

# Capítulo 3

## Descripción de sistemas de comunicaciones en banda S que se han empleado en satélites pequeños exitosos

### 3.1. Introducción

La Corporación de Radio Amateur por Satélite (AMSAT) es una organización de voluntarios sin fines lucrativos que diseña, construye y opera satélites experimentales. Trabaja en colaboración con gobiernos, la industria, instituciones educativas y demás sociedades de radioaficionados para impulsar el desarrollo y la educación satelital. AMSAT tiene una participación activa en las misiones espaciales y apoya el seguimiento de satélites LEO que se han desarrollado en colaboración con esta organización.

AMSAT fue formada en Columbia, USA, en 1969 como una organización educativa. Su objetivo era fomentar la participación de radioaficionados en la investigación y comunicación espacial. AMSAT fue fundada para continuar los esfuerzos que había iniciado el proyecto OSCAR (Orbiting Satellite Carrying Amateur Radio), basado en un grupo de la costa oeste de EU que construyó y puso en marcha el primer satélite de radioaficionados, OSCAR-1, el 12 de diciembre de 1961, cuatro años después del lanzamiento del Sputnik.

Por casi 42 años AMSAT ha desempeñado un papel clave en lograr un avance significativo del estado del arte en la ciencia, educación y tecnología

espacial. Sin lugar a dudas, el trabajo que hacen los voluntarios de AMSAT en todo el mundo seguirá teniendo gran alcance, efectos positivos sobre el futuro de los radioaficionados, así como de otras actividades gubernamentales, científicas y comerciales[2].

Por otro lado, SSTL (Surrey Satellite Technology Ltd) es una empresa británica independiente dentro del grupo EADS Astrium NV (European Aeronautic Defence and Space Company). En la década de 1970, SSTL cambió la economía espacial cuando fue pionera en tecnología satelital COTS (Commercial Off The Shelf); éste proceso hizo que la tecnología de consumo normal se adaptará al ambiente espacial.

SSTL puede construir y lanzar satélites con cualquier carga útil por debajo de los 1 000 [Kg], ofreciendo soluciones diseñadas específicamente de acuerdo a las necesidades de la misión; ofrece soluciones completas para misiones como percepción remota, científica, navegación y comunicaciones. Además de brindar capacitación espacial, proveer subsistemas y construir e instalar infraestructura en tierra.

Por casi 25 años SSTL ha estado ofreciendo soluciones para diferentes misiones de satélites pequeños[21].

Por su parte, ISIS (Innovative Solutions In Space) es una compañía privada fundada el 6 de enero del 2006. Los fundadores de la empresa se originan del proyecto de nanosatélite Delfi-C3 de la Universidad Tecnológica de Delft en Holanda. ISIS combina una serie de especialidades técnicas en el campo del diseño de satélites con un enfoque en ingeniería de sistemas.

ISIS trabaja con la visión de acercar el espacio a la Tierra, mediante la miniaturización de la electrónica y tecnologías de vanguardia del sector de las telecomunicaciones, lo que le permite a los satélites y a los sistemas basados en el espacio ser diseñados y desarrollados de una manera diferente. A partir de éstos avances tecnológicos y en combinación con un creciente número de posibilidades de lanzamiento de satélites pequeños, es posible que los sistemas espaciales y las misiones sean más accesibles para un mayor número de usuarios.

ISIS desarrolla subsistemas en miniatura para satélites que cumplan con los requisitos del cliente; además de mantener, estimular y ampliar una posición estratégica en el ámbito de pequeños satélites (subsistemas y misiones)[29].

El propósito del presente capítulo es brindar información sobre algunos satélites pequeños que han utilizado de forma exitosa comunicaciones en banda S, así como conocer las características de los equipos de comunicación empleados (ya sean de las compañías descritas o por integración propia).



MOST emplea dos transmisores de RF de 0.5 [W] de salida con una modulación BPSK y dos receptores de FM con 2 [W]; todos los radios operan en banda S. Se tiene un margen suficiente para el enlace descendente mediante el uso de un codificador convolucional (CC). En el enlace ascendente, los receptores de FM ofrecen un medio de comunicación simple, robusto y de bajo costo para enlazar con el satélite. Ambos receptores y transmisores se conectan a los nodos de telemetría y comando (T&C) que sirven como módems y dispositivos de adquisición de datos para la telemetría. Para mantener una cobertura omnidireccional, cada par receptor/transmisor se encuentra en ambos lados del satélite, operando en su propia frecuencia y conectados a antenas cuadrifilares.

Sus tres estaciones terrenas están basadas en transceptores (Transc) BPSK que trabajan en frecuencias de radioaficionados, VHF y UHF. Dichas estaciones se mejoran utilizando convertidores de frecuencia para pasar a banda S (CB BS para el de bajada y CS BS para el de subida), y después son conectados a una antena parabólica de 2 [m] de diámetro (para el enlace descendente) y a una antena Yagi de 45 elementos (para el enlace ascendente). Las antenas están montadas en un rotor controlado, en una torre de 6 [m] de alto.

Los radios en las estaciones terrenas están conectados a un controlador (combinación de módem y un controlador serial de comunicaciones), que a su vez está conectado a un equipo que coordina múltiples terminales, cada una funcionando a través de una interfaz de software para componentes específicos en el satélite.

### 3.3. Nanosatélite CAN-X2

CAN-X2 fue desarrollado en el SFL (Space Flight Laboratory) de UTIAS dentro del programa Canadian Advanced Nanospace eXperiment (CAN-X), con la misión de apoyar los alcances que se pueden obtener en el espacio con el uso de dispositivos de tamaño pequeño y bajo consumo de energía. Las tecnologías a probar incluyen: un nuevo sistema de propulsión, radios personalizados, nuevos sensores y actuadores para el control de orientación, y un receptor GPS. Para evaluar éstas tecnologías, el CAN-X2 incorpora diferentes experimentos: un experimento con un radio GPS para caracterizar la parte superior de la atmósfera, un espectrómetro para medir los gases del efecto invernadero en la atmósfera, un experimento en una red de comuni-

caciones y un experimento de materiales espaciales. La Figura 3.2 muestra el CAN-X2, que fue lanzado exitosamente en abril del 2008 en el lanzador PLSV-C9 (en Satish Dhawan Space Center, India)[32].

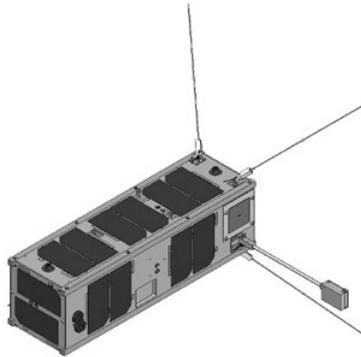


Figura 3.2: Nanosatélite CAN-X2.

El subsistema de comunicaciones en CAN-X2 es un sistema full-duplex que utiliza un transceptor operando en la frecuencia UHF para el enlace ascendente y un transmisor en banda S para el enlace descendente. Este sistema de comunicaciones fue desarrollado en el SFL y es capaz de trabajar con tasas de transmisión de entre 32 y 256 [Kbps] en el enlace descendente y hasta 4 [Kbps] en el enlace ascendente. La antena de UHF consta de un arreglo de cuatro monopolos inclinados que son desplegados en el momento de la expulsión del satélite y proporciona casi una cobertura omnidireccional. El satélite cuenta con un sistema de control de apuntamiento que permite tener una exactitud de apuntamiento de  $\pm 10^\circ$  y mantiene una estabilidad de apuntamiento de  $\pm 1^\circ$ .

### 3.4. Nanosatélite Deli-Next

Delfi-Next fue desarrollado por TU Delft (Delft University of Technology) dentro del programa Delfi, con la misión de implementar avances tecnológicos con respecto a su anterior CubeSat, el Delfi-C3, y permitir una demostración tecnológica de 2 cargas útiles. Dentro de dichas implementaciones se incluyen: un sistema de control de orientación más avanzado, un transmisor experimental en banda S que permite una mayor tasa de transferencia de datos en el

enlace descendente (se considera útil para misiones que requieran importantes volúmenes de datos), un subsistema de potencia con almacenamiento de energía a bordo (esto permitirá operar en eclipses y un consumo temporal de alta potencia), un sistema de control más robusto, con menos errores y más tolerancia a fallos que en Delfi-C3. Las 2 cargas útiles comprenden un sistema de micro-propulsión llamado  $T^3\mu PS$  desarrollado por TNO en cooperación con TU Delft y la Universidad de Twente, y un transceptor de alta eficiencia configurable en órbita llamado ITRX desarrollado por ISIS BV, en colaboración con TU Delft y Systematic BV sistemática llamado ITRX. Además, se incluye el probar un receptor experimental de muy baja frecuencia como precursor para el programa OLFAR (Orbiting Low Frequency Antennas for Radio Astronomy).

El subsistema de comunicaciones de Delfi-Next se compone de tres radios, un circuito desfasador y antenas. La Figura 3.3 proporciona una visión general de los elementos que lo componen[25].

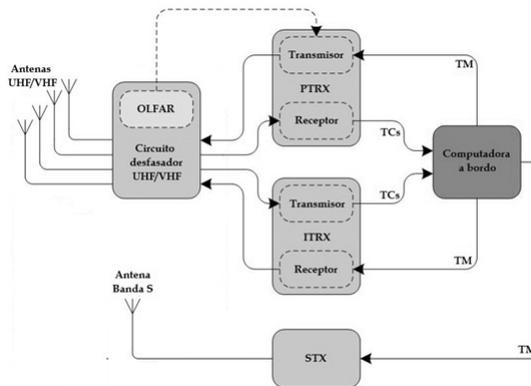


Figura 3.3: Subsistema de comunicaciones del Delfi-Next.

El transceptor primario (PTRX) es el radio utilizado para las operaciones nominales. El segundo radio es el ITRX que es una de las cargas útiles, que también actúa como un radio de respaldo para el PTRX. Ambos utilizan el mismo circuito desfasador y las mismas antenas. El tercer radio es un transmisor en banda S con su propia antena. Esta radio es experimental y se utiliza para probar un enlace punto-a-punto para tasas de transferencia de datos relativamente más altas.

El PTRX, en su enlace ascendente, opera en banda UHF alrededor de la frecuencia de 435 [MHz] con una tasa de transferencia de datos fija en 1

200 [bps]. Éste radio también está listo para que en su enlace ascendente se puedan enviar paquetes completos de software para los microcontroladores locales como los de la computadora a bordo y el sistema de control de orientación. El enlace descendente del PTRX trabaja en la banda VHF alrededor de la frecuencia de 145 [MHz] con una tasa de transferencia de datos fija en 2 400 [bps], cubriendo con todos los requisitos de las cargas útiles y de los experimentos. La potencia de salida del transmisor del PTRX es de 0.2 [W]. Incluyendo todas las pérdidas del cableado y de la antena, la PIRE de salida transmitida es -14.8 [dBW]. En una órbita circular de 800 [Km] a una elevación mínima de  $10^0$ , se alcanza un BER de  $10^{-6}$  con antenas de por lo menos 2 [dB] de ganancia en la estación terrena. Esto permite que muchos radioaficionados puedan participar en la recepción de datos con antenas simples.

El transmisor experimental en banda S (STX) trabaja en la frecuencia de 2.4 [GHz] y se utiliza para desarrollar tecnología en nanosatélites que permita tener tasas de transferencia de datos más altas para alcanzar altos volúmenes de datos en el enlace descendente. Para hacer este enlace más útil y no sólo experimental, todos los datos enviados al PTRX también se almacenan en el STX. El STX puede ser solicitado para enviar los paquetes que se hayan perdido debido a las ventanas de tiempo específico en donde la estación terrena no es capaz de recibir telemetría. Éste búfer de datos se encuentra en el STX en lugar de la computadora a bordo porque en el STX se pueden tener mayores tasas de transferencia de datos a través del bus de datos *I<sup>2</sup>C*. Como la tasa de transferencia de datos máxima que se puede lograr es linealmente dependiente de la cantidad de potencia de salida y la cantidad total de potencia al STX es limitada, la eficiencia del amplificador de potencia es un factor importante.

En la Figura 3.4 se pueden observar las antenas utilizadas en el Delfi-Next.

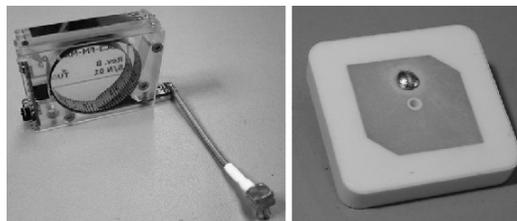


Figura 3.4: Antena UHF/VHF (lado izquierdo) y antena de parche para banda S (lado derecho).

### 3.5. Sistema de comunicaciones en banda S del SSTL para satélites pequeños

SSTL ofrece un sistema de comunicaciones completo en banda S para comando, telemetría y enlace descendente para carga útil. Considera dos tipos de antenas: Parchada y Cuadrifilar, las cuales son utilizadas de acuerdo a los requerimientos de cobertura que se necesiten. Algunos de los satélites pequeños que han utilizado dicho sistema de manera exitosa son:

- AlSat 1: Microsatélite desarrollado en colaboración con CNTS (Centre National des Techniques Spatiales) para el programa DMC (Disaster Monitoring Constellation) con la misión de Observación de la Tierra. Fue lanzado en el 2002 en el lanzador Cosmos en Plesetsk, Rusia.
  
- UK-DMC: Microsatélite desarrollado en colaboración con UK Space Agency y DMC International Imaging para el programa DMC con la misión de Observación de la Tierra. Fue lanzado en el 2003 en el lanzador Cosmos en Plesetsk, Rusia.
  
- NigeriaSat 1 y 2: Microsatélites desarrollados en colaboración con NASR-DA (National Space Research and Development Agency) para el programa DMC con la misión de Observación de la Tierra. El primero fue lanzado en el 2003 en el lanzador Cosmos en Plesetsk, Rusia; mientras que el segundo fue lanzado en el 2010 en el lanzador Dnepr en Yasny, Rusia.
  
- Deimos 1: Microsatélite desarrollado en colaboración con Deimos Imaging para el programa DMC con la misión de Observación de la Tierra. Fue lanzado en el 2009 en el lanzador Dnepr en Baikonur, Kazajistán.

La Figura 3.5 muestra un diagrama de bloques del sistema de comunicaciones.

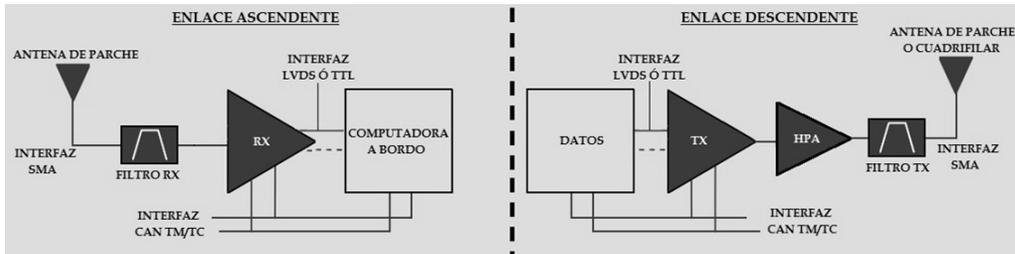


Figura 3.5: Sistema de comunicaciones en banda S del SSTL para satélites pequeños.

A continuación se presenta la descripción de los componentes que conforman el sistema de comunicaciones[21].

Antena de parche
En enlace ascendente: Telecomando En enlace descendente: Telemetría y Carga útil
Potencia: Arriba de 10 [W] Ganancia: 7 [dBi] Tasa de transmisión: Arriba de 4 [Mbps]
Polarización: RHCP ó LHCP $\theta_{-3dB} = \pm 35^\circ$
Rango de frecuencia: 2.0 a 2.5 [GHz] Dimensiones: 82x82x20 [mm <sup>3</sup> ], masa: 80 [g]



Antena cuadrifilar
En enlace descendente: Telemetría y Carga útil
Potencia: Arriba de 10 [W] Tasa de transmisión: Arriba de 10 [Mbps]
Polarización: RHCP ó LHCP $\theta_{-3dB} = 120^\circ$
Rango de frecuencia: 2.200 a 2.290 [GHz] Dimensiones: 100x100x500 [mm <sup>3</sup> ] Masa: 500 [g]



Filtro Rx
Rango de frecuencia: 2.200 a 2.290 [GHz] Ancho de banda: 80 [MHz]
Pérdidas de inserción: < 1.5 [dB] Banda de rechazo: > 60 [dB]
Dimensiones: 46x98x19 [mm <sup>3</sup> ], masa: 90 [g]



Receptor (Rx)
Rango de frecuencia: 2.025 a 2.100 [GHz] (deriva del sintetizador < 3 [KHz])
Modulación: CPFSK Codificación: Diferencial
Tasa de transmisión: 9.6 ó 19.2 [Kbps] Sensibilidad (BER 10 <sup>-5</sup> ): -113 ó -110 [dBm]
Alimentación: 28 [V] Dimensiones: 190x135x60 [mm <sup>3</sup> ], masa: 1.3 [Kg]



Transmisor (Tx)
Rango de frecuencia: 2.2 a 2.3 [GHz] ( < ±20 [ppm])
Modulación: BPSK, QPSK Codificación: Diferencial y Convolutional
Tasa de transmisión: 9.6 [Kbps] a 8 [Mbps] Potencia de salida: Arriba de 4 [W] utilizando un HPA adicional
Alimentación: 15 - 50 [V] Dimensiones: 200x191x80 [mm <sup>3</sup> ], masa: < 2 [Kg]



HPA
Rango de frecuencia: 2.2 a 2.3 [GHz] Alimentación: 28 [V]
Potencia: 2 ó 4 [W] Ganancia: 10.75 [dB] / 26 [dB]
Dimensiones: 35x135x190 [mm], masa: 0.8 [Kg] 57x135x190 [mm <sup>3</sup> ], masa: 1.250 [Kg]



Filtro Tx
Rango de frecuencia: 2.200 a 2.280 [GHz] Ancho de banda: 80 [MHz]
Pérdidas de inserción: < 1.5 [dB] Banda de rechazo: > 60 [dB]
Dimensiones: 43x103x19 [mm] <sup>3</sup> , masa: 90 [g]



La estación terrena que ofrece SSTL para comunicaciones en banda S está compuesta por un reflector parabólico con diámetro de 3 [m].

### 3.6. Sistema de comunicaciones en banda S de ISIS para satélites pequeños

ISIS ofrece un sistema integrado de comunicaciones en banda S para Pico y Nano satélites (HISPICO, Highly Integrated S-band system for PICO and nano satellites) en enlace descendente para carga útil. Considera tres partes; el transmisor, el receptor y las antenas. La Figura 3.6 muestra este sistema.

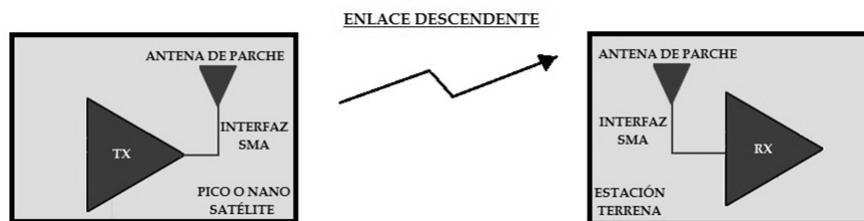


Figura 3.6: Sistema de comunicaciones en banda S de ISIS.

Descripción de los componentes que conforman el sistema de comunicaciones[29].

Transmisor (Tx)
Rango de frecuencia: 2.2 a 2.3 [GHz] Tasa de transmisión máxima: 1.06 [Mbps]
Modulación: DQPSK Codificación: Turbo-código
Potencia de salida: 500 [mW] Alimentación: 3 - 5 [V]
Dimensiones: 95x46x15 [mm <sup>3</sup> ], masa: 75 [g]
Antena de parche
Potencia: Arriba de 10 [W] Ganancia: 6 [dBi]
Polarización: RHCP Ancho de banda (3 [dB]): 50 [MHz] (aprox.)
Rango de frecuencia: 2.2 a 2.3 [GHz] Dimensiones: 50x50x3.2 [mm <sup>3</sup> ]
Receptor (Rx)
Rango de frecuencia: 2.2 a 2.3 [GHz] Tasa de transmisión máxima: 1.06 [Mbps]
Modulación: DQPSK Codificación: Turbo-código
Alimentación: 12 - 15 [V] Sensibilidad (BER 10 <sup>-5</sup> ): -100 [dBm]
Dimensiones: 150x180x30 [mm <sup>3</sup> ] Masa: 1.3 [Kg]

La estación terrena que ofrece ISIS para comunicaciones en banda S es compatible con GENSO y está compuesta por un reflector parabólico con una ganancia de 21 [dBi] con polarización RHCP o LHCP. También cuenta con un convertidor de frecuencia de bajo ruido con modulación BPSK[7].