

DISEÑO DEL SISTEMA DE COMUNICACIONES PARA EL NANOSATÉLITE DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

Lombardo, Simón M. – Roncagliolo, Pedro A.

simon.lombardo@ing.unlp.edu.ar - agustinr@ing.unlp.edu.ar

UIDET SENyT, Departamento de Electrotecnia, Facultad de Ingeniería,
Universidad Nacional de la Plata, Calle 116 s/n, B1900, La Plata, Argentina.

Palabras Claves: nanosatélite, Cubesat, RF, comunicaciones, antena.

1. INTRODUCCIÓN

El en el marco del proyecto de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP), que lleva adelante el Centro Tecnológico Aeroespacial (CTA) de la Facultad de Ingeniería, para desarrollar el primer Cubesat (nanosatélites compuestos por unidades cúbicas de 10 cm de lado [1]) universitario de nuestro país [2], se propone el diseño del sistema de comunicaciones para el mismo. Este sistema es uno de los más importantes dentro de cualquier proyecto satelital ya que es la única manera de conocer el estado del satélite una vez en órbita y de comandarlo en caso de que sea necesario. A su vez se encarga de transmitir íntegramente los datos generados por los instrumentos científicos que dan sentido a cada misión en particular. Los Cubesats, se han vuelto muy populares a nivel global [3], por su simplicidad y sobre todo en universidades donde los recursos económicos son limitados. A diferencia de los proyectos satelitales tradicionales, en los Cubesats, la esencia es lanzar satélites con mayor frecuencia, menor vida útil (del orden de meses) y de tamaño reducido (posibilitando compartir los lanzadores y disminuir su costo). En proyectos universitarios, los Cubesats son satélites de órbita baja para reducir los costos de lanzamiento, disminuir impacto de la radiación, facilitar la reentrada a la atmósfera terrestre luego del final de su vida útil, etc. Sin embargo, estas características dificultan las comunicaciones de la nave con las estaciones terrenas. En órbitas que no superan los 600 km de altura, los momentos en los cuales se tiene visibilidad del satélite para poder establecer la comunicación, se reducen a intervalos de algunos minutos por día. Por otro lado, el tamaño del satélite limita la cantidad de paneles solares y, por ende, la energía disponible para los distintos subsistemas. En la Figura 1 se puede observar un Cubesat típico de 3 unidades desarrollado por la universidad de Aalto [4], que se tomó como referencia en distintos aspectos.



Figura 1. Nanosatélite Aalto-1

2. DESARROLLO Y DISCUSIÓN

2.1. REQUERIMIENTOS DE LA MISIÓN

El proyecto de la UNLP consta de cinco nanosatélites de un máximo de veinte kilogramos y seis unidades cúbicas tipo Cubesat. El primero de ellos tendrá como carga útil para la generación de datos de tipo científico, un receptor de GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite) que realizará mediciones de la ionósfera mediante técnicas de radio-ocultación (GNSS-RO) y reflectometría (GNSS-R) [5]. Teniendo en cuenta la gran cantidad de mediciones que se generarán en esta misión y la necesidad de transmitir las con el menor procesamiento posible para no afectar la calidad de las mismas, se deberá enviar un importante volumen de datos desde el satélite hacia la estación terrena. Esto sumado al acotado tiempo de visibilidad de la nave en cada periodo orbital, se traduce en un enlace de datos con una tasa de transmisión considerablemente alta.

Por otro lado, el enlace debe permitir la transmisión del estado del satélite mismo en cuanto a sus parámetros vitales (tensiones de batería, consumo de potencia, temperaturas en puntos relevantes, posición y velocidad, orientación, etc.) hacia la estación terrena, lo que usualmente se denomina telemetría, así como la posibilidad de enviar comandos hacia el satélite que permitan modificar ciertos parámetros de su funcionamiento (cambiar entre modos de misión, encender o apagar ciertos instrumentos o equipos, etc.), acciones denominadas habitualmente telecomandos. Tanto la telemetría en la estación terrena como los telecomandos en el satélite, deben poder recibirse sin importar la posición y orientación de este. Esto se desprende de la posibilidad de que el satélite quede rotando sobre su propio eje o en una orientación incorrecta por intervalos de tiempo indefinidos debido a fallas en el sistema de control actitud. Por lo tanto, se debe garantizar un enlace de comunicaciones robusto que trabaje en paralelo con el requerido para la transmisión de datos de ciencia.

2.2. SOLUCION PROPUESTA

Como se mencionó anteriormente, el espíritu del trabajo es realizar un sistema de comunicaciones apto para un satélite universitario de órbita baja sin gastar grandes cantidades de recursos como es común en un proyecto satelital tradicional. Para ello se propone utilizar componentes comerciales de bajo costo (COTS), porciones del espectro radioeléctrico sin una licencia exclusiva (cuya solicitud excedería los tiempos del proyecto), y aprovechar los desarrollos en materia de comunicaciones realizados anteriormente por el grupo de investigación. A continuación, se describen las soluciones adoptadas para las distintas partes que componen el sistema de comunicaciones propuesto. Empezando por las bandas de frecuencias donde se llevará a cabo el canal de comunicaciones, siguiendo por los circuitos integrados disponibles en el mercado capaces de llevar a cabo dicha comunicación y finalmente las antenas y los protocolos de comunicación que garantizarán la cobertura adecuada y la integridad de los datos.

2.2.1 Banda de frecuencias

Para la telemetría y los telecomandos se propone utilizar la banda de 434 MHz. La misma es conocida en carácter de atribución primaria como “banda de 70 cm” siendo utilizada sólo por usuarios con licencia de radioaficionado y radioaficionados por satélite sin fines

comerciales [6]. Esta decisión se tomó considerando dos criterios fundamentales: la compatibilidad de una gran cantidad de transceptores comerciales de RF (radiofrecuencia) con este intervalo del espectro y la posibilidad de colaboración de la comunidad de radioaficionados para la recepción de los datos en distintos lugares del territorio argentino. Por otra parte, utilizar esta frecuencia tiene como desventaja que el ancho de banda permitido es bastante limitado (12 kHz para comunicaciones digitales) y por ello no es apto para el enlace de bajada de datos de ciencia generados por el receptor de GNSS. Para alcanzar tasas de transmisión del orden de los cientos de kbps (kilobits por segundo) es necesario trasladarnos a regiones superiores del espectro como la banda de 2,4 GHz (Banda S) reservada para aplicaciones industriales, científicas y médicas.

2.2.2 Componentes COTS

En esta sección se describen los módulos básicos que debe tener el sistema de comunicaciones que se montará en el nanosatélite y los circuitos integrados seleccionados para su implementación. Cabe destacar que los chips se seleccionaron teniendo en cuenta las opciones disponibles en el mercado y priorizando aquellos que poseen herencia de vuelo (que han sido usados con éxito en otras misiones espaciales).

El transceptor (transmisor y receptor) de RF es el módulo más importante de la placa. Este componente es el encargado de acondicionar y transmitir los datos hacia la estación terrena, así también como de recibir los comandos enviados para encender/apagar distintos subsistemas, etc. Por su herencia de vuelo y por haber sido utilizados en proyectos anteriores adquiriendo experiencia suficiente, se seleccionaron transceptores de Texas Instruments para los dos enlaces de datos propuestos. El CC1200 [7], para la telemetría y los telecomandos en UHF (banda de 434 MHz) y el CC2500 [8], para los datos en Banda S. Los transceptores de RF antes mencionados cuentan con una potencia de salida máxima del orden de los 14 dBm. Este valor está muy por debajo de la potencia necesaria para obtener un enlace robusto y confiable debido a las altas pérdidas en el trayecto de la señal. Es por ello que se debe incluir en la placa un amplificador de RF capaz de elevar dicha potencia de salida al orden de los 30 dBm (1 W) típicos para este tipo de aplicaciones. Diversas empresas ofrecen este tipo de productos, pero se seleccionaron los productos de Qorvo (RFFM6404 [9], para UHF y RFPA5218 [10], para Banda S) por su eficiencia energética y herencia de vuelo. Otro bloque de suma importancia para la placa es el microcontrolador ya que es el encargado de “orquestrar” el funcionamiento de los distintos componentes y facilitar la comunicación con la computadora del satélite y los distintos subsistemas. En este caso se optó por un microcontrolador de 32 bits de STMicroelectronics (STM32L476) por tener buena capacidad de cómputo, bajo consumo y, aunque se desconoce si este modelo en particular tiene herencia de vuelo, la familia STM32 es utilizada con éxito en otras misiones espaciales [11].

2.2.3 Antenas

Por un lado, es necesario garantizar la transmisión de telemetría y recepción de comandos en UHF sin importar la orientación del satélite. Esto nos lleva a la elección de una antena de baja directividad, con igual ganancia en todas las direcciones [12]. En la Figura 2 se muestra una antena tipo turnstile (torniquete) que se considera ideal para cumplir con dicho requerimiento. El desarrollo de este tipo de antenas tiene cierto grado de dificultad en cuanto a su adaptación, pero aún más en lo que refiere al despliegue. Se necesita un mecanismo

que lleve cada una de las cuatro antenas a la posición correcta una vez que el satélite esté en órbita, que no falle durante el despliegue y lo suficientemente seguro para que no se active en un momento inoportuno.

Por otro lado, se requiere un enlace de alta velocidad en Banda S para los datos generados por los instrumentos de ciencia. Para esto es necesario una antena de ganancia suficiente para garantizar la tasa de transmisión requerida pero no demasiado directiva para evitar problemas de apuntamiento. Recordemos que los Cubesats están limitados en potencia y volumen por lo que no tienen mecanismos control de actitud de gran precisión. La simulación y evaluación de las distintas posibilidades llevó a la elección de una antena tipo parche con polarización circular como la que se muestra en la Figura 3.



Figuras 2. Antena turnstile Figura 3. Antena parche

2.2.4 Protocolo de comunicaciones

Otro aspecto de suma importancia a considerar cuando se diseña un sistema de comunicaciones es el protocolo que se adopta a la hora de manejar los paquetes de datos en los extremos del canal de comunicación. Para el enlace con la estación terrena se seguirán dos protocolos distintos. En el caso de la telemetría y los telecomandos se adoptará el protocolo FX.25 que se utiliza comúnmente en dispositivos de radioaficionados siendo de sencilla implementación y que facilita la colaboración con dicha comunidad para la recepción de los datos [13]. Por otro lado, para el enlace de alta velocidad se utilizará el protocolo de Texas Instruments propio de los transceptores de RF [14]. Las comunicaciones dentro del satélite también necesitan su protocolo de datos. En este caso se está evaluando el uso del protocolo CSP de la empresa GOMSpace que es de código abierto y está probado en diversas misiones espaciales [15]. El mismo soporta interfaces de distintos tipos como CAN, I2C, RS-232, que se utilizarán para los buses que comunican la computadora de a bordo (OBC) con los distintos subsistemas dentro del Cubesat. Cabe destacar que, para la comunicación principal del subsistema de comunicaciones con la OBC se necesita una interfaz robusta y lo suficientemente rápida para no generar cuellos de botella a la hora de transmitir los datos. Para ello se optó por una interfaz SPI con LVDS (Señal Diferencial de Baja Tensión) que garantiza una tasa de transmisión de hasta 400 Mbps.

2.3 DISEÑO DEL SUBSISTEMA A BORDO

El diseño de la placa electrónica para el nanosatélite se llevó a cabo en un software de diseño de circuitos impresos. En primer lugar, se realizó el interconexión del circuito a nivel esquemático para luego pasar a un diseño de PCB (Printed Circuit Board) y posterior modelado 3D. Con el fin de obtener un buen desempeño en cuanto a compatibilidad electromagnética se utilizaron encapsulados de montaje superficial y se organizó el diseño en

de circuito impreso en 4 capas, dos para el montaje de componentes y líneas de señal, un plano de tierra y un plano de alimentación. El tamaño y forma de la placa se eligió en base a estructuras y módulos Cubesat comerciales [16]. Además, se agregaron conectores para la programación, conexión con los demás módulos del satélite. En la Figuras 4 y 5 se muestra un diagrama en bloques del subsistema y el modelo 3D de la placa lista para su fabricación.

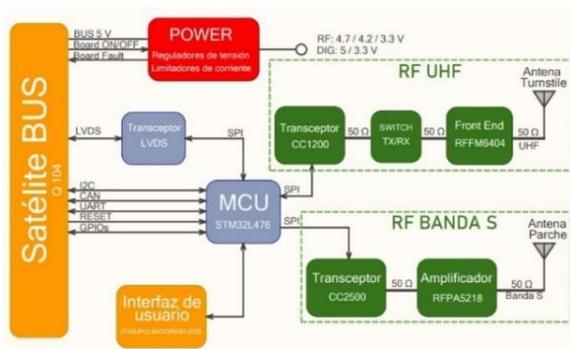


Figura 4. Diagrama en bloques de la placa

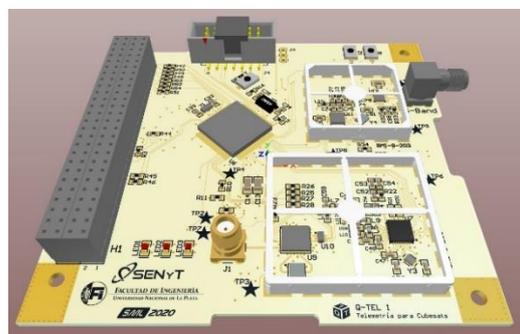


Figura 5. Modelo 3D

2.4 ESTACIÓN TERRENA

La estación terrena debe contar con antenas en ambas bandas de frecuencias. Estas deben garantizar un margen de ganancia suficiente como para soportar interferencias y errores en el apuntamiento del satélite. Cuando hablamos de margen nos referimos a la potencia recibida por encima de la mínima necesaria para la correcta recepción de los datos. Dicho margen, se estima a partir del cálculo de enlace que se realizó con extremo cuidado pero que excede el alcance del presente trabajo. Para el enlace de UHF típicamente se utilizan antenas tipo Yagi con ganancias del orden de los 17 dB que se pueden diseñar fácilmente o comprar en casas de electrónica ya que se utilizan en gran cantidad de aplicaciones cotidianas como TV o Radio. En el caso del enlace de Banda S se debería utilizar una antena de tipo parabólica que son mucho más directivas y alcanzan ganancias de decenas de decibeles. Dichas antenas también pueden ser fáciles de adquirir en el mercado ya que operan en la frecuencia de WiFi. Cabe destacar que muchas universidades y radioaficionados ya tienen estaciones de este tipo que se podrían compartir y/o tomar como referencia para el diseño propio. En la Figura 6 se presenta una estación terrena típica para este tipo de proyectos [17].

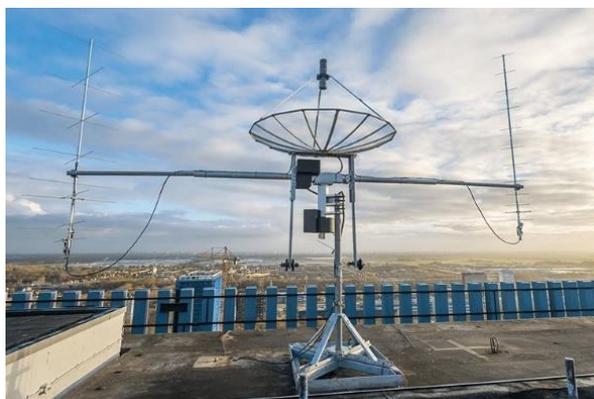


Figura 6. Estación terrena típica para Cubesats

3. CONCLUSIONES

El presente trabajo tuvo como objetivo principal el diseño de un sistema de comunicaciones para un nanosatélite capaz de operar tanto en UHF (banda de radioaficionados en 434 MHz) como también en Banda S (banda de 2.4 GHz para aplicaciones Industriales, Científicas y Médicas). En primer lugar, se analizaron los requerimientos de la misión para luego proponer una solución de bajo costo capaz de cumplir acabadamente con dichas exigencias. Además, se definieron las bandas de frecuencia a utilizar, siguiendo las recomendaciones y regulaciones impuestas por la Unión Internacional de Comunicaciones, se seleccionaron los circuitos integrados disponibles en el mercado que contaban con herencia de vuelo y que mejor se adaptaban al diseño propuesto y, a partir de un software de diseño de circuitos impresos, se realizó un primer prototipo de la placa electrónica para el nanosatélite en base a un PCB multicapa con miras a conseguir un buen desempeño en cuanto a compatibilidad electromagnética. A su vez, se seleccionaron antenas con las características adecuadas para cumplir con los distintos requerimientos y el protocolo de comunicaciones para garantizar un buen manejo de los datos y paquetes. Finalmente, se presentaron posibles estaciones terrenas para la recepción de los datos y transmisión de telecomandos estimando la calidad y desempeño de las mismas.

4. BIBLIOGRAFÍA

- [1] <http://www.cubesat.org>
- [2] <https://investiga.unlp.edu.ar/cienciaenaccion/el-sueno-del-satelite-propio-cada-vez-mas-cerca-20298>
- [3] KLOFAS B., ANDERSON J. A Survey of CubeSat Communication Systems: 2009-2012. CubeSat Developers Workshop, Cal Poly State University, San Luis Obispo, California. 2013.
- [4] Aalto-1, <https://www.aalto.fi/en/spacecraft/aalto-1-the-finnish-student-satellite-project>
- [5] SHUANGGEN JIN. GNSS Remote Sensing. Springer, 2014.
- [6] UIT. Reglamento de radiocomunicaciones. Ginebra, Suiza. 2020.
- [7] <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cc1200.pdf>
- [8] <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cc2500.pdf>
- [9] <https://www.qorvo.com/products/p/RFFM6404>
- [10] <https://www.qorvo.com/products/p/RFPA5218>
- [11] <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32l476rg.html>
- [12] BALANIS, CONSTANTINE A. Antenna Theory, Analysis and Design. Wiley, 3rd Ed., 2005.
- [13] Forward Error Correction Extension to AX.25 Link Protocol for Amateur Packet Radio, http://www.stensat.org/docs/FX-25_01_06.pdf
- [14] CC1200 User's Guide, <https://www.ti.com/lit/uq/swru346b/swru346b.pdf>
- [15] Cubesat Space Protocol, <http://www.libcsp.org>
- [16] <https://www.pumpkinspace.com>
- [17] Full Ground Station Kit VHF/UHF/S-band, <https://www.isispace.nl/product/full-ground-station-kit-for-vhfuhfs-band/>