TANDAR, en el Centro Atómico Constituyentes. El laboratorio propiamente dicho tendrá una superficie de aproximadamente 180 m<sup>2</sup> y contará con dos áreas de ingreso/egreso de personal y de insumos/productos, sumando un total de alrededor de 220 m<sup>2</sup>. Todo el sector estará acondicionado de manera de disponer de un área limpia Clase 10.000 (FED-STD-209D, "Clasificación de Áreas Limpias"), con temperatura y humedad controladas. El filtrado de aire se realizará mediante un sistema prefiltrante instalado en el conducto de inyección y filtros absolutos terminales (HEPA 99,99% de eficiencia para partículas de 0,3 µm) en cada boca de inyección de aire. El sistema en su conjunto proveerá 30 renovaciones de aire por hora y una presurización positiva respecto del exterior de 6 mm de columna de agua en el laboratorio y de 4 mm en las áreas de ingreso.

## ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE CELDAS SOLARES

El GES cuenta con experiencia tanto en la elaboración cuanto en la caracterización de celdas solares de silicio cristalino (ver, por ejemplo, Bolzi et al., 1997; Bolzi et al., 2000; Bruno et al., 1999; Godfrin et al., 2000; Martínez Bogado et al., 2000; Plá et al., 1998; Plá et al., 2000). Las celdas solares corrientemente fabricadas tienen estructura n<sup>+</sup>pp<sup>+</sup>, utilizándose un proceso de un paso a alta temperatura (Basore et al., 1994) modificado para obtener óxidos pasivantes más delgados en la superficie frontal. Detalles acerca del proceso de elaboración completo pueden obtenerse en Plá et al., 1998.

Se están realizando tareas de desarrollo tendientes a: (i) adaptar las dimensiones de las celdas elaboradas a valores de interés en aplicaciones espaciales, (ii) lograr repetibilidad en los procesos de manera de poder fabricar conjuntos relativamente grandes de celdas con baja dispersión en sus características eléctricas, (iii) mejorar el diseño de los dispositivos y las técnicas de fabricación correspondientes, a fin de aumentar la eficiencia de conversión. En un futuro se prevé también trabajar en la pasivación de la superficie posterior, la disminución del espesor de las celdas de manera de aumentar su resistencia al daño por radiación y a la vez minimizar el peso, y el estudio de la factibilidad de cambios en las especies dopantes.

En una primer etapa, se está trabajando en la elaboración de celdas de hasta 16 cm<sup>2</sup>, con el objetivo de pasar en un paso posterior a dispositivos de entre 20 y 30 cm<sup>2</sup>, áreas típicas de celdas solares para paneles espaciales. Actualmente, se realiza la difusión de dopantes sobre obleas de 10 cm × 5 cm, producto del corte de obleas de origen comercial, continuando luego con los demás pasos del proceso de elaboración (fotolitografía, evaporación de contactos, *lift-off*, engrosamiento electrolítico de contactos y recocido), para finalmente cortar de cada oblea 4 celdas de 2 cm × 4 cm o 2 celdas de 4 cm × 4 cm. Se fabricaron nuevas máscaras fotolíticas para la definición de la geometría de la grilla de contactos frontal, cuyo diseño se observa en la Figura 1.

Como ejemplo de los resultados obtenidos, en la Tabla 1 se muestran las características eléctricas de un conjunto de 30 celdas de silicio, sin capa antirreflectante, elaboradas en un mismo proceso de difusión. Cabe destacar la muy buena uniformidad obtenida, reflejada en la pequeña dispersión de los parámetros eléctricos medidos. En total, fueron elaboradas 112 celdas solares de silicio cristalino en dos procesos de difusión utilizando materiales de partida de distintos orígenes (Setec, Heliodinámica y Bayer, en este último caso de dos resistividades distintas).

Tabla 1: Valores medios y dispersión estadística de los parámetros eléctricos de 30 celdas de silicio monocristalino de 2 cm × 4 cm, sin capa antirreflectante.

	$I_{cc}$ (mA)	$V_{ca}$ (mV)	FF
Promedio	212	603	0,74
Dispersión	8	2	0,02

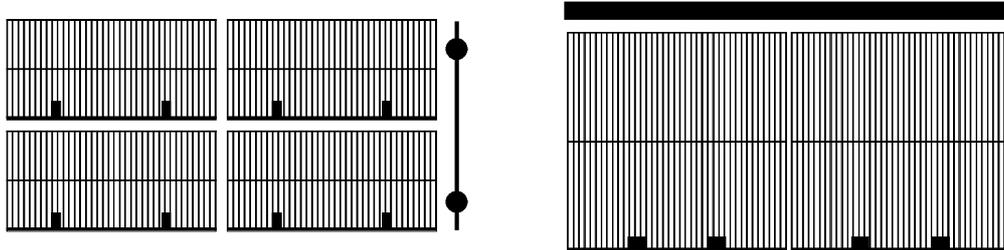


Figura 1: Máscaras que definen la geometría de las grillas de contacto frontal

En lo que se refiere a la caracterización electrónica, se midió la vida media efectiva de portadores minoritarios sobre algunas de las celdas elaboradas (seleccionadas al azar y provenientes de los dos procesos de difusión realizados), con el método OCVD con polarización desarrollado en el GES (Bruno et al., 1999), resultando valores de alrededor de 12 $\mu$ s. Asimismo, se encuentra en desarrollo un sistema para la medición de la respuesta espectral de las celdas, de acuerdo con la norma ASTM E 1021-84, basado en un haz monocromático obtenido con filtros de interferencia ópticos de banda angosta y con la asistencia de un amplificador *lock-in*. Hasta el momento se construyó un prototipo de sistema óptico que permitió obtener un haz monocromático con una uniformidad en la intensidad de acuerdo con dicha norma ( $\pm 2,5\%$ ) sobre un área de 4 cm × 8 cm. Está en proceso, además, la puesta en marcha de un equipo PCD (*Photoconductance Decay*) para la medición de vida media sin contactos con el fin de tener una herramienta útil para el monitoreo de los procesos térmicos que intervienen en la elaboración de las celdas.

#### ENSAYOS DE DAÑO POR RADIACIÓN

Se desarrolló un montaje experimental que permite medir *in situ* la degradación de celdas solares irradiadas con protones de 10 MeV y fluencias entre 10<sup>8</sup> y 10<sup>13</sup> p/cm<sup>2</sup>, utilizando un haz externo del acelerador TANDAR de la CNEA. Dicho montaje permitió observar la degradación de las características eléctricas de celdas solares de silicio cristalino, determinándose la corriente de cortocircuito, la tensión a circuito abierto y el factor de forma entre irradiaciones mediante la medición de la curva característica corriente-tensión. Los resultados de la primer experiencia realizada pueden verse en Alurralde et al., 2001.

#### FABRICACIÓN DEL PANEL SOLAR

Los procesos de fabricación de un panel solar para uso satelital deben dar lugar a dispositivos resistentes a las exigencias mecánicas, térmicas y de radiación a que estarán sometidos en el momento del despegue y durante la duración de la misión. En particular, el panel solar atravesará períodos de iluminación y de oscuridad (eclipses) al entrar en el cono de sombra de la Tierra, con sus consiguientes oscilaciones térmicas. El número de eclipses que soportará un satélite dado depende fuertemente de la altura y características de la órbita (ver, por ejemplo, Roddy, 1996). Los satélites de baja altura (400 a 800 km), como son los casos de los satélites argentinos SAC-A, SAC-C y SAOCOM, se caracterizan por períodos orbitales de 90-100 minutos, estando en consecuencia sometidos a miles de oscilaciones térmicas (típicamente, con temperaturas entre +70 °C y -30 °C) durante su vida útil. Este ciclo térmico trae aparejado un cambio dimensional cíclico de todo el panel, debiendo sus componentes estar preparadas para soportarlo.

#### Interconectores

Las celdas solares que componen los paneles solares espaciales se conectan eléctricamente entre sí mediante interconectores metálicos de unos pocos milímetros de ancho y con espesores comprendidos entre 12 y 30  $\mu$ m. Dado que los cambios dimensionales producidos por el ciclo térmico dan lugar a la modificación de la separación entre celdas contiguas, los interconectores serán los elementos que, además de cumplir la función de conductores eléctricos, deberán absorber dicha modificación. A tal fin, su geometría incluye un lazo de deformación, que está destinado a servir de aliviador de las tensiones generadas por ciclo térmico (Baron et al, 1985; Görgens y Suppa, 1975; Boller y Koch, 1975). La Figura 2 muestra una posible geometría de un interconector.

El material del que está constituido el interconector debe tener una elevada resistencia a la fatiga, para soportar sin romperse el número de ciclos térmicos que se produzcan durante la vida útil del satélite, que en los casos más desfavorables pueden llegar a 30.000, para una misión de 5 años. Los materiales que más se han empleado para construir los interconectores son: cobre, plata, molibdeno, paladio, tantalio, Invar 36, Kovar y oro (Baron et al., 1985; Boller y Koch, 1975; La Roche et al., 1994).

Se ha comenzado a trabajar en la laminación y conformado de láminas de oro, como primera opción, teniendo en cuenta su elevada resistencia al ataque por el oxígeno atómico presente en la alta atmósfera. Asimismo, se desarrollaron métodos de limpieza para láminas de oro y molibdeno, y procesos para el plateado de estos materiales por evaporación en cámara de vacío. No se descarta la posibilidad de utilizar plata, Kovar o Invar 36 en etapas posteriores.

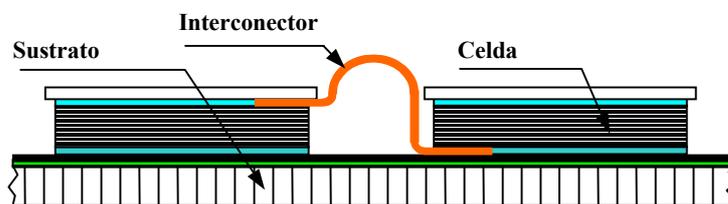


Figura 2: Esquema de un interconector

### **Soldadura**

Los procesos de soldadura empleados para la interconexión de celdas solares para paneles fotovoltaicos de uso espacial deben producir soldaduras que aseguren no sólo un óptimo contacto eléctrico sino también una resistencia adecuada a las severas sollicitaciones de origen mecánico y térmico que se producen durante el despegue y la operación en órbita.

Todavía hasta el presente y gracias a su alta confiabilidad, en numerosas oportunidades se continúa usando la soldadura blanda (*soldering*). Sin embargo, en fase con los notorios avances introducidos en tecnología de soldadura durante las últimas décadas, se probaron, calificaron e introdujeron otros procesos para la interconexión de celdas solares. Uno de esos procesos y quizás el más difundido en la actualidad es el de resistencia con electrodos paralelos (*resistance parallel gap welding*).

La soldadura blanda requiere efectuar una selección precisa del aporte para asegurar conductividad eléctrica y resistencia mecánica adecuadas, evitar la formación de residuos corrosivos y facilitar la limpieza posterior. En principio, el método puede servir para unir todo tipo de celdas. Sin embargo, su aplicación se hace más dificultosa y sus resultados más erráticos cuando se trata de celdas muy delgadas, frágiles y de contactos pequeños como lo son las celdas actuales basadas en el GaAs. En esos casos las condiciones de soldadura deben ser extremadamente ajustadas para controlar el aporte calórico del proceso y también el excesivo flujo del aporte. Referente al comportamiento en operación de interconexiones realizadas por soldadura blanda existen también ciertas reservas, sobre todo en lo concerniente a la resistencia a la fatiga y la corrosión. Adicionalmente, la temperatura de operación relativamente alta de las celdas en el espacio es otro tema que ha motivado la investigación y prueba de métodos alternativos que no requieran aporte de metal fundido.

En la soldadura por resistencia el interconector se mantiene presionado sobre el contacto de la celda mediante dos electrodos paralelos muy próximos entre sí y construidos con un material de alta resistencia (típicamente, tungsteno o molibdeno). El pasaje de corriente que se cierra a través de los electrodos y el interconector produce un aumento localizado de temperatura a nivel de la interfaz interconector-contacto debido a la resistencia propia del contacto entre los mismos. La optimización de los pulsos de corriente que produce la fuente del equipo permite el control justo del calor aportado para aumentar la temperatura localmente hasta el valor necesario para la unión, sin calentar el resto de la celda. El desarrollo y optimización de los procedimientos para este proceso requiere tener en cuenta densidad de corriente, duración y forma de pulsos, presión de electrodos, tamaño de soldadura, etc.. Cambios en las dimensiones y/o materiales de las celdas e interconectores requieren un nuevo ajuste y optimización de parámetros.

En la CNEA se está realizando la aplicación de soldadura blanda para la interconexión de celdas de Si o GaAs, para el armado de paneles de prueba. Ello requirió seleccionar el equipamiento, definir el tipo de aporte, y diseñar y fabricar elementos de posicionamiento, fijación y calefactores para el sustrato. Se prevé continuar trabajando en la selección de aportes y en el diseño de un equipo para la aplicación semiautomática del método.

Paralelamente con la actividad anterior, se realizó una búsqueda y análisis preliminar de información sobre el proceso de soldadura por resistencia. Al presente, se continúa la interacción con fabricantes y proveedores de equipos a fin definir un sistema (cabezal, fuente de poder, óptica, componentes auxiliares, etc.) con alto grado de precisión e instrumentación, que sea lo suficientemente versátil como para cubrir las distintas opciones de celdas e interconectores que puedan seleccionarse en el marco del Subproyecto.

### **Pegado**

La tecnología de montaje de los paneles solares para uso espacial difiere fuertemente de la utilizada para los paneles terrestres, como consecuencia directa de los requerimientos de minimización del peso de los dispositivos espaciales. En el caso terrestre, las celdas, luego de ser interconectadas, son laminadas entre dos vidrios o entre un vidrio frontal y un sustrato aislante posterior, y colocadas en un bastidor. Para los paneles de uso espacial, en cambio, vidrios muy delgados (80-200  $\mu\text{m}$  de espesor) se pegan en forma individual sobre cada celda, las que a su vez van pegadas sobre un sustrato especial del tipo panel de abeja (*honeycomb*), que le proporciona gran rigidez mecánica con bajo peso, recubierto con un material aislante

(por ejemplo, Kapton).

El GES realizó sus primeras experiencias de pegado, en forma muy artesanal, durante el armado de los pequeños paneles solares que fueron ensayados en el satélite tecnológico SAC-A (Bolzi et al., 1997). El nuevo proyecto requiere el desarrollo de métodos y equipamiento que permitan el pegado de los vidrios sobre las celdas en forma sistemática, repetitiva y con una alta confiabilidad, así como también la integración de las celdas al sustrato en áreas relativamente grandes (del orden del metro cuadrado). A tal fin, se está trabajando en la puesta a punto de los procesos de pegado, en particular en lo que se refiere a los procedimientos de aplicación, dosificación y distribución del adhesivo. Se diseñaron y construyeron pinzas neumáticas para la manipulación de las celdas, vidrios e interconectores (Figura 3) y dosificadores de adhesivo (Figura 4). Si bien los equipos construidos son prototipos, demostraron tener un funcionamiento adecuado para esta primera etapa de desarrollo, a tal punto que se replanteó la necesidad de adquirir el equipamiento comercial correspondiente.

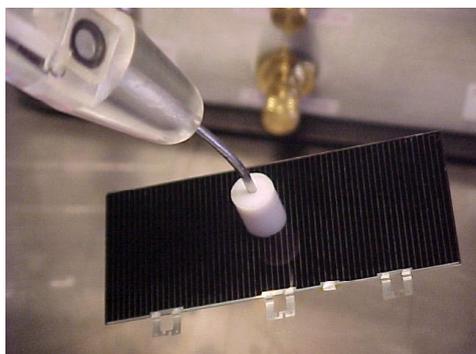


Figura 3: Manipulador neumático sosteniendo una celda solar.

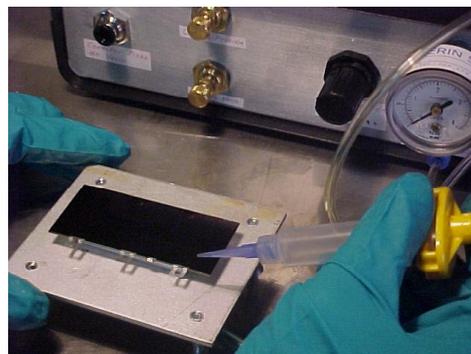


Figura 4: Primeras pruebas de aplicación del adhesivo.

## SIMULACIÓN

La optimización del armado de un panel solar, tanto para usos terrestres cuanto espaciales, requiere una clasificación previa de las celdas solares según sus características eléctricas. La clasificación de celdas para paneles espaciales resulta más crítica y compleja debido a que los mismos constan de circuitos más complicados (múltiples interconexiones serie/paralelo, numerosos diodos de paso y de bloqueo, etc.). Por tal motivo, se desarrolló un programa de cálculo que permite obtener, a partir de las curvas I-V de las celdas, la curva I-V del panel resultante de interconectar las celdas en serie y/o paralelo según un circuito especificado. Se obtienen, en consecuencia, los parámetros eléctricos característicos del panel (corrientes de cortocircuito y de máxima potencia, tensiones a circuito abierto y de máxima potencia, potencia del panel, factor de forma).

El programa permite 6 tipos de clasificaciones para las celdas antes de realizar el cálculo:

- arbitraria, dada por el usuario;
- por corriente de cortocircuito ( $I_{sc}$ );
- por tensión en el punto de máxima potencia ( $V_{pmp}$ );
- por potencia (Pot);
- por tensión a circuito abierto ( $V_{ca}$ );
- por corriente en el punto de máxima potencia ( $I_{pmp}$ ).

La clasificación genera un ordenamiento de las celdas que define la conformación de las diferentes cadenas que forman el panel. Es posible, también, intercalar diodos de paso.

Utilizando curvas I-V experimentales de celdas de silicio cristalino fabricadas por el GES, se realizaron distintas simulaciones de interconexiones variando la cantidad de celdas en serie y en paralelo, así como la clasificación de las celdas. Algunos ejemplos de los circuitos analizados son:

1. 30 celdas en serie;
2. 6 cadenas en paralelo, cada una de ellas formadas por 5 celdas en serie;
3. 5 cadenas en paralelo, cada una de ellas formada por 6 celdas en serie.

La Tabla 2 muestra, a modo de ejemplo, los resultados obtenidos para el caso 3. En general, se observa que la mayor potencia del panel se obtiene con las celdas clasificadas por potencia.

Tabla 2: Valores de los parámetros característicos del panel formado por 6 cadenas en paralelo de 5 celdas en serie cada una.

$V_{oc}$	$I_{sc}$	Pot	$V_{pmp}$	$I_{pmp}$	Clasificación
3.024	1.279	2.863	2.428	1.179	Arbitraria
3.026	1.325	2.891	2.407	1.201	Por $I_{sc}$
3.023	1.269	2.868	2.448	1.171	Por $V_{pmp}$
3.025	1.292	2.898	2.435	1.190	Por potencia
3.027	1.291	2.884	2.420	1.192	Por $V_{oc}$
3.026	1.311	2.896	2.410	1.201	Por $I_{pmp}$

Actualmente, se está trabajando en la simulación de paneles formados por celdas de GaAs de doble juntura de baja eficiencia (15-16%, con iluminación AM0). Las curvas I-V utilizadas corresponden a mediciones de celdas comerciales provistas por la empresa Spectrolab.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a C. Alonso (Jefe del Proyecto SAOCOM), D. Gestal (Representante Técnico de la CONAE) y G. Bisaccio por su permanente disposición para resolver los problemas que se suscitan durante la ejecución del Subproyecto, así como también por su colaboración desde el punto de vista técnico. Se agradece también la colaboración prestada por la empresa Kyocera Argentina S.A., quien ha donado obleas para los ensayos y también ha realizado el corte de las mismas en los casos en que fue requerido.

## REFERENCIAS

- Alurralde M., Tamasi M.J.L., Bruno C.J., Martínez Bogado M.G., Plá J.C. y Fernández Vázquez J. (2001). Estudios de daño por radiación con protones de 10 MeV en celdas solares de silicio cristalino utilizando el acelerador TANDAR, enviado a *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* **5**.
- Baron W.R., Neff R.E. y Pollard H.E. (1985). Fatigue simulation testing of solar cell interconnectors, Proc. 18<sup>th</sup> IEEE Photovoltaic Specialist Conference, 629-633.
- Basore P.A., Gee J.M., Buck M.E., Schubert W.K. y Ruby D.S. (1994). Simplified high-efficiency silicon cell processing, *Solar Energy Mater. Solar Cells* **34**, 91-100.
- Boller W. y Koch J. (1975). Accelerated fatigue tests of solar cells interconnectors for simulation of thermal cycles, Proc. 11<sup>th</sup> IEEE Photovoltaic Specialist Conference, 153-161.
- Bolzi C.G., Merino L.M., Tamasi M.J.L., Plá J.C., Durán J.C., Bruno C.J., Godfrin E.M., Lamagna A., Barrera M.P. y Quintero L.B. (1997). Elaboración y caracterización de celdas y paneles solares de silicio cristalino para su ensayo en el satélite SAC-A, *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* **1**, Nro. 2, 1.
- Bolzi C.G., Bruno C.J., Durán J.C., Godfrin E.M., Martínez Bogado M.G., Merino L.M., Plá J.C., Tamasi M.J.L. y Barrera M. (2000). SAC-A satellite: first experiment of argentine solar cells in space, Proceedings of the 28<sup>th</sup> IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Anchorage, Alaska, EE.UU., 1344-1347.
- Bruno C.J., Martínez Bogado M.G., Plá J.C. y Durán J.C. (1999). Determination of minority carrier lifetime in solar cells: a novel biased OCVD technique, *Physica Status Solidi (a)* **174**, 231-238.
- Godfrin E.M., Martínez Bogado M.G., Tamasi M.J.L. y Durán J.C. (2000). Determinación de parámetros característicos de celdas solares en el espacio a partir de mediciones recibidas por telemetría, *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* **4** (1), 04.17-04.21.
- Görgens B. y Suppa E.G. (1975). Design of the IUE Solar Array, Proc. 11<sup>th</sup> IEEE Photovoltaic Specialist Conference, 110-116.
- La Roche G.J., Oxynos-Lauschke C. y Wehner K. (1994). Gold Interconnectors for Solar Generators in Low Earth Orbits, Proc. 24<sup>th</sup> IEEE Photovoltaic Specialist Conference, 2196-2199.
- Martínez Bogado M.G., Tamasi M.J.L., Plá J.C., Bolzi C.G. y Durán J.C. (2000). Influencia de la difusión de aluminio y fósforo sobre la vida media de portadores minoritarios en obleas de silicio cristalino, *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* **4** (1), 04.23-04.28.
- Plá J.C., Godfrin E.M. y Durán J.C. (1998). Diseño, elaboración y caracterización de celdas solares de silicio cristalino con textura superficial, *Energías Renovables y Medio Ambiente* **4**, 1-5.
- Plá J.C., Bolzi C.G., Venier G.L., Tamasi M.J.L. y Durán J.C. (2000). Short circuit current vs. cell thickness in solar cells under rear illumination: a direct evaluation of the diffusion length, *Solid State Electronics* **44**, 719-724.
- Roddy D. (1996). *Satellite Communications*, Second Edition, McGraw-Hill.

## ABSTRACT

In order to supply in the future the power requirements (totally or partially) of missions programmed in the Argentine National Space Plan, the National Commission for Space Activities (CONAE) and the National Atomic Energy Commission (CNEA) signed in March 2001 a Cooperation Agreement for: (i) the installation of a clean room laboratory for the integration of solar panels, (ii) the design and fabrication of monocrystalline silicon solar cells, (iii) the development of the techniques associated with the interconnection of the solar cells and the integration of the solar panel, (iv) the identification or installation of testing facilities. The main goals of the project are presented and the activities being performed at present are analyzed. Moreover, the characteristics of the clean room facility are described.