

LIBERTAD 1 PRIMER SATÉLITE COLOMBIANO GENERALIDADES Y ASPECTOS TÉCNICOS

Raul Joya (1), Iván Luna (2), Andrés Alfonso(2), Cesar Valero(2), Miguel Ariza(2), Paúl Núñez(3)
Facultad de Ingeniería - Observatorio Astronómico
UNIVERSIDAD SERGIO ARBOLEDA

Resumen

Cincuenta años después del Sputnik 1, la Universidad Sergio Arboleda en Colombia, ha obtenido éxito al haber realizado la gestión en un país en vía de desarrollo para implementar, desarrollar, programar un picosatélite tipo Cubesat llamado Libertad 1 y contratar su puesta en órbita al espacio a bordo de un cohete Dnepr desde Baikonur, Kazajstán. Aquí se presentan las generalidades del proyecto, las especificaciones técnicas de los subsistemas y las pruebas de laboratorio, los elementos orbitales y designaciones internacionales asignadas. Esta es una publicación previa al conjunto de escritos que se presentarán al analizar los datos y resultados de índole técnica, académica y política que genera este tipo de desarrollo tecnológico, más aún cuando este representa la primera experiencia aeroespacial colombiana.

Abstract

Fifty years after Sputnik 1, the University Sergio Arboleda in Colombia, has achieved success when implementing, developing, to program picosatellite called Cubesat type Libertad 1 and to on board contract its putting into orbit the space of a Dnepr rocket from Baikonur, Kazajstán. Here the majorities of the project, the engineering specifications of the subsystems and the laboratory tests, the orbital elements appear and assigned international designations. This is a previous publication to the writing set that appeared when analyzing the data and results of technical nature, academic and political that generates east type of technological development, still more when this is the first Colombian experience of this type.

Palabras clave. Satélite, desarrollo aeroespacial, cubesat, investigación, Libertad 1, órbita, componentes electrónicos, telecomunicaciones.

I. INTRODUCCION

El proyecto se llevo a cabo bajo los lineamientos del proyecto Cubesat (1) de la Universidad de Stanford y Calpoly University, y el consejo de los Doctores Robert Twiggs (2) y Cesar Ocampo (3) desde diciembre de 2004. La Universidad Sergio Arboleda, institución académica privada asumió el reto

- (1) Director Observatorio Astronómico Universidad Sergio Arboleda
- (2) Investigadores Escuela de Ingeniería Universidad Sergio Arboleda
- (3) Investigador Observatorio Astronómico Universidad Sergio Arboleda

de realizar la primera experiencia en el desarrollo de un satélite para Colombia con un equipo humano interdisciplinario que se conformó con la facultad de Ingeniería y los departamentos de Matemáticas y el Observatorio Astronómico. Esta labor tomó dos años y cinco meses para su realización y lanzamiento exitoso, hasta recibir desde el espacio el paquete de datos con la telemetría del Libertad 1.

Objetivos generales:

- A. Desarrollar e implementar un picosatélite y contratar su puesta en órbita.
- B. Aprobar todas las pruebas técnicas exigidas para la integración al sistema de carga del cohete
- C. Contribuir con este desarrollo tecnológico a la temática aeroespacial en Colombia

Objetivos específicos:

- A. Comprobar los diseños electrónicos realizados por los investigadores y desarrolladores en todos los subsistemas y su respectiva programación y ensamble.
- B. Capturar una serie de datos del comportamiento propio del satélite como temperatura de las caras, baterías y microcontrolador, estado de voltaje y corriente de baterías, número de transmisiones hechas por el satélite, número de capturas exitosas de los sensores.
- C. Calcular el posicionamiento respecto al Sol y la Tierra con ayuda del sistema implementado para la estabilización y orientación de este artefacto.

II. Especificaciones de la misión

Gestión: Colombia como país localizado en la franja ecuatorial, siempre ha tenido presente el tema de la órbita geoestacionaria y la posibilidad de un satélite de comunicaciones para su servicio y del área andina. Esta carencia en pleno siglo XXI La necesidad de realizar investigación en nuestra institución y la de la IV conferencia aeroespacial de las Américas por solicitar desarrollos en la temática aeroespacial conllevó a que aprobásemos el proyecto Cubesat, para implementar, desarrollar, programar un picosatélite tipo Cubesat llamado Libertad 1 y contratar su puesta en órbita. Era un proyecto a realizar en un país en vía de desarrollo, con escasas experiencias que llegaron solamente a ser modelos de laboratorio.

Se recibió un entrenamiento por parte de la Universidad de Standford en diciembre de 04 y en marzo de 05, para la realización del cronograma general del diseño, el montaje de laboratorios y la adquisición de equipos, software, hardware y

elementos electrónicos. Así mismo se firmó un documento de mutuo entendimiento entre la universidad de Calpoly y la Universidad Sergio Arboleda, para proceder a solicitar un cupo para el lanzamiento al espacio en diciembre de 2005.

Luego se conformó un equipo humano de más de 8 personas de la Escuela de Ingeniería, Matemáticas y Observatorio Astronómico, en las siguientes formaciones: ingeniero mecánico, ingeniero electrónico, licenciado en electrónica, matemático, físico, radioaficionado, astrónomo. También se recibió apoyo de otras áreas como metalmecánica, sistemas, derecho y comunicación social y periodismo.

Es importante aclarar que se pospuso el lanzamiento del Libertad 1 en varias ocasiones por razones técnicas del cohete lanzador y la carga acompañante. Hasta octubre de 2006, se fueron realizando y desarrollando todos los subsistemas del picosatélite para entregar en la Universidad de Calpoly y que fuese sometido a pruebas técnicas para su posterior lanzamiento. En el lapso final de la entrega, se presentó un problema de orden técnico administrativo para cumplir con la reglamentación ITAR (3) de los Estados Unidos en cuanto a procedimientos para la adquisición y uso de elementos para aplicaciones aeroespaciales, como es el caso de las celdas solares, que en el picosatélite no se montaron en sus paneles respectivos, procedimiento que limitó a 34 días el tiempo de operación del artefacto.

Para la exportación desde Colombia hacia Estados Unidos y posterior envío a Kasajastán, se aprobaron documentos como la declaración del uso pacífico y no militar del Libertad 1, la legalización de exportación y su envío por correo expreso. El lanzamiento programado para marzo de 2007 fue postergado para abril 17 a las 6:46 UTC, sin necesidad de realizar recargas a las baterías.

Se organizó el rastreo del Libertad 1 con estaciones terrenas en varias partes del mundo, a partir de los elementos orbitales, obteniendo como resultado una primera recepción en la Universidad de Calpoly en San Luis Obispo, California, a los pocos minutos de orbitar la Tierra.

Parámetros de trabajo: En un chasis con una dimensión de 10cmx10cmx10cm y con un peso máximo de 1000 gramos al estar integrado totalmente el picosatélite con sus componentes, se debe someter a pruebas de vibración, vacío, temperatura y estar en condiciones para ser integrado al sistema de separación (PPOD) que estará ubicada en la cabeza de un cohete Dnepr. Las telecomunicaciones entre satélite y las estaciones de radio se basan en las frecuencias de radioaficionados. Se firmó un contrato con la Corporación Calpoly para la puesta en órbita del picosatélite desde Baikonur. El vuelo se programó para finales del segundo semestre de 2005, en compañía del satélite BELKA y otros más, a una altura de 500 Km. con un periodo orbital de 99 minutos, con inclinación de 97.4 grados y órbita del tipo Sol sincrónica.

Método de investigación: El trabajo de investigación se desarrolló con base en un cronograma de trabajo conformado por seminarios, talleres, investigaciones y pruebas. Se siguieron los lineamientos ofrecidos por el proyecto Cubesat, partiendo de un PDR- preliminary design review – elaborado por el equipo humano de acuerdo a la misión del Libertad 1 y que se ilustra a continuación:

1. Análisis y elaboración del diseño preliminar. Selección de los objetivos. Determinación de requerimientos, y componentes
2. Prueba de escritorio. Requerimiento de funcionamiento de unidades. Precisar módulos necesarios.
3. Unidad de diseño de ingeniería. Diseño y fabricación de los circuitos impresos.
4. Análisis de diseño crítico. Verificación de los circuitos impresos diseñados. Montaje de componentes. Sometimiento a pruebas específicas de funcionamiento en temperatura y presión. Integración.
5. Modelo de vuelo. Integración de los módulos de: Comunicaciones, sensórica, procesador central, estructura, sistema de energía. Pruebas funcionales.
6. Pruebas y ajustes finales. Pruebas mecánicas. Protocolo de lanzamiento
7. Lanzamiento
8. Decodificación de información. Rastreo. Toma de datos. Procesamiento.
9. Análisis de datos y evaluación

Subsistemas

A. Estructura: De aluminio anodizado, con paredes tipo esqueleto para disminuir el peso del artefacto. Suministrado por la compañía Pumpkin Inc, junto con el módulo de control de vuelo, que incluye un microcontrolador MSP 430 de Texas Instruments. Una (1) unidad de 10x10x10 cm.

B. Sistema de Comandos y Manejo de Información: Command & Data Handling C&DH. Este sistema se encarga de capturar, codificar, validar, distribuir y dar formato a la información entre los subsistemas integrados en el satélite para ser procesada y enviar datos a la estación terrena y para usar esa información en tareas internas del satélite usando un computador a bordo. La estructura del computador a bordo es un conjunto de recursos conformado por un microcontrolador MSP430F169 de Texas Instruments que posee una memoria interna, varios sistemas estándar de conexión de dispositivos y la capacidad de guardar un programa de procesamiento de información creado en lenguaje C y el sistema operativo de tiempo real SALVO versión 4.0 para MSP430. El sistema operativo administra dinámicamente a partir de prioridades, tareas y eventos, todas las funciones relacionadas con cada subsistema del satélite durante el tiempo de vuelo de la misión. En la telemetría se utilizaron sensores de temperatura I2C 9 Bits, 6 en total. Un sensor interno en el microcontrolador MSP430F169 de 12 Bits. Uno para voltaje: ADC 12 MSP430 y cinco para corriente ADC 12 MSP430.

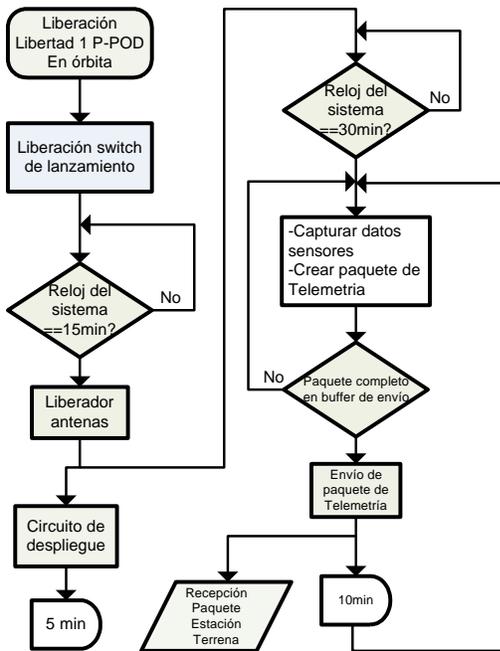


Fig. 1. Diagrama de flujo software C&DH Libertad 1

C. Tarjeta electrónica de potencia: Corresponde al sistema electrónico de potencia EPS o Electronic Power System EPS. Se encarga de administrar la energía del satélite. Este elemento se diseñó con base en los trabajos realizados para la EPS del satélite Katysat de la Universidad de Stanford, que utiliza un esquema de fuentes conmutadas para obtener mayor eficiencia en la administración de la energía. El objetivo de todo el sistema es captar energía por medio de paneles solares con celdas de triple juntura, almacenarla en baterías de Li-Ion de 3.7V y suministrar energía regulada a los subsistemas del satélite; entre los módulos más importantes del EPS están, el convertidor DC-DC con estrategia SEPIC, que suministra el voltaje constante de 7V, el cargador de baterías, el regulador conmutado de voltaje y los paneles solares. Ver cuadro 2. Se diseñó una *estructura de baterías* para fijar el conjunto de tres baterías, se eligió un perfil de aluminio con sujetadores en sus extremos para fijarlos en los tornillos de ensamble del picosatélite. VER FIGURA 1

D. Tarjeta de Comunicaciones: Con base en los parámetros de diseño del proyecto Cubesat, dos componentes hacen del sistema de comunicaciones la mejor elección para la transmisión de la información este tipo de satélite, uno de subida y otro de bajada. Las especificaciones del sistema de radio se ilustran en el CUADRO 4. Se solicitó a la IARU-International Amateur Radio Union-, las frecuencias de operación. en subida en una frecuencia de 437.405 UHF y la recepción en 145.825 VHF, el protocolo utilizado para la transmisión es AX.25 a 1200 bps en AFSK. La potencia máxima de transmisión es de 400 mW y el consumo en Tx es

de 135 mA y en Rx es de 3mA. El radio transmite y recibe datos en frecuencias amateur. Con la cooperación de la Universidad de Lousiana, se logró la adquisición de la tarjeta y de los cristales para las frecuencias; se reorientaron, adaptaron y cambiaron los conectores del diseño de esta institución. La captura de datos se realiza a través de una red de sensores conectados en bus i2c al microcontrolador, estos miden la temperatura de 5 de las caras del satélite y de las baterías. El último es un sensor interno en el microcontrolador que se encarga de medir la temperatura propia de este dispositivo. El convertidor ADC de 12 Bits del microcontrolador captura datos propios de las baterías como voltaje y corriente suministrada al sistema. Estos datos son procesados y almacenados para su posterior envío a tierra a través del sistema de comunicaciones.

D. Tarjeta de memoria: Con el fin de almacenar la información proveniente de los sensores, se seleccionó una memoria tipo Secure Digital (SD) con una capacidad de 256Mb y se implementó un protocolo de comunicaciones SPI de dos (2) líneas para su comunicación con el sistema C&DH. Se implementó además un sistema de archivos, en el cual se asignaron espacios para almacenamiento de los datos de telemetría y de audio en Morse.

La memoria SD que se utilizó fue una KODAK a la cual se le realizaron pruebas de temperatura y de funcionamiento. Sin embargo tras haber consultado la base de datos de componentes aeroespaciales de NASA, no se encontró referencia alguna a pruebas realizadas a la cobertura de este tipo de memorias y por lo tanto se desensambló y se montó únicamente el circuito integrado de almacenamiento.

E. Sistema de orientación y estabilización: Para lograr las mejores comunicaciones con el satélite se requirió orientarlo y estabilizarlo, buscando que las antenas estuvieran direccionadas hacia la estación terrena. Se realizaron simulaciones con los modelos Cubesim (8) y el sistema de estabilización del Libertad1. Se instaló un conjunto de barras de Hysteresis como solución (10 cm³ de HyMu 80) y se adicionó un magneto para aprovechar el gradiente de gravedad como sistema de estabilización.

F. Tarjeta de antenas: Diseñada para alojar y soportar un par de antenas con un sistema de despliegue. El sistema radiante o antenas son dos monopolos cuya configuración la hacen eficiente tanto en Tx como en Rx esta construido con materiales flexibles que le permiten estar enrollados antes del encendido del satélite y desplegados en el momento de entrar en funcionamiento Libertad 1. Incluyó dos compartimientos para guardar estas antenas plegadas y un mecanismo para fundir un nylon con tensión de soporte igual a 30 libras por medio de un segmento de alumirom. La habilitación del FET se realizó a través de un Pto MSP430. Especificaciones técnicas de las antenas del satélite: en UHF dipolo ½ onda TX y en VHF dipolo ¼ Onda RX; el material utilizado fue acero 0.4 mm de espesor por 7 mm de ancho.

G. Laboratorio espacial de vuelo “José María González Benito” .Construido para realizar el diseño, programación, implementación, montaje, pruebas e integración del

picosatélite. Son 12 metros cuadrados, repartidos para el área de desarrollo y para el cuarto limpio; este último tiene una zona aislada con sistema de filtración positiva para el montaje de componentes.

H. Estación terrena de monitoreo “Rodrigo Noguera Laborde”. Localizada en las instalaciones de la Universidad Sergio Arboleda, sede Bogotá - Colombia. Latitud: N 4° 39' 50" Longitud: W 74° 03' 48". Altura: 2640 m.s.n.m. Especificaciones técnicas de antenas: Envío M2 UHF ref. 436CP30. Ganancia 14 dB polarización circular tipo yagi. Recepción en tierra: M2 VHF ref. 2MCP14. Ganancia 10dB. Polarización circular tipo yagi. Rotor: Yaesu GS5500+GS 232B Azimut 450°, Elevación 80°. Radios: Kenwood TM D700A. Torre: Estructura metálica, sección triangular, altura 3 metros. Software: Satscape, Nova. Frecuencias: UHF 437,405 Mhz. VHF 144,825 Mhz.

TABLA 1
DATOS TECNICOS DEL LIBERTAD 1

Característica	Especificación
Matrícula Picosatélite	5K3L
Matrícula estación terrena	5K3USA
Frecuencia Downlink UHF	437.405 MHz
Frecuencia Uplink VHF	145.825 MHz
Potencia de transmisión Bajada	400 mW
Potencia de transmisión de subida	35 W
Consumo de corriente Stand By	5 mA
Consumo de corriente. En transmisión	135 mA

Pruebas técnicas e integración:

La lista de chequeo inicial de dimensión y peso se aprobaron. Se realizaron y aprobaron con éxito todas las pruebas requeridas, en el desarrollo y en la entrega final según el Misión Test Plan (MPT) para permitir ser integrados en el P-Pod (10) con otros picosatélites y cuyas pruebas cumplen con los requisitos exigidos por el proveedor del lanzamiento o Dnepr Safety Compliance Requirements (DSCR). La pruebas de vibración aleatoria fué realizada desde una frecuencia de 20 Hz hasta 2000 Hz en duraciones de 35 a 831 segundos. La de vacío con temperaturas desde 25 ° C hasta 70 ° C, con un vacío de 5×10^{-4} Torr durante 1 hora. No se requirió de pruebas a impactos. El conjunto de cubosatélite y los otros satélite que se alojaron en el Dnepr 2 se listan en la tabla 1.

Puesta en órbita:

El lanzamiento se programó para diciembre de 2005 y luego de varios aplazamientos (causas ajenas al proyecto Libertad 1) este se efectuó el 17 de abril de 2007. A mediados del año 2006 el contratista para el lanzamiento, ordenó el cambio de 7 pico satélites incluido el Libertad 1 a otra misión con el satélite Egipsat 1, lo que salvó la misión de estos pues el cohete inicial falló en su lanzamiento destruyendo toda la carga incluidos 15 cubosatélites. Las nuevas especificaciones dieron una órbita a los satélites de 800 km.

TABLA 2
LIBERTAD 1 EN EL ESPACIO

Característica	Especificación
Fecha de Lanzamiento	Martes 17 de abril de 2007
Hora del lanzamiento (UT)	6: 46 a.m.
Lugar del lanzamiento	Cosmódromo Baikonur, Kazakhstan
Tipo de órbita	LEO. Órbita baja
LTAN	22:30 UTC
Inclinación	98 grados
Período	1 hora 39 minutos
Apogeo	787.5 Kilómetros
Perigeo	659.56 Kilómetros
Excentricidad	0.0090
Velocidad de inserción	7.5 Km/seg
Tiempo separación del cohete	16 minutos

III. Conclusiones

Resultados preliminares: Éxito en la colocación del picosatelite en la zona de carga del cohete Dnepr y posteriormente en el lanzamiento y en el envío de telemetría alrededor del mundo. A continuación se presenta un ejemplo de dicha telemetría:

5k3L>5k3UNIVERSIDADSERGIOARBOLEDABEACON:A
20B20C19D18E21F24_Libertad_1_1COL_B:116

En este identificador (beacon) figura el nombre de la matrícula asignado al satélite por la IARU que es 5k3L. La descripción 5k3UNIVERSIDADSERGIOARBOLEDA hace referencia a la estación terrena que está ubicada en el Centro de Monitoreo Rodrigo Noguera Laborde de la Universidad Sergio Arboleda. Los caracteres que siguen corresponden a las lecturas de temperatura en cada una de las caras del satélite, en el momento en que se envía el beacon. A continuación sigue el nombre del satélite, es decir, Libertad_1_1COL, y, finalmente, el número de beacons (116) que ha transmitido el satélite en ese momento de toma de datos. Así mismo, se remite el nombre del picosatélite en clave Morse:

5 K 3 L
..... -.- ...-- .-..

El Libertad 1. Internacionalmente recibió las siguientes designaciones:

NORAD ID 31128

NASA: NSDC 2007-012M.

Los elementos orbitales son: (TLE)

1 31128U 07012M 08049.21741066 -.00000048 00000-0
00000+0 0 2606
2 31128 098.0554 117.6565 0102490 346.5129 013.3371
14.51914414 44522

Investigaciones en curso: Se trabajó en el análisis y verificación de los datos de telemetría recibidos por el Libertad 1 y en el análisis de orientación y estabilidad del picosatélite. Actualmente se está llevando a cabo investigación sobre la línea de programación y desarrollo de cubosatélites y

en un sistema de adquisición de imágenes Cubesatcam. Así mismo en la línea de telecomunicaciones en cubosatélites.

Discusión: La imperante necesidad de nuestro país en utilizar y apropiarse los elementos de tecnología aeroespacial que permiten aprovechar al máximo los recursos de índole natural, económico, educativo y político que están en el mundo, hace imperativo por parte del gobierno y del colectivo civil, el fortalecimiento de la entidad recientemente creada, la Comisión Colombiana del Espacio como ente focal para sumar y proyectar esfuerzos en el desarrollo en este campo.

Referencias:

["Development of a Family of Picosatellite Deployers Based on the CubeSat Standard"](http://www.cubesat.com/news.htm) <http://www.cubesat.com/news.htm>
<http://www.cubesat.auc.dk/>
["Development of the standard CubeSat Deployer and a CubeSat Class Picosatellite"](http://cubesat.calpoly.edu/). <http://cubesat.calpoly.edu/>
["The Electronic System Design, Analysis, Integration, and Construction of the Cal Poly State University CP1 CubeSat"](http://cubesat.calpoly.edu/_new/references/cp1_paper.pdf).
http://cubesat.calpoly.edu/_new/references/cp1_paper.pdf
<http://www.celestrak.com/> . Seguimiento de satélites.
<http://www.cubesat.auc.dk/> . ["Active Antennas for CubeSat Applications"](http://www.cubesat.auc.dk/)
http://cubesat.calpoly.edu/_new/workshop/CalPoly2004/fourth/ppod.ppt
<http://www.satscape.com/>
<http://www.iaru.org/>
<http://www.amsat.org/>
["MicroVacuum Arc Thruster Design for a CubeSat Class Satellite"](http://cubesat.calpoly.edu/_new/references/canx_paper.pdf)
http://cubesat.calpoly.edu/_new/references/canx_paper.pdf
["Design and Test of a Solid State Charged Particulate Detector for CubeSat"](http://cubesat.calpoly.edu/_new/references/part_detect_paper.pdf)
http://cubesat.calpoly.edu/_new/references/part_detect_paper.pdf
["Two-Axis MOEMS Sun Sensor For Picosatellites"](http://cubesat.calpoly.edu/_new/references/canx_paper.pdf)
http://cubesat.calpoly.edu/_new/references/canx_paper.pdf
["Lessons Learned of NSPO's Picosatellite Mission: YAMSAT-1A,1B & 1C"](http://cubesat.calpoly.edu/_new/references/yamsat_paper.pdf)
http://cubesat.calpoly.edu/_new/references/yamsat_paper.pdf
[P-POD & Launch Opportunities \(CubeSat Developer's Workshop\)](http://cubesat.calpoly.edu/_new/workshop/CalPoly2004/fourth/ppod.ppt)
http://cubesat.calpoly.edu/_new/workshop/CalPoly2004/fourth/ppod.ppt