

Abstract

El rediseño del Sistema de Potencia Eléctrica (PWR) del satélite QUETZAL-2 tiene como objetivo optimizar la captación, almacenamiento y distribución de energía eléctrica, garantizando un funcionamiento continuo y confiable de todos los submódulos durante la misión. A partir del análisis del sistema original, se identificaron oportunidades de mejora en eficiencia y gestión energética, lo que permitió sustituir componentes por versiones más eficientes y optimizar los circuitos de control y protección.

El nuevo diseño contribuye a reducir las pérdidas de potencia, mejorar la autonomía energética y asegurar la estabilidad del sistema bajo las condiciones operativas del QUETZAL-2, fortaleciendo así su desempeño general y la confiabilidad de la misión.

Palabras clave: QUETZAL-2, PWR, captación solar, MPPT, baterías Li-ion, gestión de energía (BMS), diodos ideales, optimización de pérdidas, protección eléctrica.

Introducción

El Sistema de Potencia Eléctrica del satélite QUETZAL-2 constituye uno de los elementos fundamentales para garantizar el funcionamiento continuo y confiable de todos los submódulos a bordo. Este sistema se encarga de la captación, regulación, almacenamiento y distribución de energía, asegurando que cada componente reciba la potencia necesaria para su operación óptima durante toda la misión.

En esta nueva versión, se realizó un rediseño integral del PWR, reemplazando y actualizando diversos componentes con el fin de mejorar la eficiencia energética y reducir las pérdidas de potencia. Entre las principales mejoras destacan la selección de dispositivos más eficientes y ligeros, así como la optimización de los circuitos de control y protección eléctrica.

Objetivos

Objetivo general:

Diseñar y optimizar el Sistema de Potencia Eléctrica (PWR) del satélite QUETZAL-2 para garantizar un suministro de energía eficiente, estable y confiable a todos los submódulos, reduciendo las pérdidas de potencia y mejorando la autonomía operativa en órbita.

Objetivos Específicos:

- Seleccionar los componentes electrónicos a ser utilizados en la PCB del módulo PWR de QUETZAL-2.
- Comprobar el funcionamiento del rediseño del módulo PWR a través de simulaciones.
- Analizar el consumo de potencia de las cargas en los modos de operación del CubeSat con un Power Budget.

Metodología

La metodología empleada para el rediseño del Sistema de Potencia Eléctrica (PWR) del satélite QUETZAL-2 se desarrolló en varias etapas:

- **Análisis del sistema anterior:** Se evaluó el rendimiento del EPS original del QUETZAL-1 y las versiones preliminares del QUETZAL2, identificando limitaciones en eficiencia, capacidad de almacenamiento y pérdidas de potencia.
- **Selección de componentes:** Se investigaron y seleccionaron nuevos componentes eléctricos con mayor eficiencia y menor consumo, adecuados para las condiciones espaciales del satélite.
- **Diseño y simulación:** Se elaboraron nuevos esquemáticos de los circuitos del módulo, se desarrollaron modelos SPICE y se corrieron simulaciones para estudiar el comportamiento del circuito en condiciones varias. *Se desarrolló un Power Budget para dimensionar la demanda y disponibilidad de energía en el CubeSat en sus varios modos de operación.*
- **Implementación del rediseño:** Se integran las mejoras en la arquitectura del módulo PWR, optimizando la distribución de energía, la protección del sistema y la gestión de carga.
- **Validación y pruebas:** Se llevaron a cabo pruebas funcionales en laboratorio para verificar la estabilidad, eficiencia y confiabilidad del nuevo sistema bajo distintos escenarios operativos.

Resultados de Simulaciones y Procesos de Selección

- Se elaboró con éxito un modelo SPICE para las celdas solares AZUR SPACE 3G30-C. A partir de un análisis de barrido DC se comprobó que los parámetros del modelo coinciden con los de la hoja de datos de la celda.
- Se encontró que al variar la temperatura de un panel (Asumiendo iluminación uniforme) el punto de potencia máxima tiende a desplazarse sobre una recta oblicua en el plano de potencia.
- Se demostró la efectividad de los diodos ideales al bloquear el paso de corriente reversa hacia los paneles a través de un análisis transitorio.
- Se probó un modelo SPICE de un MPPT basado en un algoritmo Perturbe and Observe Modificado (MP&O) y usando análisis transitorios se estudió la señal PWM que controla el convertidor Buck-Boost.
- Se reemplazaron los diodos ideales entre paneles solares opuestos y el diodo ideal general por los integrados MAX40203 y LTC4412, que reducen las pérdidas por conducción.
- El cargador MPPT SPV1040, el monitor IV INA-260 y los interruptores TPS2557 utilizados en QUETZAL-1 se mantendrán en QUETZAL-2.
- La celda Li-Po se reemplaza por una celda Li-Ion con BMS integrado (Selección final pendiente de revisión interna).
- Se removerán el bus de 7.5 V y la bomba de cargas del bus de 5 V en el sistema de distribución del EPS de QUETZAL-1. La bomba de cargas se reemplaza por un regulador Buck-Boost.

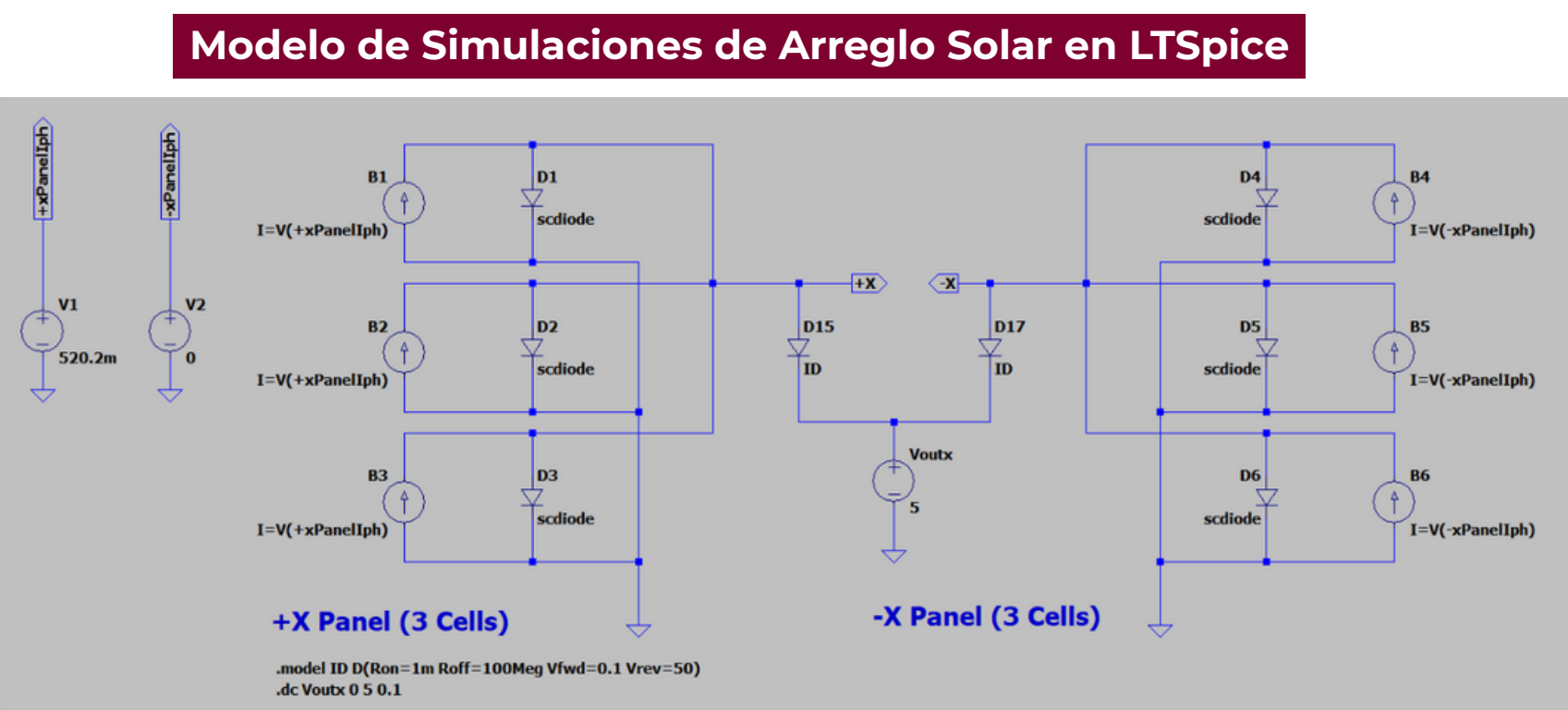


Figura 2. Modelo de Simulaciones en LTSPICE de paneles solares +X y -X con diodos ideales de protección (Reemplazados en la implementación por diodos MAX40203) y una fuente de voltaje que representa el MPPT.

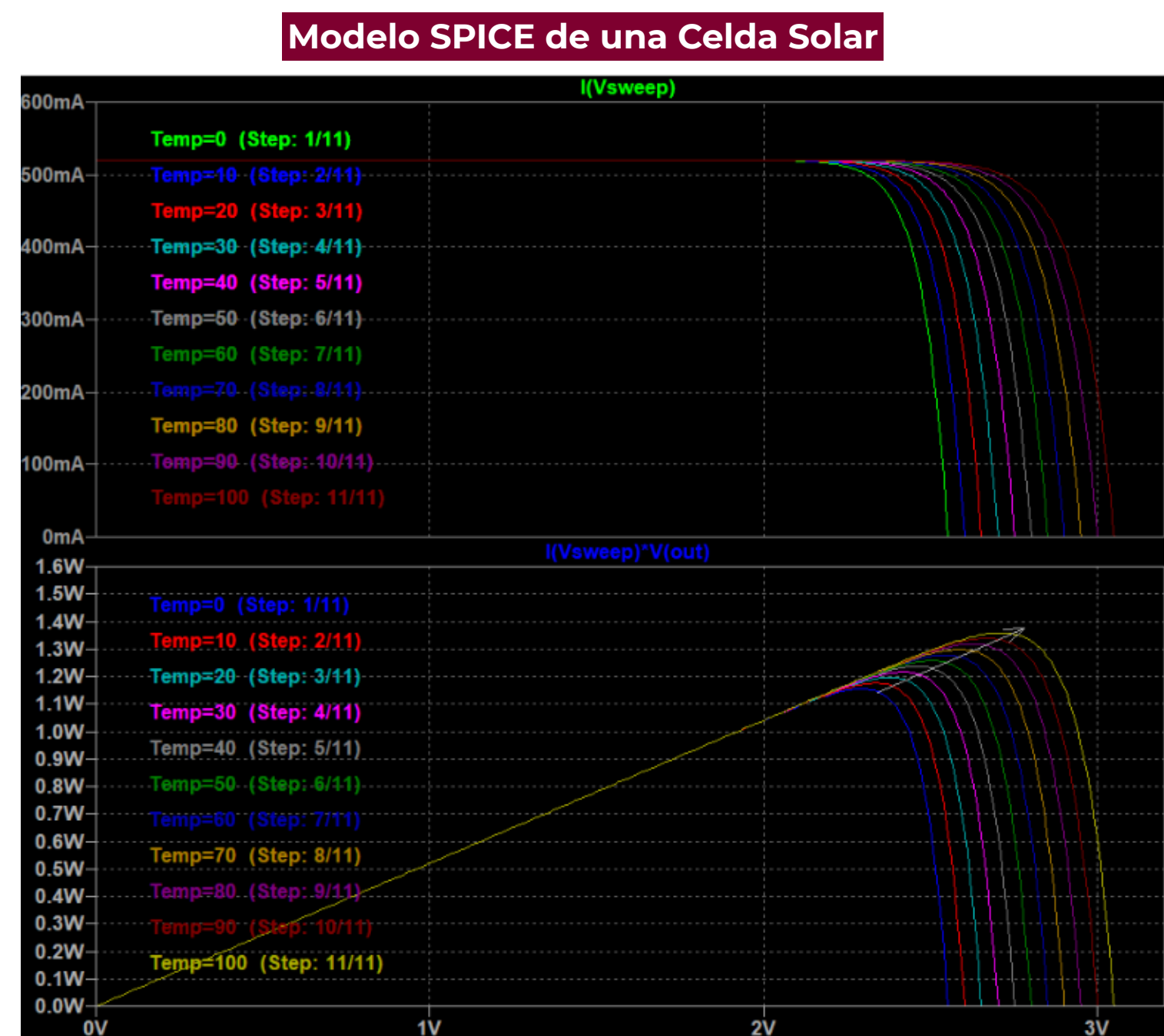


Figura 1. Curvas IV y PV de un modelo SPICE de la celda 3G30-C sometido a temperaturas en un rango de 0°C a 100°C. La flecha muestra la el desplazamiento del MPP conforme la temperatura incrementa.

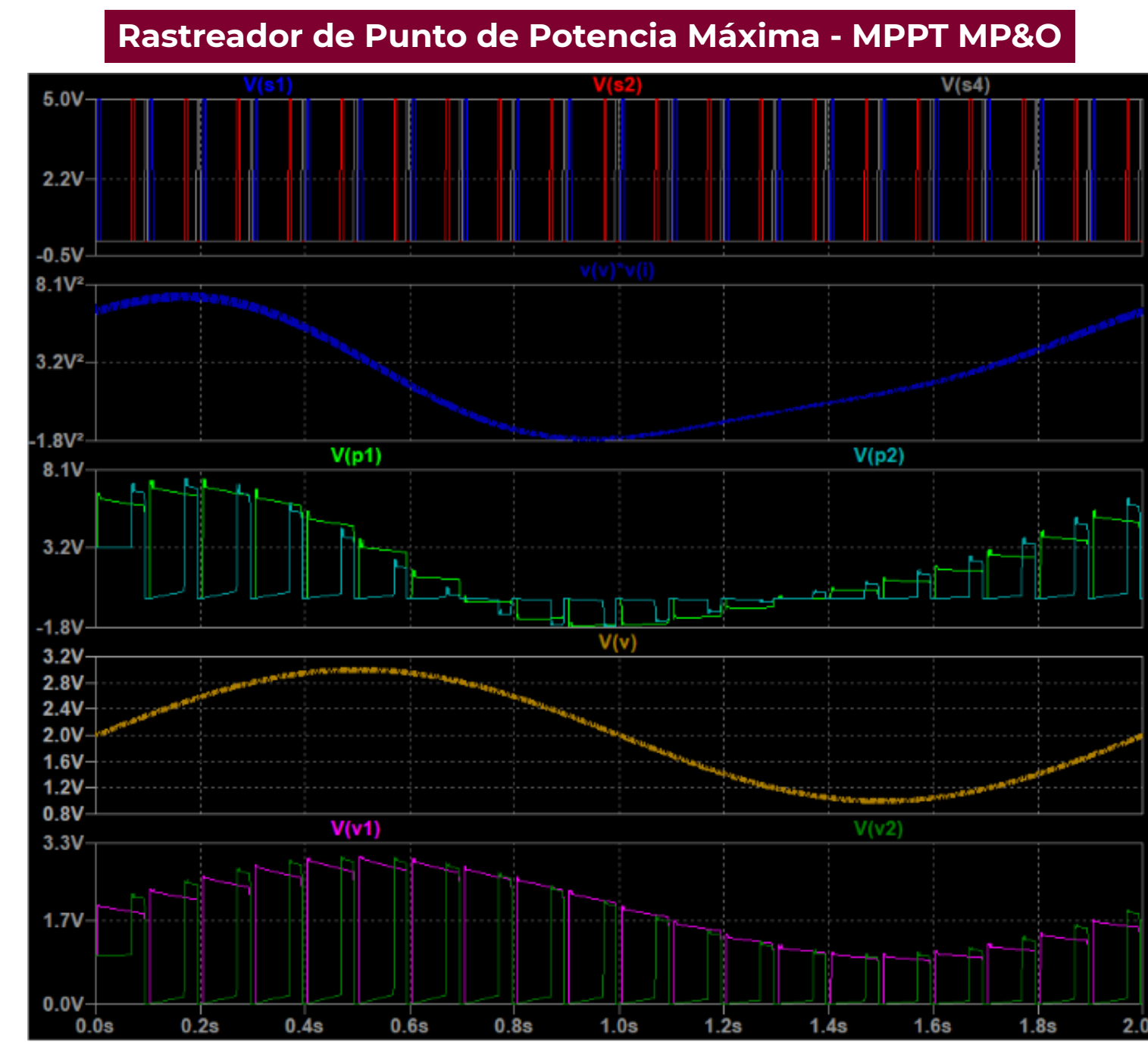


Figura 3. Muestreo de señales de voltaje y potencia con delay en modelo SPICE de un Rastreador de Punto de Potencia Máxima (MPPT) MP&O. Las señales se utilizan para generar la señal portadora en un modulador PWM para el convertidor Buck-Boost.

Discusión de Resultados

El modelo de la celda solar basado en una fuente de corriente y un diodo facilitó el ajuste de parámetros para que el modelo tenga las características eléctricas de una celda real. Al no considerar las resistencias parásitas de la celda, fue posible obtener los parámetros del modelos partir de aproximaciones (La fotocorriente es aproximadamente igual a la corriente en cortocircuito) y un sistema de ecuaciones trascendentes que pueden resolverse numéricamente. El modelo ofrece una ventaja adicional por usar un modelo SPICE de un diodo debido a su sensibilidad ante cambios de temperatura. Esto permitió realizar barridos de temperatura y estudiar los cambios en el MPP de las celdas.

Fue posible comprobar que el controlador del MPPT P&O produce una señal modulada por un parámetro Q definido por el producto de las diferenciales de voltaje y potencia en un intervalo de tiempo determinado. Es necesario introducir un driver para el switch para terminar el modelo y comprobar que el sistema permite optimizar la potencia generada por los arreglos solares.

A través de una comparación con criterios orientados en la optimización del sistema (Menos pérdidas por conducción, facilidad de control y especialización de los componentes para la aplicación dada) fue posible escoger dispositivos electrónicos que mejoran la eficiencia y la precisión en el monitoreo de los elementos del módulo PWR del QUETZAL-2 respecto al QUETZAL-1.

Conclusiones

- Reemplazo y reutilización de componentes: Se construyó la arquitectura del módulo PWR del QUETZAL-2 tomando como base el EPS del QUETZAL-1. Se reemplazaron componentes varios con el objetivo de optimizar el sistema, facilitar el monitoreo de variables críticas. Los circuitos que permitieron el control de la distribución de potencia hacia las cargas del QUETZAL-1 se mantuvieron en el QUETZAL-2.
- Simulaciones: Un reto en el desarrollo de simulaciones del módulo PWR es la falta de modelos SPICE de componentes en el sistema (Eg. SPV1040). Para superar este obstáculo el equipo PWR investiga y desarrolla modelos SPICE de los componentes faltantes utilizando principios de electrónica, algoritmos y control.
- Presupuesto de Potencia: Se encontró que en el transcurso de una revolución alrededor de la Tierra la demanda de potencia supera la potencia disponible considerando los periodos de iluminación sobre las celdas solares. Este desbalance energético puede ser administrado a través de varios modos de operación, que garanticen la disponibilidad de potencia cuando las cargas lo requieran.

Referencias

- [1] Aguilar-Nadalini, Aldo & Zea, Luis. (2023). Design and On-Orbit Performance of the Electrical Power System for the Quetzal-1 CubeSat. 12. 1201-1229.
- [2] Andrejevic Stosovic, Miona & Dimitrijević, Marko & Lukač, Duško & Litovski, Vanco. (2014). SPICE modeling and simulation of a MPPT algorithm. ELECTRONICS. 18. 11-15. 10.7251/ELSI418011A.