

MISIONES SATELITALES SAOCOM 1: ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS PANELES SOLARES EN ÓRBITA

Elena M. Godfrin

Departamento Energía Solar, Centro Atómico Constituyentes, CNEA
(B1650) San Martín, Provincia de Buenos Aires - Argentina
Tel. +54 11 67727132 - e-mail: godfrin@tandar.cnea.gov.ar

Recibido: 16/06/2021; Aceptado: 20/07/2021.

RESUMEN.- Las misiones satelitales SAOCOM 1 constan de satélites idénticos que fueron diseñados y construidos por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) junto con organismos y empresas del sistema científico y tecnológico nacional. El instrumento principal de estos satélites es una antena radar de apertura sintética cuyo consumo en operación es de alrededor de 4 kW. La alimentación eléctrica de la plataforma y los instrumentos de los satélites se obtiene mediante paneles solares que fueron diseñados y fabricados en el Departamento Energía Solar (DES) de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA). Desde la puesta en órbita de ambos satélites, la CONAE recibe por telemetría datos referentes al funcionamiento de sus instrumentos y de los paneles solares. El objetivo del presente trabajo es el análisis de las variables correspondientes a los paneles solares para monitorear su funcionamiento. A tal fin, se desarrollaron en el DES herramientas computacionales que permiten simular el funcionamiento de los paneles en órbita a partir de las mediciones realizadas en Tierra y compararlo con los datos telemétricos. Los análisis realizados muestran el correcto funcionamiento de los paneles solares, en buen acuerdo con las simulaciones realizadas, y que la potencia generada cumple con el requerimiento establecido.

Palabras claves: satélite artificial, simulación, telemetría, panel solar, celda fotovoltaica

SAOCOM 1 SATELLITE MISSIONS: ANALYSIS OF SOLAR PANELS OPERATION IN ORBIT

ABSTRACT.- The SAOCOM 1 satellite missions consist of identical satellites designed and built by the National Commission for Space Activities (CONAE) together with organizations and companies of the national scientific and technological system. The main instrument of these satellites is a synthetic aperture radar antenna whose operating consumption is around 4 kW. The power supply for the platform and the satellite instruments is obtained through solar panels that were designed and manufactured in the Solar Energy Department (DES) of the National Atomic Energy Commission (CNEA). Since the launch of both satellites, CONAE receives data related to the operation of its instruments and solar panels by telemetry. The objective of this work is to analyse the variables corresponding to the solar panels in order to monitor their operation. To this end, computational tools were developed at DES to simulate the operation of the panels in orbit from measurements made on Earth and compare it with telemetric data. The analysis carried out show the correct operation of the solar panels, in good agreement with the simulations performed, and that the power generated complies with the established requirement.

Keywords: artificial satellite, simulation, telemetry, solar panel, photovoltaic cell

1. INTRODUCCIÓN

La misión satelital SAOCOM se encuadra dentro del Plan Espacial Nacional, cuya primera versión cubría el período 1995-2006, habiéndose realizado dos revisiones posteriores: Plan 1997-2008 y Plan 2004-2015, con actualización en el año 2010. La versión preliminar del “Plan Espacial Nacional 2016-2027” ha sido aprobada por el Directorio de CONAE y presentada al Poder Ejecutivo Nacional (CONAE “Plan Espacial Nacional”, 2018).

El objetivo central de los satélites SAOCOM de Observación de la Tierra es la medición de la humedad del suelo y aplicaciones en emergencias, tales como detección

de derrames de hidrocarburos en el mar y seguimiento de la cobertura de agua durante inundaciones. Es un proyecto desarrollado en colaboración con la Agencia Espacial Italiana (ASI) e integra de manera operacional, junto con los satélites italianos COSMO-SkyMed, el Sistema Italo-Argentino de Satélites para la Gestión de Emergencias (SIASGE).

Los satélites de la constelación SAOCOM 1, SAOCOM 1A y SAOCOM 1B, fueron construidos junto con organismos y empresas del sistema científico y tecnológico nacional, como INVAP (contratista principal), CNEA y VENG; comparten los mismos requerimientos de diseño, funcionalidad y operatividad, por lo que su desarrollo se

llevó a cabo en simultáneo dando como resultado dos satélites idénticos (CONAE “Misiones satelitales - SAOCOM”, 2018).

El SAOCOM 1A fue puesto en órbita el 7 de octubre de 2018 y el SAOCOM 1B el 30 de agosto de 2020, con un tiempo de vida útil estimado de, por lo menos, 5 años para cada satélite. En cuanto a la órbita, se pretende obtener en ambos casos una cobertura global y contar con un ciclo de repetición orbital de 16 días para cada satélite, lo que resulta en 8 días para la constelación.

2. SATÉLITES SAOCOM 1

Los satélites SAOCOM 1A y 1B se desplazan sobre una órbita polar heliosincrónica, situada a 620 km de altura, con una inclinación de 98°, siendo la hora orbital del nodo ascendente las 6 horas. El período orbital es de 98 minutos, con períodos de eclipse de duración variable durante aproximadamente 3 meses por año (principios de noviembre a principios de febrero), con una duración máxima de aproximadamente 20 minutos el 21 de diciembre. El ángulo comprendido entre la órbita y la eclíptica varía entre 31° (diciembre) y 4° (octubre).

El instrumento principal de estos satélites es una antena radar de apertura sintética (SAR), en banda L (en 1,3 GHz) de aproximadamente 35 m² que permite detectar objetos de tamaño pequeño en la superficie terrestre y también hasta dos metros bajo el suelo, aportando información muy útil sobre la humedad de los suelos y la estructura geológica. Los mayores consumos de los SAOCOM 1 están asociados a la operación de dicha antena (4 kW) y también a las maniobras de posicionamiento del satélite que le permiten observar en la dirección requerida. El satélite realiza observaciones a derecha en forma de operación nominal y, eventualmente, hacia la izquierda, mediante una rotación del satélite. La alimentación eléctrica de la plataforma y los

instrumentos de los satélites se obtiene mediante paneles solares que fueron diseñados y fabricados en el DES de la CNEA.

Desde su puesta en órbita, los satélites transmiten por telemetría datos referentes a su plataforma e instrumentos, la mayoría de las mediciones se realiza cada 8 segundos y otras, cada 40 segundos. En este trabajo se presenta el análisis de los datos de telemetría correspondientes a los paneles solares. Los datos analizados, provistos por la CONAE, corresponden a los paneles solares, las baterías y parámetros de la antena radar SAR. Los códigos computacionales utilizados fueron desarrollados en el DES y se encuentran detallados en (Godfrin E.M., 2015).

3. PANELES SOLARES

Cada satélite de la serie SAOCOM 1 tiene 3 paneles solares con un área total de aproximadamente 13 m² y están compuestos por 3584 celdas fotovoltaicas de triple juntura (ATJ, Advanced Triple Junction), provistas por Emcore - ahora Solaerotec - (Solaero Technologies, 2018) interconectadas entre sí formando cadenas de 32 celdas en serie. A su vez, las cadenas se conectan entre sí en paralelo, formando módulos de 4 ó 5 cadenas. Cada uno de los paneles posee 8 módulos, con configuraciones levemente diferentes. Además, cada panel tiene 2 sensores solares de posición y 2 termorresistencias para medir la temperatura. En la figura 1 se presenta el esquema de los 3 paneles, con la posición y denominación de los módulos, los sensores solares gruesos (CSS, *Coarse Solar Sensor*) y las termorresistencias (Pt-2000).

Los sensores solares gruesos se encuentran sobre soportes adosados a los paneles solares, cuya forma se muestra en la figura 2.

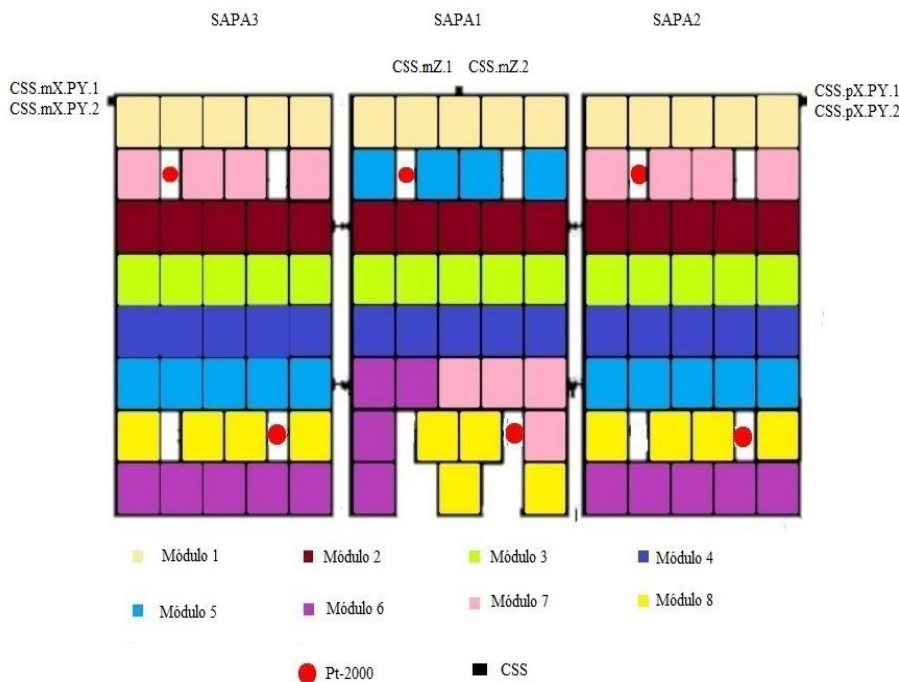


Fig. 1. Esquema de los 3 paneles, con la posición de los módulos, los sensores solares gruesos (CSS) y las termorresistencias (Pt-2000).

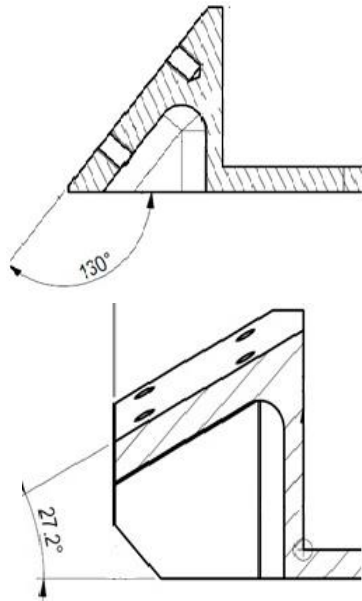


Fig. 2. Esquema de los soportes de los sensores solares gruesos de los paneles 1 (arriba), 2 y 3 (abajo).

Tabla 1: Valores de los parámetros característicos de los módulos del satélite SAOCOM 1A en CNME.

SAOCOM 1A	V _{oc} [V]	I _{sc} [A]	P _{pmp} [W]	V _{pmp} [V]	I _{mpp} [A]
Módulo					
1	83,2	2,39	162	73,6	2,20
2	82,9	2,41	163	73,3	2,23
3	83,1	2,42	164	73,5	2,23
4	83,1	2,42	163	73,4	2,23
5	82,8	1,91	129	73,3	1,76
6	83,3	1,91	130	73,9	1,76
7	82,9	1,92	129	73,6	1,76
8	83,0	1,90	128	73,7	1,73
SAPA 1	83,0	17,2	1167	73,5	15,8
1	83,5	2,41	165	74,2	2,23
2	83,5	2,40	164	74,2	2,21
3	83,6	2,42	166	74,1	2,24
4	83,5	2,42	165	74,1	2,23
5	83,4	2,41	165	74,2	2,22
6	83,3	2,40	165	74,1	2,22
7	83,7	1,93	133	74,6	1,78
8	83,3	1,92	132	74,3	1,78
SAPA 2	83,4	18,3	1254	74,2	16,9
1	83,2	2,41	164	73,8	2,23
2	83,1	2,40	163	74,0	2,20
3	83,2	2,40	164	74,1	2,22
4	83,4	2,40	164	74,0	2,22
5	83,2	2,40	163	74,1	2,20
6	83,1	2,41	163	73,7	2,21
7	83,1	1,91	131	73,7	1,78
8	83,1	1,92	131	74,1	1,78
SAPA 3	83,2	18,24	1243	73,9	16,8
			3664		

Utilizando las curvas I-V medidas en condiciones normalizadas de medición para usos espaciales (CNME; 1366 W/m², 28°C) (Stan M.A et al, 2000) de cada una de las celdas que conforman cada módulo, se simuló el funcionamiento de las celdas interconectadas mediante la

herramienta numérica (Godfrin E.M., 2015), obteniéndose los valores de los parámetros eléctricos característicos de cada módulo de los satélites SAOCOM 1A y 1B (Tablas 1 y 2).

Tabla 2: Valores de los parámetros característicos de los módulos del satélite SAOCOM 1B en CNME.

SAOCOM 1B	V _{oc} [V]	I _{sc} [A]	P _{pmp} [W]	V _{pmp} [V]	I _{pmp} [A]
Módulo					
1	83,6	2,37	165	73,5	2,24
2	83,5	2,40	165	73,2	2,25
3	83,6	2,40	166	73,7	2,21
4	83,7	2,40	166	73,8	2,25
5	83,4	1,92	132	73,6	1,80
6	83,5	1,94	132	73,7	1,80
7	83,6	1,92	133	74,0	1,80
8	83,2	1,90	130	73,6	1,72
SAPA 1	83,5	17,2	1166	72,2	16,1
1	83,5	2,38	165	73,9	2,23
2	83,3	2,39	165	73,6	2,24
3	83,7	2,40	166	73,8	2,26
4	83,2	2,39	165	73,5	2,25
5	83,3	2,38	164	73,5	2,24
6	83,5	2,39	163	73,1	2,24
7	83,5	1,91	132	73,8	1,80
8	83,2	1,91	131	73,3	1,80
SAPA 2	83,4	18,1	1253	73,5	17,0
1	83,3	2,37	163	73,2	2,24
2	83,3	2,38	164	73,3	2,24
3	83,0	2,39	164	73,0	2,25
4	83,3	2,40	166	73,7	2,26
5	83,2	2,39	164	73,2	2,24
6	83,1	2,39	163	73,1	2,23
7	83,1	1,90	130	73,2	1,78
8	83,1	1,90	130	72,9	1,79
SAPA 3	83,2	18,1	1246	73,2	17,0
			3661		

Las curvas I-V simuladas de los módulos de ambos satélites fueron comparadas con las correspondientes mediciones eléctricas realizadas con el simulador solar Large Area Pulsed Solar Simulator LAS-2012 (Alpha-Omega Power Technologies), obteniéndose un buen acuerdo entre las simuladas y las medidas. En la figura 3 se presenta la comparación entre la curva I-V simulada y la medida del módulo 2 del SAPA2 del SAOCOM 1B.

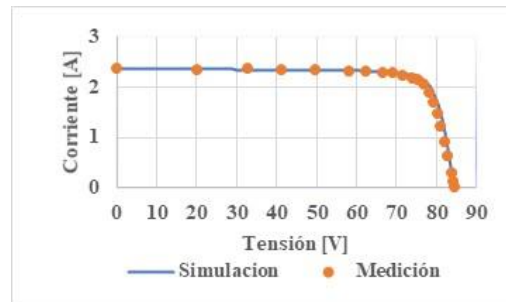


Fig. 3. Comparación entre la curva I-V simulada y la medida del módulo 2 del SAPA2 del satélite SAOCOM 1B.

3.1.SAOCOM 1ª.

3.1.1.Análisis de las corrientes de los módulos

El período de análisis de los datos provistos por telemetría del SAOCOM 1A abarca desde el 1 de diciembre de 2018 al 31 de diciembre de 2020, no estando incluidos en el análisis los meses en los cuales se realizaron las maniobras iniciales de posicionamiento del satélite (octubre y noviembre de 2018) en la órbita establecida.

El análisis se realizó utilizando las siguientes variables, medidas cada 40 segundos:

- las corrientes de los módulos,
- las corrientes de los sensores solares de posición,
- la tensión del *bus* de los paneles solares,
- las corrientes de las baterías,
- las temperaturas de los sensores de temperatura,
- los indicadores de adquisición de datos de la antena radar,
- las coordenadas de la posición del satélite.

El ángulo de incidencia de la radiación solar sobre los paneles (β) se calculó a partir de las corrientes de los sensores de posición y a su orientación relativa al plano de los paneles, utilizando el procedimiento descrito para el satélite SAC-D (Godfrin E.M., 2015).

En un primer paso, para cada módulo se simuló las corrientes de cortocircuito (I_{sc} , *Short Circuit*) y en el punto de máxima potencia (I_{mpp} , *Maximum Power Point*) en las condiciones de operación en órbita, teniendo en cuenta los valores medidos en Tierra en CNME y corrigiéndolos con:

- el factor de corrección debido a la variación de la distancia Tierra-Sol (Iqbal M., 1983),
- el ángulo de incidencia de la radiación solar sobre los paneles solares (β),
- los coeficientes de variación de los parámetros eléctricos de las celdas solares por temperatura (Solaero Technologies, 2018), utilizando la temperatura aproximada de operación de cada módulo medida por la termorresistencia PT-2000 más cercana al módulo.

A modo de ejemplo, en la figura 4 se presentan las corrientes medidas en órbita, las obtenidas por simulación y la temperatura la termorresistencia PT-2000 más cercana al módulo considerado, en función de la posición angular del satélite medida desde el Polo Norte para el 20 de abril de 2019 (aproximadamente 15 órbitas). Ese día no se realizaron observaciones ni maniobras de posicionamiento, corresponde al período sin eclipses y β es casi constante a lo largo de las órbitas (sus valores varían entre 0° y 4°). Los módulos graficados pertenecen al panel SAPA1 del SAOCOM 1A.

Se observa:

- muy poca dispersión en la temperatura y, en consecuencia, en las corrientes simuladas;
- el módulo 1 (MOD1) está activo (generando potencia) operando en una tensión cercana a la de máxima potencia;
- el módulo 5 (MOD5) está en estado de cortocircuito, o sea que no genera potencia;

- el módulo 3 (MOD3) conmuta entre activo y estado de cortocircuito (la dispersión alrededor del punto de máxima potencia en los valores de la corriente se debe a la conmutación);
- la corriente del módulo 5 es inferior a la de los módulos 1 y 3 debido a que está formado por 4 cadenas, mientras los otros dos son de 5 cadenas.

De la inspección de los datos de los 25 meses se obtienen las siguientes conclusiones.

- Cuando no se realizan observaciones la cantidad mínima de módulos activos es de 4 para la época sin eclipses, pasando a 5 en el primer mes de la época con eclipses, luego a 6 en el segundo mes y volviendo a 5 en el tercer mes.
- Cuando se realizan observaciones todos los módulos se activan (figura 5) y se requiere del aporte adicional de potencia de las baterías para la alimentación de la antena radar (figura 6).
- Se detecta la presencia de albedo (reflexión de la radiación solar sobre la superficie de la Tierra) en el Polo Norte durante los meses de marzo a agosto y en el Polo Sur, en febrero, marzo, setiembre y octubre (aumento de las corrientes de todos los módulos con respecto a los valores simulados).
- Cuando no se realizan maniobras,
 - entre abril y setiembre la variación de β es del orden de los 5° al recorrer cada órbita, luego las corrientes de cada panel no presentan variaciones a lo largo de las órbitas,
 - de octubre a marzo, la variación de β es mayor a los 10° y las corrientes de los módulos sufren variaciones durante el recorrido de cada órbita.
- la cantidad de observaciones diarias es muy variable, tanto en cantidad (de 0 a más de 100) cuanto en duración (desde menos de un minuto hasta varios minutos).

3.1.2.Estimación de la potencia media orbital.

El documento "Interface Control Document SOG-PAS-IC-00100-A SA ICD" (Garategaray L., 2010) establece que la potencia media orbital debe ser de 1900 W en las peores condiciones de iluminación (hecho que ocurre el 21 de diciembre cuando el eclipse tiene mayor duración), con la pérdida de un módulo, al final de la vida útil del satélite (al menos 5 años). Si bien no se está al final de la vida útil del satélite, el objetivo de esta sección es verificar que hasta la fecha de finalización del análisis la potencia orbital generada es mayor a la indicada en el requerimiento.

Se consideraron el 20 de diciembre de 2018 (el 21 no se realizaron observaciones), y el 21 de diciembre de 2019 y de 2020, calculando la potencia entregada por los módulos durante una observación realizada en proximidad del eclipse en cada caso.

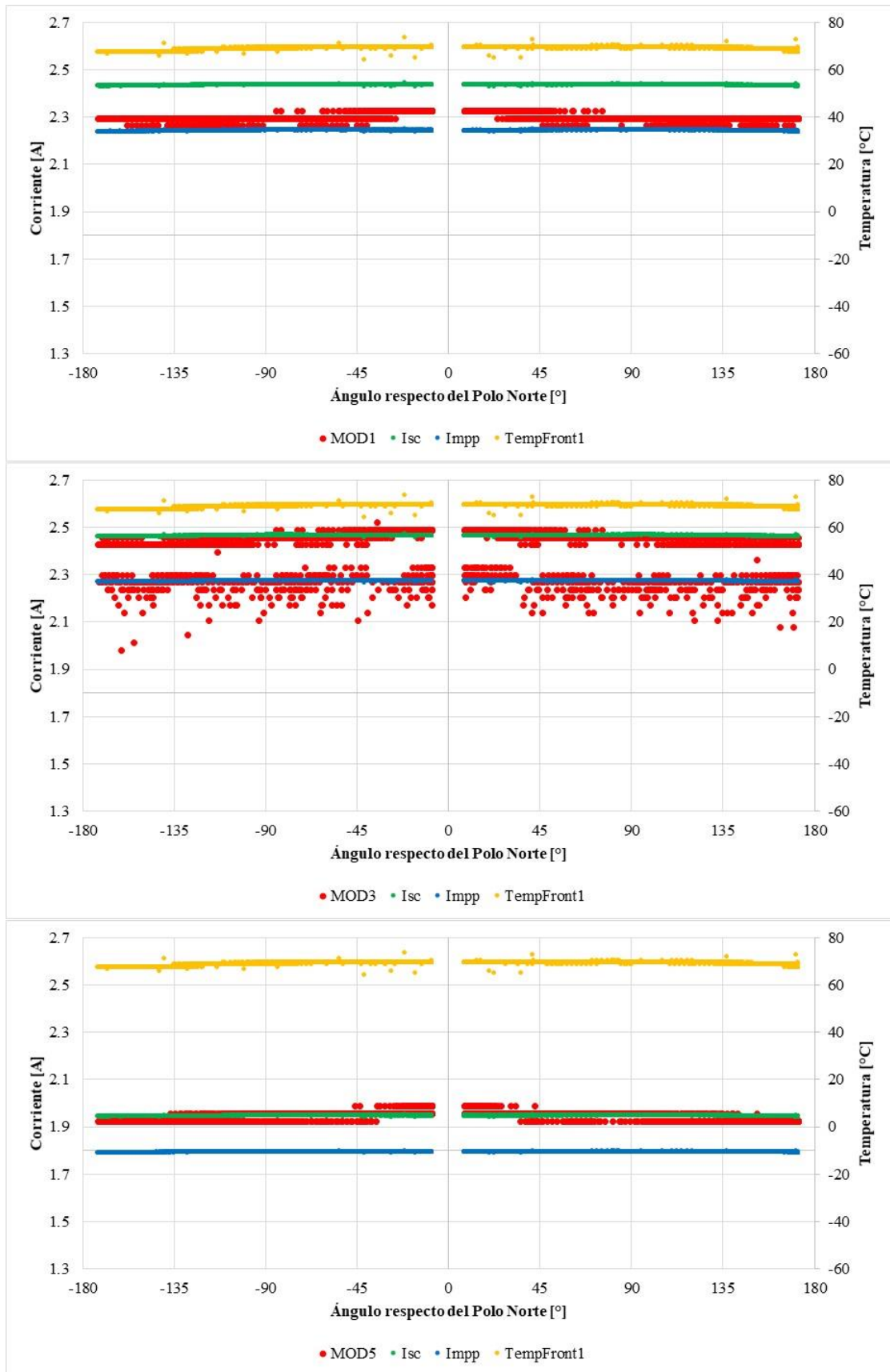


Fig. 4. Corriente provista por telemetría (rojo), corriente de cortocircuito simulada (I_{sc} , verde), corriente del punto de máxima potencia simulada (I_{mpp} , azul), correspondientes a los módulos 1, 3 y 5 del panel SAPAI, y temperatura medida por la termorresistencia PT-2000 más cercana a cada módulo (TempFront1), para el 20 de abril de 2019.

La potencia media orbital que podrían entregar los paneles solares en época de eclipses de máxima duración puede estimarse mediante la siguiente fórmula:

$$P_{orb} = P_{ent} \times T_{ilum} / T_{orb}$$

donde P_{orb} es la potencia media orbital;

P_{ent} , la potencia entregada;

T_{ilum} , la duración del período orbital en que los paneles solares reciben radiación solar;

T_{orb} , la duración de la órbita.

Los valores obtenidos de la potencia generada por los paneles solares durante una observación y de la potencia media orbital con la pérdida de un módulo de 5 cadenas se consignan en la Tabla 3.

Tabla 3: Potencia generada por los paneles solares durante una observación y potencia media orbital estimada en las peores condiciones de iluminación, con la pérdida de un módulo de 5 cadenas para el SAOCOM 1A.

Fecha	Potencia generada [W]	Potencia media orbital (23 módulos) [W]
20/12/2018	2643	2048
21/12/2019	2666	2027
21/12/2020	2776	2090

La potencia orbital calculada en las peores condiciones de iluminación supera la cota de 1900 W impuesta en el requerimiento.

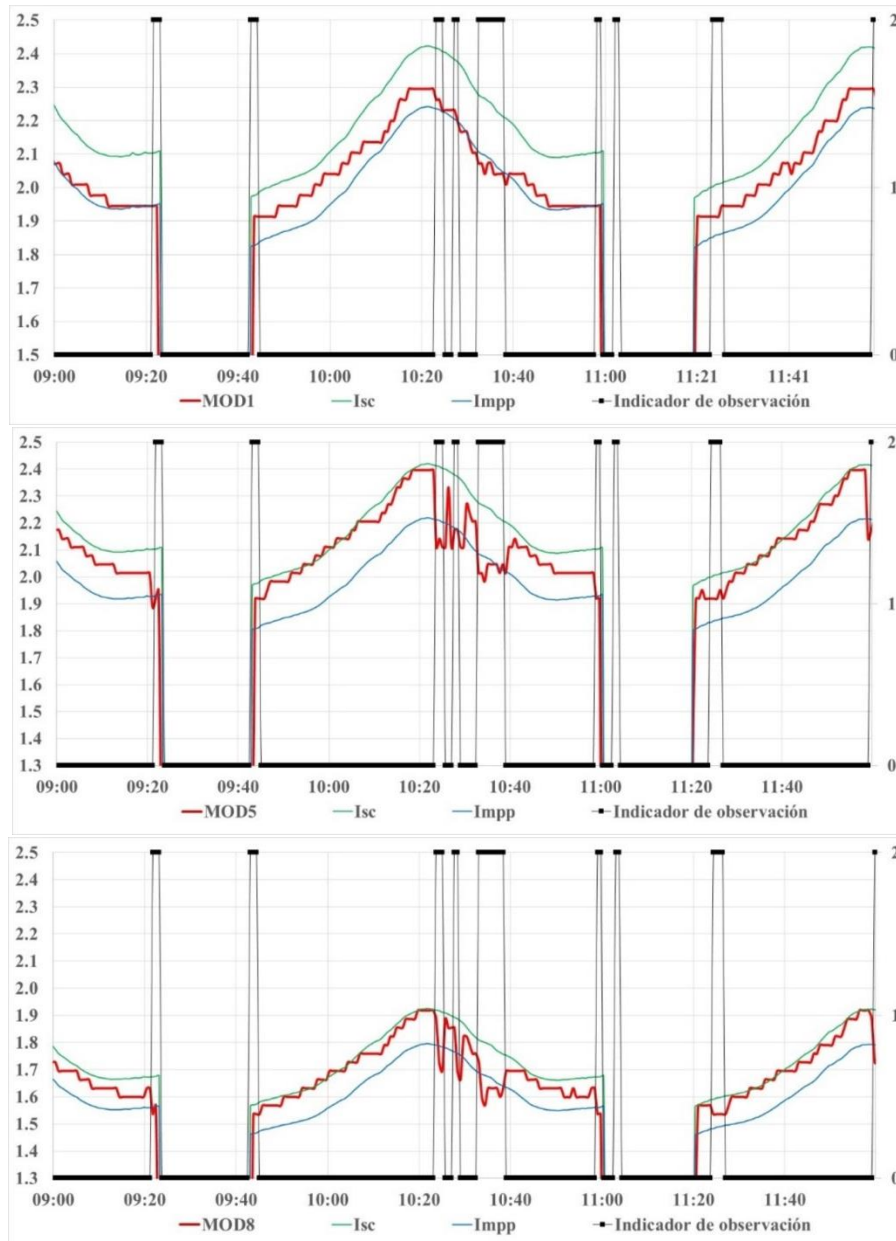


Fig. 5. Corriente provista por telemetría (rojo), corriente de cortocircuito simulada (I_{sc} , verde), corriente del punto de máxima potencia simulada (I_{mpp} , azul), correspondientes a los módulos 1, 5 y 8 del panel SAPA3, e indicador de observación (el valor 0 indica que no se están realizando observaciones, mientras que el valor 1 indica que se realiza una observación).

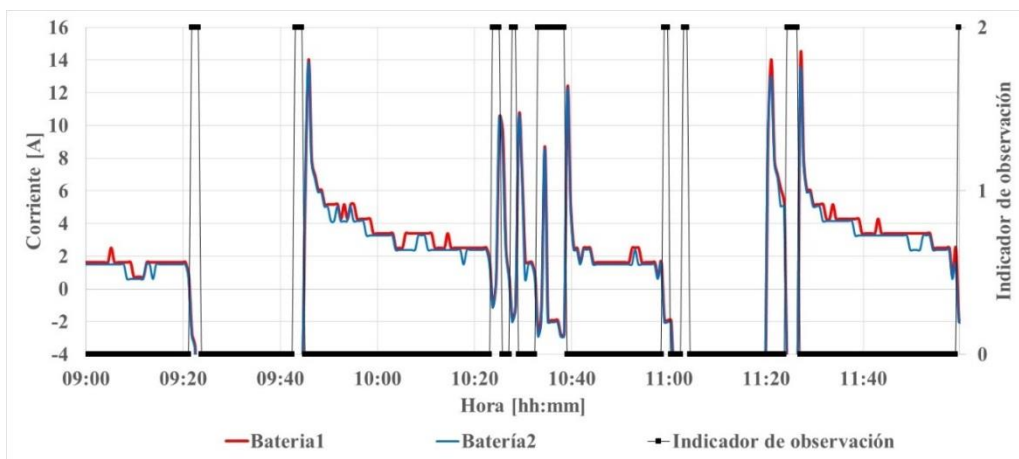


Fig. 6. Corriente de las baterías en períodos con observaciones (los valores positivos de la corriente indican que las baterías están en carga mientras que los negativos, en descarga) e indicador de observación (el valor 0 indica que no se están realizando observaciones, mientras que el valor 1 indica que se realiza una observación).

3.1.3. Monitoreo de la degradación de los paneles solares.

Los paneles solares deben asegurar la provisión de la energía necesaria para la alimentación de la plataforma y los instrumentos durante al menos 5 años y fueron diseñados a tal fin.

Al momento de realizar las observaciones, la antena radar SAR requiere una potencia superior a 4 kW, ya sea durante el eclipse o fuera de él. Si los paneles solares sufrieran una degradación mayor a la prevista, la alimentación eléctrica del satélite se vería afectada, limitando el uso de la antena radar SAR.

El monitoreo de la degradación de los paneles solares es entonces de gran importancia. A tal fin, desde diciembre de 2019, cada 10 días, se compara la corriente de cada módulo con la correspondiente del año anterior. Hasta el momento, se aprecia una muy buena concordancia en los valores de las corrientes de todos los módulos de igual fecha y diferente año, no observándose en consecuencia degradación.

En particular, se compararon las corrientes de los 24 módulos de los paneles solares del 20 de diciembre de 2018 con las del 21 diciembre de 2020. En la figura 7, a modo de ejemplo, se presentan las corrientes de los módulos 1, 4 y 8 del panel SAPA1 y la temperatura medida por la termorresistencia frontal para ambos días. Como referencia, se incluyen en el gráfico los resultados de las simulaciones de la corriente de cortocircuito y la corriente en el punto de máxima potencia.

Se observa

- que la temperatura del panel solar a lo largo de toda la órbita fue prácticamente la misma para ambas fechas,
- un buen acuerdo de las corrientes medidas en órbita y de las simuladas para los módulos que están siempre activos, típicamente los módulos 1 de los 3 paneles y el módulo 2 del SAPA1;
- un buen acuerdo en las corrientes de cortocircuito medidas en órbita y de la simulada para los módulos que están en cortocircuito;
- que las curvas de las corrientes medidas en órbita y las simuladas para los módulos que están conmutando, lo cual se debe a que la cantidad de observaciones es distinta en ambos años y que ellas se realizan en diferentes puntos de la órbita.

3.2. SAOCOM 1B

3.2.1. Análisis de las corrientes de los módulos.

El período de análisis de los datos provistos por telemetría del SAOCOM 1B abarca desde el 1 de setiembre de 2020 al 31 de diciembre de 2020, período que incluye los meses durante los cuales se realizaron las maniobras de posicionamiento del satélite.

Durante setiembre y octubre se realizan esencialmente maniobras de posicionamiento y escasas observaciones. En noviembre, continúan las maniobras, pero se incrementa la cantidad de observaciones y, finalmente, en diciembre comienza el régimen similar al analizado para el SAOCOM 1A. La cantidad mínima de módulos activos es 3 (1 por panel) en los primeros días de setiembre, pasando a 4 hasta principios de noviembre, a 5 en el primer mes con eclipses y a 6 en diciembre. La cantidad máxima de paneles activos durante setiembre y octubre es variable dependiendo del tipo de maniobra realizada, pero se verifica que todos los módulos se activan al realizarse una observación. A partir de noviembre, con el comienzo del período con eclipses, todos los módulos se activan al salir de ellos o durante las observaciones.

3.2.2. Estimación de la potencia media orbital.

Análogamente que para el SAOCOM 1A, se calculó la potencia generada durante una observación próxima a la salida del eclipse para el 21 de diciembre de 2020 y se estimó la potencia media orbital que generarían los paneles solares con la pérdida de un módulo. Los resultados se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4: Potencia generada por los paneles solares durante una observación y potencia media orbital estimada en las peores condiciones de iluminación, con la pérdida de un módulo de 5 cadenas para el SAOCOM 1B.

Fecha	Potencia generada [W]	Potencia media orbital (23 módulos) [W]
21/12/2020	2716	2065

La potencia media orbital calculada en las peores condiciones de iluminación supera la cota de 1900 W impuesta en el requerimiento.

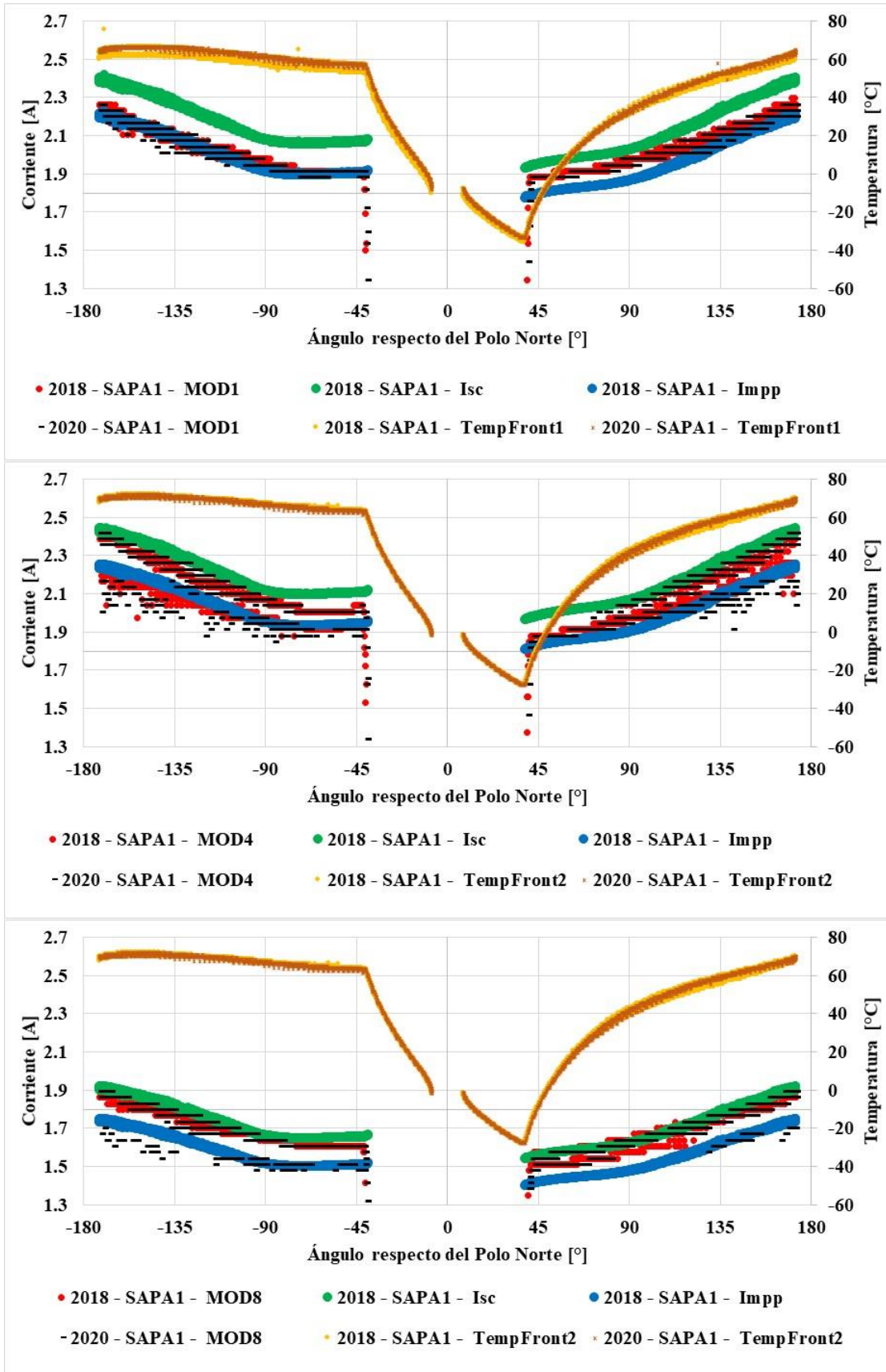


Fig. 7. Corriente prevista por telemetría de los módulos 1, 4 y 8 del panel SAPA1 (MODX) para el 20 de diciembre de 2018 y el 21 de diciembre de 2020; de las corrientes de cortocircuito (I_{sc}) y del punto de máxima potencia (I_{mpp}) y de las temperaturas de las termorresistencias más cercana al módulo correspondiente ($TempFrontX$).

4. CONCLUSIONES

Las misiones satelitales SAOCOM, incluidas en el Plan Espacial Nacional, constan de dos series de satélites cuyo objetivo principal es la medición de la humedad del suelo para prevención y seguimiento de emergencias.

La primera serie está formada por dos satélites idénticos, el SAOCOM 1A y el 1B, que fueron puestos en órbita el 7 de octubre de 2018 y el 30 de agosto de 2020.

El instrumento principal es una antena radar de apertura sintética que permite detectar objetos pequeños en la superficie terrestre y también hasta dos metros bajo el suelo, aportando información muy útil sobre la humedad de los suelos y la estructura geológica. Los mayores consumos de estos satélites están asociados a la operación de dicha antena, siendo de vital importancia que el suministro eléctrico sea el adecuado.

La energía eléctrica es generada por paneles solares diseñados y fabricados en el DES de la CNEA.

Desde su puesta en órbita los satélites transmiten por telemetría datos referentes a la plataforma, en particular de los paneles solares, y sus instrumentos.

Con el objeto de analizar el funcionamiento de los paneles en órbita, se desarrollaron en el DES métodos computacionales que permiten estimar la potencia de cada módulo en base a las mediciones de las celdas que lo forman y simular su comportamiento en órbita. Los valores de las corrientes de los módulos medidos en órbita se encuentran en buen acuerdo con las corrientes obtenidas por simulación a partir de mediciones realizadas en Tierra.

Se verificó que la potencia media orbital que podrían generar los paneles en el peor caso (máxima duración de los eclipses), aún con la pérdida de un módulo, es mayor que la establecida en los requerimientos de las misiones.

Por lo expuesto anteriormente, puede concluirse que los paneles solares de ambos satélites funcionan correctamente y de acuerdo con lo previsto.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado principalmente por la CNEA y la CONAE, contándose también con apoyo de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT)

y del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

La autora agradece la cooperación del equipo de las misiones satelitales SAOCOM 1, en particular a Mariano Amarfil, David Macat y Lucas Bruno, de la CONAE.

Finalmente, un agradecimiento especial a Julio C. Durán por su ayuda durante el análisis y por la lectura crítica y constructiva del presente trabajo.

REFERENCIAS

- Alpha-Omega Power Technologies, "Large Area Pulsed Solar Simulator". Recuperado el 07/06/2021 de: <https://alphaomegapt.com/products/las-2012>.
- CONAE. "Misiones Satelitales – SAOCOM". Recuperado el 07/06/2021 de: <https://www.argentina.gob.ar/ciencia/conae/misiones-espaciales/saocom>.
- CONAE. "Plan Espacial Nacional". Recuperado el 07/06/2021 de: <https://www.argentina.gob.ar/ciencia/conae/plan-espacial>.
- Garategaray L. (2010) "Interface Control Document SOG-PAS-IC-00100-A SA ICD". Documento de CONAE de circulación restringida.
- Godfrin E.M. (2015). "Simulación y modelización de paneles solares y de sistemas de potencia para aplicaciones espaciales". Recuperado el 07/06/2021 de: <http://www.tandar.cnea.gov.ar/doctorado/tesis.html>.
- Iqbal M. (1983). An Introduction to Solar Radiation. pp 4-5. Academic Press, New York.
- Solaero Technologies. ATJ Space Solar Cells". (2018). Recuperado el 07/06/2021 de: <https://solaerotech.com/wp-content/uploads/2018/03/ATJ-Datasheet.pdf>.
- Stan M.A., Aiken D.J., Sharps P.R, Fatemi N.S., Spadafora F.A., Hills J., Yoo H. y Clevenger B.(2002). 27.5% efficiency InGaP/InGaAs/Ge Advanced Triple Junction (ATJ) space solar cells for high volume manufacturing". 2002. Recuperado el 07/06/2021 de: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1190700>. https://www.researchgate.net/profile/M-Stan/publication/224740764_275_efficiency_InGaPInGaAsGe_advanced_triple_junction_ATJ_space_solar_cells_for_high_volume_manufacturing/links/5435a0520cf2dc341db2b4b2/275-efficiency-InGaP-InGaAs-Ge-advanced-triple-junction-ATJ-space-solar-cells-for-high-volume-manufacturing.pdf.