

## MISIÓN SATELITAL AQUARIUS/SAC-D: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS CELDAS DEL MODELO DE VUELO DE LOS PANELES SOLARES

**E.M. Godfrin, J. Plá<sup>1</sup>, J.C. Durán**

Grupo Energía Solar

Gerencia Investigación y Aplicaciones - Centro Atómico Constituyentes - CNEA

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

Tel. (011) 6772-7132, Fax (011) 6772-7121,

[www.tandar.cnea.gov.ar](http://www.tandar.cnea.gov.ar), [godfrin@tandar.cnea.gov.ar](mailto:godfrin@tandar.cnea.gov.ar)

**RESUMEN:** En el marco de un contrato de asistencia tecnológica entre la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) y la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE), el Grupo Energía Solar (GES), junto con otros profesionales y técnicos del Centro Atómico Constituyentes, desarrolló los paneles solares para la misión satelital Aquarius/SAC-D. La fabricación del modelo de vuelo de dichos paneles requirió la integración y caracterización eléctrica, bajo condiciones normalizadas, de aproximadamente 3000 celdas solares con diodos de paso, interconectores y cubiertas de vidrio. En el presente trabajo se presenta un análisis estadístico de los parámetros eléctricos de las celdas solares, antes y después de su ensamble, comparándose además las mediciones realizadas en la CNEA con los datos provistos por el fabricante de las celdas. Se analizó especialmente el factor de llenado ("Fill Factor", FF) de la curva corriente-tensión, ya que se considera un parámetro apropiado para evaluar posibles degradaciones de los dispositivos durante el proceso de integración. El análisis realizado demostró ser una herramienta de suma utilidad para el monitoreo del proceso de ensamble y también para evaluar la confiabilidad y la incerteza del proceso de medición utilizado.

**Palabras clave:** conversión fotovoltaica, paneles solares, aplicaciones espaciales, misiones satelitales, celdas solares

### INTRODUCCIÓN

El Plan Espacial Nacional, cuyo organismo ejecutor es la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE), prevé la realización de diversas misiones satelitales tecnológicas y de observación de la Tierra, entre ellas dos misiones SAOCOM y nuevos satélites de la serie SAC (CONAE, 2010).

Teniendo en cuenta que cada misión satelital requiere paneles solares diseñados específicamente para satisfacer la demanda de energía eléctrica del satélite y que el precio de los mismos en el mercado internacional es muy elevado, en el año 1995 el Grupo Energía Solar (GES) de la CNEA inició actividades en el tema, aprovechando su experiencia previa en el desarrollo y medición de dispositivos fotovoltaicos para usos terrestres. Entre los años 2001 y 2010, la CNEA y la CONAE suscribieron 5 contratos en el marco de la Ley No 23.877 de innovación tecnológica, con el fin de desarrollar los paneles solares para las misiones satelitales SAOCOM y Aquarius/SAC-D (Alurralde et al., 2007). Esta última es un proyecto conjunto entre la CONAE y la agencia espacial de los EE.UU., NASA, y su objetivo principal es la obtención de nueva información climática a partir de la medición de salinidad de los océanos y la detección de focos de alta temperatura en la superficie terrestre para la obtención de mapas de riesgo de incendios e inundaciones.

Los paneles solares del satélite SAC-D (Alurralde et al., 2009) tienen un área aproximada de 9 m<sup>2</sup> cubierta por 2574 celdas de triple juntura (ATJ, "Advanced Triple Junction"), provistas por Emcore. El ensamble de las celdas (CIC, "Covered Interconnected Cell": celda con diodo de paso, interconectores y vidrio), así como su interconexión y montaje sobre los sustratos, fue realizado en el Laboratorio de Integración de Paneles Solares del Centro Atómico Constituyentes (CAC). En este trabajo, se presenta el análisis estadístico comparativo de los parámetros eléctricos de las CICs; una versión preliminar de este análisis puede verse en Godfrin et al. (2010).

### CARACTERIZACIÓN DE LAS CELDAS

La caracterización eléctrica de las celdas se realizó bajo condiciones normalizadas. Se utilizó un simulador solar TS-Space "close match AM0" que reproduce el espectro solar AM0 mediante dos lámparas de Xe para el rango de 300-700 nm, 4 lámparas de tungsteno halógenas para el rango de 700-1900 nm y filtros ópticos apropiados. La medición de las curvas I-V de las celdas se realizó mediante una configuración de 4 puntas. Se calibró la irradiancia mediante celdas de referencia monojuntura de InGaP y GaAs, y una triple juntura InGaP-GaAs-Ge, provistas por Emcore. Durante las mediciones, se mantuvo la temperatura de la celda a medir en 28°C ± 0,5°C mediante una base termostatazada y la irradiancia sobre la misma en un valor equivalente a AM0 1367 W/m<sup>2</sup> ± 1%. Asimismo, se monitoreó la irradiancia cada 10 mediciones mediante la

<sup>1</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

medición de una celda de referencia secundaria ATJ estándar, utilizando esta última para corregir la curva I-V de cada celda. Finalmente, se caracterizó cada celda solar mediante códigos computacionales desarrollados a tal fin (Godfrin et al., 2007).

## EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LAS MEDICIONES

Con el objeto de evaluar el método de medición, se seleccionaron 63 celdas sin ensamblar (No CIC) al azar y se compararon las mediciones realizadas en el GES con las correspondientes provistas por el fabricante. A tal fin, se definió la Diferencia Relativa Porcentual (DRP):

$$DRP(X_1, X_2) = \frac{PE(X_1) - PE(X_2)}{PE(X_2)} * 100$$

donde  $PE(X_i)$  indica el valor de medición del parámetro eléctrico analizado en las condiciones  $X_i$  (por ejemplo, CIC CNEA para celdas CIC medidas en CNEA; No CIC Emcore, para celdas sin ensamblar medidas en Emcore).

En la Tabla 1 se presentan los valores de los promedios, desviaciones estándar, máximos y mínimos de las DRP(No CIC CNEA, No CIC Emcore), para la tensión a circuito abierto ( $V_{ca}$ ), la corriente de cortocircuito ( $I_{cc}$ ) y el factor de llenado (FF, "Fill Factor").

<b>DRP(No CIC CNEA, No CIC Emcore)</b>	<b><math>V_{ca}</math></b>	<b><math>I_{cc}</math></b>	<b>FF</b>
Promedio	-0.4	0.6	2.4
Desviación estándar	0.1	0.9	0.9
Mínimo	-0.8	-1.1	-0.3
Máximo	0.0	2.7	4.6

Tabla 1: Promedios, desviaciones estándar, máximos y mínimos de las DRP(No CIC CNEA, No CIC Emcore) para  $V_{ca}$ ,  $I_{cc}$  y FF de las 63 celdas.

Estos resultados muestran que los métodos de medición del GES y de Emcore son básicamente compatibles. El incremento promedio observado en el FF probablemente se deba a una diferencia en la configuración de los terminales de medición en los contactos frontales, lo cual da lugar a una diferente contribución de la caída de tensión en el bus de la grilla en las mediciones del GES y de Emcore.

A fin de determinar un criterio para la evaluación del proceso de ensamble de las CICs desarrollado en el GES, 50 de las 63 celdas mencionadas en el párrafo anterior fueron ensambladas, medidas y caracterizadas, calculándose las DRP de sus parámetros eléctricos con respecto a PE(No CIC CNEA) y PE(No CIC Emcore). Las Tablas 2 y 3 muestran los valores de los promedios, desviaciones estándar, máximos y mínimos de las DRP para  $V_{ca}$ ,  $I_{cc}$  y el FF.

<b>DRP(CIC CNEA, No CIC CNEA)</b>	<b><math>V_{ca}</math></b>	<b><math>I_{cc}</math></b>	<b>FF</b>
Promedio	-0.3	0.3	-1.6
Desviación estándar	0.2	0.9	2.8
Mínimo	-1.0	-1.5	-9.5
Máximo	0.2	1.9	1.5

Tabla 2: Promedios, desviaciones estándar, máximos y mínimos de las DRP(CIC CNEA, No CIC CNEA) para  $V_{ca}$ ,  $I_{cc}$  y FF de las 50 celdas ensambladas.

<b>DRP(CIC, No CIC Emcore)</b>	<b><math>V_{ca}</math></b>	<b><math>I_{cc}</math></b>	<b>FF</b>
Promedio	-0.7	0.8	0.7
Desviación estándar	0.3	0.8	3.1
Mínimo	-1.6	-0.9	-7.9
Máximo	-0.1	2.3	5.4

Tabla 3: Promedios, desviaciones estándar, máximos y mínimos de las DRP(CIC CNEA, No CIC Emcore) para  $V_{ca}$ ,  $I_{cc}$  y FF de las 50 celdas ensambladas.

Los resultados presentados en las Tablas 2 y 3 muestran desviaciones estándar relativamente altas en las DRP del FF, probablemente a causa de un proceso de ensamble de las celdas no totalmente puesto a punto. En particular, cabe destacar que las primeras celdas ensambladas fueron usadas para el ajuste de los parámetros del proceso de soldadura de diodos e interconectores y son las que presentan la mayor degradación del FF.

Para cada DRP y cada parámetro eléctrico analizado, se generó el histograma calculando el ancho de clase óptimo mediante el criterio de Wand (1997). En las Figuras 1 a 3 se presentan los histogramas comparativos entre las DRP(CIC CNEA, No CIC CNEA) y las DRP(CIC CNEA, No CIC Emcore) de  $V_{ca}$ ,  $I_{cc}$  y FF, donde el ancho de clase es el mínimo valor obtenido para las DRP de cada parámetro.

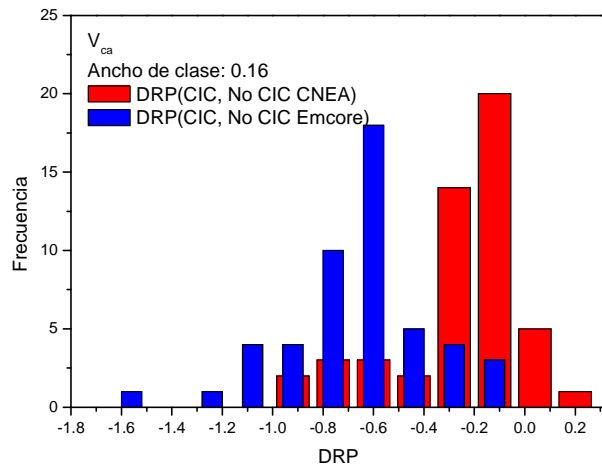


Figura 1: Histograma comparativo entre las  $DRP(CIC, No CIC CNEA)$  y las  $DRP(CIC, No CIC Emcore)$  de  $V_{ca}$  para las 50 CICs.

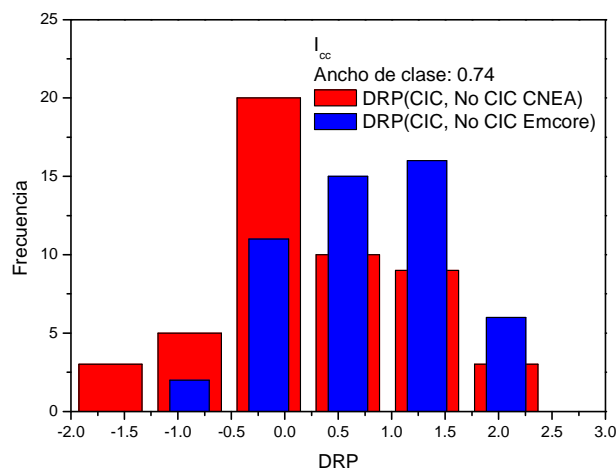


Figura 2 Histograma comparativo entre las  $DRP(CIC, No CIC CNEA)$  y las  $DRP(CIC, No CIC Emcore)$  de  $I_{cc}$  para las 50 CICs.

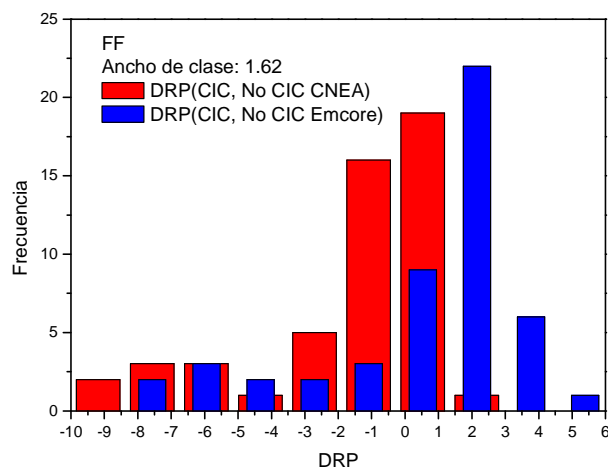


Figura 3: Histograma comparativo entre las  $DRP(CIC, No CIC CNEA)$  y las  $DRP(CIC, No CIC Emcore)$  de FF para las 50 CICs.

En las Figura 3 puede observarse que los histogramas son cualitativamente similares pero se encuentran desplazados, reforzando así la hipótesis de que las diferencias en las DRP del FF, según se consideren mediciones realizadas en CNEA o los datos del proveedor de las celdas, corresponden a las distintas configuraciones utilizadas durante la medición de la curva I-V. Otro aspecto a destacar que aparece en esta figura es la distribución de valores a la izquierda del histograma, que corresponden a una mayor degradación en el FF. Como ya fuera señalado anteriormente, el proceso de soldadura de interconectores no estaba aún optimizado en el momento en que se ensamblaron estas primeras celdas, de modo que los

mencionados valores probablemente correspondan a una degradación del FF asociada al proceso de soldadura.

### ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN

Como fuera mencionado en la sección “Caracterización de las celdas”, durante las mediciones se utilizó una celda de referencia secundaria para el monitoreo de la irradiancia. A fin de estimar el error de medición, se calcularon los promedios, desviaciones estándar e incertidumbre de  $V_{ca}$ ,  $I_{cc}$  y FF de las repetidas mediciones de esta celda (489 en total), estimándose finalmente la desviación estándar del promedio (desviación standard /  $\sqrt{n}$ ), donde n es el número de mediciones) y la incertidumbre del promedio para un nivel de confianza de 99% para cada parámetro. En la Tabla 4 se presentan los resultados obtenidos.

	$V_{ca}$	$I_{cc}$	FF
Promedio	2.624 V	0.457 A	0.832
Desviación estándar %	0.26	0.87	1.43
Incertidumbre %	0.65	2.18	3.58
Desviación estándar del promedio %	0.012	0.040	0.065
Incertidumbre del promedio %	0.03	0.10	0.17

Tabla 4: Promedios, desviaciones estándar e incertidumbres de  $V_{ca}$ ,  $I_{cc}$  y FF de la celda de referencia secundaria, y desviaciones estándar e incertidumbres del promedio de cada parámetro eléctrico.

La incertidumbre relativamente alta de las determinaciones individuales del FF (3.58%) hace imposible poder utilizar mediciones individuales para la detección de degradaciones en los procesos de integración, ya que en general estas degradaciones resultan menores a dicha incertidumbre. Resulta en consecuencia imprescindible recurrir a promedios de mediciones sobre tandas de celdas para poder detectar diferencias en el FF por debajo del 2 o 3%.

### ANÁLISIS ESTADÍSTICO COMPARATIVO

Para la integración del modelo de vuelo de los paneles solares se ensamblaron 2986 celdas. Las 2986 CICs elaboradas fueron medidas en 22 tandas de mediciones de aproximadamente 100 ó 200 celdas cada una, y posteriormente caracterizadas utilizando códigos especialmente desarrollados en lenguaje FORTRAN. En la Tabla 5 se presentan los valores de los promedios, desviaciones estándar, máximos y mínimos de los parámetros eléctricos provistos por Emcore de las 2986 celdas, mientras que en la Tabla 6 se muestran los valores correspondientes a las mediciones realizadas en el GES de las mismas celdas. Finalmente, en la Tabla 7 se muestran los valores de RPD(CIC, No CIC Emcore).

2986 celdas No CIC (Emcore)	$V_{ca}$ [V]	$I_{cc}$ [A]	FF
Promedio	2.620	0.472	0.837
Desviación estándar	0.019	0.004	0.010
Desviación estándar %	0.72	0.85	1.19
Mínimo	2.536	0.458	0.778
Máximo	2.658	0.485	0.860

Tabla 5: Promedios, desviaciones estándar, mínimos y máximos de los parámetros eléctricos analizados de las 2986 celdas no CIC, provistos por Emcore.

2986 celdas CIC (CNEA)	$V_{ca}$ [V]	$I_{cc}$ [A]	FF
Promedio	2.609	0.478	0.814
Desviación estándar	0.019	0.003	0.014
Desviación estándar %	0.73	0.63	1.72
Mínimo	2.526	0.465	0.638
Máximo	2.653	0.491	0.856

Tabla 6: Promedios, desviaciones estándar, mínimos y máximos de los parámetros eléctricos analizados de las 2986 celdas CIC, ensambladas en el GES.

DRP(CIC CNEA; No CIC Emcore)	$V_{ca}$	$I_{cc}$	FF
Promedio	-0.4	1.4	-2.7
Desviación estándar	0.2	0.8	1.5
Mínimo	-2.5	-1.9	-23.7
Máximo	0.7	4.9	4.9

Tabla 7: Promedios, desviaciones estándar, mínimos y máximos de las DRP(CIC CNEA, no CIC Emcore) de los parámetros eléctricos analizados de las 2986 celdas. Los parámetros correspondientes a las celdas no CIC fueron provistos por Emcore.

Los valores de los parámetros eléctricos de las celdas no CIC provistos por Emcore y los de las mediciones de las CICs son conjuntos de datos estadísticamente relevantes y muestran un alto grado de homogeneidad y pequeñas desviaciones estándar.

Los resultados muestran que las celdas son muy similares entre sí y que el método de medición adoptado en el GES es compatible con el de Emcore, repetitivo y confiable. Con respecto a las DRP, puede observarse que prácticamente no hay variación en  $V_{ca}$ , mientras que para  $I_{cc}$  se tiene un incremento consistente con la mejora esperada por el agregado del vidrio y su consecuente mejora de la característica antirreflectante de la celda; para FF se observa una disminución del 2,7%. En las Figuras 4 a 6 se presentan los histogramas de las DRP de la Tabla 7 y sus correspondientes distribuciones gaussianas. El ancho de la clase fue calculado con el criterio de Wand.

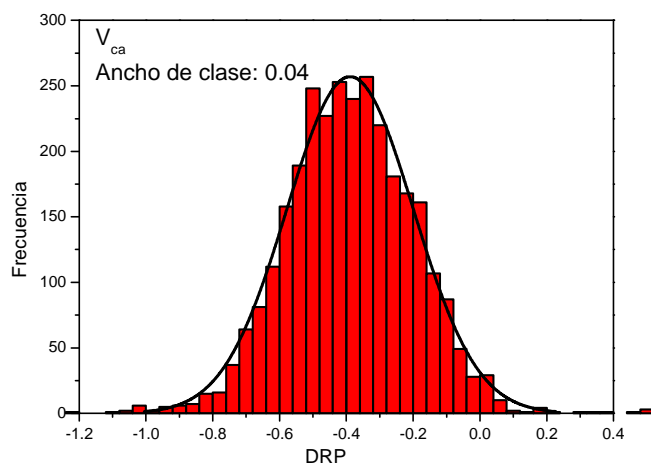


Figura 4: Histograma de las DRP(CIC CNEA, No CIC Emcore) y su curva gaussiana de  $V_{ca}$  para las 2986 celdas.

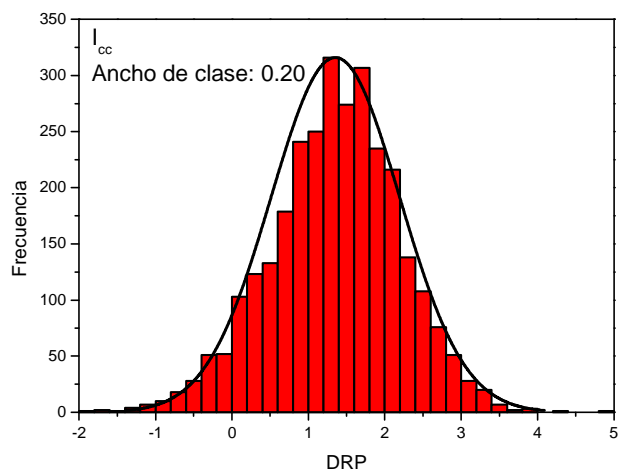


Figura 5: Histograma de las DRP(CIC CNEA, No CIC Emcore) y su curva gaussiana de  $I_{cc}$  para las 2986 celdas.

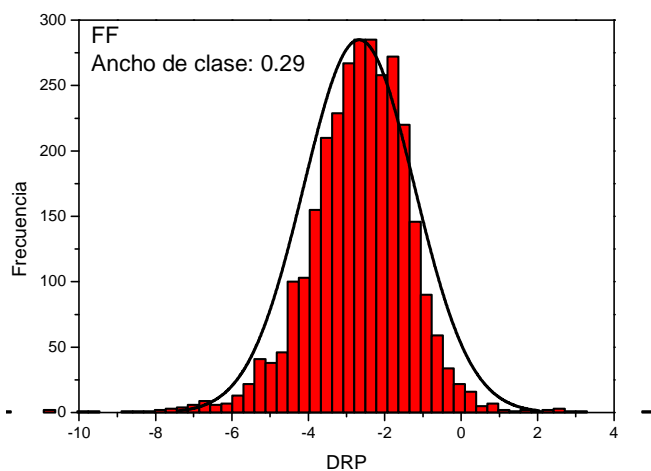


Figura 6: Histograma de las DRP(CIC CNEA, No CIC Emcore) y su curva gaussiana de FF para las 2986 celdas.

Durante el proceso de medición de las celdas, para cada tanda, se analizaron los valores de las DRP de las celdas. Durante las primeras 16 tandas (1912 CICs, primer sublote), estos valores se mantuvieron prácticamente constantes; en las siguientes 3

tandas (577 CICs, segundo sublote), se observó una disminución de FF, probablemente como consecuencia de la aparición, durante el proceso de pegado de la cubierta protectora de vidrio, de rayaduras en la grilla de contacto frontal de algunas celdas. El proceso de ensamble fue detenido y se realizaron las correcciones pertinentes en el proceso de pegado. Asimismo, se revisó el equipo de medición y se limpió cuidadosamente la base de medición, dado que había sospechas de una posible disminución en el FF debida a un aumento de la resistencia serie en el contacto entre la cara posterior de la celda y la base termostática. Luego, se reanudó el proceso, completando el total de celdas a ensamblar con las tres últimas tandas (497 CICs, tercer sublote). En la Figura 7 se presentan los histogramas de FF correspondientes al segundo y tercer sublote y el correspondiente al lote completo de CICs.

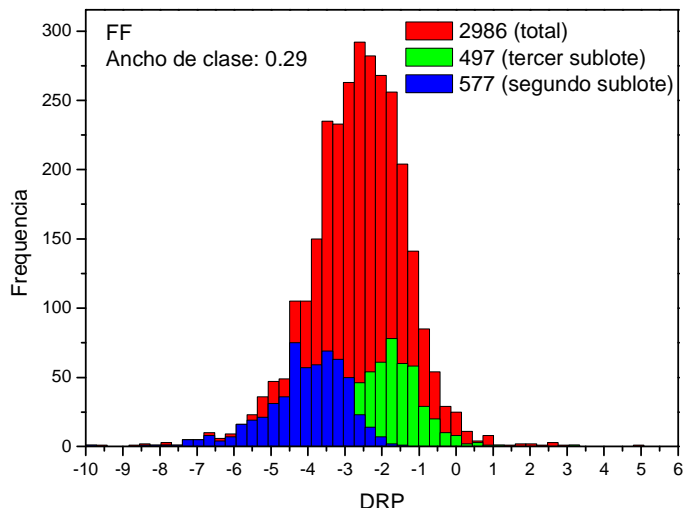


Figura 7: Histograma de las RPD(CIC CNEA, No CIC Emcore) del segundo y tercer sublote y del lote completo de celdas ensambladas.

En este gráfico puede apreciarse la degradación de FF en el segundo sublote respecto al lote completo, así como su mejora en el tercer sublote.

Con el fin de establecer la influencia de la limpieza de la base de medición, se remediaron 49 CICs. Estas celdas fueron descartadas durante el proceso de selección de celdas para la integración del modelo de vuelo de los paneles solares. En la Tabla 8 se presentan los resultados del cálculo de la RPD(Remediación, Primer Medición CIC) de FF y en la Figura 8, el correspondiente histograma.

DRP(Remediación, Primer Medición CIC)	$V_{ca}$	$I_{cc}$	FF
Promedio	-0.2	-0.2	3.7
Desviación estándar	0.2	0.6	2.3
Mínimo	-0.9	-2.1	-1.9
Máximo	0.2	1.0	6.8

Tabla 8: Valores de la DRP(Remediación, Primer medición CIC) de  $V_{ca}$ ,  $I_{cc}$  y FF para las 49 CICs remediadas.

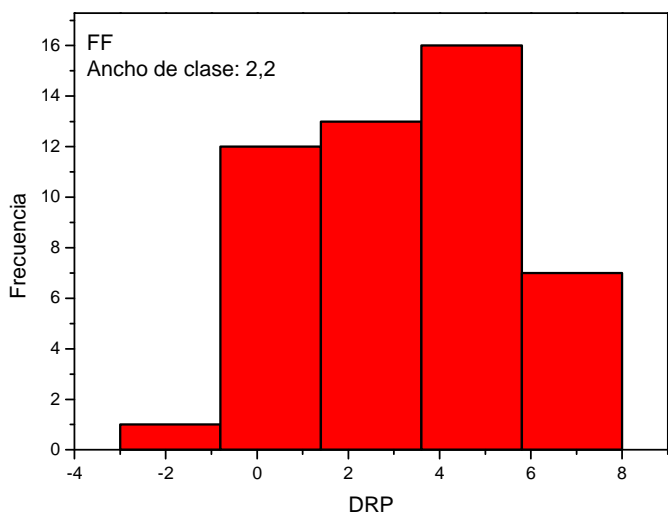


Figura 8: Histograma de la DRP(Remediación, Primer medición CIC) de FF para las 49 celdas remediadas

Los resultados de la Tabla 8 muestran que  $V_{ca}$  e  $I_{sc}$  permanecen prácticamente invariantes, mientras que FF se incrementa alcanzando un valor medio de 3,7%. Dado que el conjunto de CICs remediado estaba formado por 22 CICs del primer sublote y 27 del segundo, se calculó el promedio y la desviación estándar de la DRP(Remedidas, Primer Medición CIC) de FF de cada subconjunto. El resultado se presenta en la Tabla 9.

DRP(Remedición, Primer Medición CIC)	22 CICs 1 <sup>er</sup> sublote	27 CICs 2 <sup>o</sup> sublote
Promedio	1.9	4.1
Desviación estándar	2.0	2.1

Tabla 9: Valores de la DRP(Remedidas, Primer Medición CIC) de FF para cada uno de los subconjuntos de celdas remediadas.

Los resultados de la Tabla 9 indican que FF de las 22 CICs del primer sublote presenta un mejora inferior a la del segundo sublote, (cuyas CICs fueron medidas justo antes de la limpieza de la base), demostrando la importancia de la limpieza de la base.

Finalmente, para analizar la influencia del contacto entre la celda y la base de medición, se midieron 50 CICs con contactos posteriores soldados. Estas celdas pertenecen al lote residual de las mejores celdas luego de la integración del Modelo de Vuelo de los Paneles Solares. Se calcularon las DRP(CIC con Contacto Posterior, Primer Medición CIC), el resultado se presenta en la Tabla 10 y el correspondiente histograma de FF en la Figura 9.

DRP(CIC con Contacto Posterior Medición CIC)	$V_{ca}$	$I_{cc}$	FF
Promedio	-0.5	0.1	0.8
Desviación estándar	0.3	0.7	1.5
Mínimo	-0.9	-2.1	-1.9
Máximo	0.2	1.3	3.2

Tabla 10: Valores de las DRP(CIC con Contacto Posterior, Primer medición CIC) para  $V_{ca}$ ,  $I_{cc}$  y FF para las 50 CIC con contacto posterior soldado.

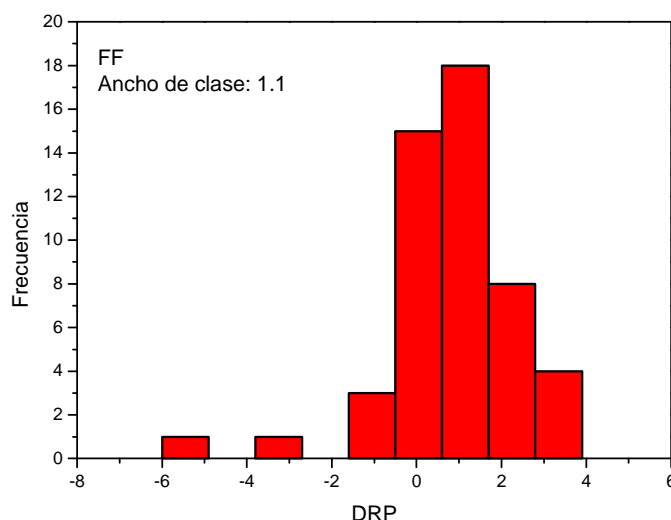


Figura 9: Histograma de la DRP(CIC con Contacto Posterior, Primer Medición CIC) de FF de las 50 CICs con contacto posterior soldado.

En la Tabla 10 se puede apreciar nuevamente la invariancia de  $V_{ca}$  e  $I_{cc}$ . Si bien FF tiene también poca variación, en el histograma de la Figura 9 se puede apreciar un corrimiento hacia la derecha de las clases, similar al histograma de las remediciones. Dado que el conjunto de CICs a las cuales se les agregó el contacto posterior estaba formado por 20 celdas integradas en el segundo sublote y 30 del tercero, se calcularon las DRP(CIC con Contacto Posterior, Primer Medición CIC) para cada subconjunto, presentándose los resultados en la Tabla 11.

DRP(CIC con Contacto posterior, Primer Medición CIC)	20CICs	30CICs
Promedio	1.4	0.3
Desviación estándar	1.7	1.3

Tabla 11: Valores de la DRP(CIC con Contacto Posterior, Primer Medición CIC) de FF para cada uno de los subconjuntos de celdas con contacto posterior soldado.

En este caso, consistentemente con los resultados obtenidos para las remediciones, puede observarse que la DRP del promedio es mayor para las celdas del subconjunto de CICs medidas previamente a la limpieza que la del subconjunto de

CICs medidas luego de a la limpieza. Así, para las CICs con contacto posterior medidas luego de la limpieza, no se observa variación significativa de su FF.

## CONCLUSIONES

El análisis estadístico realizado sobre las celdas ATJ utilizadas en la integración del modelo de vuelo de los paneles solares del satélite SAC-D permitió:

- estimar de la incertidumbre de la medición;
- determinar que el método de medición utilizado en el GES es compatible con el de Emcore, y además repetitivo y confiable;
- observar el alto grado de homogeneidad de los parámetros eléctricos de las celdas solares, antes y después de ensambladas;
- estudiar la influencia de la limpieza de la base sobre los resultados de la medición;
- estudiar la influencia del contacto entre la celda y la base de medición;
- evaluar el proceso de ensamblado de las celdas.

Se observó que luego del proceso de ensamble  $V_{ca}$  permanecía prácticamente invariante, mientras que  $I_{sc}$  presentaba un incremento consistente con al mejora de la característica antirreflectante debido al agregado del vidrio y FF sufría una pérdida de 2.7% en promedio respecto de las mediciones de Emcore, aunque en este caso es necesario tener en cuenta que existen probables diferencias entre los métodos de medición que harían aún mayor esta cifra. Así, la pérdida promedio en FF debiera ser considerada una cota inferior. El análisis de FF permitió detectar que la limpieza de la base de medición es un factor importante en el resultado de las mediciones y que el contacto entre la celda y la base de medición es adecuado. Sin embargo, este factor explica solo parcialmente la degradación producida en el FF, pudiendo influir en la misma los procesos básicos en el ensamblado de las celdas, como son la soldadura de los interconectores y el pegado del vidrio de protección.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los demás integrantes del Proyecto “Integración y ensayo de los paneles solares para la misión satelital Aquarius/SAC-D” quienes hicieron posible el presente trabajo, y a Ariel Danón por su aporte al desarrollo del estudio estadístico de las celdas.

Este trabajo fue financiado principalmente por la CNEA y la CONAE, contándose también con apoyo del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

## REFERENCIAS

- Alurralde M., Barrera M., Bolzi C.G., Bruno C.J., Cabot P., Carella E., Di Santo J., Durán J.C., Fernández Vázquez J., Filevich A., Godfrin E.M., Goldbeck V., González L., Iglesias A., Martínez Bogado M.G., Mezzabolta E., Moglioni A., Muñoz S., Nigri C., Nigro S.L., Plá J., Prario I., Raffo Calderón M.C., Raggio D., Rinaldi C., Rodríguez S.E., Socolovsky H., Tamasi, M.:J.L. (2009). Flight model for the Aquarius/SAC-D satellite mission. Proceedings of the 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburgo, Alemania, pág. 695.
- Alurralde M., Barrera M., Bolzi C.G., Bruno C.J., Cabot P., Carella E., Di Santo J., Durán J.C., Fernández Vázquez J., Filevich A., Franciulli C.D., Godfrin E.M., Goldbeck V., Iglesias A., Martínez Bogado M.G., Mezzabolta E., Moglioni A., Nigri C., Nigro S.L., Palumbo F., Plá J., Prario I., Raffo Calderón M.C., Rodríguez S.E., Socolovsky H., Tamasi M.J.L., Vertanessian A. (2007). Advances in the development of photovoltaics for space applications in Argentina. Proceedings of the 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference, Milán, Italia, pág. 687.
- CONAE. (2010) <http://www.conae.gov.ar>
- Godfrin E.M., Plá J. Durán J.C. (2010). Statistical comparative analysis of the electrical parameters of CIC assemblies for Aquarius/SAC-D mission. Aceptado para su presentación en la 25th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 2-6 de setiembre, Valencia, España.
- Godfrin E.M., Durán J.C., Fernández Slezak D., Berbeglia G. (2007). Design and simulation of the power subsystems for two argentine satellites. Proceedings of the 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference, Milán, Italia, pág. 692.
- Wand M.P. (1997). Data –based choice of histogram bin width. The American Statistician, Vol. 51, No 1, 59.

## ABSTRACT

Within the frame of a contract between the National Atomic Energy Commission (CNEA) and the National Commission for Space Activities (CONAE), the CNEA Solar Energy Group (GES), with the collaboration of other professionals and technicians of the Constituyentes Atomic Centre, have developed the solar array for Aquarius/SAC-D satellite mission. The manufacturing of the solar array flight model required the integration and electrical characterization, under standard conditions, of approximately 3000 solar cells with by-pass diodes, interconnectors and coverglasses. In this paper, a statistical analysis of the solar cells electrical parameters, before and after the assembling, is presented. Measurements performed at CNEA are also compared with data provided by the manufacturer of the solar cells. The Fill Factor of the current-voltage curves was specially studied since it seems to be an appropriate parameter for evaluating the degradation of the devices due to the integration processes. The analysis presented showed to be an interesting tool for monitoring these processes and also for evaluating the reliability and uncertainty of the measurement technique used.

**Keywords:** photovoltaic conversion, solar panels, space applications, satellite missions, solar cells