



Tecnura

ISSN: 0123-921X

tecnura@udistrital.edu.co

Universidad Distrital Francisco José de Caldas  
Colombia

SALAMANCA, JORGE ENRIQUE; CASTRO AVELLANEDA, JAVIER; GRAJALES HENRÍQUEZ,  
ALFREDO

Diseño e implementación de un módulo de gestión de energía para un pico-satélite tipo CUBESAT  
Tecnura, vol. 16, octubre, 2012, pp. 55-67  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas  
Bogotá, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=257025147005>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

# Diseño e implementación de un módulo de gestión de energía para un pico-satélite tipo CUBESAT

***Design and implementation of a power management module for pico-satellite type CUBESAT***

## **JORGE ENRIQUE SALAMANCA**

Ingeniero Electrónico, Maestría en Ciencias de la Información y las Comunicaciones. Docente de la Universidad Distrital Francisco José De Caldas. Bogotá, Colombia. Contacto: [jsalamanca@udistrital.edu.co](mailto:jsalamanca@udistrital.edu.co)

## **JAVIER CASTRO AVELLANEDA**

Estudiante de Ingeniería Electrónica, Universidad Distrital Francisco José De Caldas. Bogotá, Colombia. Contacto: [dsctdsctdsct@yahoo.es](mailto:dsctdsctdsct@yahoo.es)

## **ALFREDO GRAJALES HENRÍQUEZ**

Estudiante Ingeniería Electrónica, Universidad Distrital Francisco José De Caldas. Bogotá, Colombia. Contacto: [alfredo.exe@gmail.com](mailto:alfredo.exe@gmail.com)

**Fecha de recepción:** 30 de Julio de 2012

**Clasificación del artículo:** Investigación

**Fecha de aceptación:** 1 de Octubre de 2012

**Grupo de Investigación:** GITEM

**Palabras clave:** Auto-Gestión, Cargador de Batería, Convertidores DC-DC, CubeSat, EPS, MSP430.

**Key words:** Auto-Management, Battery Charger, DC-DC converters, CubeSat, EPS MSP430.

## **RESUMEN**

La Universidad Distrital Francisco José de Caldas a través de su Grupo de Investigación en Telemedicina (GITEM) está construyendo un picosatélite: el CubeSat UD Colombia 1 cuya misión esta enfocada en Telemedicina. Pero el objetivo más importante del Proyecto es desarrollar una base a partir de la cual, con innovación tecnológica, cimentar los conocimientos y experiencias para acceder al espacio con futuros desarrollos de satélites, y aplicaciones específicas.

Este artículo describe el proceso de análisis, diseño e implementación del Módulo de Potencia Eléctri-

ca (EPS: Electric Power System, por sus siglas en inglés) de un picosatélite regido por el estándar CubeSat.

La EPS desarrollada, aprovecha la radiación solar en el espacio para obtener energía, la cual almacena y/o distribuye a los demás sistemas que componen el picosatélite.

El reto más importante fue desarrollar una EPS que realizara una gestión eficiente de la energía con las restricciones que impone el estándar CubeSat en cuanto a masa y volumen. Para lograrlo se utilizó tecnología de punta y herramientas computacionales.

## ABSTRACT

The University Francisco José de Caldas through its Telemedicine Research Group (GITEM) is building a pico-satellite: the CubeSat UD Colombia 1 whose mission is focused on telemedicine. But the most important goal of the project is to develop a basis from which, with technological innovation, build the knowledge and experience to enter the space satellite with future developments, and applications.

This paper describes the process of analysis, design and implementation of the Electric Power Module

(EPS: Electric Power System, for its acronym in English) of a satellite Peak-Satellite governed by the CubeSat standard.

The EPS developed, use of solar radiation in space for obtains energy, which stored and/or distributed to other systems that compose the pico-satellite.

The biggest challenge was to develop an EPS to conduct an efficient energy management with the constraints of the CubeSat standard in mass and volume. To achieve this we used technology and computational tools.

\* \* \*

## 1. INTRODUCCIÓN

El picosatélite CUBESAT UD COLOMBIA 1 es un proyecto del Grupo de Investigación en Telemedicina (GITEM) de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Un proyecto enfocado a poner las bases teóricas y de experticia para el desarrollo en Colombia de plataformas para este tipo de satélites.

El proyecto de picosatélite se desarrolla a partir del estándar denominado CubeSAT desarrollado por la Universidad Estatal Politécnica de California ubicada en la ciudad de San Luis Obispo y por el Laboratorio de Desarrollo de Sistemas Espaciales de la Universidad de Stanford. Este programa CubeSat permite crear oportunidades de lanzamiento a universidades que antes no podían acceder al es-

pacio, mediante la investigación tecnológica, espacial y de aplicaciones.

En este trabajo se diseña e implementa una EPS totalmente funcional y auto gestionable que cumpla con las características y funciones requeridas para la misión.

## 2. FUNCIONES DE UNA EPS

El propósito de la EPS es acondicionar, transferir y distribuir la potencia proveniente del arreglo de celdas solares a los distintos subsistemas que conforman el satélite, y almacenar energía en un banco de baterías recargable, para el suministro eléctrico en situaciones donde las celdas solares no estén en posición de proporcionar la energía al satélite.

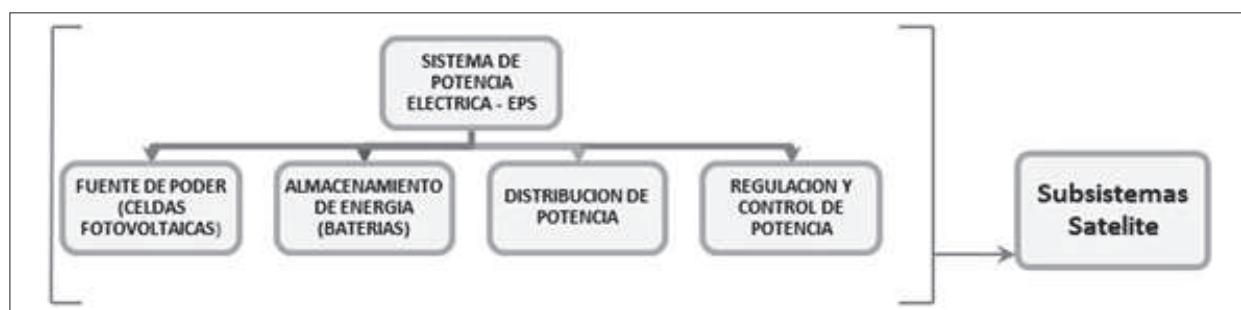


Figura 1. Elementos principales de una EPS para satélites.

Fuente: Elaboración propia.

La EPS debe cumplir como mínimo con las siguientes funciones:

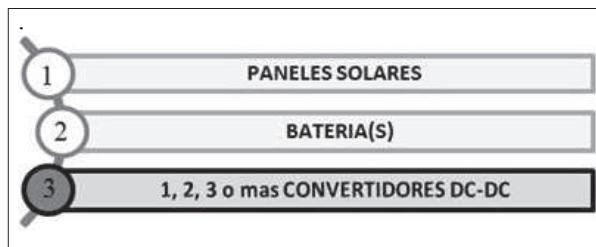
- Proveer una fuente continua de la corriente eléctrica a las cargas de la nave espacial durante la vida de la misión.
- Controlar y distribuir la corriente eléctrica a la nave espacial.
- Cumplir los requerimientos de potencia eléctrica promedio y pico de los usuarios.
- Proporcionar líneas de bus reguladas en potencia DC.
- Proporcionar capacidad de comando y de telemetría para la integridad y estado de la EPS, así como el control desde la estación terrena o del sistema autónomo.
- Proteger la carga útil de la nave espacial contra fallas dentro del Sistema de Potencia Eléctrica.
- Suprimir los voltajes transitorios en las líneas de bus reguladas y protegerlos contra averías.

### 3. TOPOLOGÍAS BÁSICAS

Los tres pilares fundamentales considerados para la topología de diseño de la EPS son el panel solar, la batería y el regulador/convertidor de voltaje DC-DC.

Existen diferentes topologías con base a la cantidad de conversores dc-dc utilizados y según la disposición-ubicación de los tres elementos fundamentales mostrados en la figura 2, y los requerimientos de la figura 1

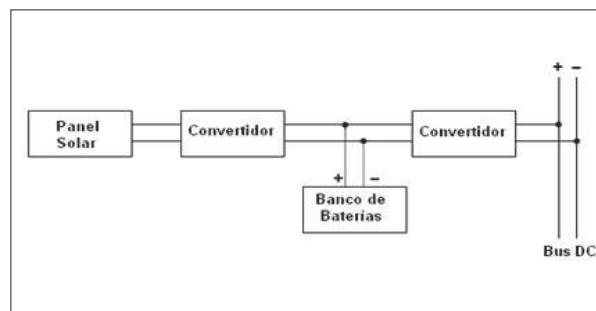
Para el diseño de la topología se evaluaron distintos factores como espacio físico, temperatura, eficiencia en energía, máxima transferencia de potencia, capacidad de control de los circuitos, buses regulados o no, robustez del módulo, minimización de los fallos, complejidad del circuito, ruido, caminos de potencia, entre otros tenidos en cuenta.



**Figura 2.** Elementos fundamentales vinculados al diseño de la topología de diseño de la EPS.

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo presente estos factores la topología escogida para el diseño de la EPS del picosatélite de la Universidad se muestra en la figura 3:



**Figura 3.** Topología seleccionada.

Fuente: Elaboración propia.

### 4. REQUERIMIENTOS DE POTENCIA DEL SATÉLITE

Para determinar los alcances máximos la EPS se han determinado unos valores próximos máximos o picos de consumo de los diferentes subsistemas del picosatélite.

La tabla 1 muestra esos valores de consumo límites extremos, en funcionamiento normal esos valores son mas bajos, y en cuanto al tiempo de consumo no están sostenidos en el tiempo, sino en breves períodos, dependiendo del subsistema, y que hay una gestión de la energía asociada a cada módulo del satélite de acuerdo al momento del requerimiento de energía.

# investigación

**Tabla 1.** Requerimientos de potencia del picosatélite máximo.

	Voltaje [V]	Corriente Max. [mA]	Potencia [mW]
Comunicaciones	5,0	1100	5500,0
Comunicaciones	3,3	100	330,0
Actitud:	5,0	500	2500,0
Actitud:	3,3	100	330,0
Calentador Bat A	5,0	500 (PWM)	2500,0
Calentador Bat B	5,0	500 (PWM)	2500,0
VSYS	3,3	100	330,0
OBC:	5,0	100	500,0
<b>Potencia Total [mW]</b>	<b>3000 mA</b>	<b>14490,0 mW</b>	

Fuente: Elaboración propia.

## 5. PANELES SOLARES

El panel solar es la única fuente en el satélite que genera energía DC.

Los módulos fotovoltaicos o colectores solares fotovoltaicos (llamados a veces paneles solares) están formados por un conjunto de celdas (células fotovoltaicas) que producen electricidad a partir de la radiación solar que incide sobre ellos.

El estudio, diseño e implementación de este sistema es parte de otro trabajo de Investigación ya completado, en ese trabajo se les hizo una serie de pruebas eléctricas y de medición, que arrojaron la siguiente información básica de interés para la EPS:

Celdas solares: Fabricante: AzurSpace.  
Serie de la Celda: 3G28% (28% de eficiencia).

**Tabla 2.** Resultados de celda a diferentes valores de temperatura.

Parámetros temperatura e Irradiancia	T=0°C, =1367W/m <sup>2</sup>	T=28°C, =1367W/m <sup>2</sup>	T=40°C, =1367W/m <sup>2</sup>	T=50°C, =1367W/m <sup>2</sup>	T=70°C, =1367W/m <sup>2</sup>
(mA)	191,5	206,8	200,75	198,0	218,5
(V)	2,41	2,26	2,17	2,13	1,98
(W)	0,327	0,380	0,347	0,340	0,308

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 3.** Celdas utilizadas por cada cara del picosatélite.

Celdas Solares por cara	Superior	Inferior	Frontal	Lado 1	Lado 2	Lado 3
# de celdas	2	2	2	2	2	2
Área Total [cm <sup>2</sup> ]	60,36	60,36	26,22	60,36	60,36	60,36

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 4.** Potencia entregada por cara del picosatélite.

Cara	Voc	Isc	Potencia Máxima [W]	Potencia promedio en el sol [W]
Superior	4,76	0,51	2,02	0,306
Inferior	4,43	0,51	2,02	0,306
Frontal	4,43	0,22	0,89	0,138
Lado 1	4,43	0,51	2,02	0,306
Lado 2	4,43	0,51	2	0,306
Lado 3	4,43	0,51	2,02	0,306
TOTAL			3,498	1.668

Fuente: Elaboración propia.

## 6. SISTEMA DE ALMACENAMIENTO

La batería se utiliza para almacenar energía, y se utiliza cuando es insuficiente la que proviene de las celdas solares.

Una batería eléctrica, acumulador eléctrico o simplemente acumulador, se denomina al dispositivo que almacena energía, usando procedimientos electroquímicos, que posteriormente devuelve casi en su totalidad; este ciclo puede repetirse por un determinado número de veces.

### 6.1 Tipos de Baterías

La figura 4 muestra un comparativo de distintos tipos de baterías y sus características más importantes.

En la parte inferior de la figura se muestran las baterías con aplicación espacial, debido a que presentan alta densidad de energía, bajos efectos de memoria de carga y alto número de ciclos de carga.

TIPO	VOLTAJE	DENSIDAD DE ENERGIA	MEMORIA DE CARGA	CICLOS DE CARGA
Plomo	2	30-50 Wh/kg	NA	1000
Alcalinas	1,5	36 Wh/kg	Alto	600 a 1000
Níquel Cadmio (Ni-Cd)	1,25	48 - 80 Wh/kg	Alto	500
Níquel-Hidruro Metálico (Ni-MH)	1,25	60 - 120 Wh/kg	Bajo	1000
Iones de Litio (Li-Ion)	3,7	110 - 160 Wh/kg	Muy Bajo	4000
Polímero de Ion de Litio (Li-Poly)	3,7	110 - 130 Wh/kg	Muy Bajo	5000

**Figura 4.** Tipos de baterías

**LA BATERIA DE LITIO ION POLÍMERO:** Tiene múltiples ventajas, entre las que hay que destacar: su gran densidad de energía, tasas de descarga superiores, su bajo peso y volumen. Son baterías flexibles que se pueden adaptar a la forma de un dispositivo en particular, además de los ciclos útiles de trabajo en el espacio. Es precisamente por estas características que las baterías de Litio Ion Polímero son ampliamente usadas para dispositivos en el mundo de la tecnología de consumo actual.

Entre sus desventajas, están que se necesita un control para la temperatura, puesto que son muy sensibles a esta, y control para el inicio y la terminación de carga.

**Tabla 5.** Características Principales de la batería escogida.

Corriente-hora	Voltaje Salida Batería Nominal	VBAT	Potencia	Máximos Ciclos de Carga	Temperatura funcional
1500 mAh	3.0V - 4.2V	3.7V	5.55Wh	500	-20°C - 60°C

Fuente: Elaboración propia.

## 7. CONVERTIDOR DC-DC

Un convertidor DC-DC es un dispositivo electrónico capaz de cambiar un nivel de voltaje a otro en términos de dar un paso hacia arriba o hacia abajo dependiendo de la aplicación. Se usa para proporcionar el nivel correcto de tensión para los muchos componentes eléctricos a bordo del satélite. Se utiliza por ejemplo, para proporcionar el voltaje correcto para el Módulo de Computador a Bordo

(The On-Board Computer - OBC).

Los reguladores convertidores dc-dc pueden ser lineales o conmutados.

Un regulador lineal es un regulador de tensión basado en un dispositivo activo (como un transistor de unión bipolar, transistor de efecto de campo o de tubo de vacío) que operan en su región “lineal” o dispositivos pasivos como diodos Zener operado en su región de avalancha.

Un transistor (u otro dispositivo) se utiliza como un divisor de potencial para controlar la tensión de salida, y un circuito de realimentación compara la tensión de salida a un voltaje de referencia a fin de ajustar la entrada del transistor, lo que mantiene la tensión de salida razonablemente constante. Esto es ineficiente dado que el transistor actúa como una resistencia, generando un desperdicio de energía eléctrica en forma de calor excesivo. De hecho, la pérdida de potencia debido al calentamiento en el transistor es el valor de la corriente multiplicado por la caída de tensión en el transistor.

Los reguladores conmutados electrónicos DC-DC convierten un de nivel de voltaje DC a otro, mediante el almacenamiento temporal de la energía de entrada, luego liberando ésta a la salida con una tensión diferente. El almacenamiento de energía puede ser en componentes de campo magnético (inductores, transformadores) o componentes de campo eléctrico (condensadores). Este método de conversión de energía es más eficiente (75% a 98%) que la regulación de voltaje lineal (que disipa energía en forma de calor no deseado). Esta eficiencia es benéfica al incrementar el tiempo de operación de dispositivos que utilizan baterías. La eficiencia se ha incrementado desde finales de 1980 debido a la utilización de FET de potencia, que son capaces de conmutar a una más alta frecuencia que los transistores bipolares, que tienen más pérdidas de conmutación y requieren de circuitos de transmisión más complejos.

La mayoría de los convertidores DC-DC se diseñan para encausar la potencia en una sola direc-

ción, desde la entrada hasta la salida. Sin embargo, todas las topologías de reguladores de conmutación se pueden hacer bidireccionales mediante la sustitución de todos los diodos de rectificación de forma independiente con controles activos. Un convertidor bidireccional puede transferir energía en cualquier dirección, lo cual es útil en aplicaciones que requieren de frenado regenerativo.

Entre las desventajas de los convertidores de conmutación se incluyen la complejidad, el ruido electrónico (EMI / RFI) y, en cierta medida los costos, aunque esto se ha reducido con los avances en el diseño de chips.

Convertidores DC a DC ya están disponibles como circuitos integrados que necesitan un mínimo de componentes adicionales.

## **8. DESARROLLOS PREVIOS**

El libro: "Sistema de Potencia Fotovoltaica Para Equipos Remotos" de Augusto Enrique Chaves García Ingeniero de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas es un estudio preliminar que

pone las bases teóricas y es un punto de partida en el diseño y la implementación de la presente EPS para el picosatélite CubeSat UD Colombia 1.

En él se resumen las condiciones del espacio y las órbitas para este tipo de satélite y los distintos parámetros a tener en cuenta.

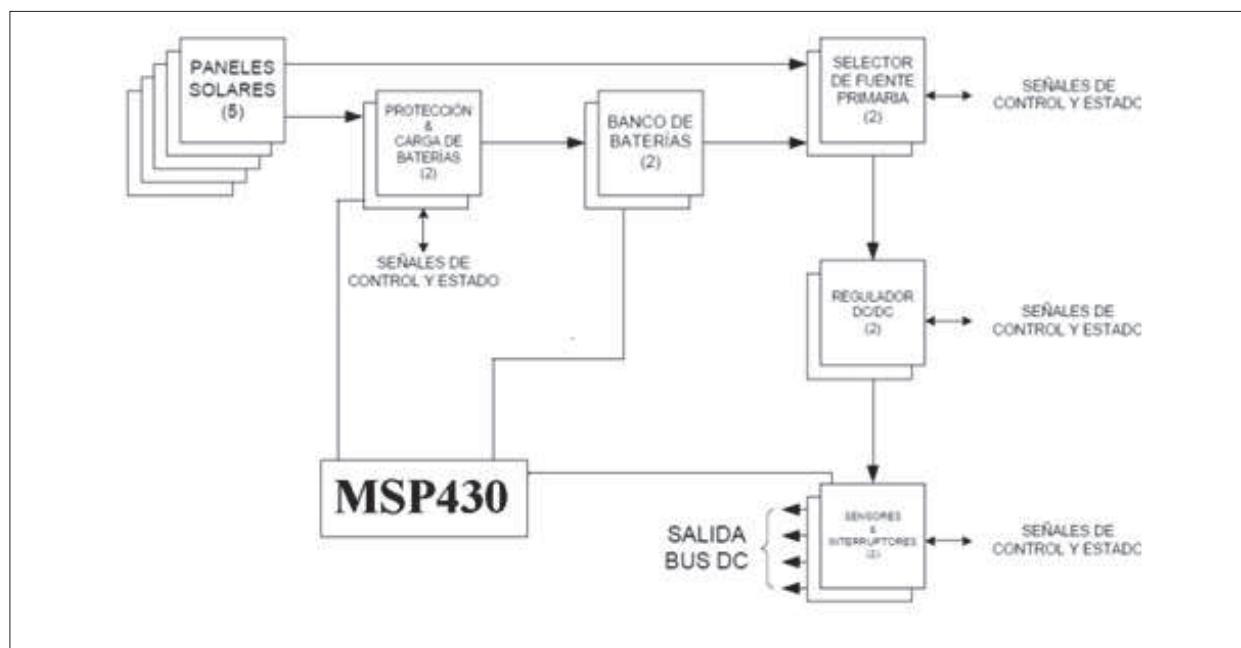
Además se analizan los diferentes bloques funcionales y se propone el diseño de circuitos para cada uno.

Este diseño se puede ver observar en la figura 5.

El sistema de potencia fotovoltaica [1] propuesto por Chaves está integrado por un arreglo de cinco paneles solares que le proveen energía. Ésta puede ser almacenada en un banco de baterías o ser transferida directamente a los usuarios.

Por cada celda del banco de baterías (2) se utiliza un circuito de protección y carga (TI BQ24010).

Un selector de fuente primaria (TI TPS211X) se utiliza para conmutar la entrada de energía directamente de los paneles solares o el banco de baterías en función de la disponibilidad y/o prioridad.



**Figura 5.** Diagrama de Bloques del SPFV (Diseño Chaves).

Utiliza un arreglo de reguladores tipo “Charge Pump” (TI TPS601XX) para proveer buses regulados de 5.0V y 3.3V a los usuarios.

Respecto a la protección y capacidad de desconexión de los usuarios se propone el uso de la familia TPS20XX de Texas Instruments.

Chaves desarrolla un estudio que termina en un diseño esquemático a nivel teórico y que es susceptible a ser rediseñado y/o actualizado, sin dejar la implementación de la PCB ni el prototipo. Solo a nivel teórico como propuesta.

## 9. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN SUBSISTEMAS EPS V1.0

La topología básica elegida de la figura 3 comprende dos conversores DC-DC, uno para la entrada de los paneles solares y el otro para la salida hacia los usuarios.

La figura 6 es un esquema de la configuración elegida para la interconexión de los subsistemas que integran la EPS.

El satélite obtiene la energía a partir de un arre-

glo de celdas solares ubicadas en las seis caras del satélite. En cada cara se ubican dos celdas en configuración serie y las seis caras se conectan en paralelo.

Luego se presenta un circuito regulador de entrada que asegura tener un voltaje de salida adecuado para la carga de las baterías.

Existen dos alternativas para la entrada del circuito regulador. Una opción es implementar un circuito seguidor del punto de potencia máximo (MPPT, por sus siglas en inglés) del arreglo solar, lo que permitiría la máxima transferencia de potencia entre el arreglo solar y el regulador de entrada.

La otra opción es conectar directamente el arreglo de celdas solares al regulador de entrada, lo que simplifica el diseño aunque no garantiza la máxima transferencia de potencia.

El subsistema de almacenamiento y transferencia de energía tiene como funciones principales el almacenamiento de la energía proveniente de las celdas solares en las baterías. Además se encarga del monitoreo del estado de las baterías (voltaje, corriente, temperatura, cantidad de carga), y tam-

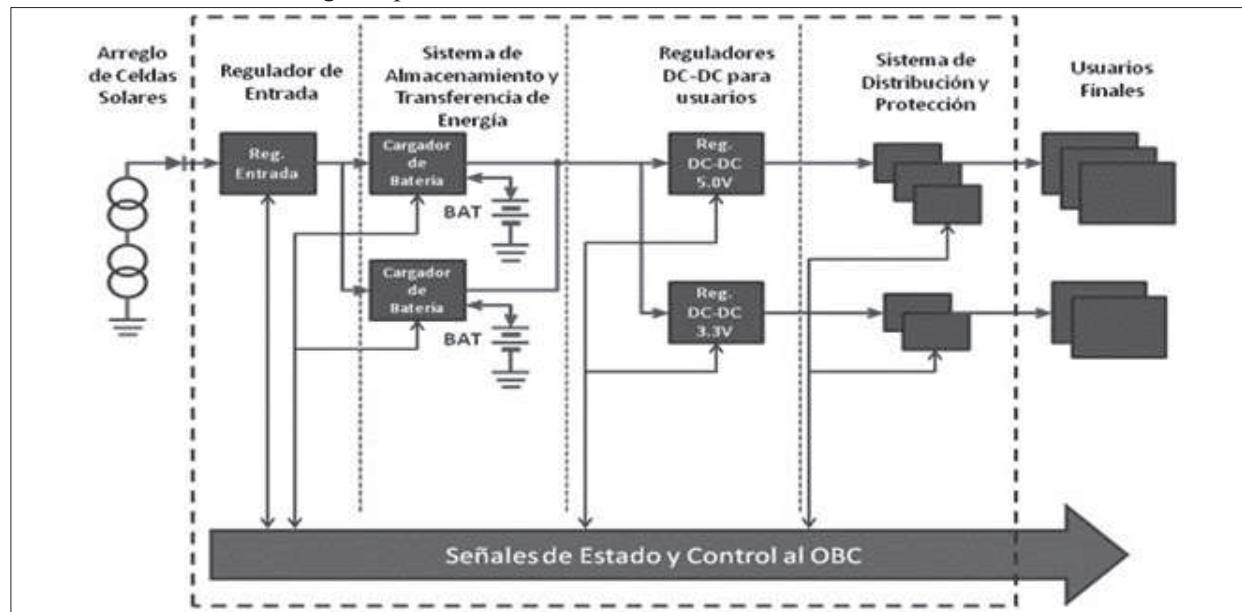
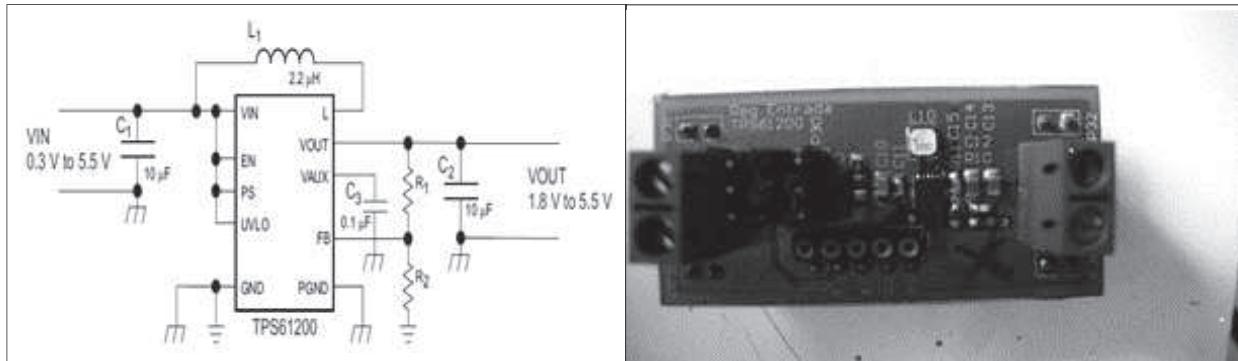


Figura 6. Esquema final elegido de la EPS.



**Figura 7.** Regulador de Entrada utilizando TPS61202.

Fuente: Elaboración propia

bién entrega potencia al sistema bien sea desde los paneles solares y/o desde las baterías cuando los primeros no estén en capacidad de entregar la potencia requerida.

Luego están los reguladores DC-DC de los usuarios, que transforman la potencia en los niveles de voltaje y corriente que requieren los otros módulos del satélite. Así tenemos dos buses de potencia, de 5.0V a 1.2A y 3.3V a 1.0A.

Por último se encuentran el subsistema de distribución y protección a usuarios, encargado de habilitarlos o deshabilitarlos de acuerdo a prioridades establecidas por el OBC, además, si algún usuario presenta fallas que resulten en la demanda excesiva de potencia, con el correspondiente peligro de daño, el subsistema limitará la corriente a un valor máximo e informará de esta anomalía.

Hay unas señales de estado y control entre los diferentes subsistemas o Módulos y el OBC que sirven para monitorear y controlar el correcto funcionamiento del picosatélite. Así mismo existen señales de control y correcto funcionamiento entre los diferentes bloques de la EPS y su Microcontrolador (MCU: MicroController Unit, por sus siglas en inglés) interno si lo tiene y entre el MCU de la EPS y el OBC.

## 9.1 Regulador de entrada

Su función es elevar el Voltaje que proporcionan

los Páneles Solares a un nivel de voltaje adecuado para el Cargador de Baterías.

El Circuito Integrado de la Texas Instruments: el TPS61202 es un convertidor elevador-reductor dc-dc conmutado, enfocado al suministro de energía para baterías Alkalinas, de NiCd o NiMH, de una, dos o tres celdas, o para baterías de Li-Ion o Li-Polímero de una celda, a partir de fuentes de energía de bajo poder como son las solares.

Puede operar con rangos de voltaje de entrada desde 0.3V hasta 5.5V, proporcionando un voltaje de salida de 5V o ajustable. Suministrando hasta una corriente de salida de 600mA en modo normal, manteniendo una eficiencia superior al 90%. Sin embargo es capaz de limitar la corriente de entrada a 1500mA.

Su funcionamiento se basa en trenes de pulsos PWM de frecuencia fija, con controlador de rectificación síncrona para obtener máxima eficiencia.

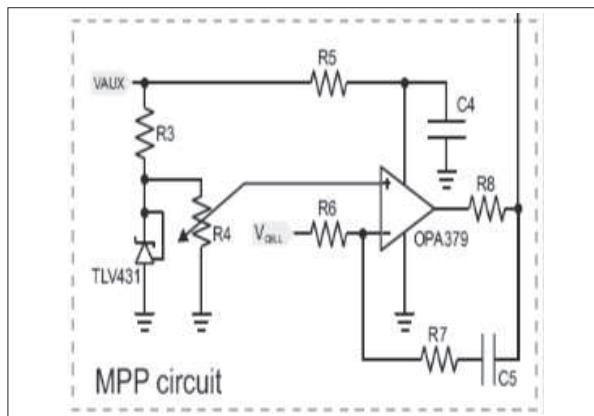
Se le puede configurar en modo ahorrador de energía cuando hay bajas corrientes de carga.

Todo esto en un encapsulado de 3mm por 3mm.

### 9.1.1 MPPT

En principio el regulador de entrada contiene un MPPT de punto fijo o variable que permite la máxima transferencia de potencia hacia el cargador de baterías y hacia la salida.

Se comparara el voltaje de entrada con el de salida para ajustar la Comutación del Regulador de Entrada y así proporcionar la máxima corriente posible sin caídas en el voltaje de salida.



**Figura 8.** Sistema MPPT.

Fuente: Elaboración propia

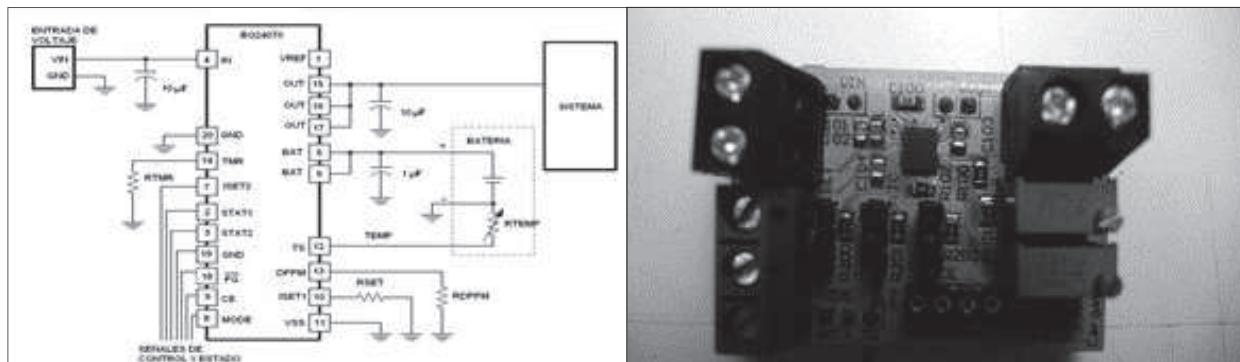
## 9.2 Subsistema de almacenamiento y transferencia de energía

Su función es gestionar los caminos de energía entré entrada que viene de los Páneles Solares, la Batería y los respectivos buses de alimentación y distribución a usuarios.

Para el circuito de carga de la batería se eligió el bq24070 del fabricante Texas Instruments que es un cargador lineal altamente integrado para baterías Li-ion, Li-Poly que cuenta con un sistema de administración de camino de potencia enfocado a

aplicaciones portátiles de espacio limitado. Entre las características principales se cuenta con:

- Pequeño encapsulado QFN de 3,5 mm × 4,5 mm.
- Diseñado para aplicaciones portátiles con baterías de Li-Ion o Li-Poly de una sola celda.
- Administración de camino de potencia dinámico (DPPM) integrada. Esta característica permite al voltaje de entrada proporcionar energía al sistema y cargar la batería simultáneamente. Además, reduce los ciclos de carga y descarga de la batería, permite una terminación de carga adecuada y que el sistema funcione con una batería ausente o defectuosa.
- Modo suplementario de alimentación que permite a la batería complementar la corriente de entrada con que se carga.
- Selección autónoma de la fuente de alimentación (Directamente de la entrada o de la batería).
- Soporta hasta 2 amperios de corriente total.
- Regulación térmica por control de carga.
- Salidas de estado de carga para activar LEDs o sistemas de interfaz para indicar condiciones de carga y falla.
- Protección de Corriente inversa, cortocircuito y térmica.



**Figura 9.** Cargador de Batería bq24070.

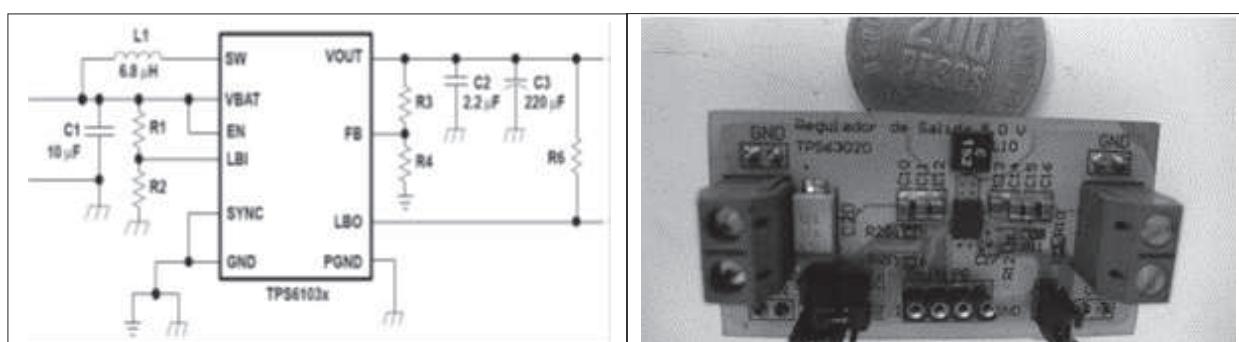
Fuente: Elaboración propia

## 9.3 Reguladores DC-DC para buses de usuarios

El Circuito Integrado de la Texas Instruments TPS63001 proporciona alimentación a buses de usuarios a 3.3V, desde o hacia sistemas basados en baterías alcalinas, de NiCd o NiH, de una, dos o tres celdas, y a baterías de Li-Ion o Li-polímero de una celda. Tiene corrientes de salida que pueden ser tan altas como 1.200 mA mientras se usan baterías de celda simple Li-Ion o Li-polímero, y descargas de hasta 2.5V o menos. El funcionamiento del convertidor buck-boost tiene como base una frecuencia fija, es a través de Modulación por Ancho de Pulso (PWM), y es controlado usando rectificación síncrona para obtener la máxima eficiencia. En cargas de baja corriente, el convertidor entra en modo de ahorro de energía para mantener una alta eficiencia en un amplio rango de corriente de carga. El modo de ahorro de energía puede ser desactivado, forzando al convertidor a funcionar a

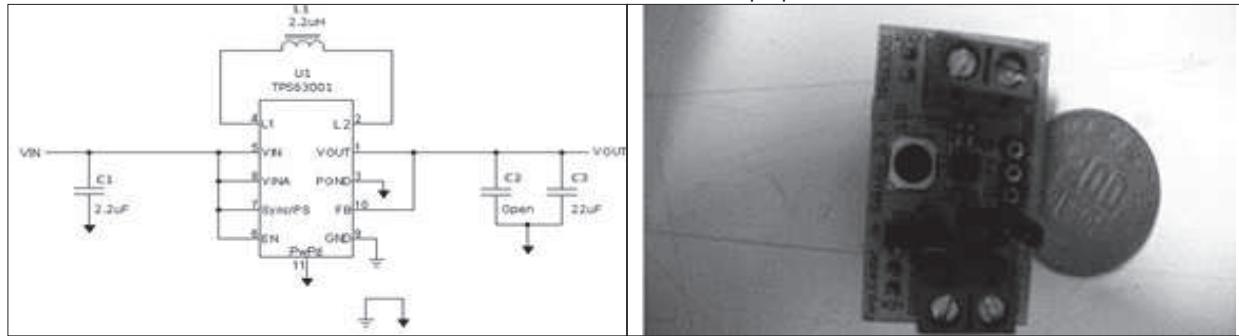
una frecuencia de comutación fija. El promedio máximo de corriente actual en los interruptores se limita a un valor típico de 1800 mA. La tensión de salida se programa usando un divisor de resistencia externa o se fija internamente en el chip. El convertidor se puede desactivar para reducir la descarga de la batería. Durante el apagado, la carga se desconecta de la batería. El dispositivo viene en un encapsulado de 10 pines tipo QFN PowerPAD y mide 3 mm x 3 mm (RDC).

En el caso del Circuito Integrado TPS61032, es un regulador commutado tipo boost, que proporciona un nivel de bus de 5.0V o ajustable, y es capaz de suministrar corrientes tan altas como 4A. Todo en un encapsulado de 3mm por 4 mm. Igual a la familia TPS6300X, tienen protección contra sobrecorriente y térmica. Tiene limitador de corriente de salida. Hace la transición automática entre el modo reductor, y el modo elevador.



**Figura 10.** TPS61032 de Texas Instruments para Bus de 5.0V.

Fuente: Elaboración propia



**Figura 11.** TPS63001 de Texas Instruments para Bus de 3.3V.

Fuente: Elaboración propia

## 9.4 Subsistema de distribución y protección

Estos dispositivos son conmutadores de distribución de energía y están diseñados para aplicaciones donde es muy probable que presenten pesadas cargas capacitivas y/o cortocircuitos.

Entre las principales características de estos conmutadores están:

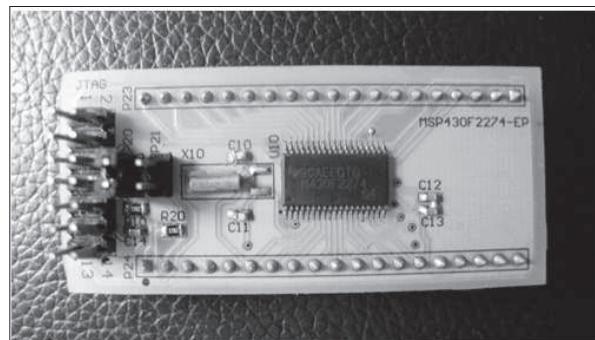
Interruptores MOSFET de 70mohms, Corriente continua por Canal, protección térmica independiente/autónoma contra corto circuito con salida lógica por sobre corriente, rango de funcionamiento de 2.7V a 5.5V, entradas compatibles habilitadoras CMOS-TTL, tiempo de subida típica de 2.5ms, bloqueo por baja tensión, máximo suministro de corriente en modo Standby de 10uA, Interruptor Bidireccional si así se requiere y rango de temperatura desde 0°C hasta 85°C.

## 9.5 Microprocesador

Toda la programación y la gestión del Modulo se hace a través de un Microprocesador fabricado por la Texas Instruments de la familia MSP430. En la figura 13 se aprecia el Microcontrolador.

## 9.6 Diseño esquemático y PCB

El diseño electrónico mediante la herramienta computacional Altium Designer, para la realiza-



**Figura 13.** MicroProcesador MSP430

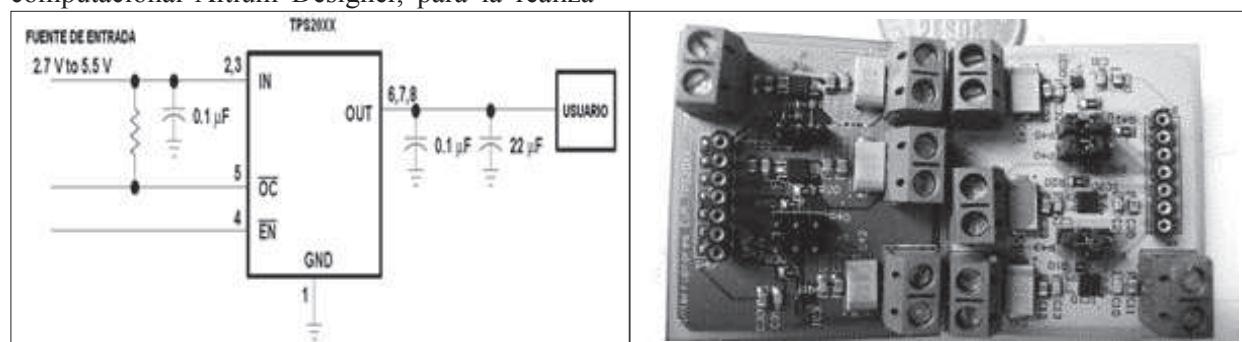
Fuente: Elaboración propia

ción del esquema y la PCB.

Cada una de las etapas que conforman el Módulo de Potencia fueron diseñadas en sus respectivas tarjetas de evaluación, con el fin de hacer las pruebas eléctricas a los circuitos asociados. Las fotos de las tarjetas se observan en las figuras 7 a 13. Estas Tarjetas de Evaluación representan la implementación de los diferentes bloques del Módulo de Potencia.

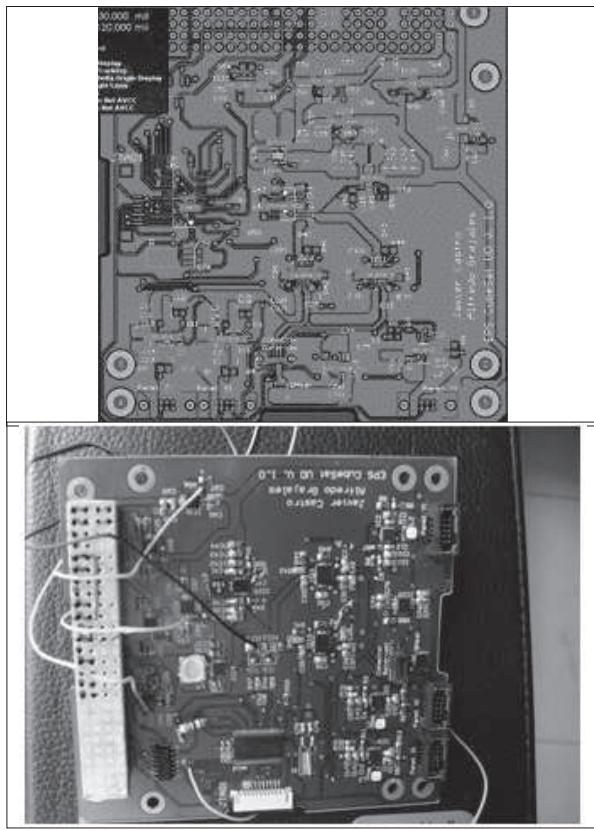
Hechas las pruebas a las tarjetas de Evaluación el paso siguiente fue la fabricación, y ensamblaje de la tarjeta final, el Modulo de la EPS versión 1.0, tal como se muestra en al figura 14.

No fue necesario implementar un sistema de MPPT ya que los circuitos empleados ajustan los niveles de potencia para máxima eficiencia.



**Figura 12.** Familia TPS20XX de Texas para Protección y Distribución a usuarios.

Fuente: Elaboración propia



**Figura 14.** EPS v1.0 Diseño Altium  
Fuente: Elaboración propia

## 10. CONCLUSIONES

El tipo de conversores utilizados en los reguladores DC-DC son del tipo conmutado, elevador o elevador-reductor con eficiencias mayores al 90%,

verificados en las pruebas.

El Cargador de baterías del tipo lineal permite la administración del Camino de Potencia Dinámico, esto es lo que le da prioridad a los paneles solares siempre como fuente principal, mientras se distribuye energía a los sistemas de usuarios como prioridad y carga la batería al mismo tiempo. También si los usuarios lo demandan se puede tomar energía tanto de los paneles solares como de las baterías.

Se utilizó para cada usuario un sistema de autoprotección contra sobre voltaje y temperaturas elevadas, limitando la corriente o suprimiéndola, e indicando un estado de falla.

Para darle mayor robustez al satélite se implementaron tres reguladores de entrada por cada par de paneles opuestos colocados en paralelo, que al mismo tiempo permiten obtener datos de telemetría si así se dispone.

Las pruebas eléctricas hechas a estas tarjetas de la EPS v1.0 se hicieron manualmente sin control de microprocesador. Los resultados obtenidos se asemejan muy bien al comportamiento esperado de acuerdo a las hojas de especificaciones de los componentes.

El Modulo de la EPS para la versión 2.0 que esta en proceso de implementación incorpora la programación para controlar y auto gestionar el picosatélite, y para la Comunicación entre bloques de la EPS y subsistemas del picosatélite

## REFERENCIAS

- [1]. CHAVES GARCIA, Augusto E. Sistema de Potencia Fotovoltaica para Equipos Remotos: Diseño del Módulo de Potencia Picosatélite Experimental CubeSAT UD. Bogotá, 2008, 137 h. Trabajo de grado (Ingeniero Electrónico). Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Facultad de Ingeniería. Proyecto Curricular de Ingeniería Electrónica.
- [2]. DAY, Christopher Alan. The Design of an Efficient, Elegant, and Cubic Pico-Satellite Electronics System. San Luis Obispo, 2004, 108 h. Thesis (Master of Science in Electrical Engineering). California Polytechnic State University.
- [3]. LARSON, Wiley J.; WERTZ James R. Space Mission Analysis and Design. El Segundo CA: Microcosm Press and Kluwer

- Academic Publishers, 1999, 987 p. ISBN 1-881883-10-8.
- [4]. ALMINDE, Lars; BISGAARD, Morten. Design of Hardware and Software for the Powersupply for AAU Cubesat. Aalborg, 2002, 39 h. Reporte Group 02gr733. Institute of Electronic Systems. University of Aalborg. Disponible en: [http://www.cubesat.auc.dk/documents/psu/new\\_psu.pdf](http://www.cubesat.auc.dk/documents/psu/new_psu.pdf)
- [5]. ALMINDE, Lars; BISGAARD, Morten. Power Supply for the AAU Cubesat. Aalborg, 2001, 239 h. Reporte Group 01gr509. Institute of Electronic Systems. University of Aalborg. Disponible en: <http://www.cubesat.auc.dk/dokumenter/psu.pdf>
- [6]. DAN LAZAR, Radu; BUCELEA, Vasile. Optimized Design of Power Supply for CubeSat at Aalborg University. Aalborg, 2001, 163 h. Reporte GROUP PED9-17C. Institute of Energy Technology. Aalborg University. Disponible en: <http://www.cubesat.auc.dk/psu.html>
- [7]. DORN, Lawrence Tyrone Jr. Nps-Scat; Electrical Power System. Monterrey CA. 2009, 103 h. Master's Thesis. Naval Postgraduate School. Disponible en: <http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?Location=U2&doc=GetTRDoc.pdf&AD=ADA508860>
- [8]. KRISHNAMURTHY, Narayanan. Dynamic Modelling of CubeSat Project MOVE. Luleå, Sweden, 2008, 129 h. Master Thesis, Continuation Courses Space Science and Technology. Department of Space Science, Kiruna. Luleå University of Technology. Disponible en: <http://epubl.ltu.se/1653-0187/2008/080/LTU-PB-EX-08080-SE.pdf>
- [9]. CHAN, Roger; BENERJEE, Rajib; JANI, Anang. Win-Cube Project: Electrical Power System Phase Two Critical Design Review. Winnipeg, Canada, 2008, 152 h. Final Report (Bachelor of Science in Electrical Engineering). Faculty of Engineering. University of Manitoba. Disponible en: [http://ltc.umanitoba.ca/wincube/images/a/ab/Final\\_Report\\_1.pdf](http://ltc.umanitoba.ca/wincube/images/a/ab/Final_Report_1.pdf)