

Estudio Comparativo de Dispositivos para la Inyección y Despliegue Orbital de Nanosatélites

William Figueredo, Lenin Luna

Agencia Bolivariana para Actividades Espaciales (ABAE), Caracas, Venezuela

ingmecwf@gmail.com

leninluna@gmail.com

Resumen. Los CubeSat son satélites que se pueden clasificar como nanosatélites de acuerdo a sus características de volumen y masa en referencia al estándar CubeSat; estos requieren ser posicionados en órbita, pero son cargas secundarias y depende de la disponibilidad de masa del lanzador, al mismo tiempo requieren de dispositivos especiales y secundarios, para ser inyectados y desplegados en órbita, por lo que es necesario conocer los diferentes dispositivos de inyección y despliegue orbital a fin de adaptarse a las características de masa y especificaciones dimensionales de los CubeSat. En este documento se describen las características del P-POD, y algunos dispositivos de despliegue orbital, los adaptadores NLAS, y los últimos dispositivos NanoRacks, para el despliegue orbital de CubeSat en la Estación Espacial Internacional (ISS). Al final del documento se detallan algunas comparaciones más sobresalientes de algunos dispositivos convencionales P-POD y los más recientes usados en la ISS.

Palabras claves: Cal Poly, P-POD, CubeSat, ABAE, nanosatélites, picosatélites, SPL, NLAS, NanoRacks, desplegador orbital

Abstract. The CubeSat are satellites that can be classified as nanosatellites according to their mass and volume characteristics regarding to the CubeSat standard; commonly the nanosatellites are secondary loads and depends on the space availability of mass of the launcher, while requiring special and secondary devices to be injected and deployed in orbit, it is necessary to know the different injection devices and orbital deployment to match the characteristics of mass and dimensional specifications of the CubeSat. In this paper the characteristics of the P-POD, and some devices orbital deployment, NLAS adapters, and the last NanoRacks devices to the orbital deployment of CubeSat on the ISS are described. The paper concludes with some comparisons of some outstanding recent P-POD and conventional devices used in the ISS are described.

Keywords: Cal Poly, P-POD, CubeSat, ABAE, nanosatellites, picosatellites, SPL, NLAS, NanoRacks, deployer orbital.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente la ingeniería aeroespacial juega un rol importante en la ciencia y tecnología de los países desarrollados, lo cual ha incrementado la investigación, desarrollo e innovación de nuevas tecnología en sus universidades, centros de investigación y áreas industriales. Hoy día, la masa de un satélite constituye un tema de gran interés, porque representa el mayor costo de las misiones espaciales. La miniaturización es una de las maneras posibles de reducir los costos. La reducción de masa es el tema de mayor importancia, ya que cargas útiles más pequeñas serán más

económicas. Una de las últimas actividades en el rol de la miniaturización, es el desarrollo de nanosatélites cuyas masas están entre los 1.0 y 10 Kg [1]. En vista del desarrollo de nuevas tecnologías aplicables en Venezuela, y dada la importancia que tienen para la Agencia Bolivariana para Actividades Espaciales (ABAE) a través del convenio con la Fundación Instituto de Ingeniería (FII), para la construcción de una estructura de un nanosatélite o Cubesat; lo cual da entrada a Venezuela en el desarrollo de esta área de investigación. Por tal motivo con la elaboración de este trabajo se plantea investigar acerca de los diferentes dispositivos usados en la inyección y despliegue orbital nanosatélites.

El equipo de Desarrollo, Fabricación e Integración Espacial (SDMI), ha posicionado a la Universidad Politécnica de California, de San Luis Obispo (Cal Poly) para estar a la cabeza del desarrollo de pequeños satélites al trabajar con el Laboratorio de Desarrollo de Sistemas Espaciales de la Universidad de Stanford (SSDL)[2]; con el objetivo de producir una plataforma estandarizada para pequeños experimentos orbitales conocidos como CubeSat. Estos pequeños vehículos espaciales pueden clasificarse como nanosatélites, lo que significa que todo el satélite pesa entre uno y diez kilogramos. Los cubos, de unos 10 centímetros, están diseñados para alojar pequeños experimentos que de otro modo sería un costo elevado para validar el vuelo. Universidades, junto con intereses industriales y gubernamentales, pueden colocar sus propios CubeSat en órbita usando el sistema de despliegue estandarizado. El propio satélite de la Cal Poly, Polysat, (2001) fue uno de los primeros CubeSat.

La SDMI ha liderado el camino en el desarrollo de este sistema de despliegue conocido como el P-POD (Poly Picosatellite Orbital Deployer). El Viaje inaugural de los dispositivos P-POD1 y P-POD2, junto con el Polysat se programó para finales del verano de 2001. Cal Poly se ha encargado de supervisar el desarrollo de CubeSat en todo el mundo, y deberá orquestar todos los servicios de lanzamiento con los proveedores de lanzamiento. El equipo de diseño de la integración es el responsable de supervisar todas las CubeSat entrantes, y verificar que cumplen con los requisitos de diseño establecidos en la Guía de Carga Útil del planificador de P-POD, que estarán a disposición de todas las partes interesadas.

II. REQUERIMIENTOS DE LOS CUBESAT

Antes de iniciar en la descripción de los diferentes dispositivos de inyección y despliegue orbital, se detallan a continuación los principales requerimientos técnicos de los CubeSat de Acuerdo al CDS versión 13 [3].

Requisitos generales:

1. Todas las partes del CubeSat permanecerán enlazadas al satélite durante el lanzamiento, eyección y operación. No pueden crearse escombros espaciales adicionales.
2. Ningún dispositivo pirotécnico será permitido.
3. Cualquier sistema de propulsión será diseñado, integrado y probado en concordancia con AFSPCMAN 91-710, volumen 3.

4. Los sistemas de propulsión tendrán por lo menos 3 inhibidores para activación.
5. La energía química total almacenada no deberá exceder los 100Wh.
Nota: Superiores capacidades podrían ser permitidas, pero potencialmente podría limitar las oportunidades de lanzamiento.
6. Los materiales peligrosos de los CubeSat están conforme a AFSPCMAN 91-710, volumen 3.
7. Los materiales deben satisfacer los criterios de desgasificación para prevenir la contaminación de otras naves espaciales durante la integración, prueba y lanzamiento. Una lista aprobada por NASA de baja desgasificación en los materiales se puede encontrar en [4].
- 7.1. Los CubeSat deben tener una pérdida de masa total (TML) $\leq 1.0\%$
- 7.2. Los materiales de los CubeSat deberá tener un material volátil condensable recogido (CVCM) $\leq 0.1\%$
8. La última revisión del CDS será la versión oficial a la que todos los desarrolladores deberán adherirse.

III. DESPLIEGADOR ORBITAL DE PICOSATELITES DE LA UNIVERSIDAD DE CALIFORNIA,

El desplegador orbital de picosatelites de la Universidad de California (P-POD)[4], es un sistema desplegador estándar de la universidad de California. Este es capaz de cargar hasta tres CubeSat estándar (1U), sirve como interfaz entre los CubeSat y el Vehículo Lanzador (VL). El P-POD es una caja rectangular de sección transversal cuadrada, con una puerta y un mecanismo compuesto por resortes. Una vez que el mecanismo del P-POD es activado por una señal de despliegue enviada por el VL, una configuración de resortes de torsión actúan sobre la puerta haciendo que esta abra y los CubeSat sean desplegados por medio de un resorte principal, que desliza sobre unos pequeños rieles sobre el P-POD, estos se muestran en la Figura 1. El P-POD está fabricado en aluminio anodizado del tipo 7075, 6061, 5005 y/o 5052 principalmente, para la estructura y los rieles. Los CubeSat deslizan a lo largo de una serie de rieles durante la eyección en órbita. Los cubeSat deben ser compatibles con el P-POD para asegurar la seguridad y el éxito de la misión de acuerdo a los requerimientos establecidos en el CDS. El P-POD es compatible con versiones anteriores, y cualquier CubeSat desarrollado dentro de las especificaciones de diseño del CDS versión 9 y superior no tendrá problemas de compatibilidad. Se ha estimulado a los desarrolladores a diseñar en los CDS más actuales para aprovechar al máximo las características de los P-POD [4].

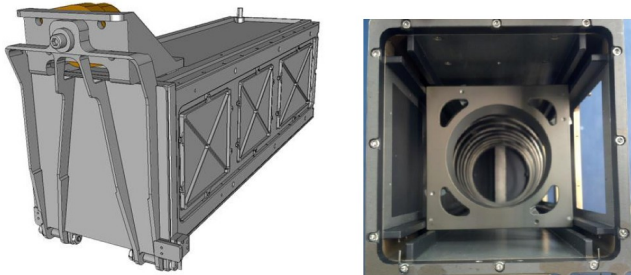


Figura 1 Vista isométrica, disposición de rieles y resortes de un P-POD [5]

Dimensiones de los P-POD

Las dimensiones del P-POD, de acuerdo al ICD Revisión A, 2004, P-POD Mark II, se detallan en la Figura 2.

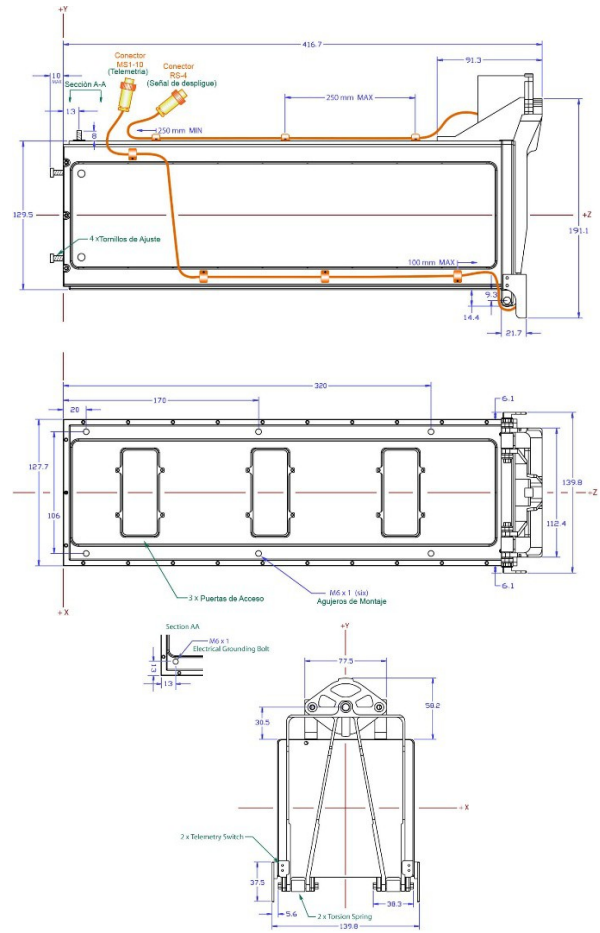


Figura 2 Dimensiones del P-POD, de acuerdo al ICD Revisión A, 2004, P-POD Mark II [6]

Propiedades de Masa:

Las propiedades de masa máximas que aplican para los P-PODs se describen en la TABLA 1.

TABLA 1
PROPIEDADES DE MASA PARA LOS CUBESAT A UTILIZAR EN P-POD [2]

Factor de Forma	Masa Máxima (kg)
1U	1.33
1.5U	2.00
2U	2.66
3U	4.00

La Desviación máxima del centro de gravedad con respecto al centro geométrico en dirección del Eje Z, depende del factor de forma de los CubeSat y se muestra en la TABLA 2.

TABLA 2
DESVIACIÓN MÁXIMA DEL CENTRO DE GRAVEDAD CON RESPECTO AL CENTRO GEOMÉTRICO DE LOS CUBESAT [2]

Factor de Forma	Centro Geométrico en Dirección del eje Z
1U	2
1.5U	3
2U	4.5
3U	7.00

IV. LANZADOR SIMPLE DE PICOSATELITES, (SINGLE PICOSATELLITE LAUNCHER, SPL)

Este es un sistema de despliegue orbital para un único CubeSat, fue diseñado y fabricado por la empresa Astround Feinwerktechnik Adlershof GmbH, en Berlín Alemania; incluye una fase para la apertura de la puerta y una fase para el despliegue del satélite, el despliegue no se realiza hasta tanto la puerta este completamente abierta ver Figura 3 [7], el sistema de bloqueo de la puerta impide el retorno de la misma, posee una velocidad de despliegue reducida y una baja velocidad de rotación del satélite luego del despliegue en órbita, permite realizar múltiples pruebas posibles de despliegue en tierra; posee actuadores mecánicos y eléctricos en redundancia, permite el ajuste de posición del satélite, el despliegue es controlado por guías en los rieles; posee señales de confirmación para el despliegue exitoso; su envoltura cerrada garantiza elevados niveles de seguridad, permite espacio adicional para enlazar componentes externos como por ejemplo antenas; su aplicación está destinada al estándar CubeSat de la Cal Poly, no contiene actuadores pirotécnicos ni basura espacial, está calificado de acuerdo al estándar ECSS E-10 para todas las plataformas típicas [7].



Figura 3 Simple lanzador de Picosatelites SPL [7]

Entre sus características mecánicas principales se tiene que: Su masa máxima es de 1.0Kg y se podría admitir hasta 1.4Kg según solicitud. La velocidad de despliegue es de 1.4m/s para la masa de 1Kg. Su actuador es del tipo magnético eléctrico-permanente y posee redundancia.

V. DESPLEGADOR ORBITAL DE PICOSATELITES DE LA UNIVERSIDAD DE TOKIO (TOKIO PICOSATELLITE ORBITAL DEPLOYER T-POD)

Es un dispositivo que se encuentra en desarrollo por Intelligence Space System Laboratory (ISSL) y la Universidad de Tokio en Japón, ver Figura 4, como una alternativa a la propuesta norteamericana P-POD. No difiere en gran medida del análogo de la Cal Poly y la Universidad de Stanford, pero los T-POD, solo tiene la capacidad de albergar un solo CubeSat de 1U. [8]

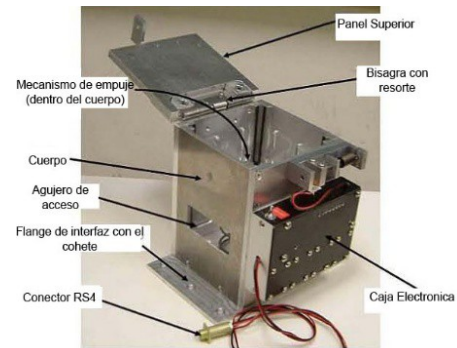


Figura 4 Desplegador Orbital de Picosatelites de Tokio[8]

VI. DESPLEGADOR ORBITAL DE PICOSATELITES DE SOLUCIONES INNOVATIVAS EN EL ESPACIO (INNOVATIVE SOLUTIONS IN SPACE ISISPOD)

Es un dispositivo adaptable a los lanzadores europeos, desarrollado por la empresa Innovative Solutions In Space (ISIS), permite acomodar los CubeSats en una gran variedad de vehículos lanzadores. La configuración de este dispositivos permite alojar desde 1U, 2U, 3U y de acuerdo a solicitud la empresa puede suministrar tamaños de 0.5U hasta 5U; actualmente está en desarrollo el diseño de un empaque de 6U, ver Figura 5. Este permite a los desarrolladores de los CubeSat colocar su carga en el espacio de forma independiente. Por diseño el ISISPOD proporciona sencillez, define buenas interfaces con los CubeSats internamente, y externamente con el vehículo lanzador. Durante el lanzamiento los CubeSats están totalmente envueltos por el ISISPOD y son dispensados únicamente cuando se recibe la señal a través del vehículo lanzador. [9]

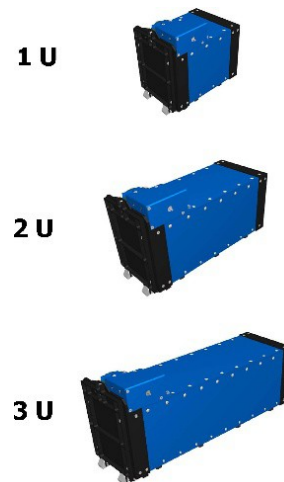


Figura 5 Configuraciones disponibles de los IISPOD [9]

Entre sus principales características se tiene que permite alojar masas en 1U, desde 1.0 Kg y máximo 2.0Kg para 2U desde 2.0Kg y máximo 4.0Kg, y 3U desde 3.0Kg hasta 6.0Kg; proporciona señal del estado de despliegue; no posee elementos pirotécnicos; no tiene restricciones para exportación; protege al CubeSat del ambiente espacial; el ISISPOD es activado por el vehículo lanzador.

VII. SISTEMA ADAPTADOR PARA LANZAMIENTO DE NANOSATÉLITES (NANOSATELLITE LAUNCH ADAPTER SYSTEM NLAS)

Su objetivo principal es incrementar el acceso hacia el espacio, pero con la capacidad de desplegar 8x 3U, 4x 6U, o una combinación de nanosatélites (1U, 1.5U, 2U, 3U, 6U). Suministrando una plataforma con una secuencia configurable y programación para el despliegue de múltiples cargas útiles secundarias compuestas de nanosatélites desde el vehículo lanzador, ver Figura 6. En la Figura 7 se muestra de forma más detallada la interfaz del Adaptador NLAS y los dispensadores de este tipo de tecnología [10].

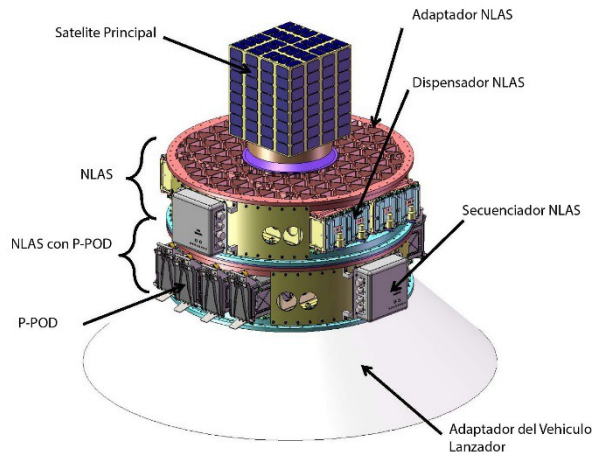


Figura 6 Disposición de diferentes cargas útiles acopladas con los dispositivos y equipos NLAS [10]

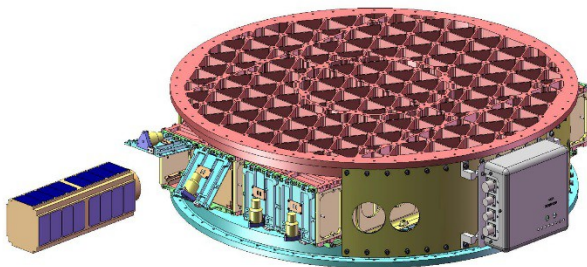


Figura 7 Sistema Adaptador, secuenciador y dispensador para la inserción de Nano Satélites NLAS[10]

El NLAS provee capacidades de acceso para una variedad de cargas secundarias de nano satélites que serán habilitados para mejorar la ciencia espacial, incluyendo la astrofísica, exobiología, heliofísica, ciencias de la tierra y la posible ciencia planetaria. Permitiendo la habilidad para la demostración de vuelo de nuevas tecnologías en el ambiente espacial, suministrando un gran número de oportunidades para acceder al espacio y alojando esas tecnologías en las plataformas nano satelitales.

Los sistemas NLAS incluyen:

- 1x Secuenciador NLAS,
- 1X Caja de pruebas del secuenciador (GSE) NLAS,
- 4x Dispensador NLAS,
- 1X Adaptador NLAS y,

- Cables Misceláneos.

Características principales:

- Adaptador: aprox. $\phi 40$ pulg
- Masa del sistema: aprox. 95kg (excluyendo la carga útil)
- Capacidad de carga útil: 24U

Secuenciador del NLAS:

- Tamaño: aprox. 10x8x3.7pulg
- Masa: aprox. 1.9kg
- El tiempo de secuencia es totalmente programable para todas las salidas desde 1s hasta 6h.
- Señales de entrada simple desde el vehículo lanzador.
- 8x salida de señales para P-POD o NLAS en los actuadores del dispensador.
- 1x Salida para un dispositivo auxiliar o "Daisy Chaining" del secuenciador.
- Energía interna (aprox. dos meses de energía en reposo, 6 + h de potencia operativa)
- Indicadores de estado tipo LED
- Tarjetas de control redundante
- Hardware y software con rechazo de ruido para las señales del vehículo lanzador.

Dispensador NLAS:

- Tamaño: aprox. 10.5x18.3x5.6pulg
- Masa: 6.3 kg 3U / 5.4kg 6U
- Desplegador de resorte energizado
- Soporte de diseño reconfigurable en cualquiera de las dos bahías de 3U o una bahía sencilla de 6U
- Masa de la carga útil: 2x6kg (3U) / 14.0kg (6U)
- Velocidad de Eyección: aprox. 1.5m/s para carga útil de 6.0kg y configuración en 3U
- Actuadores reseteables TiNi con triggers redundantes
- Múltiples orientaciones de montaje
- Operaciones de prueba a -18 °C hasta 50 °C (0°F hasta 122°F)
- Choque y vibración aleatoria hacia GEVS

Adaptador NLAS:

- Tamaño: $\approx \phi 40$ pulg x 10 pulg
- Masa: ≈ 63.3 kg
- Interfaces superiores hacia el vehículo lanzador y la nave espacial primaria
- Interfaces estándar a tope con el vehículo lanzador
- $\phi 38.81$ pulg para los pernos
- $\phi 15$ pulg para los pernos
- Permite alojar desplegados de hasta 24U
- 4x Dispensadores NLAS
- 8x PPODs de Cal Poly
- Combinación de Dispensadores NLAS y P-POD
- Ubicaciones de montaje para secuenciadores y cables misceláneos
- Ubicaciones de montaje auxiliar sobre la rejilla ISO
- Apilable para múltiples sistemas en un solo lanzamiento.

VIII. DESPLEGADOR NANO BASTIDOR PARA CUBESAT (NANORACKS CUBESAT DEPLOYER NRCSD)

El NRCSD es un sistema de despliegue de CubeSat Auto contenido el cual se encuentra aislado tanto mecánica como

eléctricamente de la Estación Espacial Internacional, el vehículo de re-suministro de carga y la plataforma ISS. El Diseño del NRCSD cumple con los requerimientos de seguridad de vuelo tanto de NASA como de la ISS y está espacialmente calificado.

EL NRCSDS es un tubo rectangular de láminas de aluminio anodizado, ensamblado a base de láminas, posee puertas de acceso a los paneles y puertas, ver Figura 8. La puerta del desplegador NRCSD está ubicada al frente, la placa base es un ensamblaje y está localizada en la parte trasera, y las puertas de acceso están ubicadas en la parte superior.

Las paredes internas del NRCSD tienen un diseño de perforado liso para minimizar y/o evitar que los elementos sobresalientes cuelguen o interfieran, ocasionando un despliegue prematuro. Sin embargo, los sistemas desplegables deberán diseñados de tal modo que no produzcan contacto intencional con las paredes internas del NRCSD.

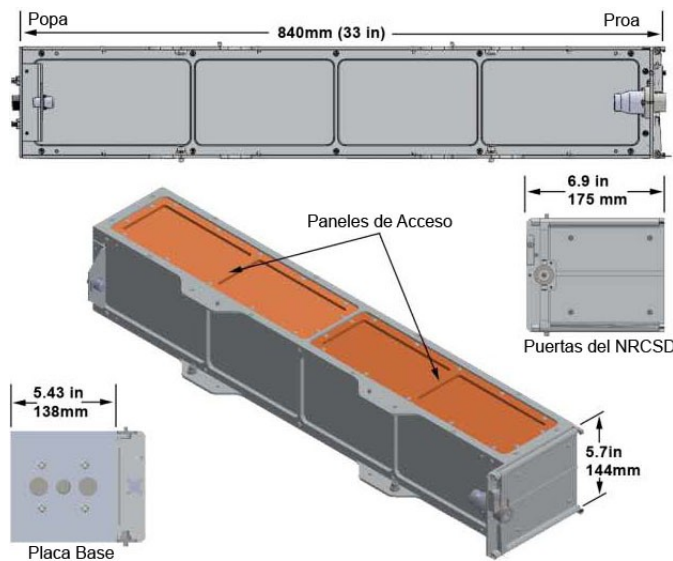


Figura 8 Configuración geométrica del NRCSD[11]

Entre sus características más importantes de acuerdo al Documento de Control de Interface por siglas en inglés (ICD) [11], se encuentran:

Propiedades de Masa:

Las propiedades de masa máximas que aplican para los NanoRacks se describen en la TABLA 3.

TABLA 3 PROPIEDADES DE MASA PARA LOS CUBESAT A UTILIZAR EN EL NRCSD[11]

Factor de Forma	Masa Máxima (kg)
1U	2.82
2U	5.657
3U	8.485
4U	11.314
5U	14.142
6U	16.971

Requerimientos dimensionales de los CubeSat

Las dimensiones máximas de envoltura de los CubeSat se muestran en la Figura 9. Envolturas adicionales provistas por un hueco cilíndrico entre la placa de empuje del NRCSD está disponible y sujeta a aprobación.

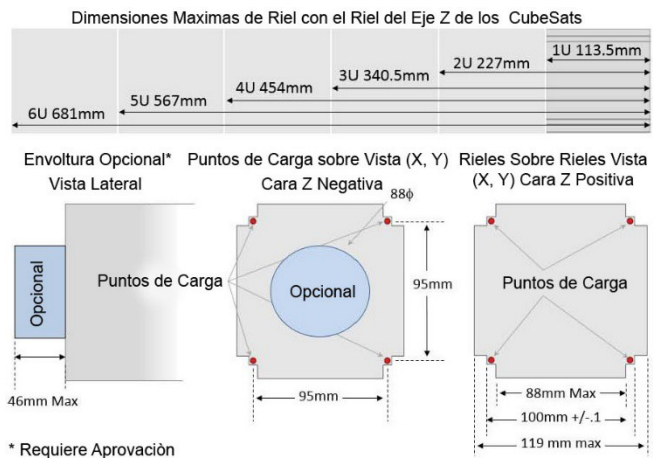


Figura 9 Dimensiones de envoltura de los CubeSat Envoltura interior del NRCSD se muestra en la Figura 10. [11]

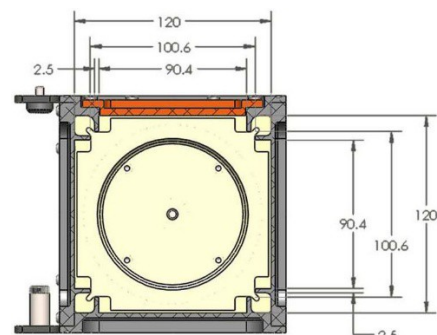


Figura 10 Sección Transversal del NRCSD (vista Z+)[11] La holgura entre los rieles de NRCSD y los rieles del CubeSat se muestra en la Figura 11.

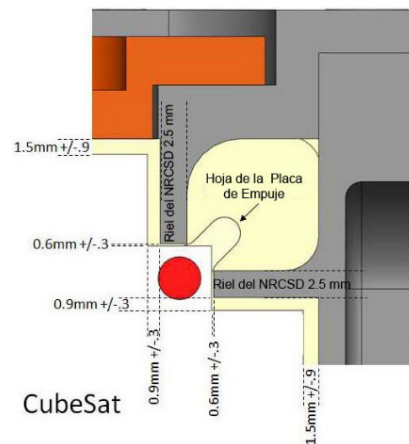


Figura 11 Destalle de Holgura entre los rieles del NRCSD y el CubeSat[11].

Los NanoRacks originalmente se basan en un sistema modular, que utiliza una estructura base llamada el cuadro de NanoRacks. Cada cuadro de NanoRack es ubicado en gavetas de la ISS y pueden alojar hasta 16 módulos de NanoRacks. Una gaveta de NanoRack suministra almacenamiento, energía, enfriamiento y conectividad de datos a cada uno de las 16 ubicaciones de los módulos. El Modulo de NanoRacks es una plataforma estandarizada (10cm y máximo 1,33kg), basado en el estándar CubeSat. Cada módulo tiene un conector USB tipo B, que suministra energía al módulo a 2W y 5VCD, y conectividad de datos a una computadora portátil a bordo

de la ISS. Dos cuadros de NanoRacks están permanentemente instalados en el Módulo experimental japonés, específicamente en la instalaciones para el tipo bastidor para Procesamiento Acelerado de Experimentos en la Estación Espacial, (EXpedite the PProcessing of Experiments for Space Station Racks (EXPRESS Racks)[11][12], número 7, en la plataforma espacial 19A y ULF4 desde 2010. Ver Figura 12.

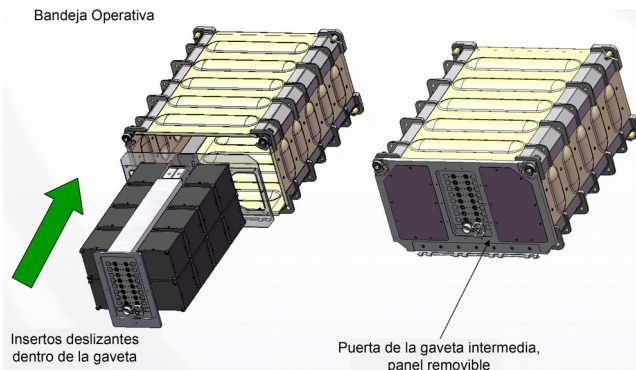


Figura 12 Disposición de los NanoRacks, [13]

Actualmente NanoRacks está construyendo un tercer cuadro en conjunto con NASA SBIR, para utilizar un módulo de NanoRacks de mayor tamaño, que permita alojar otro estándar llamado SuperCubes, ver Figura 13. Este nuevo estándar (10x20x20cm³, y 4Kg), puede utilizar energía de hasta 50W y 28 VCD para incrementar la capacidades de manejo energético y térmico. NanoRacks está asociado con EADS-Astrium para suministrar una centrifugadora en miniatura para mejorar la investigación en baja gravedad.

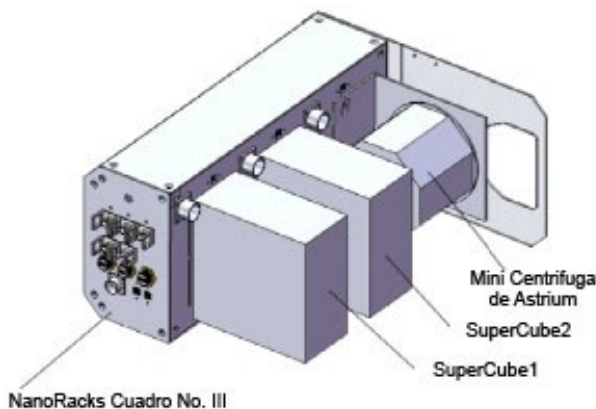


Figura 13 Cuadro III de NanoRacks con SuperCubes y la Centrifugadora de Astrium[13]

IX. COMPARACIONES

En vista de la poca información disponible de los diferentes dispositivos de inyección y despliegue orbital; se puede denotar que el principal y más utilizado es el P-POD de la Cal Poly, el cual tiene mayor herencia de vuelo; los valores de masas son reducidos de acuerdo al ICD y el CDS, por lo que los diseñadores y desarrolladores deben adaptarse a las dimensiones máximas del CDS, y en caso contrario puede someterse a consideración por parte del proveedor de desplegador y/o presentar retrasos en la puesta en órbita del nanosatélite. El SPL permite albergar un solo picosatelite y tiene grandes ventajas con respecto al P-POD, ya que en este se puede

configurar las velocidades de salida y reducir la rotación del satélite luego de su despliegue. El ISIS POD, al igual que el SPL permite usar una única o varias plataformas de acuerdo al CDS, evitando interferir con las cargas útiles de otras universidades o centros de investigación. En el caso del T-POD, se tiene muy poca información para tomarse en consideración. El Sistema de NLAS como adaptador y dispensador de nanosatélites, nos da la oportunidad de colocar diferentes desplegadores en los adaptadores. Los dispositivos NRCSD, permiten incluir hasta el doble de la masa permisible en los P-POD, mayores oportunidades de despliegue con la diferencia de que estos requieren ser enviados a la ISS y luego ser desplegados desde esta última.

X. CONCLUSIONES

Los dispositivos de despliegue orbital permiten colocar en órbita los nanosatélites, tras ubicarse como cargas secundarias en los vehículos lanzadores. Por ello a la hora de diseñar un CubeSat se debe considerar la disponibilidad de los diferentes tipos de desplegadores, ya que esto permitirá incluir mayor o menor masa, dispositivos adicionales, tales como paneles solares y antenas desplegables. Al mismo tiempo es recomendable obtener la información del desplegador y el CDS más reciente.

XI. REFERENCIAS

- [1] W. Ley, K. Wittmann y W. Hallmann, Handbook of Space Technology, Wiley, Ed., Munich, 2009, pp. 696-700.
- [2] California Polytechnic University, *Poly Picosatellite Orbital Deployer: Interface Control Document (P-POD ICD)*, San Luis Obispo, California: CUBESAT, 2004.
- [3] California Polytechnic University, *CubeSat Design Specification (CDS)*, San Luis, Obispo: CubeSat Design Specification Rev. 13, 2014.
- [4] Disponible en: <http://outgassing.nasa.gov>
- [5] California Polytechnic University, *CP-PPODUG-1.0-1*, San Luis Obispo, California: The CubeSat Program, 2014.
- [6] California Polytechnic State University, «Interface Control Drawing P-POD Mark II,» CUBESAT, San Luis Obispo, California, 2004.
- [7] Astro-und Feinwerktechnik Adlershof GmbH, «SPL – Single Picosatellite Launcher,» Brochure, Berlin.
- [8] C. Garcia del Castillo, «Diseño e implementación de las antenas y los sistemas de transmisión y recepción de un Cubesat,» de *Proyecto Final de Carrera*, Catalunya, Universitat Politècnica De Catalunya, 2012, p. 18.
- [9] ISIS – Innovative Solutions In Space, «ISIPOD CubeSat Deployer,» Brochure ISISPOD, Delft.
- [10] NASA - AMES, «Nano-Satellite Launch Adapter System (NLAS) – Overview,» 11th Annual CubeSat Developers Workshop 23-25 April, San Luis Obispo, California, 2014.
- [11] NanoRacks, *NR-SRD-029 NanoRacks CubeSat Deployer (NRCSD) Interface Control Document*, Houston, TX 77058: NanoRacks, LLC, 2013.
- [12] Disponible en: http://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/experiments/608.html, fecha de consulta, 03/09/2014
- [13] M. D. Johnson, «NanoRacks, LLC Commercial Contributions to the US ISS National Laboratory Biological Research Facilities,» NanoRacks, LLC, Webster, TX, 77598.