

Estudio Comparativo de las Tecnologías Utilizadas en los Desplegadores de Nanosatélites

Comparative Study of the Technologies Used in Nanosatellite's Deployers

Luis A. Argüello, *Ingeniero de Diseño, ABAE*

Resumen— La presente investigación tiene como objetivo principal el desarrollo de un estudio comparativo entre los desplegadores de nanosatélites que se encuentran disponibles y han sido utilizados en misiones espaciales desde el año 2002 hasta la presente fecha. De igual manera se estudia la eficiencia, la tecnología, los estándares usados por cada uno de los fabricantes. Este estudio permitirá a los interesados obtener de manera rápida los datos de cual desplegador de nanosatélites se ajusta más a sus presupuestos de energía, masa y estructura; sin dejar a un lado la parte económica que es factor fundamental a la hora de llevar a cabo un proyecto de misión espacial.

Palabras Claves— Desplegador, Estándar, Nanosatélites

Abstract— The present investigation has as a main objective the development of a comparative study between nanosatellite deployers that are available and have been used in space missions from 2002 until this date. The efficiency, technology, standards used by each of manufacturers is studied in the same way. This study will allow interested people to obtain quickly the data from which nanosatellites deployers adjust more to its energy, mass and structure budgets; without leaving the cost that is the fundamental factor in a space mission project.

Index Terms— Deployer, Nanosat, Standard

I. INTRODUCCIÓN

PARA el año de 1999 el Dr. Jordi Puig-Suari de la Universidad Estatal Politécnica de California, mejor conocida como Cal Poly, y el Profesor Bob Twiggs de la Universidad de Stanford comienzan el desarrollo de una nueva clase de nanosatélites el cual se regiría por el estándar llamado Especificaciones de Diseño para Cubesat (*C.D.S.* por sus siglas en inglés Cubesat Design Specification). Este estándar define las dimensiones nominales, tolerancias dimensionales, materiales aceptables, sistema de referencias entre otros aspectos.

L. A. Argüello es Ingeniero Electrónico, Diseñador Satelital. Agencia Bolivariana Para Actividades Espaciales (ABAE), Borburata, Venezuela (larguello@abae.gob.ve). Este artículo fue realizado para ser presentado en el IICVTE en el mes de Julio de 2017

La motivación del desarrollo de este estándar fue la de conseguir que los Cubesat fueran aceptados por los prestadores de servicios de lanzamientos, como cargas secundarias que no afectaran el lanzamiento de la carga principal, esto debido a que los proveedores no querían arriesgar el éxito de la misión introduciendo dispositivos adicionales que añadieran complejidad a la misma. El CDS dio la confianza para que los proveedores incluyeran los Cubesat dentro de las misiones. En la actualidad son lanzados regularmente y prácticamente desde cualquier lanzador espacial a precios accesibles.

Ahora bien pero ¿Qué es un desplegador? y ¿De qué serviría estandarizar la construcción de pico o nanosatélites sin tener un desplegador confiable? Pues bien, un desplegador es un sistema de anclaje al lanzador, el cual permite que el pico o nanosatelite se separe del mismo. Básicamente es una caja metálica la cual cuenta con un panel de apertura, que al abrirse impulsa el pico o nanosatélite mediante el uso de un muelle. La estandarización de los Cubesat, permitió a Puig-Suari y Twiggs que comenzaran a buscar un desplegador confiable para los prestadores de servicios, el cual llamaron Poly-Picosatellite Orbital Deployer (*P-P.O.D.* por sus siglas en inglés), así como también que otras compañías comenzaran a desarrollar nuevos y mejores desplegadores, para que de esta manera la misión del pico o nanosatelite sea más confiable.

II. DESPLEGADOR ORBITAL DE CAL POLY

El Poly Picosatellite Orbital Deployer es un sistema de despliegue estandarizado que asegura a todos los desarrolladores de Cubesat que éste se ajusta a los requerimientos físicos comunes. El P-POD utiliza un diseño tubular y puede soportar nanosatélites con las siguientes medidas: 340.5mm x 100mm x 1mm. El principal objetivo que persiguió el Politécnico de California al desarrollar el P-POD fue el de garantizar la seguridad y la protección del vehículo lanzador y la carga primaria de la misión. Este desplegador ha sido diseñado para sobrepasar los requerimientos estándares del vehículo lanzador, esto es garantizado por su herencia de lanzamientos exitosos y las revisiones realizadas a sus diseños. Hasta el año 2013, el Politécnico de California había probado e integrado 98 P-POD para diferentes vehículos espaciales.

En la tabla I puede observarse la cantidad de P-POD y cubesat desplegados hasta el año 2013.

TABLA I
NANOSAT DESPLEGADOS CON P-POD SEGÚN LA BASE DE DATOS DE LA
UNIVERSIDAD DE SAINT LOUIS

Vehículo Lanzador	Fecha	Nro. de P-POD	Nro. de Nanosatélites
Rockot	Junio, 2003	2	4
Dnepr-Belka*	Julio, 2006	5	14
Minotaur I	Diciembre, 2006	1	1
Dnepr-EgyptSat	Abril, 2007	3	7
Falcon 1*	Agosto, 2008	2	2
Minotaur I	Mayo, 2009	2	4
Minotaur IV	Noviembre, 2010	3	3
Falcon 9	Diciembre, 2010	6	8
Taurus XL*	Febrero, 2011	1	3
Delta II	Octubre, 2011	3	6
Vega	Febrero, 2012	3	7
Atlas V - NPSCuL	Septiembre, 2012	8	11
Minotaur I - ORS - 3	Noviembre, 2013	8	12
Atlas V - NPSCuL	Diciembre, 2013	8	16

*Los vehículos lanzadores fallaron antes que el P-POD pudiera desplegar los nanosatélites.

El P-POD tiene una masa (sin carga) de 2,23Kg, una velocidad de salida de 2m/s y una fuerza de despliegue de 44,4N. Las principales claves para el buen funcionamiento de este desplegador son:

- Dimensiones y Masa: los cubesat para este tipo de desplegador deben ser de 100mm x100mm x 100mm y una masa máxima de 1,33kg, esto es para garantizar la integración y un despliegue exitoso.
- Muelles y Resortes entre Nanosatélites: éstos proporcionarán una mejor inicial entre los nanosatélites una vez se haya realizado el despliegue.
- Interruptores de Despliegue: estos interruptores aseguran que los nanosatélites estén inactivos durante las actividades de antes y durante el lanzamiento.

III. DESPLEGADOR EXPERIMENTAL DE LA UNIVERSIDAD DE TORONTO

El Experimental Push Out Deployer (X-P.O.D. por sus siglas en inglés), es un sistema de despliegue a medida desarrollado por el Instituto de Estudios Aeroespaciales y el Laboratorio de Vuelo Espacial de la Universidad de Toronto (UTIAS/SFL por sus siglas en inglés). El X-POD puede adaptarse a pequeños satélites que pueden ir desde un tamaño estandarizado (Cubesat estándar), hasta nanosatelite más grande de dimensiones arbitrarias.

Las unidades de empuje o expulsión del X-POD son líneas tubulares que contienen un resorte en la base, por medio de una señal de activación, es liberada el resorte de la puerta de carga empujando el nanosatelite a la órbita deseada, cabe destacar, que mientras se realiza la secuencia de despliegue, dos lados del X-POD están abiertos, esto sucede al liberar la puerta de carga. El primer X-POD de UTIAS/SFL,

anteriormente conocido como T-POD II, pasó su calificación de vibración y vacío en 2006.

Las principales características de este desplegador son las siguientes:

- Es capaz de soportar nanosatélites de dimensiones arbitrarias hasta con un peso de 5 Kg.
- El mecanismo de cierre posee funciones implementadas para minimizar el riesgo de atascamiento.
- Sistema de disparo redundante.
- Sensores en la puerta de carga y placa de empuje.
- Soporta pruebas de despliegue del nanosatelite en un entorno de 1g.

La UTIAS/SFL ha diseñado variantes del X-POD (ver Fig. 1), para de esta manera ampliar sus despleadores a cualquier nanosatelite sin importar su forma, utilizando siempre el mismo concepto de despliegue para de esta manera mantener la herencia del diseño. La SFL, posee la capacidad de personalizar sus sistemas de despliegue X-POD para cualquier aplicación en particular, lo que se traduce como una ventaja para los constructores de nanosatélites ya que no tienen restricciones en cuanto a la forma a utilizar para su diseño. En el año 2008 durante el lanzamiento del CartoSat-2A se utilizaron seis (06) unidades X-POD para el despliegue de los siguientes nanosatélites:

- CanX-2 de UTIAS / SFL, Toronto, Canadá (3U).
- CUTE-1.7 + APD-2 (3,5 kg) Cubesat del Instituto Tecnológico de Tokio (2U).
- AAUSat-2 de la Universidad de Aalborg, Dinamarca.
- COMPASS-1, Universidad de Ciencias Aplicadas, Aquisgrán, Alemania.
- Delfi-C3 de la Universidad Técnica de Delft, Países Bajos (3U).
- SEEDS-2 de la Universidad de Nihon, Japón.
- CanX-6 / NTS de UTIAS / SFL, Toronto, Canadá.
- Rubin-8-AIS una misión de tecnología espacial experimental de OHB-Sistema, Bremen, Alemania.



Fig. 1. X-POD de 1U y 2 U

IV. EL DESPLEGADOR DE LA AFW

El Single Picosatellite Launcher (SPL por sus siglas en inglés), es un desplegador desarrollado por el instituto alemán Astro und Feinwerktechnik Adlershof GmbH (AFW por sus siglas en alemán). Está diseñado para proveer la garantía de seguridad al pico o nanosatelite, el vehículo lanzador y la carga principal, presenta un despliegue de alta fiabilidad y una pequeña velocidad de giro gracias a los principios de diseño. Este desplegador posee un enfoque modular y redundante.

Las principales características del SPL son las siguientes

- Posee mecanismos de bloqueo y despliegue no explosivos.
- Redundancia de señal para despliegue.
- Baja velocidad de giro para el despliegue.
- El despliegue solo se inicia cuando la puerta éste totalmente abierta y bloqueada.
- Está calificado para una variedad de proveedores de lanzamiento.

El SPL fue probado con éxito por la University of Applied Sciences Aachen dentro del proyecto COMPASS-ONE, bajo gravedad cero de un vuelo parabólico. En la campaña de vuelo del PSLV-C14 fueron para el despliegue de los picosatélites BEESat (Universidad de Berlín), Swiss-Cube (Escuela Politécnica Federal de Lausana), UWE-2 Universidad de Würzburg) ITÜp-Sat1 (Universidad Técnica de Estambul).

V. EL DESPLEGADOR ORBITAL DE ISIS

Innovative Solutions in Space Picosatellite Orbital Deployer (I.S.I.P.O.D., por sus siglas en inglés), es desarrollado por la empresa Innovative Solutions in Space de Holanda, la cual se especializa en sistemas satelitales pequeños y servicios de lanzamientos de Cubesat.

Fue desarrollado como un desplegador de bajo coste para satélites pequeños que cubran la gama de pico y nanosatélites, este desplegador cumple con los estándares de Cubesat y sirve para Cubesat de 1U, 2U y 3U.

Sus principales características son las siguientes:

- Proporciona señal de estado de despliegue.
- No usa baterías por lo tanto tiene un tiempo de vida ilimitado.
- No usa pirotecnia.
- Protege los Cubesat del entorno externo.
- ISIPOD es activado por el vehículo de lanzamiento.
- Interfaces mecánicas con Cubesat mediante guías.
- Interfaces mecánicas con el vehículo de lanzamiento mediante sujetadores estándar.
- Interfaces eléctricas con el vehículo de lanzamiento para telemetría.

Las especificaciones de este desplegador en cuanto a dimensiones y masa se presentan en la siguiente tabla:

TABLA II
ESPECIFICACIONES DEL ISIPOD (DATOS TOMADOS DE LA HOJA DE
ESPECIFICACIONES DEL FABRICANTE)

	1U	2U	3U
Masa del ISIPOD	1,5 Kg	1,75 Kg	2,0 Kg
Masa típica de la Carga	1,0 Kg	2,0 Kg	3,0 Kg
Masa Máxima de la Carga	2,0 Kg	4,0 Kg	6,0 Kg
Dimensiones	182 x 127 x	182 x 127 x	182 x 127 x
(AltosAnchoxLargo)	186 mm	300 mm	414 mm

VI. QUADPACK

El Quadpack es un desplegador desarrollado por ISIS, es usado por los servicios de lanzamiento de esta compañía que permite el despliegue de una gran variedad de nanosatélites,

utilizando diferentes vehículos lanzadores. Posee un diseño de multidesplegador con interfaces sencillas y flexibles que se adaptan a los diferentes Nanosat. Durante el lanzamiento el Nanosatélite está completamente protegido por el Quadpack (en la Fig. 2 puede observarse la vista frontal de este dispositivo), y solo será desplegado por medio de una señal desde el vehículo lanzador.

Las principales características de este desplegador son las siguientes:

- No está basado en un paquete de baterías, por tal motivo no necesita estar energizado eléctricamente para permanecer cerrado.
- Posee un sistema de interruptores de despliegue redundantes.
- Es compatible con la mayoría de señales de pulso de los vehículos lanzadores
- Se trata de un dispositivo no explosivo por lo tanto se puede probar, poner a punto y reutilizar.



Fig. 2. Vista frontal del Quadpack de la compañía ISIS

VII. DESPLEGADOR DE LA JAXA

JEM Small Satellite Orbit Deployer (JSSOD por sus siglas en inglés), es un desplegador desarrollado por la Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA por sus siglas en inglés). Este dispositivo cumple con las especificaciones Cubesat, sus primeros despliegues los realizó desde la sonda espacial Kibo del modulo (ver Fig. 3) experimental japonés. Está compuesto por la estructura de instalación del nanosatélite, un mecanismo de separación y un modulo eléctrico, es usado en plataformas experimentales de múltiples propósitos. Los nanosatélites desplegados desde Kibo aprovechan de manera satisfactoria tanto la cámara de aire como el brazo robótico (ver Fig. 4), entre los módulos de la estación espacial internacional (ISS por sus siglas en inglés).

Las ventajas que presenta el J-SSOD en comparación a los despleguidores que son lanzados como carga secundaria en diferentes misiones espaciales son las siguientes:

- Condiciones de lanzamientos no severas, debido a que son desplegados como una carga presurizada de la ISS, lo que trae como beneficio la disminución de la vibración
- Más oportunidades de lanzamientos, ya que se pueden usar los diferentes vehículos que visitan la ISS

- Después del despliegue la tripulación de la ISS, puede hacerle seguimiento visual, lo que se traduce en una misión más confiable.

Sus principales características se listan a continuación:

- Puede desplegar nanosatélites de 1U, 2U y 3U siempre y cuando cumplan con el estándar Cubesat.
- Velocidad de Despliegue es entre 1.1 y 1.7 m/s
- La dirección de inserción es de 45 grados con respecto Nadir teniendo en cuenta el sistema de coordenadas de la ISS.

En el año 2012 fueron desplegados desde la ISS usando el J-SSOD los nanosatélites RAIKO (2U) de la Universidad de Tohoku/Universidad Wakayama, Fitsat-1 (1U) Universidad Tecnológica de Fukuoka, WE- WISH (1U) de la Compañía Eléctrica Meisei, F-1 (1U) de Nanorack/Universidad FPT (Vietnam)/Universidad UPPSALA (Suecia) y TechEdSat Centro de Investigación Ames de la NASA (ARC por sus siglas en inglés)/Universidad Estatal de San José.

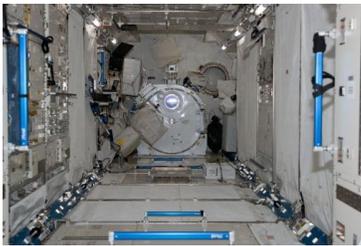


Fig. 3. Vista interior del módulo Kibo

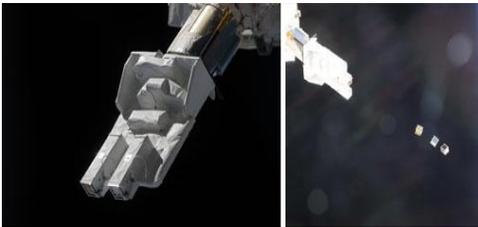


Fig. 4. Brazo robótico conectado con el J-SSOD desplegando Nanosatélites

VIII. DESPLEGADOR NANORACK

El NanoRacks Cubesat Deployer (NRCSD por sus siglas en inglés), es un desplegador creado por NanoRacks LLC en Houston, Estados Unidos. El NRCSD es un sistema de despliegue de nanosatélites autónomo, que permite el aislamiento de mecánico y eléctrico de los nanosatélites de la ISS. Este desplegador cumple con los requisitos de seguridad de la NASA y la ISS, está calificado en el espacio.

El NRCSD es un tubo rectangular que consta de placas de aluminio anodizado, montaje de placa base, paneles de acceso y puertas de despliegue. Las puertas de despliegue de NRCSD están situadas en el extremo delantero, el conjunto de placa base está situado en el extremo posterior y los paneles de acceso están dispuestos en la parte superior. Las paredes interiores de la NRCSD son un diseño de diámetro liso para minimizar y / o impedir el bloqueo o bloqueo de los apéndices de Cubesat durante el despliegue, si éstos se liberan prematuramente. Sin embargo, los sistemas desplegables

deben estar diseñados de tal manera que no haya contacto intencional con las paredes interiores de la NRCSD. Esta plataforma multipropósito soporta Nanosatélites que cumplen con los estándares cubesat, sus dimensiones son aproximadamente 430 x 230 x 500 mm y una masa de 5,4 Kg. Posee espacio para 16 Nanosatélites, su sistema de plug and play garantiza una interfaz sencilla y estandarizada que reduce costos de integración.

Para un despliegue, la plataforma se desplaza hacia el exterior a través de la tabla de deslizamiento del Módulo Kibo, que permite al Módulo Experimental Japonés de Manipulación Remota (JEMRMS) mover los desplegadores a la orientación correcta para la liberación del satélite y también proporciona comando y control a los desplegadores.

Para el NRCSD, la masa máxima de los Nanosatélite que quieran hacer uso de este desplegador pueden observadas en la tabla III:

TABLA III
MASA MÁXIMA SOPORTADA POR EL NRCSD

Tamaño del Nanosatelite	Masa Máxima (Kg)
1U	2.82
2U	5.657
3U	8.485
4U	11.314
5U	14.142
6U	16.971

Entre los nanosatélites desplegados por el NRCSD están la constelación de nanosatélites Orb-1 compuestos por 28 Nanosatélites de 3U, el LitSar-1 perteneciente a la Universidad Tecnológica de Kaunas, Lituania Sat 1 de la Universidad de Vilnius, Skycube de Southern Stars, el UAPSat-1 de la Universidad de Perú. En la Fig. 5 se puede observar el despliegue de un nanosatélite usando el módulo NRCSD.

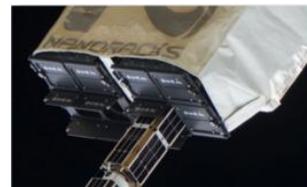


Fig. 5. Fotografía del Módulo NanoRacks Mientras Despliega un Nanosatélite desde la Estación Espacial Internacional

IX. CONCLUSIONES

Luego de haber investigado sobre los diferentes desplegadores existentes en el mercado actual se puede concluir lo siguiente:

- A pesar de la existencia de diferentes desplegadores y Nanosatélites, la mayoría de los desplegadores siguen usando el estándar cubesat como guía en sus diseños.
- Los sistemas de apertura de los muelles de los desplegadores usan interruptores redundantes para garantizar la eficiencia en el lanzamiento. A su vez no es utilizada la pirotecnia para garantizar la seguridad de los nanosatélites.

- En un principio solo se podía desplegar un máximo de 3 nanosatélites de 1U hasta 1 nanosatélite de 3U por desplegador, sin embargo con el pasar de los años y el creciente auge de los nanosatélites las compañías fabricantes se han visto en la necesidad de aumentar la capacidad de los despleedores.
- Como se muestra en la Fig. 6 se puede observar que el desplegador que ha tenido mayor uso desde el año 2002 hasta el año 2016 es el NRCSD de la compañía NanoRacks con una cantidad de 181 nanosatélites desplegados, seguido de cerca por el P-POD con 149, y por último el Quadpack de ISIS con un total de 132.
- La empresa que ocupa el primer lugar desde el año 2002 hasta el 2016 en despliegues de nanosatélites a nivel mundial es NanoRacks ocupando un treinta y tres por ciento (33%) del total de lanzamiento, mientras que la que ocupa el segundo lugar es la compañía ISIS ya que con sus dos despleedores el ISIPOD y el Quadpack ha logrado obtener el treinta por ciento (30%) de los despliegues, sin embargo muy cerca está el más antiguo de los despleedores, pero que aún con sus actualizaciones se mantiene en el mercado con gran uso el P-POD ocupando un veintisiete por ciento (27%) de los despliegues que se han realizado hasta el año 2016 (ver Fig. 7)

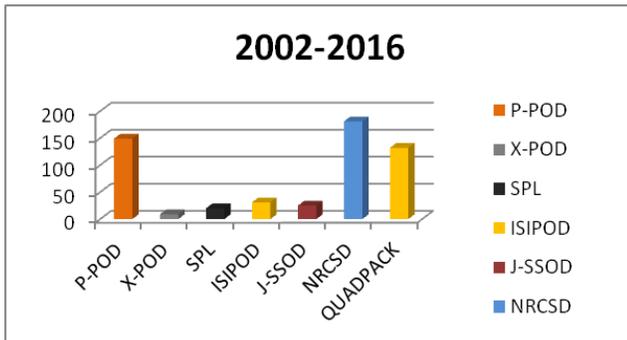


Fig. 6. Despliegue de Nanosatélites desde el año 2002 al 2016

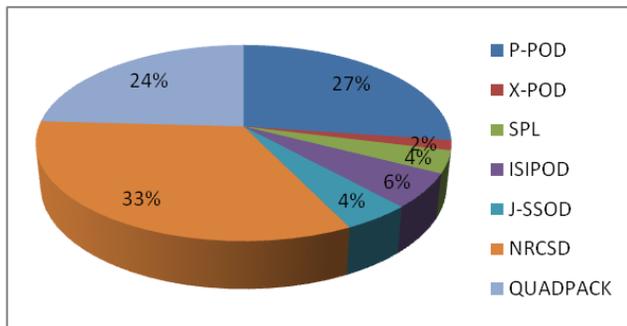


Fig. 7. Posicionamiento de los Diferentes Despleedores en el Mercado desde el año 2002 hasta el 2016

- Proceedings of the IEEE Aerospace Conference, Big Sky, MT, March 9-16, 2002.
- [2] D. D. Kekez, R. E. Zee, F. M. Pranajaya, "SFL Nanosatellite Missions & Nanosatellite Launch Service," 4th Annual CubeSat Developers' Summer Workshop at the 21st Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites, Logan, UT, Aug. 13-16, 2007.
 - [3] Nicholas McGrail, Christina Hicks, Shane Driscoll, Jim Newman, "NPS CubeSat Launcher (NPSCuL) Program Update," 2009 CubeSat Developer's Summer Workshop, USU (Utah State University, Logan, UT, 2014.
 - [4] "NanoRacks CubeSat Deployer (NRCSD) Interface Control Document," NanoRacks, Document: NR-SRD-029, Dec. 10, 2017.
 - [5] Alexander Chin, Roland Coelho, Lori Brooks, Ryan Nugent, Jorgi Puig-Suari, "Standardization Promotes Flexibility: A Review of CubeSats' Success," 6th Responsive Space Conference, April 28-May 1, 2008, Los Angeles, CA, RS6-2008-4006.
 - [6] Jonathan Brown, Riki Munakata, "Dnepr 2 Satellite Identification and the Mk.III P-POD," CubeSat Developers' Workshop, San Luis Obispo, CA, USA, April 9-11, 2015.
 - [7] J. Puig-Suari, C. Turner, W. Ahlgren, "Development of the Standard CubeSat Deployer and a CubeSat Class PicoSatellite," IEEE, 1 0-7803-6599-2, 2001.
 - [8] "NASA-Built Nanosatellite Launch Adapter System Ready For Flight," Space Daily, May 31, 2016, [En Linea] Disponible:http://www.spacedaily.com/.../NASA_Built_Nanosatellite_Launch_Adapter_System_Ready_For_Flight.
 - [9] Nicholas McGrail, Christina Hicks, Shane Driscoll, Jim Newman, "NPS CubeSat Launcher (NPSCuL) Program Update," 2009 CubeSat Developer's Summer Workshop, USU (Utah State University, Logan, UT, 2009.



Luis A. Argüello. Nace en San Cristóbal, Estado Táchira en 1979. Egresó como Ingeniero Electrónico del Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño (I.U.P.S.M.) en 2010. Diplomado en Gerencia de Operaciones y Control de la Gestión Empresarial por Universidad José

Antonio Páez 2011. El Ing. Argüello se desempeña como diseñador satelital en la Agencia Bolivariana para Actividades Espaciales, participó como diseñador de distribución de potencia en el proyecto VRSS-2 y actualmente ocupa el cargo de Supervisor (E) de la Unidad de Desarrollo e Innovación Tecnológica (UDIT).

REFERENCIAS

- [1] Nason, J. Puig-Suari, R. Twigg, "Development of a Family of Picosatellite Deployers Based on the CubeSat Standard,"