

Sistema de Comunicaciones en Satélites de Bajo Peso

Low-weight Satellite Communications System

Carlos A. Zerpa, *Investigador, ABAE*

Resumen— En el siguiente artículo se presenta una breve descripción de los satélites de bajo peso, en el orden de los CubeSat, enfatizando el funcionamiento del sistema de comunicaciones que, gracias a los grandes avances en la microelectrónica en particular los microprocesadores, hicieron especial estos dispositivos. El referido artículo destaca los principales conceptos de los enlaces satelitales, descripción del sistema, protocolos y tipos de transceptores empleados en su arquitectura, modelo de un enlace satelital, requerimientos para los procesos de verificación y para el uso de las frecuencias. Los servicios que estos dispositivos facilitan a los usuarios, dependen principalmente de este importante sistema de comunicación de microondas, entre ellos: dar información de apoyo en caso de catástrofe, seguimiento de las condiciones del ambiente terrestre, exploración espacial, servicio de telecomunicaciones y brindar información acerca del desecho espacial, bien sea para uso educativo o estratégico, este último empleado por los organismos de los gobiernos.

Palabras clave— antenas, comunicaciones, CubeSat, transceptor.

Abstract— the following article presents a brief description of the low-weight satellites, in the order of the CubeSat, emphasizing the operation of the communications system, which, to thanks to the great advances in microelectronics in particular microprocessors, made these devices special. Referred article highlights the main concepts of satellite links, description of the system, protocols and types of transceivers used in its architecture, model of a satellite link, requirements for verification processes and for the use of frequencies. The services that these devices facilitate to the users, depend mainly on this important communication system of microwave, among them: providing information on disaster support, monitoring the conditions of the terrestrial environment, space exploration, and telecommunications service and providing information about the spatial waste. Whether for educational or strategic use, the latter employed by government agencies.

Index Terms—antennas, communications, CubeSat, transceiver.

I. INTRODUCCIÓN

UNO de los módulos en que se sustentan los satélites de bajo peso para su funcionamiento y máximo rendimiento corresponde al de comunicaciones. Este sistema debe ser capaz de recibir y procesar telecomandos enviados desde la estación terrena de control, y a su vez enviar la telemetría arrojada por el computador a bordo hacia la estación terrena de control, activar la transmisión del beacon y realizar todas las configuraciones físicas necesarias para su correcto funcionamiento.

El sistema de comunicaciones consiste en una infraestructura física muy delicada a través de la cual se trasladan datos desde la fuente hasta el destino, la misma se comunica vía radiofrecuencia, recibiendo los comandos provenientes de las estaciones de control en Tierra por medio del transceptor. Por su parte, la estación terrena de control tiene como objetivo fundamental rastrear el satélite a través de sucesivos seguimientos en tiempo real, la señal proveniente del satélite es captada por una antena y procesada por un módulo de radiofrecuencia. Esta delicada arquitectura dentro de los sistemas satelitales ofrece a los usuarios diversos servicios de telecomunicaciones en sus diferentes ámbitos.

El sistema de comunicación incluye las antenas, así como también los dispositivos de comunicación: transceptor, el cual cuenta con un transmisor y un receptor que comparten el mismo circuito. Es el encargado de recibir y transmitir las señales de radiofrecuencia en todas las áreas de su cobertura. Estos dispositivos amplifican las señales recibidas, cambian la frecuencia de transmisión y, seguidamente a través de las antenas son retransmitidas. Este sistema responsable de administrar la comunicación entre el satélite y la estaciones terrenas, puede operar en diferentes bandas de frecuencias entre ellas: VHF, UHF, S, L y K, para la transmisión y recepción de datos a través sus canales de enlace, antena monopolo y antena de parche o MicroStrip.

Este artículo fue enviado al II Congreso Venezolano de Tecnología Espacial en el mes de septiembre de 2017.

C. A. Zerpa pertenece a la Agencia Bolivariana para Actividades Espaciales, Unidad de Productos y Procesos. Caracas –Venezuela, código postal 1060. (Correo electrónico: czerpa@abae.gob.ve)

II. PEQUEÑOS SATÉLITES O SATÉLITES DE BAJO PESO

A. Satélites Tipo *CubeSat*

CubeSat es un estándar para el desarrollo de satélites con fines académicos y científicos [1]. El concepto fue desarrollado por el Dr. Jordi Puig Suari de la Universidad Politécnica Estatal de California en San Luis Obispo y el Dr. Bob Twiggs de la Universidad de Stanford en Palo Alto, ambas en el estado de California, EE. UU. [2].

Fue en plena década de los años noventa cuando crearon unos lineamientos y especificaciones donde aclaraban como debería ser el desarrollo de un *CubeSat* para así ayudar a las Universidades de cualquier lugar del mundo que deseaban iniciar este tipo de proyectos de investigación, de esta forma nacen los primeros proyectos de desarrollo de *CubeSat*.

La premisa de la etapa inicial fue comprobar que los componentes soportaban estar en un espacio hostil lleno de cambios de temperaturas muy bruscos y siendo afectados por la radiación del espacio, además de poder enviar pequeñas comunicaciones a la Tierra informando de su estado y algunas señales de audio como saludos a las demás estaciones que quieran escucharlo, estos enlaces se hicieron utilizando bandas de frecuencias de radioaficionados que son bandas de frecuencias usadas para la investigación, específicamente las bandas de frecuencia muy alta o comúnmente conocidas por VHF, que oscilan entre los 130 – 145 MHz y las de frecuencia ultra alta o UHF entre los 430 – 445 MHz.

Estos canales son usados para enviar información detallada a través de la telemetría generada por medio de la computadora a bordo, de igual manera se envían los archivos de audio que son conocidos como beacon, pequeños sonidos en clave morse que cargan información de la entidad que creó el dispositivo con su fecha de lanzamiento [1] [2].

Con esta creación se considera satélites de pequeñas dimensiones, acotados a un cubo de 10X10X10 centímetros de arista y un peso no mayor a los 1,3 kilogramos, denominados pico-satélite o satélite de una unidad (1U) que, al combinarse se pueden conseguir satélites *CubeSat* de dos (2U) unidades o tres (3U) unidades respectivamente [2]. La estructura de estos pequeños transmisores de información se conoce como el subsistema principal de todo proyecto aeroespacial ya que en él reposan todos los demás subsistemas que se encuentran tanto en su interior como en el exterior del mismo, de tal manera que su diseño requiere que sea lo suficientemente adecuado, resistente y a su vez mantenga la rigidez necesaria con una masa mínima, a fin de cumplir satisfactoriamente todas las etapas de la misión por el cual ha sido diseñado.

Desde la aparición de estos dispositivos de lanzamiento en el mercado, se ha facilitado el acceso al espacio debido a la reducción de costos y a su rápida construcción; con fines Científicos, entre ellos tenemos: acceso a información acerca del medio ambiente del espacio, investigación atmosférica, astronomía, ciencias planetarias, seguimiento del ambiente terrestre, entre otros.

Ampliación de conocimientos en el área de Innovación y Desarrollo Tecnológico, entre ellas: telecomunicaciones, limpieza de desechos espaciales, desarrollo de constelaciones, reutilización de satelitales geoestacionarios.

En el área de Educación: experiencia práctica para estudiantes en una amplia gama de técnicas y actividades

relacionadas con el espacio. La figura 1 muestra el diseño de una estructura de un *CubeSat*.

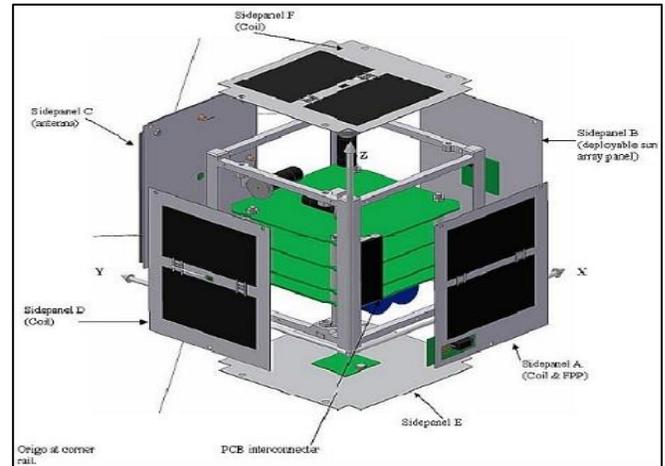


Fig. 1. Estructura física de un *CubeSat*. [3]

Algunas de las consideraciones generales que señala el documento de las especificaciones para el diseño de los *CubeSat* menciona que los componentes deben estar fijos al satélite durante la fase del lanzamiento, despliegue y operación; no se permite la liberación de elementos adicionales al espacio, asimismo no está permitido ningún tipo de elemento explosivo o pirotécnico [4]. La energía química almacenada, no debe pasar los 100 vatios-hora.

En los requerimientos eléctricos se establece que ningún componente electrónico debe estar activo durante la fase de lanzamiento, esto incluye desactivar completamente las baterías. Los *CubeSat* deben poseer un interruptor en la base de unos de sus rieles que permita apagar completamente el satélite, de igual manera debe contar con un conector tipo RBF “*Remove Before Flight*” [4] el cual corta la energía del satélite y será removido una vez que se integre a la plataforma de lanzamiento o sistemas de despliegue o también conocida como P-POD “*Poly Picosatellite Orbital Deployer*” [4], que funciona como interfaz entre el vehículo lanzador y los pico-satélites en su interior. Otro de los requerimientos de importancia es que se debe estar autorizado con licencia para el uso de frecuencia de radio.

En cuanto a requerimientos mecánicos las dimensiones del cubo deben ser las siguientes 100x100x100 mm en los ejes X, Y y Z [4]. Cada componente no debe sobresalir más de 6,5 mm en dirección normal a cada cara del cubo; solo los rieles exteriores de la estructura pueden tener contacto con el P-POD. Para su operación, el satélite con las baterías, debe ser capaz de recibir un comando para apagar las transmisiones según las regulaciones de la comisión federal de comunicaciones FCC “*Federal Communications Commission*”.

Ninguno de los mecanismos de despliegue del satélite debe ser activado antes de cumplirse los primeros 30 minutos luego del lanzamiento desde el P-POD [4]. Los transmisores de radio potencia mayor a 1 mW no deben funcionar antes de cumplirse 30 minutos luego del despliegue desde el P-POD. Los *CubeSat* se incluyen como carga secundaria de otros lanzamientos, para garantizar la seguridad del satélite, el vehículo de lanzamiento, la carga secundaria y los restantes *CubeSat*; los diseñadores deben cumplir con los requerimientos mínimos de diseño,

prueba y operación definida en el estándar “*CubeSat Design Specifications*”. En la figura 2 se muestra un modelo del sistema de despliegue o P-POD para los *CubeSat*.

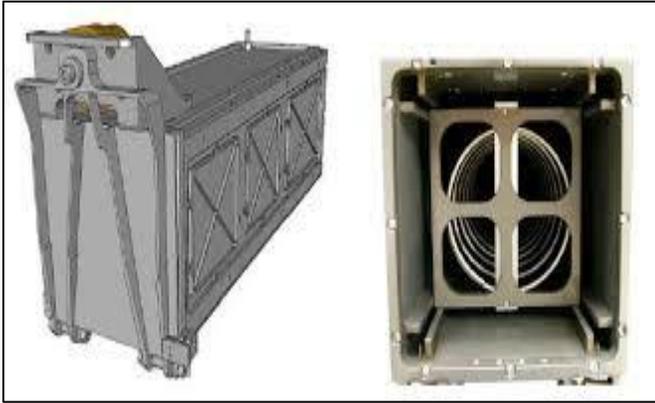


Fig. 2. P-POD o Plataforma de lanzamiento de un *CubeSat*. [5]

B. Descripción del Sistema

El objetivo principal de los sistemas satelitales es aprovechar su altura orbital en el espacio para de esta manera retransmitir señales de comunicación entre los puntos alejados de la Tierra o realizar la observación remota del cualquier lugar del planeta. Para ello es indispensable la buena comunicación entre la estación de control y el segmento espacial [6]. El diseño definitivo de un satélite depende de las necesidades y las aplicaciones que desea el fabricante o en su defecto el cliente.

El satélite *CubeSat* está compuesto por varios subsistemas, todos igual de importantes debido a que la falla de alguno significa la inutilidad parcial o total de la misión. Siendo la computadora de vuelo, la que determina y controla las funciones de cada uno. La figura 3 muestra el esquema de funcionamiento de un proyecto *CubeSat*. Estos satélites cuentan con un subsistema de comunicación el cual brinda información a las estaciones de seguimiento a través del transceptor.

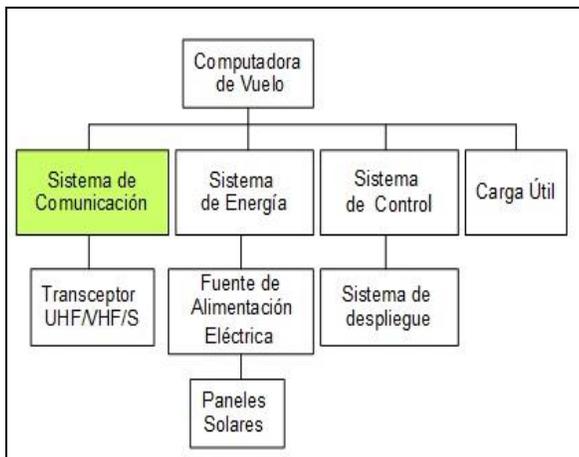


Fig. 4. Composición del sistema *CubeSat*

C. Arquitectura del Sistema de Comunicaciones

Este sistema presenta algunas dificultades y/o limitaciones, debido al tamaño del satélite, el mismo debe de ser de igual forma. Por ende los niveles de potencia serán limitados entre los 100 y 500 mW, con tasas de transferencias de datos que van

desde los 1.200 y 9.600 bps. Las bandas de radioaficionados usadas comúnmente oscilan en los 144 MHz para el enlace ascendente, y los 420 MHz para el enlace descendente [7]. Estas limitaciones más las sucesivas dificultades presentes en los enlaces tales como el efecto Doppler, retardos en la transmisión debido a las diferentes capas atmosféricas afectan a los canales de comunicación.

El sistema de comunicaciones asegura el contacto o enlace de comunicación con el satélite, a fin de que este pueda recibir las instrucciones desde la estaciones de control en Tierra el mayor de tiempo posible para operar la carga útil y mantener sus funciones. Como se mencionó anteriormente, este sistema está compuesto por un transceptor a bordo y otro en Tierra, estos dispositivos son indispensables ya que facilitan mantener una comunicación confiable entre el sistema en órbita y el los usuarios y así, asegurar el envío de instrucciones a la computadora de vuelo, y que está ejecute las acciones determinadas. Este sistema requiere que las antenas estén bien orientadas y configuradas, con el objetivo de prevenir distorsiones en la Tx/Rx de datos. Es supervisado por una estación terrena la cual se comunica vía radiofrecuencia a través de las antenas tipo Yagi; la computadora de vuelo recibe comandos específicos de la estación terrena de control por medio del transceptor y, a su vez retransmite data de telemetría a través del mismo. En la figura 4 se muestra el modo de trabajo del sistema de comunicaciones.

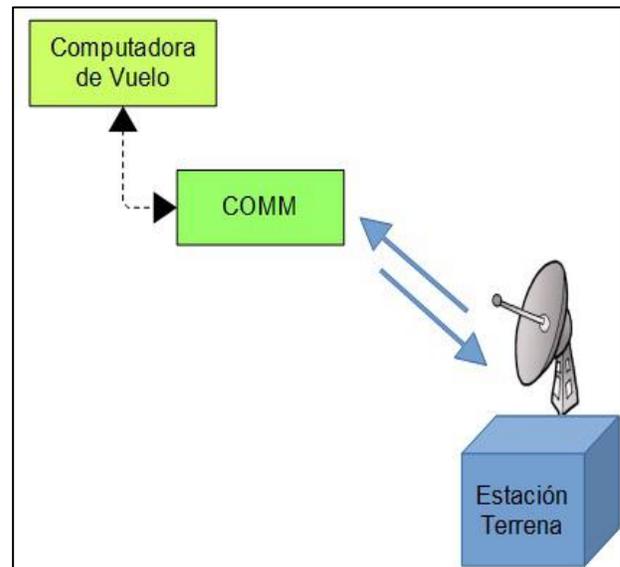


Fig. 3. Sistema de comunicaciones de un *CubeSat*

En la actualidad los sistemas de comunicaciones de estos dispositivos se encuentran equipados con antenas monopolo o antena de parche [8]. Pudiéndose emplear en el modo de polarización dual ortogonal, se realiza una reducción de interferencias para obtener un aislamiento entre los satélites, con respecto a las señales de radiofrecuencia. De igual manera como parte de la optimización en la comunicación, la reutilización de frecuencias es importante por medio del uso simultáneo de ondas polarizadas ortogonalmente. Para ello la antena requiere una elevada discriminación de polarización cruzada empleando antenas multihaz como la Dual-grid [8]. El conjunto consta de dos antenas individuales, cada una de las cuales posee un reflector con alimentación de tipo offset, los

reflectores formados por un arreglo de conductores paralelos a la polarización lineal requerida. Para iluminar cada reflector se localizarán una o más fuentes con una polarización dada en el foco correspondiente; cuando cada reflector es iluminado por una onda de radio; solo la componente de campo eléctrico paralela al arreglo será reflejada [8]. Estos reflectores en ambas antenas serán perpendiculares entre sí, situándose uno detrás del otro, de tal manera que sus focos se encuentren en diferentes puntos.

Por su parte, los reflectores dióicos consisten de una superficie dióica que refleja las ondas de radio incidentes que se encuentran dentro de una banda de frecuencias y es transparente para ondas que no pertenecen a dicha banda [8]. Para encontrar una superficie con estas características se utiliza un arreglo de dipolos de dimensiones dependientes de la banda de frecuencias que ha de ser reflejada sobre un sustrato transparente a las ondas electromagnéticas.

III. PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN

Las señales de seguimiento se realizan mediante la transmisión de señales piloto denominados beacons [8], los cuales permiten hallar la información enviada con ciertos protocolos, codificados y cifrados por razones de seguridad. Los mismos se mencionan a continuación:

A. Protocolo de Comunicación PACSAT

Un estándar ampliamente usado para micro-satélites de órbita baja y la comunidad radioaficionados, es un protocolo de transferencia de archivos Pacsat desarrollado para las misiones ARIANE ASAP en la década de los 90, seguidamente en los proyectos UoSAT- 3, UoSAT - 4, AMSAT-OSCAR-16, LuSAT, DOVE, WeberSAT, entre otros. Emplea paquete de datos basados en el protocolo AX.25. [8]

B. RT Logic's Telemetry T505

Protocolo usado como descryptador de datos en los centros de control, actúa como una aplicación que proporciona una interfaz basada en TCP/IP [8]. Estos sistemas son configurables y pueden ser usados para pruebas en laboratorios o en el sitio de lanzamiento. Dentro de sus funciones tenemos la conversión de formatos, sincronización y decodificación de tramas, soporta TDM o CCSDS. El T505 está disponible en varias configuraciones, con un alcance de 12 canales de recepción de telemetría y ocho canales para la transmisión de comandos, provee software de aplicación y soporte de la interfaz de Internet, opera en el ambiente Linux como sistema operativo.

C. Common Object Request Broker Architecture (CORBA)

El estándar abierto CORBA “*Common Object Request Broker Architecture*” definido por la OMG “*Object Management Group*”, el cual es un consorcio internacional sin ánimo de lucro establecido en el año de 1989 [9]. Este estándar es utilizado para escribir sistemas de objetos distribuidos en forma completamente neutral con respecto a la plataforma, lenguaje y proveedores; permite la distribución transparente a los dispositivos dentro del protocolo T505, también provee una variada gama de servicios usados para el fácil manejo de datos y registro [9]. Entre los beneficios que ofrece se encuentra los siguientes:

- Incorpora los mecanismos de seguridad en los accesos y de consistencia de las transacciones que en él se ejecutan.
- Coexistencia con otras tecnologías a través de la especificación de los elementos de enlaces.
- Capacidad para que los clientes invoquen métodos de objetos ubicados de cualquier nodo de la plataforma.
- Facilita la heterogeneidad de los lenguajes de programación. Los clientes y servidores pueden ser desarrollados en lenguajes diferentes.

En el 2002 es presentado CORBA 3, como intento de plantar cara a Microsoft y su modelo de programación de objetos distribuidos DCOM. Entre otras cosas se introdujo el CCM “*CORBA Component Model*” con el que paso de un modelo de objetos distribuidos a un modelo distribuidos orientado a componentes [10].

D. Capa de Enlace AX.25

Dada la escasa potencia de transmisión del satélite, las variaciones en la frecuencia como resultado de los cambios de temperatura y la gran atenuación debido a la distancia, hacen que la transmisión sea muy delicada. Es necesario contar con un protocolo de datos sobre AX.25, el cual es favorable para estas condiciones [11].

AX.25 es un protocolo de capa de enlaces utilizado por radioaficionados, el mismo propone tres tipos de tramas, tales como: supervisión, sin numerar e información. Los datos pueden tener una longitud de hasta 256 bytes [11]. Las direcciones AX.25 son cada una de siete bytes, sus primeros seis componen un nombre construido con letras mayúsculas y números del código ASCII. Los nombres se completan con espacios. El séptimo byte aloja los bits 1 a 6 un entero identificador de la estación definido como SSID. Este identificador es utilizado cuando existen varias estaciones asociadas al mismo nombre.

Durante la recepción, los módulos de comunicaciones realizan la detección de tramas AX.25. Es muy importante contar con una implementación del resto de la capa de enlace revisando los campos de dirección y control. En la transmisión de mensajes a Tierra, es necesario construir trama AX.25 agregando a los paquetes de datos para transmitir recibidos a través de la bus I²C, las banderas de control inicial y final, además del valor de control y algunos bits para evitar que se generen banderas entre los datos.

E. Protocolo de Comunicación entre Módulos I²C

Uno de los medios de Interconexión empleados entre los módulos del satélite es el bus I²C. El protocolo I²C desarrollado por “*Inter-IC*” fue elaborado por Phillips Semiconductors; es un protocolo bidireccional “*Half Duplex*” con un bus de dos hilos, reloj SCL y datos SDA, ambos referidos a Tierra. Existen versiones extendidas del protocolo las cuales permiten velocidades de hasta 1 Mbps en modo “*Fast-Plus*”, 3,4 Mbit/s en modo “*High-speed*” y hasta 5 Mbit/s en modo “*Ultra-Fast*”. El bus de Interconexión contiene además de las líneas de alimentación, un bus de comunicación I²C [11].

IV. TRANSCÉPTORES

El transceptor también llamado transductor es un dispositivo que cuenta con un transmisor y un receptor [12]. Siendo un dispositivo que se encarga de realizar funciones de recepción de una comunicación, el cual cuenta con un circuito eléctrico que permite un procesamiento para de igual manera realizar la transmisión de esta información, sin importar su diseño o formato [13]. Siendo un dispositivo de comunicación semidúplex, envía señales de radiofrecuencia en ambos sentidos, pero no simultáneamente. En adelante se mencionan algunos tipos de transceptores utilizados en los sistemas de comunicaciones en satélites tipo *CubeSat*.

A. Transmisor en Banda S

Módulo de transmisor miniatura de baja potencia, diseñado para satélites de bajo peso, es completamente re-utilizable para cualquier misión por su utilidad en diferentes opciones electrónicas [8]. La frecuencia fija de radio frecuencia puede ser seleccionada en bandas comerciales o de radioaficionados, facilita una potencia de salida, pudiéndose configurar para dos tasas de datos de los rangos de 9,6 Kbps a 8 Mbps, soporta modulación BPSK y QPSK, ambientes entre los $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta los $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ y vibraciones de 15 grms. La fuente de energía es de 5 V y una potencia del amplificador de radiofrecuencia de 2 W o 4 W; ha sido probado en SNAP-1, AISAT-1, NigeriaSat-1, FalconSat-2 [8].

B. Receptor de Frecuencia muy Alta (VHF SNP1)

Es un sistema de recepción de frecuencias con alrededor de siete salidas de datos TTL y tres salidas de señales diferencial de bajo voltaje LVDS [8]. El módulo está integrado por un microprocesador el cual reporta el estado del módulo e incorpora un decodificador de comando que se utiliza para el control directo, enlace de datos, telemetría, almacenamiento y retransmisión de información.

C. Transductor ML5805

Es un sistema de recepción/transmisión que se ajusta a las necesidades básicas de un proyecto *CubeSat* debido a que tienen muy poco consumo de potencia, resistente a temperaturas extremas, operan a diferentes tasas de velocidad, soportan DSS “*Direct-Sequence Spread Spectrum*” [14] técnica de modulación donde se puede reducir la tasa de transmisión. Este dispositivo está integrado en un solo chip, funciona con modulación FSK, en una banda de frecuencia que va desde los 5.725 GHz hasta los 5.850 GHz, sensibilidad de -96 dBm y un BER de 0,1 %. Tiene un mezclador de conversión ascendente, un búfer y un amplificador de potencia para producir una salida típica de 21 dBm. Incluye un sintetizador integrado que se utiliza tanto en los modos de transmisión como los de recepción.

D. Transmisor de Transmisión en Banda S de ISIS

Este modelo de transmisor opera en frecuencia de banda S, posee características mecánicas y eléctricas ideales para ser usado en satélites del tipo *CubeSat*. Este dispositivo tiene una frecuencia de trabajo que va desde los 2.100 MHz – 2.500 MHz, potencia de salida máxima $+28\text{ dBm}$, voltaje de alimentación 5 V y 3,3 V, salida de radiofrecuencia SMA o MCX de 50 ohm.

Este componente es diseñado por la empresa ISIS Soluciones Innovadoras en el Espacio [15]

V. MODELO DE UN ENLACE SATELITAL

El objetivo de cada misión satelital es descargar a la estación terrena la data que produce el satélite en el espacio [16]. Es por ello que el sistema de comunicaciones es vital para la misión. Como se ha explicado anteriormente, este sistema es el mecanismo que hace posible la comunicación entre el satélite y la estación terrena. El enlace posibilita que las dos terminales envíen y reciban data a través de ondas de radio mediante el uso de una serie de dispositivos puestos en sus extremos, en la figura 5 se muestra un modelo básico del sistema de comunicaciones en un satélite de bajo peso.

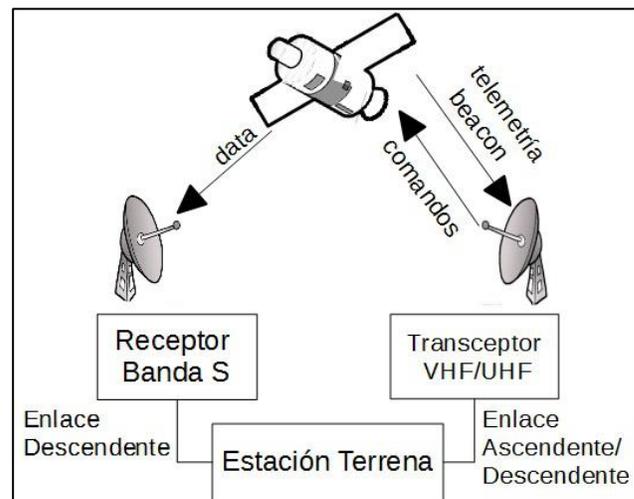


Fig. 5. Enlaces de comunicación entre el satélite y la estación terrena. [16]

Los equipos de radio en frecuencia UHF/VHF emplean bandas del espectro electromagnético que oscilan entre los 30 MHz y 300 MHz; por lo que, para proyectos satelitales de tipo académico, se utilizan frecuencias designadas para radioaficionados, 145,940 MHz y 145,990 MHz [17]. Por su parte la radio en banda S ocupa frecuencias entre los 2,0 GHz y 2,8 GHz con una velocidad de hasta 1 Mbps según el estándar 521-1984 de la IEEE “*Institute of Electrical and Electronics Engineers*”. Para que exista una comunicación efectiva entre el segmento terrena y el segmento espacial, se deben definir unas reglas que permitan administrar los tiempos de transmisión, recepción, formato de las tramas y encriptación de la información, entre otros. Conocido comúnmente como protocolo de comunicaciones, el cual permite gestionar la comunicación del sistema utilizando dispositivos transceptores y receptores.

VI. REQUERIMIENTOS DE EVALUACIÓN DE UN CUBESAT

Los procesos de evaluación en cada misión satelital forman parte esencial del proyecto, este requerimiento tiene como finalidad darle fiabilidad y confiabilidad a su diseño. En el caso de los *CubeSats*, se busca garantizar los niveles de seguridad en los mismos y a su plataforma de lanzamiento, mediante las sucesivas pruebas en diferentes ambientes, las cuales simularán los fenómenos a encontrar durante su lanzamiento y puesta en órbita. Por lo general las pruebas son establecidas por la

empresa encargada del lanzamiento, de no ser así el estándar “*CubeSat Design Specifications*” en su versión 2013, establece que las pruebas se basarán a través de los criterios de evaluación del documento MIL-STD-1540 “*Product Verification Requirements for Launch, Upper Stage, and Space Vehicles*”, LSP-REQ-317.01 “*Launch Services Program Level Poly-Picosatellite Orbital Deployer and CubeSat Requirements Document*” desarrollado por el programa de lanzamiento de la NASA, además de los criterios establecidos en el centro Goddard “Goddard Space Flight Center” para vuelos espaciales de la NASA; referidos criterios se encuentran enumerados en el documento CSFC-STD-7000, el mismo se emplea para realizar evaluaciones en entornos generales elaborado en 1996 y actualizado en el 2013 [18].

Los *CubeSat* podrán ser sometidos a dos niveles de evaluación a los cuales deben ser procesados. La certificación de un *CubeSat* otorga la confiabilidad del diseño y que esté funcionará en los entornos esperados. Esta consta de sucesivas pruebas en diferentes ambientes y condiciones como las habrá durante y después de su lanzamiento [19]. Por su parte la aceptación, corresponde al nivel en que debe pasar un componente que será enviado al espacio. En este nivel las pruebas son las mismas que en el nivel de certificación a diferencia que son más exigentes, las mismas se realizan al modelo del vuelo y una vez que se encuentre integrado a la plataforma de lanzamiento.

Disponer de un satélite en órbita conlleva mucha organización, planificación y buena administración del tiempo, motivado a que son múltiples los organismos que participan en él. Desde los diseñadores, los responsables por el vehículo lanzador hasta los operadores. Una etapa importante durante el desarrollo de un proyecto satelital es la asignación de frecuencias que mantendrán enlazados los operadores con el *CubeSat*, para tal fin se deberá tramitar la debida permisología para el uso de ciertas frecuencias ante la UIT Unión Internacional de Telecomunicaciones.

La UIT es la encargada de asignar el espectro radioeléctrico y las posiciones orbitales alrededor del mundo, además presenta normas técnicas que garantizan la interconexión continua en las redes y tecnologías, estándares que facilitan el intercambio eficaz dentro de las infraestructuras de comunicación nacionales con las redes globales entre otras [20].

La comunidad mundial de radioaficionados está representada por la unión internacional de radioaficionados IARU, “*International Amateur Radio Union*” fundada en París Francia en el año 1925 [21], esta confederación internacional de asociaciones de radioaficionados controla el uso de las bandas asignadas al servicio de radioaficionados a fin de preservar y mantener el orden en el espectro de frecuencias asignadas a los servicios de radioaficionados.

Otras de las organizaciones vinculadas con el uso de radiofrecuencias es la corporación científica y educacional AMSAT “*Amateur Satellite Corporation*” tiene su sede en la ciudad de Washington EE.UU. La cual tiene como objetivo diseñar y organizar lanzamientos de satélites cuya carga útil sea empleada para uso público de Radio Aficionado [22].

Por su parte la comisión federal de comunicaciones; regula las comunicaciones nacionales e internacionales por radio, televisión, Internet y satélites; sus objetivos son: promover la competencia, innovación e inversión en los servicios de

radiodifusión, promover un buen uso del espectro de radiofrecuencias y revisar regulaciones relacionadas con las nuevas tecnología

VII. COORDINACIÓN DE FRECUENCIAS

Este proceso se fundamenta en la distribución de las frecuencias asignadas entre la población de radioaficionados, a fin de evitar interferencias entre los satélites o estaciones terrenas que hacen uso de los servicios de radioaficionados, la administración de frecuencias forma parte esencial del éxito en un proyecto satelital; estas asignaciones son facilitadas a través de la IARU. Las bandas de frecuencias disponibles para los servicios radioaficionados se muestran en la tabla 1.

TABLA I
BANDAS DE FRECUENCIAS PARA SERVICIO DE RADIOAFICIONADOS. [22]

MHz	GHz
7,0-7,1	10,45-10,5
14,0-14,25	24,0-24,05
18,068-18,168	47,0-47,2
21,0-21,45	75,5-76
24,89-24,99	76-81
28,0-29,7	142-144
144-146	144-149
435-438	241-248
1.260-1.270	248-250
2.400-2.450	
3.400-3.410	
5.650-5.670	
5.830-5.850	

La coordinación de frecuencias para un satélite desarrollado en un país determinado se logra a través del apoyo de su organización nacional de satélites de radioaficionados, de su sociedad de radioaficionados y del asesor satelital asignado por la IARU.

Estas organizaciones nacionales de satélites de radioaficionados son entes pertenecientes al AMSAT que tienen como función coordinar y administrar los asuntos inherentes al AMSAT en cada país. Además del AMSAT-NA con sede en los EE.UU, existen organizaciones en Argentina, Chile y Venezuela [22] [23].

VIII. CONCLUSIONES

El sistema de comunicaciones asegura el contacto con el satélite el mayor tiempo posible a manera de que este pueda recibir las ordenes de Tierra para operar la carga útil y mantener sus funciones vitales, el subsistema está compuesto por un equipo transmisor-receptor a bordo y otro en Tierra, los equipos son de gran importancia ya que permiten tener una comunicación confiable entre el satélite en órbita y los usuarios, a fin de enviarle información para que la computadora de vuelo ejecute acciones determinadas. El sistema exige que el arreglo de antenas tenga una configuración apropiada tanto en la forma

como en su orientación para que siempre se tenga comunicación, también, debe ser preciso por lo que no deberán existir distorsiones que provoquen errores en las instrucciones, envío y recepción de datos.

Las bandas de frecuencias que con gran facilidad se adaptan a los requerimientos de esta tecnología son las VHF y UHF, el diseño de las antenas en estas bandas de frecuencias se facilita, ya que en el satélite la antena es un dipolo que se despliega cuando está en órbita suministrando comunicaciones omnidireccionales. Por su parte, en el segmento terreno con frecuencia son utilizadas las antenas de tipo Yagi para esta banda. Por lo general los enlaces de comunicación enfrentan diversos problemas de transmisión que son intrínsecos a este medio de comunicación, entre ellos: por no estar en una órbita geostacionaria ocasiona que se presente el efecto Doppler, sumado a las diferentes capas atmosféricas que afectan a las transmisiones en menor o a mayor grado dependiendo de la frecuencia empleada, los retardos ocasionados por las largas distancias que deben recorrer las ondas electromagnéticas.

El proyecto *CubeSat* tiene como propósito proveer un estándar para diseñar pequeños satélites reduciendo costos y tiempo de desarrollo, además de facilitar el acceso al espacio a pequeñas cargas científicas que tienen acceso al mismo por medio de otros lanzamientos. Gracias a sus características de rápida construcción y un costo bastante bajo esta tecnología permite el desarrollo de proyectos con fines educativos e investigación científica al mundo entero.

REFERENCIAS

- [1] Pablo Pinzón, Freddy Díaz, Revisión del contexto operacional del software de monitoreo y control en tierra de una nanosatélite, 2016.
- [2] Adriano Campos, Juan Ramos, Diseño e implementación de las antenas y los sistemas de transmisión y recepción de un CubeSat, 2012.
- [3] Wikidot, How to build small satellites, 2016, <http://cubesats.wikidot.com/>
- [4] California Polytechnic State University, CubeSat Design Specification, 2016, http://static1.squarespace.com/static/5418c831e4b0fa4ecac1bacd/t/56e9b62337013b6c063a655a/1458157095454/cds_re_v13_final2.pdf
- [5] Michael Swartwout, The promise of innovation from university space system: Are we meeting? 2016, <http://www.thespacereview.com/article/1490/1>
- [6] Louis Ippolito, Satellite Communications Systems Engineering: Atmospheric Effects Satellite Link Design and System Performance, 2008.
- [7] Antonio Serrano, Requerimientos para desarrollar y poner en órbita satélites CubeSat dentro de un entorno Universitario, 2015.
- [8] Francisco Moreno, Análisis y evaluación de tecnologías para pequeños satélites, 2007.
- [9] Ramón Jesús Millán, Programación de objetos distribuidos con CORBA, 2016, <http://www.ramonmillan.com/tutoriales/corba.php>
- [10] Wikipedia, Common Object Broker Architecture, 2016, <https://es.wikipedia.org/wiki/CORBA>
- [11] Gustavo de Martino, Software y protocolos para CubeSat, 2013.
- [12] Wikipedia, Transceptor, 2016, <https://es.wikipedia.org/wiki/Transceptor>
- [13] Wellitogton Herrera, Transceivers-Transceptores, 2013.
- [14] Laura Esteve, Diseño y montaje de una estación de seguimiento de satélite en órbita baja, 2014.
- [15] Alejandro Merida Pérez, Análisis, selección, adaptación para vuelo espacial y software de operación básico de sistema de

comunicaciones de bajada en banda S para nanosatélite universitario, 2016.

- [16] Pablo Pinzón, Freddy Díaz, Revisión del contexto operacional del software de monitoreo y control en tierra de un nanosatélite, 2016.
- [17] Kasser J. E., Development of a LEO communication CubeSat. Recent Advances in Space Technologies (RAST), 1995.
- [18] Antonio Serrano, Requerimientos para desarrollar y poner en órbita satélites CubeSat de un entorno universitario, 2015.
- [19] Elizabeth Bunchen, Nano/Microsatellite Market Assessment A mid-yaer update. Spaceworks, 2014.
- [20] Wikipedia, Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2016, https://es.wikipedia.org/wiki/Unic3%B3n_Internacional_de_Telecomunicaciones
- [21] Wikipedia, International Amateur Radio Union, 2016, https://es.wikipedia.org/wiki/International_radioaficionado_Radio_Union
- [22] AMSAT, Amateur Radio in Space, 2016, http://www.amsat.org/?page_id=1093
- [23] AMSAT-YV, AMSAT-VENEZUELA, 2016, <http://www.amsat-yv.org/index2.html>



Carlos A. Zerpa nació en Mérida, Venezuela en 1985. Recibió el título de Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica de la Universidad Experimental Simón Rodríguez en el 2008.

Investigador de la Dirección de Innovación e Investigación Espacial, Agencia Bolivariana para Actividades Espaciales

desde el 2014.