

## PROPUESTAS DE ENLACES ENTRE SATÉLITES PARA MISIONES ARGENTINAS

Pasquevich, Felipe <sup>(1)</sup> – Bava, Alberto <sup>(2), (3)</sup>

felipe@conae.gov.ar, bava@ciop.unlp.edu.ar

(1) Comisión Nacional de Actividades Espaciales - Centro Espacial Teófilo Tabanera, Ruta C45 km 8 (CP: 5187, TE: 54 3547 400000), Córdoba – Argentina.

(2) Departamento de Electrotecnia, Facultad de Ingeniería, UNLP, La Plata, Bs As, Argentina

(3) Centro de Investigaciones Ópticas (CIOP), CONICET, La Plata, Bs As, Argentina

### RESUMEN

La Arquitectura Segmentada es un programa destinado a desarrollar una nueva arquitectura para la construcción de sistemas satelitales. Usando conjuntos de satélites de bajo peso (llamados “segmentos”), trabajando en forma coordinada, en lugar de un único satélite que reúne en sí todos los subsistemas y servicios, se espera poder desarrollar sistemas espaciales con mejores características y prestaciones, y con la capacidad de adaptarse rápidamente ante nuevas circunstancias o requerimientos que no estaban previstos durante la concepción inicial del sistema.

Para poder realizar el concepto de Arquitectura Segmentada se requieren de varias “tecnologías habilitantes”. Una de ellas es la comunicación entre satélites.

Este trabajo describe las distintas propuestas para las comunicaciones entre satélites, pruebas de concepto en vuelo realizadas a la fecha así como el estado de dos propuestas inicializadas en nuestro país.

### 1.- INTRODUCCIÓN

Para poder realizar el concepto de Arquitectura Segmentada se requieren de varias “tecnologías habilitantes” [1]. Una de ellas es la comunicación entre satélites.

Se podría decir que el punta pie inicial en lo que respecta a la arquitectura segmentada comienza con el proyecto F6 [2] de la agencia estadounidense de defensa DARPA. Este programa que comenzó en el año 2007 trataba de demostrar que un satélite monolítico tradicional podría ser reemplazado por un grupo de satélites más pequeños, los mismos podrían ser lanzados individualmente para luego conformar una red inalámbrica entre ellos. El programa original proponía una demostración en órbita conformada por 4 segmentos. La información pública disponible [3] cita que el programa se canceló por razones presupuestarias en el año 2013.

En el año 2010 se puso en órbita la misión PRISMA [4]. Una demostración tecnológica de vuelo en formación y maniobra realizada por

el transbordador espacial cuando se encuentra con la Estación Espacial Internacional antes de acoplarse (conocida como *rendezvous*). El sistema estaba formado por dos satélites, uno de 150 kg (el *master*) y otro de 40 kg (el *target*). El master poseía capacidad de maniobrar (propulsión) mientras que el target no poseía esta capacidad y su control de actitud era más grueso que el del master. Las principales características del enlace ISL eran band S, modulación QPSK en transmisión y BPSK en recepción y un arreglo de tres antenas en cada satélite para determinar el LOS. La comunicación podía ser establecida a una distancia de entre 3 km y 30 km según la operación en baja o alta potencia respectivamente de los trasmisores.

En el año 2012 Nasa financió el Aerocube-OCS [5]. Un cubesat para demostración de comunicaciones ópticas. El plan era demostrar una comunicación óptica entre 5 y 50 Megabits entre el cubesat y una estación terrena ubicada en el Mt. Wilson al sur de California. La potencia de salida del láser a bordo del cubesat se estimó en 10 watt

y un ancho de haz de 1.4°. Su lanzamiento estaba previsto para el 2015.

No hay información actualizada sobre la misión. La información de la página de NASA [6] data del 30 de octubre del 2015 comenta que el satélite tuvo una falla en el control de actitud por lo que no se pudo demostrar la comunicación óptica.

## 2.- ENLACES ENTRE SATÉLITES

Desde hace más de tres décadas que se conocen distintos tipos de enlaces satelitales. Uno de los primeros fueron los OSCAR 6,7 y 8 pertenecientes a AMSAT [7]

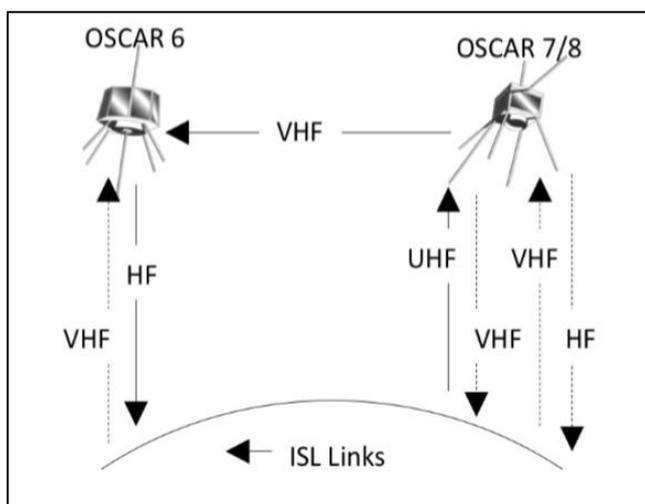


Figura 1. Bandas de Enlaces – OSCAR 6 ,7 y 8

Desde el lanzamiento de los satélites OSCAR hasta la actualidad ha habido varios lanzamientos como por ejemplo los satélites que conforman la red TDRSS [8] que comenzaron en 1983. Es sistema está conformado por una serie de satélites geoestacionarios que se utilizan como repetidoras para telemetría y telecomandos de satélites LEO. Permitiendo establecer contacto con los satélites LEO prácticamente todo el tiempo. Como ejemplo el telescopio espacial Hubble es monitoreado y comandado solamente a través de esta red.

La siguiente tabla en orden cronológico resume un poco la historia de los enlaces entre satélites.

## 3.- PRUEBAS DE CONCEPTO

Los satélites mencionados en la Tabla 1 demostraron la factibilidad de los enlaces entre satélites. La referencia [9] describe cada caso. Un punto a destacar es que estos sistemas fueron costosos y son satélites voluminosos

Tabla 1. Enlaces entre satelitales - Historia

Lanzamiento	Satélite	Bandas
1972-1978	OSCARs 6, 7, 8	146 MHz
1976	LES-8 and 9	36, 38 Ghz
1983-2013	TDRSS	C, Ku, Ka
1985-1995	Luch	UHF, Ka
1994	ETS-6	32 GHz, Opt
1997	Navstar Block IIR	UHF
1997	Iridium	23 GHz
1998	Comets (ETS-7)	2 GHz
1994-2003	MilSTaR I/II	60 GHz
1998	Spot-4	Optical
2001	Artemis	S Ka Optical
2002	Envisat	S-band
2002	Adeos-II	2 GHz,26 GHz
2005	OICETS	Optical
2010	AEHF SV-1	60 GHz
2015	Iridium Next	23 GHz

## 4.- CONSTELACIÓN

Cuando hablamos de más de un satélite en órbita se utilizan términos tales como tándem, cluster, constelación, enjambres, vuelo en formación, además de otros. Estos términos no implican una comunicación entre satélites. Los satélites pueden estar ubicados en diferentes orbitas de acuerdo a su misión.

### 4.1 Constelación polar

Cada satélite en una configuración polar tiene la capacidad de establecer un enlace con alguno de los 4 satélites vecinos. Un enlace permanente con los 2 satélites adyacentes en la misma órbita y un enlace con los 2 satélites de las órbitas adyacentes excepto en los polos donde el

cambio en la velocidad y posición relativa son abruptos. (Fig.2) Iridium [10] y Teledisc [11] usan constelaciones polares.



Figura 2. Constelación Polar

#### 4.2 Constelación inclinada

Cada satélite en una constelación inclinada mantienen enlace con 2 satélites adyacentes en la misma órbita, estos enlaces son permanentes como en las órbitas de la constelación polar. Como la distancia entre dos satélites en órbitas adyacentes cambia mucho y rápidamente el enlace se establece cerca del punto de intersección de los planos orbitales (Fig.) Globalstar [12] usa constelación inclinada



Figura 3 Constelación Inclinada

## 5.- PROPUESTAS NACIONALES

Hace unos años se comenzó a trabajar a nivel nacional sobre dos propuestas una basada en el protocolo proximity-1 [13] y la otra en basa a la norma IEEE 802.11ac [14], que describiremos a continuación.

### 5.1 IEEE 802.11ac

Dependiendo de la separación entre los satélites el tiempo de propagación de la señal puede ser del orden de los milisegundos. Por ejemplo para una constelación *along-track* de 4 satélites con una separación entre ellos de cerca de 4000 km [15] el tiempo de propagación para completar un ciclo de *handshaking* es de alrededor de 25 milisegundos. Los tiempos que se manejan en tierra para establecer la conexión son del orden de los microsegundos. Esto conlleva a no poder usar un sistema WiFi comercial. Siendo necesaria la adaptación del protocolo para tolerar estos tiempos.

El protocolo también establece un direccionamiento de haz para maximizar la transferencia de datos Este protocolo consiste en primero transmitir en forma omnidireccional en primera instancia y luego de establecida la comunicación apuntar el haz. La potencia (emisión omnidireccional) en un satélite es un tema crucial al igual que el peso y volumen (arreglo de antenas). Otro factor importante es que la banda de frecuencia establecida en el protocolo (5 GHz) debe ser conversada con la Comisión Nacional de Comunicaciones para su aceptación en enlaces entre satélites o bien cambiada. Las bandas establecidas por la Unión Internacional de Comunicaciones para enlaces entre satélites son VHF, UHF, L, S, Ka y superiores a Ka

Las figuras 4 y 5 muestran una posible configuración tanto en su arquitectura como en la distribución de antena.

### 5.2 Proximity-1

Está propuesta estuvo basada en una configuración de 4 satélites en una misma órbita estableciendo una comunicación entre pares. La

recomendación de la CCSDS es implementar el Proximity-1 para los enlaces espaciales de corto

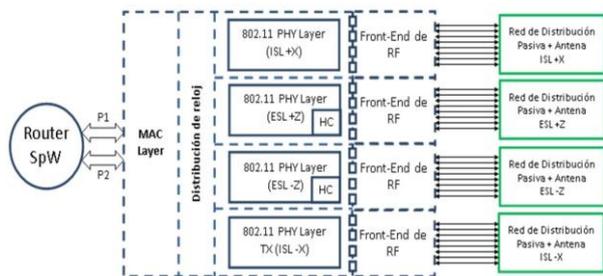


Figura 4 Una posible arquitectura

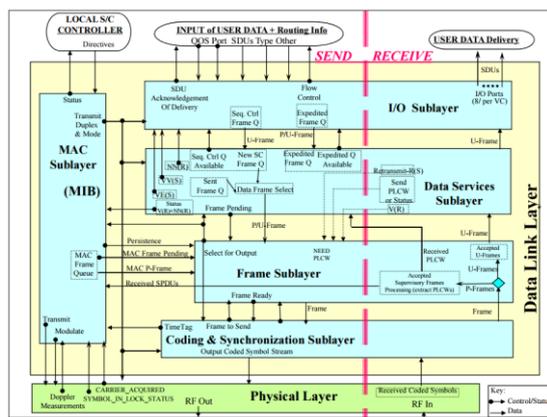


Figura 6 protocolo Proximity-1

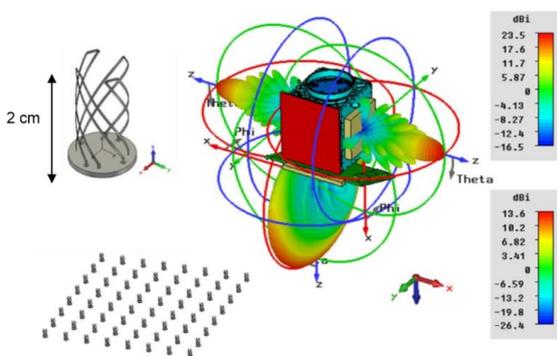


Figura 5 Distribución de las antenas

Tabla 2. Frecuencias asignadas

Canal A	Canal B
2030,3	2217,2
2037,8	2224,7
2045,3	2232,2
2052,8	2239,7
2060,3	2247,2
2067,8	2254,7
2075,3	2262,2
2082,8	2269,7
2090,3	2277,2
2097,8	2284,7

alcance, bidireccionales, enlaces de radio fijos o móviles, utilizados generalmente para comunicarse entre sondas, landers, rovers, constelaciones en órbita y relés en órbita. Los modos de operación del Proximity-1, pueden ser Full Duplex, Half Duplex o Simplex.

La topología que se establece es punto a punto o punto multipunto. Los principales servicios para los que fue diseñado son transferencia de datos y transferencia de tiempo (este último, para sincronización y correlación).

Las opciones de modulación FSK o PSK (coherente o no-coherente) con PCM Manchester bi-fase o bi-fase-L. [13][16][17].

La figura 6 esquematiza el modelo de capas del Proximity-1 [13].

La asignación de frecuencias en MHz se muestra en la tabla 2. Cada transmisor/receptor elige el canal y la frecuencia a transmitir y recibir.

## 6.-CONCLUSIONES

Se está trabajando actualmente en dos propuestas para implementar un enlace entre satélites cuyas metodologías de establecer en enlace y transferir datos son bastantes diferentes. La propuesta del Proximity-1 planea utilizar *Stored and Forward* y DTN (Delay / Disruption Tolerant Networking) y tablas de ruteo administradas en el centro de control de misión. La propuesta de la IEEE 802.11ac se basa en poder usar al máximo dicho protocolo para el ruteo sin descartar DTN ni Bundle (protocolo que se utiliza en este tipo de redes)

## REFERENCIAS

- [1] **Enabling Technologies for Distributed Picosatellite Missions in LEO** T. Vladimirova; Xiaofeng Wu; K. Sidibeh; D. Barnhart; A. Jallad First NASA/ESA Conference on Adaptive Hardware and Systems (AHS'06)
- [2] **Fractionated Space Architectures: Tracing the Path to Reality**  
Owen Brown, Defense Advanced Research Projects Agency. Paul Eremenko, Defense Advanced Research Projects Agency. Matt Bille, Booz Allen Hamilton. Small Satellite Conference 2009
- [3] <http://spacenews.com/35375darpa-cancels-formation-flying-satellite-demo/>
- [4] **Formation flying radio frequency instrument: First flight results from the PRISMA mission**  
T. Grelier; P. -Y. Guidotti; M. Delpéch; J. Harr; J. -B. Thevenet; X. Leyre  
2010 5th ESA Workshop on Satellite Navigation Technologies and European Workshop on GNSS Signals and Signal Processing (NAVITEC) Year: 2010
- [5] **The NASA Optical Communication and Sensor Demonstration Program**  
Siegfried W. Janson and Richard P. Welle  
The Aerospace Corporation August 12, 2013
- [6] [http://www.nasa.gov/directorates/spacetech/small\\_spacecraft/ocsd\\_project.html](http://www.nasa.gov/directorates/spacetech/small_spacecraft/ocsd_project.html)
- [7] **Communication Satellites**. M. Donaldson, P. Anderson, L. Bartamian, Fifth Edition. AIAA: Aerospace Press Series, Los Angeles, CA, 2007.
- [8] **“Satellite exchange in the TDRSS constellation - Techniques and results,”**  
J. L. Stone, Jr. and S. C. Daughtridge, in 13th AIAA International Communication Satellite Systems Conference and Exhibit,
- [9] **A Survey of Communication Sub-systems for Intersatellite Linked Systems and CubeSat Missions** Paul Muri, Janise McNair JOURNAL OF COMMUNICATIONS, VOL. 7, NO. 4, APRIL 2012
- [10] **The Iridium communication system**. Leopold RJ, Miller A (1993) IEEE Potentials 12:6–9
- [11] **Architecture of Teledesic satellite system**. Sturza MA (1995) In: Proceedings of the 4th international mobile satellite conference (IMSC'95), Ottawa, pp 212–218
- [12] **The global star mobile satellite system for worldwide personal communications**. Wiedeman RA, Viterbi AJ (1993) In: Proceedings of the 3rd international mobile satellite conference (IMSC'93), Pasadena, pp 291–296
- [13] **CCSDS 211.0-B-5 Proximity-1 Space Link Protocol Data Link Layer. Blue Book. Issue 5**. December 2013.
- [14] **IEEE Std 802.11ac™-2013**
- [15] **Internetworking Approaches Towards Along-Track Segmented Satellite Architectures**. Juan A. Fraire, Pablo G. Madoery, Jorge M. Finochietto, Pablo A. Ferreyra, and Raoul Velazco. WiSSE 2016
- [16] **CCSDS 211.1-B-4 Proximity-1 Space Link Protocol Data Physical Layer. Blue Book. Issue 4**. December 2013.
- [17] **CCSDS 211.2-B-2 Proximity-1 Space Link Protocol Coding and Synchronization Sublayer. Blue Book. Issue 2**. December 2013.