

Capítulo 2

Incidencia de los sistemas de comunicaciones en las aplicaciones de los satélites pequeños

2.1. Introducción

Las misiones tradicionales de satélites son extremadamente caras en cuanto a su diseño, construcción, lanzamiento y operación. En consecuencia, tanto la industria aeroespacial y la comunidad de investigadores han comenzado a dirigir su atención a las misiones de los llamados pequeños satélites. Los programas de pequeños satélites significan una oportunidad para mejorar la industria y brindar entrenamiento a estudiantes en el ámbito espacial, mediante la obtención de experiencia al realizar directamente etapas de una misión especial (diseño, producción, pruebas lanzamiento y operaciones en órbita). Además, actualmente, existen muchas universidades en diversos países que han desarrollado, lanzado y operado sus propios satélites pequeños para fines científicos y educativos.

Las misiones de satélites pequeños son apoyadas por cuatro aspectos básicos[6]:

- Los avances en la miniaturización electrónica, en el procesamiento de datos, inteligencia autónoma y capacidad de rendimiento.

Ventajas	Desventajas
Bajos costos de fabricación y lanzamiento	Generalmente tienen un periodo de vida más corto
Facilidad para la producción en grandes números	Reducida capacidad de transporte debido al hardware empleado
Rápidos tiempos de construcción y mínimas pérdidas financieras en caso de fallas	Solo están visibles en ciertos lapsos de tiempo y salen de órbita mucho más rápido

Tabla 2.1: Ventajas y desventajas de los satélites pequeños.

- La aparición de nuevos lanzadores pequeños en el mercado (estructura especial para cargas útiles auxiliares que permite el lanzamiento simultáneo de varios pequeños satélites).
- La posibilidad de "independencia" en el espacio (los satélites pequeños pueden proporcionar una forma económica de muchos países para lograr diferentes misiones sin depender de las aportaciones de las principales naciones con tecnología espacial).
- Reducción en la complejidad de la misión en curso y los gastos de gestión.

La tecnología de los satélites pequeños ha abierto una nueva era de la ingeniería en satélites al disminuir los costos de misiones espaciales, pero manteniendo un alto rendimiento. Además, algunas aplicaciones pueden ser resueltas de una mejor manera mediante el uso de sistemas distribuidos (constelaciones de pequeños satélites configurados de forma óptima para lograr una cobertura global). Por otra parte, algunas misiones con requisitos estrictos podrían implicar un costo igual o incluso mayor al desarrollar una constelación de pequeños satélites en comparación con un satélite grande. Ciertamente, todo tipo de satélite (ya sea grande o pequeño), tiene sus propias ventajas y desventajas; la Tabla 2.1 muestra algunas de las ventajas y desventajas de los pequeños satélites sobre los satélites grandes.

En este capítulo se pretende describir las diferentes aplicaciones de los satélites pequeños, así como sus necesidades y requerimientos.

Nombre del grupo	Masa [Kg]
Satélites grandes	Mayor a 1 000
Satélites medianos	De 500 a 1 000
Pequeños Satélites	
Minisatélites	De 100 a 500
Microsatélites	De 10 a 100
Nanosatélites	De 1 a 10
Picosatélites	De 0.1 a 1
Femtosatélites	Menor a 0.1

Tabla 2.2: Clasificación de satélites de acuerdo a su masa.

2.2. Clasificación de los satélites

Actualmente se resume lo que es un satélite pequeño con la frase: “Más rápido, mejor, más pequeño, más barato”. Generalmente se incluye tecnología avanzada para proporcionar soluciones innovadoras, permitiendo que se diseñen sistemas satelitales de menor volumen.

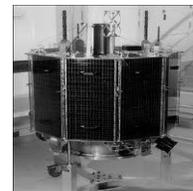
También se utilizan muchos términos para clasificar a los satélites, sin embargo se ha adoptado recientemente una manera general de clasificar a los satélites en términos de su masa desplegada (indicador para el costo y los requerimientos del lanzamiento). La Tabla 2.2 muestra dicha clasificación[19].

Dentro de esta clasificación, el término de “satélites pequeños” se utiliza para cubrir todas las naves espaciales con una masa menor de 500 [Kg].

2.2.1. Minisatélites

En abril de 1999 se lanzó el UoSAT-12, el cual fue el primero en mostrar la capacidad de los minisatélites. Mucha de la tecnología que se utilizó en este proyecto ha sido incorporada a las nuevas generaciones de minisatélites mejorados. Algunas de sus características son:

- Masa arriba de 400 [Kg] (carga útil 150[Kg])
- Estabilización en 3 ejes (combinación de magnetómetros, ruedas inerciales y propulsores N_2)
- Comunicación en banda L/S con una tasa de 1 [Mbps] y potencia promedio de 300 [W]



2.2.2. Microsatélites

En el extremo inferior de la escala (aproximadamente 10 [Kg]), algunos microsatélites normalmente tienen cinco bandejas de módulos apiladas, formando una estructura cúbica con cuatro paneles solares de GaAs montados en el cuerpo del satélite. Cada panel proporciona alrededor de 36 [W] de potencia que es almacenada en una batería recargable de NiCd. Las comunicaciones se realizan mediante enlaces ascendentes/descendentes en banda UHF, VHF, L y/o S (dependiendo de la misión) operando con tasas de transmisión entre 9.6 y 156 [Kbps] y utilizando el protocolo de paquetes AX.25. Este protocolo fue desarrollado a mediados de la década de 1980 por AMSAT como una extensión inalámbrica compatible con el estándar X.25¹ para obtener la habilidad de soportar telemetría, telecomando, archivos de software e información de carga útil sobre un simple enlace duplex de RF.

Debido al precio y al tamaño, los microsatélites tienen control de orientación y estabilización limitado, usualmente se estabilizan pasivamente mediante el alineamiento del campo magnético. El uso de más o menos antenas omnidireccionales significa que pueden llevar acabo su principal función de transpondedores de radio amateur sin la necesidad de tener un control de apuntamiento exacto. Mientras, transpondedores de alta ganancia y cargas útiles para la observación de la Tierra requieren en Tierra una plataforma de apuntamiento; por lo que para un microsatélite típico de 50 [Kg] se puede tener un margen de error de alrededor de 1°, sin embargo recientemente se han utilizado ruedas inerciales que permiten tener una mayor exactitud (alrededor de 0.2°). En el extremo superior de la escala (aproximadamente 100 [Kg]), los microsatélites están basados en el mismo contexto anterior, pero éstos son realizados para misiones que requieren una mayor demanda de carga útil. Sus estructuras de bus de 600x600x500 [mm] permiten acomodar paneles solares más grandes y proveer espacio flexible para la carga útil. Utilizan cuatro paneles solares inclinados de GaAs montados en el cuerpo del satélite, cada panel proporciona alrededor de 38 [W] de potencia promedio. Se tiene un sistema completo de estabilización en 3 ejes, lo que permite que la carga útil tenga una exactitud de apuntamiento mejor que 0.2°. Se tienen enlaces descendentes en banda S a una velocidad de 8 [Mbps].

¹Estándar para redes de área amplia de conmutación de paquetes. X.25 trabaja sobre servicios basados en circuitos virtuales en el cual el usuario piensa que es un circuito dedicado a un sólo ordenador; pero en realidad se comparte con muchos usuarios mediante técnicas de multiplexado, entrelazando paquetes de distintos usuarios de un solo circuito.

2.2.3. Nanosatélites

La tendencia en miniaturizar la tecnología ha alcanzado un interés en el desarrollo de pequeñas y ligeras naves espaciales. Mucho de éste interés ha sido mostrado por EU, entre otros, mediante AFOSR (Air Force Office of Scientific Research) y DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) quienes han impulsado programas de nanosatélites en sus Universidades.

En 1997 fue construido el SPUTNIK-40 (alusivo al 40 aniversario del SPUTNIK) siendo una réplica funcional del original, con una masa de 3 [Kg] fue realizado por estudiantes de Francia. Éste nanosatélite fue seguido por el TUBSAT-N lanzado en 1998 junto con el TUBSAT-N1 realizados por la Universidad de Berlín con una masa de 8 y 3 [Kg] respectivamente. En el 2000 la Universidad de Surrey lanzó el primer nanosatélite de UK, el SNAP-1 con una masa de 6.5 [Kg]. SNAP-1 es un sofisticado nanosatélite con un GPS microminiatura de navegación, un sistema de propulsión miniatura de gas frío y una carga útil de tres videocámaras ultraminiatura CMOS de ángulo amplio y una videocámara CMOS de ángulo estrecho.

Algunas de las aplicaciones futuras para los nanosatélites son: inspección remota de satélites, vigilancia de los sistemas de despliegue en órbita y llevar a órbita pequeños instrumentos científicos que requieren mediciones en el espacio.

2.2.4. Pico y Femto Satélites

El manejo de pequeñas computadoras y equipos móviles de comunicaciones han impulsado más la miniaturización, específicamente en microprocesadores de baja potencia, transmisores eficientes, baterías de alta capacidad y receptores GPS de baja potencia. Recientemente se ha tenido la tendencia de tener una completa integración de electrónica en un sólo chip (System-On-A-Chip), que es particularmente aplicable a la tecnología en picosatélites. En este contexto, la tecnología MEMS (Micro-Electro-Mechanical-Systems) se vuelve importante, ya que utiliza técnicas de fabricación de circuitos impresos para desarrollar mecanismos electrónicos en miniatura. Por otro lado, se está empleando un esfuerzo considerable en los femtosatélites (masa menor a 10 gramos) con aplicaciones en inspección remota, medidas distribuidas y sensores desechables.

2.3. Aplicaciones de los satélites pequeños

Hoy en día, no se puede hablar de la existencia de un mercado sólido para los satélites pequeños. Los gobiernos de los países siguen siendo el principal apoyo financiero para la comunidad de satélites pequeños. Esta comunidad está todavía vinculada a las actividades de educación e investigación (actividades que se basan en el apoyo del gobierno). Sin embargo, eso no significa que los satélites pequeños tengan aplicaciones limitadas, por el contrario se tienen diversas aplicaciones y se espera que en el futuro incursionen con mayor fuerza en el ámbito comercial. A continuación se mencionan algunas de sus aplicaciones[12, 6].

2.3.1. Satélites de comunicaciones

Los satélites en órbitas LEO² son más cercanos al usuario (en comparación a un geoestacionario) y consecuentemente proporcionan la reducción en las pérdidas de transmisión y en el retardo, además de tener estaciones terrenas más baratas y reuso regional de frecuencias. Sin embargo, las comunicaciones asociadas a constelaciones LEO implican variaciones en el patrón de los enlaces, importantes cambios por efecto Doppler y handover³ de un satélite a otro.

En las dos últimas décadas, varias constelaciones de satélites pequeños LEO se han propuesto proporcionar comunicaciones mundiales usando sólo terminales portátiles para servicios de voz y datos en tiempo real (por ejemplo, Iridium, Globalstar) y también para datps que no son transferidos en tiempo real (por ejemplo, Orbcom, Gemstar).

Es importante mencionar dos ejemplos notables de proyectos de comunicaciones para ámbitos de medicina (telemedicina):

- HealthNet, que emplea un microsátelite (HealthSat) de 60 [Kg] volando en LEO para transmitir datos médicos registrados en varios países de África a América del Norte.
- Telemedicine-Pilot de la Agencia Espacial Colombiana dedicado a la transmisión y recepción de señales de ECG (electrocardiograma). El

²Órbita utilizada por los satélites pequeños, se encuentra en el rango de 160 a 640 [Km] sobre la Tierra.

³Transferencia del servicio de una estación base a otra cuando la calidad del enlace es insuficiente.

objetivo principal es evaluar el desempeño de un sistema de telecardiología en internet. El interés principal es acercar los servicios médicos a comunidades de difícil acceso a través de redes de pequeños satélites.

Las comunicaciones móviles por satélite pueden desempeñar un papel importante en los desastres naturales, proporcionando a los equipos de rescate un importante apoyo logístico. Un ejemplo es la DMC (Disaster Monitoring Constellation), una red de siete minisatélites (masa mayor a 100 [Kg]) que proporciona imágenes de emergencia de la Tierra para situaciones de desastre.

2.3.2. Satélites científicos

Los microsátélites y los minisatélites pueden ofrecer una manera barata y rápida de exploración a pequeña escala de objetivos científicos (por ejemplo, detección de rayos X, monitorear el entorno de la radiación espacial, actualizar el campo geomagnético internacional de referencia). Además, jóvenes científicos e ingenieros pueden tener más oportunidades para obtener experiencia en ingeniería satelital y carga útil, la cual se puede escalar a futuras misiones en escalas mayores.

Al menos, cinco microsátélites de la Universidad de Surrey han llevado cargas útiles para monitorear el entorno de radiación cerca de la Tierra. De igual modo, diversos modelos numéricos instalados en Tierra han sido validados con datos de vuelo, y simultáneamente se han hecho mediciones del entorno de radiación y sus efectos inducidos sobre sistemas a bordo. Una misión de colaboración de microsátélites con Chile, FASat-Bravo (1998), llevó cámaras para imágenes de UV (rayos Ultravioletas) y radiómetros de UV como parte del OLME (Ozone Layer Monitoring Experiment), el cual proporcionó datos únicos sobre la concentración y estructura de ozono en las regiones polares de la Tierra.

Muchos científicos, en cuestión de la física solar y plasma espacial, enfatizan la importancia de utilizar grupos coordinados de satélites para obtener medidas de diferentes fenómenos físicos. Un caso particular es el programa International Solar-Terrestrial Physics, el cual involucra la coordinación de información del satélite Solar and Heliospheric Observatory (SOHO) de la ESA, de las naves espaciales WIND y POLAR de la NASA (National Aeronautics and Space Administration) y de la nave espacial Geotail de ISAS (Institute of Space and Astronautical Science).

2.3.3. Satélites de observación de la Tierra

Los microsátélites han producido una revolución en temas de la observación de la Tierra. Convencionalmente las misiones satelitales de observación de la Tierra y percepción remota son muy costosas; por lo que hay pocas misiones de este tipo y los datos resultantes muestran impresionantes resoluciones espaciales, mientras que se muestra una pobre resolución de objetivos en la Tierra, debido al escaso número de estas naves espaciales actualmente en órbita. Una nueva oportunidad barata para la percepción remota mediante satélites pequeños ha llegado mediante el uso de arreglos CCD (Charge-Coupled Device) que son detectores ópticos de bajo consumo de energía y poderosos microprocesadores utilizados en cámaras de video digitales.

El microsátélite Tsinghua-1 lanzado en junio del 2000, proporcionó imágenes con resoluciones de 35 [m] en cuatro bandas espectrales con la capacidad de $\pm 15^\circ$ (± 200 km) de error de enfoque de las imágenes.

Generalmente, una estación terrena para una misión con satélites pequeños puede estar basada en una simple antena de VHF, (Very High Frequency) por ejemplo los satélites UoSat de la Universidad de Surrey. Pero cuando la misión es sobre Observación de la Tierra, se requiere de la transmisión de amplios volúmenes de información y por ende se requiere una estación terrena más compleja.

2.3.4. Satélites de verificación de tecnología

Los microsátélites también proporcionan un atractivo, de bajo costo y alcance rápido, para demostrar, verificar y evaluar nuevas tecnologías o servicios en un entorno espacial real y dentro de los riesgos aceptables, previo a su escalamiento a satélites más grandes (misiones más caras). Los principales ejemplos diseñados para este tipo de aplicación es la serie de microsátélites STRV-1 (1994) de la Agencia de Defensa de Evaluación e Investigación de UK (ahora conocida como QinetiQ). Por ejemplo, uno de sus experimentos fue probar el rendimiento de las nuevas paneles solares. Los satélites dependen del rendimiento de los paneles solares para la producción de energía primaria para alimentar a los subsistemas y a las cargas útiles a lo largo de la vida útil en órbita; por lo tanto, el conocimiento del comportamiento a largo plazo de los diferentes tipos de paneles solares en el entorno de radiación espacial es esencial. Desafortunadamente, las pruebas de radiación realizadas en Tierra, a corto plazo, no producirán necesariamente datos precisos sobre el desempe-

ño de los diferentes paneles solares puestos en órbita, por ello existen misiones satelitales que persiguen realizar este tipo de pruebas, como la siguiente. En 1991 el UoSAT-5 llevó a un precursor, Solar Cell Technology Experiment (SCTE) diseñado para evaluar el desempeño de una gama de 27 muestras de paneles solares de GaAs, Si y InP en LEO de diversos fabricantes.

2.3.5. Satélites militares

Mucha de la tecnología utilizada para satélites pequeños ha sido manejada por los requerimientos de agencias militares (EU y USSR). Las demandas de satélites de tipo militar parecen no adecuarse a un microsatélite; sin embargo manteniendo bajo el precio y con la rápida respuesta que los caracteriza, se ha desarrollado una versión de satélite con paneles solares desplegados para soportar diferentes cargas útiles militares. La principal diferencia entre una versión comercial y una militar para satélites pequeños son las especificaciones de los componentes y la documentación del proceso, lo que hace tener un factor de incremento de alrededor de 1.5 en cuanto a costo y tiempo con respecto a versiones comerciales. Algunos ejemplos de satélites pequeños y grupos de satélites pequeños empleados en un escenario militar son:

- El programa US Transit, en el cual se usaron satélites pequeños dentro de un sistema de navegación militar.
- La misión US Macsat, en el cual el satélite fue utilizado para sistema de comunicaciones digitales de almacenamiento y reenvío.
- La constelación US Microsat de siete satélites para comunicaciones en campo de batalla.
- La misión Techsat-21, que empleó satélites pequeños para obtener imágenes de radar.

Después de la guerra fría entre EU y la URSS, el primer uso de la plataforma de microsatélites militares fue en la misión Cerise diseñado y construido en Francia, lanzado en LEO en 1995. El Cerise sufrió un accidente al ser impactado por un fragmento de cohete, que afectó su estabilización en 1996. Sin embargo, debido a la flexibilidad de los sistemas de microsatélites, se logró estabilizarlo mediante nuevos algoritmos de control de orientación. Un segundo microsatélite también francés, Clementine, fue puesto en LEO en 1999 y un tercer microsatélite, Picosat fue lanzado con éxito en el 2001 para

EU, llevando tecnología avanzada de cargas útiles para el Departamento de Defensa del país.

2.4. Lanzamiento de satélites pequeños

La mayoría de los satélites pequeños han sido lanzados como cargas útiles secundarias (“piggy back”) que son acompañadas por cargas útiles primarias más grandes y que normalmente son las encargadas de cubrir la mayor parte del costo de lanzamiento. De acuerdo a SSTL (Surrey Satellite Technology Ltd[26]), a continuación se presentan los lanzadores más comunes para satélites pequeños.

2.4.1. Lanzador Ariane

Familia de lanzadores fabricados por Arianespace (consorcio de la ESA). En 1988 desarrolló el ASAP (Ariane Structure for Auxiliary Payloads), una estructura específica, que por primera vez, brindaba oportunidades de lanzamiento alcanzables para microsátélites de 50 [Kg] en LEO. Se encuentra en la categoría HLLV (Heavy Lift Launch Vehicles), brindando una capacidad de carga mayor a los 10 000 [Kg] en LEO.

2.4.2. Lanzador Athena

Lanzador que fue desarrollado por Lockheed Martin Missiles & Space (USA). El primer lanzador falló en 1995, llevando consigo un minisatélite (Vitasat) de GEMStar. En 1997 se lanzó el Athena, permitiendo llevar cargas útiles más pesadas. Se encuentra en la categoría LLV (Large Launch Vehicles), ofreciendo una capacidad de carga de entre 5 000 y 10 000 [Kg] en LEO.

2.4.3. Lanzador Delta

Familia de lanzadores fabricados por Boeing (EU). En 1989 McDonnell Douglas creó el Delta II para la NASA (originalmente diseñado para llevar satélites que conformarían el sistema GPS (Global Positioning System)). Se encuentra en la categoría MLV (Medium Launch Vehicles), brindando una capacidad de carga entre 2 000 y 5 000 [Kg] en LEO.

2.4.4. Lanzador Cosmos

Lanzador desarrollado por AKO Polyot (Rusia). Entre sus lanzamientos destaca el del Unamsat-B en 1996. Se encuentra en la categoría SLV (Small Launch Vehicles), ofreciendo una capacidad de carga menor a los 2 000 [Kg] en LEO.

2.4.5. Lanzador PSLV

El lanzador PSLV (Polar Satellite Launch System) fue desarrollado por la Organización de Investigación Espacial de la India. En 1999 lanzó por primera vez satélites pequeños, el Tubsat (Alemania) y el Kitsat3 (Corea), de forma exitosa. Se encuentra en la categoría MLV.

2.4.6. Lanzador Rocket

Lanzador operado por Eurockot (Alemania y Rusia), y es lanzado desde el Cosmódromo de Plesetsk. Se encuentra en la categoría SLV.

