



Trabajo Final Integrador de la
Especialización en Redes y Seguridad

Análisis técnico para el despliegue de una red de estaciones terrenas en proyectos de nano satélites

***Universidad Nacional de La Plata
Facultad de Informática***

-Noviembre de 2017-

Alumno: Ing. Nicolás Rafael Cugat

Director/a: Ing. Luis Marrone

Co Director: Dr. Ricardo Medel

ÍNDICE GENERAL

1.	INTRODUCCIÓN	3
1.1	Objetivo	3
1.2	Motivación.....	3
1.3	Acrónimos y Abreviaciones	4
2.	CONCEPTO DE MISIÓN SATELITAL Y NANOSATELITES	5
2.1	Introducción a misión satelital	5
2.1.1	Elementos que componen una misión satelital	5
2.2	Concepto de satélite y nano satélites	5
2.2.1	Concepto detallado de satélite.....	5
2.2.2	Historia de los Satélites Artificiales	6
2.2.3	Tipos de Satélites Artificiales	8
2.3	Introducción a los Nano satélites	9
2.3.1	Definición.....	9
2.4	Estadísticas de misiones de nano satélites actuales	11
2.4.1	Lanzamientos por año.....	11
2.4.2	Nano satélites por países	12
2.4.3	Nano satélites por organizaciones	13
2.4.4	Tipos de nano satélites	13
3.	CONCEPTO DE SEGMENTO TERRENO.....	15
3.1	Definiciones.....	16
3.2	Estación Terrena	16
3.2.1	Funciones de una Estación Terrena	17
3.3	Centro de Control	18
3.3.1	Funciones principales.....	20
3.4	Centro de Misión	21
3.4.1	Funciones principales.....	22
4.	INFRAESTRUCTURA DE SEGMENTO TERRENO PARA NANO SATELITES.....	23
4.1	Introducción.....	23
4.2	Concepto de arquitectura abierta de segmento terreno	23
4.3	Despliegue de una estación terrena de usuario	25
5.	ANALISIS.....	28
5.1	Introducción.....	28
5.2	Factibilidad técnica	28
5.2.1	Red de radioaficionados para las estaciones terrenas	28

5.2.2	Internet como red de interconexión del segmento terreno.....	28
5.3	Factibilidad económica.....	31
5.3.1	Costo de desplegar una estación terrena de usuario	31
5.3.2	Aplicación del modelo de economía compartida	31
6.	CONCLUSION Y FUTUROS TRABAJOS.....	33
6.1	Conclusiones	33
6.2	Futuros trabajos.....	33
7.	REFERENCIAS	34
ANEXO A.	MANUAL PARA MONTAR UNA ESTACIÓN TERRENA.....	35

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 2-1.</i>	Satélite ERS-2.	6
<i>Figura 2-2.</i>	Satélite Sputnik.....	7
<i>Figura 2-3.</i>	Satélite CubSat.	10
<i>Figura 2-4.</i>	Nano satélites lanzados por año.	12
<i>Figura 2-5.</i>	Misiones por países.....	12
<i>Figura 2-6.</i>	Tipos de organizaciones involucradas.	13
<i>Figura 2-7.</i>	Tipo de misión de nano satélite.....	14
<i>Figura 3-8.</i>	Arquitectura básica de Segmento Terreno.....	15
<i>Figura 3-9.</i>	Arquitectura básica de Estación Terrena.....	17
<i>Figura 3-10.</i>	Arquitectura básica Centro de Control.	19
<i>Figura 3-11.</i>	Arquitectura básica de Centro de Misión.....	21
<i>Figura 4-12.</i>	Arquitectura abierta de segmento terreno.....	24
<i>Figura 4-13.</i>	Módulos de estación terrena de usuario.....	26
<i>Figura 5-14.</i>	Servicios de Segmento Terreno.....	31
<i>Figura 5-15.</i>	Modelo de Uber.....	32
<i>Figura 5-16.</i>	Modelo para las estaciones terrenas de usuarios.....	32

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Objetivo

El objetivo del presente trabajo es de investigación y análisis para determinar la factibilidad técnica de montar una red de datos para estaciones terrenas satelitales, del tipo amateur y de alcance global.

Dicha red de estaciones terrenas tendrá como objetivo brindar soporte a misiones satelitales de bajo coste o investigación universitaria.

Las estaciones terrenas satelitales son un conjunto de equipos de comunicaciones y de cómputo que son usadas para transmitir o recibir la señal de los satélites.

Una estación terrena satelital debe tener la capacidad de realizar todas las funciones que permitan al usuario u operador conocer en todo momento la posición y estado del funcionamiento de los sistemas a bordo del satélite.

1.2 Motivación

En la actualidad existe un auge de los satélites de investigación universitaria (CubeSat) y nano satélites en general. Dicho auge es debido al bajo coste de construcción y tiempo de ensamble. Por lo tanto se ha detectado una oportunidad de que este tipo de misiones puedan aprovechar el despliegue de una red de estaciones terrenas amateurs para el apoyo de este tipo de misiones de nano satélites.

A diferencia de las misiones satelitales de las agencias espaciales, con satélites de alta complejidad, mucho tiempo de desarrollo (10 años en promedio) y con una red de estaciones terrenas dedicadas, las misiones de nano satélites usualmente no pueden afrontar los costos de montar su propia red de estaciones terrenas globales o alquilar dichos servicios a las agencias espaciales de diferentes países.

El despliegue de estas estaciones terrenas amateurs permitirán dar soporte a esta misiones de manera simple y a un bajo costo.

1.3 Acrónimos y Abreviaciones

Acrónimos y Abreviaciones	
GTM	Greenwich Time Meridian (Tiempo Universal)
TM	Telemetría
TC	Telecomando
TT&C	Telemetría, Telecomando y Comando
RF	Radio Frecuencia
IF	Frecuencia Intermedia
ST	Segmento de Tierra
SV	Segmento de Vuelo
TLE	Two Line Element
VPN	Virtual Private Network (red privada virtual)

2. CONCEPTO DE MISIÓN SATELITAL Y NANOSATELITES

En el presente capítulo se introducirán a los conceptos de misión satelital, describiendo los principales elementos que componen la misma.

También se describirán los conceptos de satélites y en especial el de nano satélites, describiendo su concepto, evolución y proyectos actuales.

2.1 Introducción a misión satelital

El satélite, para su aprovechamiento como elemento útil, necesita de una infraestructura técnica y operativa. A todo este conjunto se lo denomina MISION, el cual se lo puede dividir en las dos partes o segmentos clásicos:

- El segmento de **VUELO**, formado por satélites y los lanzadores.
- El segmento **TERRENO** formado por las estaciones terrenas y el centro de control.

2.1.1 Elementos que componen una misión satelital

- **Satélite.** Es un vehículo espacial que se ha colocado en órbita alrededor de la Tierra (o de algún otro astro), dispuesto con tecnología para la recopilación y retransmisión de información.
- **Lanzador.** Son los vehículos necesarios para la colocación de los satélites en su punto de operación.
- **Estación terrena.** Forma el enlace entre el satélite y la red terrestre conectada al sistema. Un sistema puede operar con algunas decenas o centenas de ellas, dependiendo de los servicios brindados.
- **Centro de Control.** Que también se le llama TT&C (telemetría, telecomando y control), realiza desde tierra el control del satélite. Este elemento posee todos los equipos necesarios para mantener al satélite en su posición orbital, posibilitando la realización desde tierra de todas las operaciones necesarias para tal fin.

2.2 Concepto de satélite y nano satélites

2.2.1 Concepto detallado de satélite

Un **satélite** es cualquier objeto que orbita alrededor de otro, que se denomina principal. Como se muestra en la figura 2-1, los satélites artificiales son naves espaciales fabricadas en la Tierra y enviadas en un lanzador, un tipo de cohete que envía una carga útil al espacio exterior. Los satélites

artificiales pueden orbitar alrededor de lunas, cometas, asteroides, planetas, estrellas o incluso galaxias. Tras su vida útil, los satélites artificiales pueden quedar orbitando como basura espacial.



Figura 2-1. Satélite ERS-2.

Lo demuestra la existencia de miles de ellos girando sobre nuestro planeta y una constante demanda de sus servicios que no hace sino aumentar. Por supuesto, no puede compararse el potencial del pionero Sputnik-1 con el de cualquiera de los actuales y gigantescos satélites de comunicaciones en órbita geoestacionaria. No sólo la técnica ha evolucionado, sino también su valor intrínseco, el mismo que ha permitido grandes inversiones de investigación y desarrollo en numerosos y diversos campos.

Su órbita puede ser baja, media, elíptica o geoestacionaria (acorde con la velocidad de la Tierra), según el tipo de funciones a que esté destinado. A su vez el satélite está compuesto de la plataforma de servicios y los instrumentos que lleve a bordo (conocido como carga útil).

Probablemente, el satélite artificial es una de las herramientas más útiles que hasta la fecha haya creado el hombre. Diseñado como un conglomerado de instrumentos situados en una plataforma espacial, el satélite posibilita la obtención del mejor punto de vista para observar y controlar nuestro planeta, así como para mirar hacia el Cosmos sin la interposición de la atmósfera.

2.2.2 Historia de los Satélites Artificiales

Los satélites artificiales (1) nacieron durante la guerra fría, en los países de Estados Unidos y la Unión Soviética, que entre sus expectativas tenían el lanzamiento de satélites artificiales y el viaje espacial a la Luna.

La era espacial comenzó en 1946, cuando los científicos comenzaron a utilizar los cohetes alemanes V-2, capturados después de la segunda guerra mundial, para realizar mediciones de la atmósfera. Desde 1946 a 1952 se utilizaron los cohetes V-2 y Aerobee para la investigación de la parte superior de la atmósfera, lo que permitía realizar mediciones de la presión, densidad y temperatura hasta una altitud de 200 km. Estados Unidos había considerado lanzar satélites orbitales desde 1945 bajo la Oficina de Aeronáutica de la Armada. Tras la presión de la Sociedad Americana del Cohete (ARS), la

Fundación Nacional de la Ciencia (NSF) y el Año Geofísico Internacional, el interés militar aumentó y a comienzos de 1955 la Fuerza Aérea y la Armada estaban trabajando en el Proyecto Orbiter, que evolucionaría para utilizar un cohete Jupiter-C en el lanzamiento de un satélite denominado Explorer I, el 31 de enero de 1958.

El 29 de julio de 1955, la Casa Blanca anunció que los Estados Unidos intentarían lanzar satélites a partir de la primavera boreal de 1958. Esto se convirtió en el Proyecto Vanguard. El 31 de julio, los soviéticos anunciaron que tenían intención de lanzar un satélite en el otoño boreal de 1957.

La Unión Soviética, desde el Cosmódromo de Baikonur, lanzó el primer satélite artificial de la humanidad (figura 2-2), el día 4 de octubre de 1957; marcando con ello un antes y un después de la carrera espacial, logrando que la Unión Soviética, liderada por Rusia, se adelantara a Estados Unidos en dicha carrera. Este programa fue llamado Sputnik, el cual al momento de colocarse exitosamente en órbita, emitió unas señales radiales en forma de pitidos, demostrando el éxito alcanzado por los científicos soviéticos.

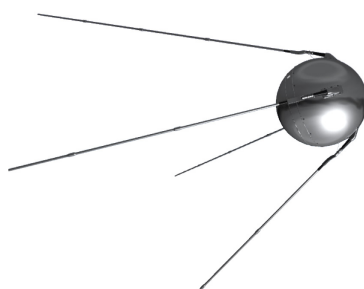


Figura 2-2.Satélite Sputnik.

Este programa fue seguido por otros logros soviéticos, como los programas Sputnik 2 y 3. Cabe señalar que en el Sputnik 2, la Unión Soviética logró colocar en órbita el primer animal en la historia, la perra llamada Laika, a la cual se la llamó originalmente "Kudryavka", pero decidieron cambiar su nombre para que fuera más fácil de recordar en la historia. En 1960 se lanzó el primer satélite de comunicaciones: el Echo I era un satélite pasivo que no estaba equipado con un sistema bidireccional sino que funcionaba como un reflector. En 1962 se lanzó el primer satélite de comunicaciones activo, el Telstar I, creando el primer enlace televisivo internacional. La Red de Vigilancia Espacial (SSN) ha estado rastreando los objetos espaciales desde 1957, tras el lanzamiento del Sputnik I. Desde entonces, la SSN ha registrado más de 26.000 objetos orbitando sobre la Tierra y mantiene su rastreo sobre unos 8.000 objetos de fabricación humana. El resto entran de nuevo en la atmósfera donde se desintegran o si resisten, impactan con la Tierra.

2.2.3 Tipos de Satélites Artificiales

Se pueden clasificar los satélites artificiales por su misión y por su peso (2).

Por su misión

- **Satélites astronómicos:** son satélites utilizados para la observación de planetas, galaxias y otros objetos astronómicos.
- **Bio satélites:** diseñados para llevar organismos vivos, generalmente con propósitos de experimentos científicos.
- **Satélites de comunicaciones:** son los empleados para realizar telecomunicación. Suelen utilizar órbitas geosíncronas, órbitas de Molniya u órbitas bajas terrestres.
- **Satélites de navegación:** utilizan señales para conocer la posición exacta del receptor en la tierra.
- **Satélites de reconocimiento:** denominados popularmente como satélites espías, son satélites de observación o comunicaciones utilizados por militares u organizaciones de inteligencia. La mayoría de los gobiernos mantienen la información de sus satélites como secreta.
- **Satélites de observación terrestre:** son utilizados para la observación del medio ambiente, meteorología, cartografía sin fines militares.
- **Estaciones espaciales:** son estructuras diseñadas para que los seres humanos puedan vivir en el espacio exterior. Una estación espacial se distingue de otras naves espaciales tripuladas en que no dispone de propulsión o capacidad de aterrizar, utilizando otros vehículos como transporte hacia y desde la estación.
- **Satélites meteorológicos:** son satélites utilizados principalmente para registrar el tiempo atmosférico y el clima de la Tierra.

Por su peso

- **Grandes satélites:** cuyo peso sea mayor a 1000 Kg.
- **Satélites medianos:** cuyo peso sea entre 500 y 1000 Kg.
- **Mini satélites:** cuyo peso sea entre 100 y 500 Kg.
- **Micro satélites:** cuyo peso sea entre 10 y 100 Kg.
- **Nano satélites:** cuyo peso sea entre 1 y 10 Kg.
- **Pico satélite:** cuyo peso sea entre 0,1 y 1 Kg.
- **Femto satélite:** cuyo peso sea menor a 100 g

2.3 Introducción a los Nano satélites

En esta sección se hará hincapié en los nano satélites solamente, debido a que son el principal objeto de estudio del presente trabajo.

2.3.1 Definición

En los albores de la era satelital, los satélites eran pequeños, con apenas algunas funcionalidades básicas, sin embargo, con el paso del tiempo, estos dispositivos se volvieron más complejos, de mayor tamaño y sobre todo demandan un alto tiempo de desarrollo (entre 10 años) y un presupuesto elevado. Este tipo de misiones satelitales complejas, son en mayoría, potestad de las agencias espaciales de cada país.

En la actualidad existe una tendencia a que los satélites sean aún más pequeños, con el fin de acortar tiempos de desarrollo y presupuesto, también distribuir la complejidad de los grandes satélites en diferentes satélites más pequeños.

El término **nano satélite** un término relativamente reciente, parece haber sido introducido por la NASA en algún momento alrededor de 2004. La palabra todavía está en proceso de adopción, ya que muchos satélites de este tamaño se denominan simplemente "pequeños satélites" (3).

El término nano satélite se utiliza para describir los satélites artificiales con una masa entre 1 y 10 Kg. Los nano satélites son el resultado de la evolución tecnológica actual, ya que aprovechan la ventaja de los notables avances en microelectrónica y además se fabrican empleando técnicas de bajo coste y producción masiva. El principio en el que se fundamentan es la miniaturización de componentes y sistemas, mediante la cual es posible conseguir altas prestaciones a cambio de un tamaño y un peso reducidos. Durante las últimas décadas hemos visto cómo el tamaño de los circuitos eléctricos se han ido reduciendo. Hace apenas unos años, hubiera sido imposible guardar fácilmente un teléfono en un bolsillo o un monedero, y además, poder usarlo igual que un teléfono común, ya sea desde un automóvil, una tienda o casi cualquier lugar que elijamos. Hoy en día se aplica ese mismo concepto de miniaturización para construir vehículos espaciales muy pequeños con el mismo desempeño de los grandes, siendo las más usuales las comunicaciones en diferido, la medida de parámetros ionosféricos o magneto esféricos y la experimentación y demostración en órbita de nuevas tecnologías, componentes y dispositivos. Los nano satélites son atractivos debido a su pequeño tamaño que hace que sean asequibles y se abre la posibilidad de crear un enjambre de ellos. Pueden aprovecharse de grandes lanzamientos, evitando la necesidad de un lanzamiento dedicado en exclusiva. Desde una perspectiva militar, un nano satélite puede ser útil, ya que su pequeño tamaño podría ayudar a evitar su detección. Será en las constelaciones o enjambres con multitud de nano satélites donde

desarrollarán todo su potencial en el futuro, dando lugar a los sistemas distribuidos con posibilidades superiores, en algunos casos, a las grandes plataformas aisladas.

2.3.1.1 CubeSat

Un CubeSat estándar de 10x10x10cm; como se muestra en la figura 2-3, es un tipo de satélite en miniatura, utilizado para investigación espacial, que frecuentemente tiene un volumen de 1 litro (cubo de 1 dm de arista), masa inferior a 1,33 kg y usa, con frecuencia, componentes comerciales para su electrónica.

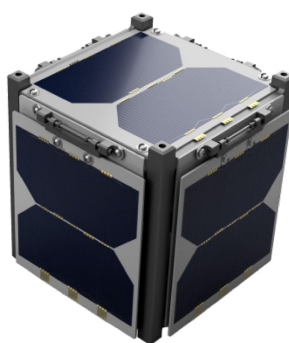


Figura 2-3. Satélite CubSat.

El comienzo del proyecto data de 1999, cuando la California Polytechnic State University (Cal Poly) y la Universidad de Stanford desarrollaron las especificaciones del CubeSat para ayudar a universidades alrededor del mundo a realizar proyectos de ciencia espacial (4).

Aún cuando la mayor parte del desarrollo y lanzamientos de este tipo de satélites proviene de entornos académicos, existen varias compañías que se dedican al desarrollo de estos satélites, principalmente, ClydeSpace y Pumpkin, Inc., así como empresas de mayor envergadura como Boeing.

El diseño referencial del CubeSat fue propuesto en 1999 por el profesor Jordi Puig-Suari de la California Polytechnic State University y el profesor Robert 'Bob' Twiggs de Stanford. El objetivo era permitir a estudiantes de posgrado el diseñar, construir, probar y operar un satélite en el espacio con capacidades similares a las del primer satélite, Sputnik. El CubeSat no buscaba ser convertido en un estándar; más bien, se convirtió en un estándar con el paso del tiempo. Los primeros CubeSats se lanzaron en junio de 2003, en un Eurockot ruso y, al 2017, aproximadamente 535 CubeSat se habían colocado en órbita.

La necesidad de un satélite de ese tamaño se volvió visible en 1998, como resultado de un trabajo realizado en la universidad de Stanford y su facultad de desarrollo de sistemas espaciales. En ella, los

estudiantes habían estado trabajando en el microsatélite OPAL (Orbiting Pico satellite Automated Launcher) desde 1995. La misión del OPAL era desplegar un picosatélite y derivó en un sistema de despliegue que era terriblemente complejo y tenía éxito intermitentemente. Con retrasos acumulados en el proyecto, el profesor Twiggs buscó el apoyo de DARPA, que resultó en el rediseño del mecanismo de lanzamiento a una placa que empujaba los satélites con un resorte, y que los mantenía en su lugar a través de una puerta rebatible.

Deseando disminuir el ciclo de desarrollo que experimentaron con el OPAL e inspirado por los picosatélites que el OPAL llevaba, el profesor Twiggs buscó encontrar la relación ideal entre tamaño y dificultad de desarrollo. Los picosatélites en el OPAL eran de 10.1 x 7.6 x 2.5 cm, un tamaño que no permitía colocar celdas solares en toda el área del satélite, un requerimiento para un satélite que giraba en órbita. Inspirado por una caja de plástico de 4 pulgadas usada para mostrar juguetes en tiendas, Twiggs alentó el cubo de 10 centímetros de arista como una pauta para el nuevo, aún por nombrar, diseño de satélite cúbico. Un nuevo modelo de lanzadera desarrollada para el nuevo satélite se inspiró en aquella diseñada para el OPAL. Twiggs presentó la idea a Puig-Suari en el verano de 1999 y luego en la conferencia de Science, Technology, and Space Applications Program (JUSTSAP) de Japón-Estados Unidos en noviembre de 1999.

2.4 Estadísticas de misiones de nano satélites actuales

En la siguiente sección se presentará una serie de estadísticas que muestran diferentes tendencias, actuales y a futuro sobre las misiones de nano satélites (5).

Estas estadísticas pretenden mostrar las tendencias de las misiones satelitales, en cuanto a su creciente uso, su tipo de mercado, su ámbito, etc.

2.4.1 Lanzamientos por año

En la figura 2-4 se muestran los lanzamientos de nano satélites por año. Como se podrá observar la tendencia se acrecienta y para el 2017 se planea lanzar 600 nano satélites.

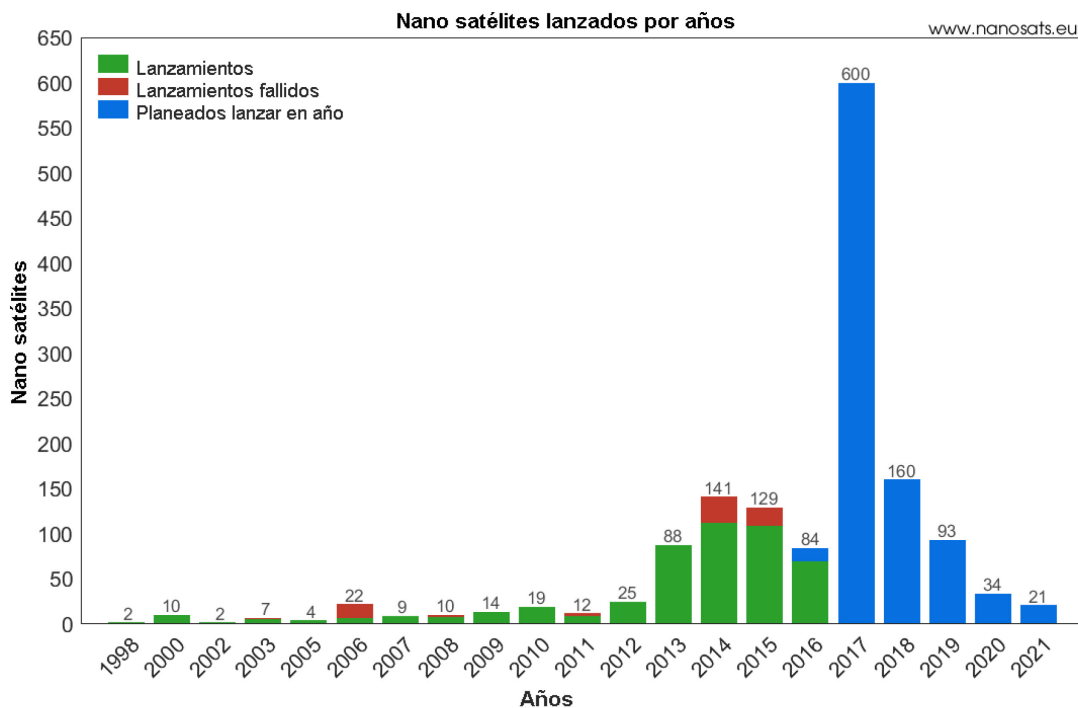


Figura 2-4. Nano satélites lanzados por año.

2.4.2 Nano satélites por países

En la figura 2-5 se muestran las misiones de nano satélites por países o regiones. Como se podrá observar la mayor concentración está en EEUU y Europa.

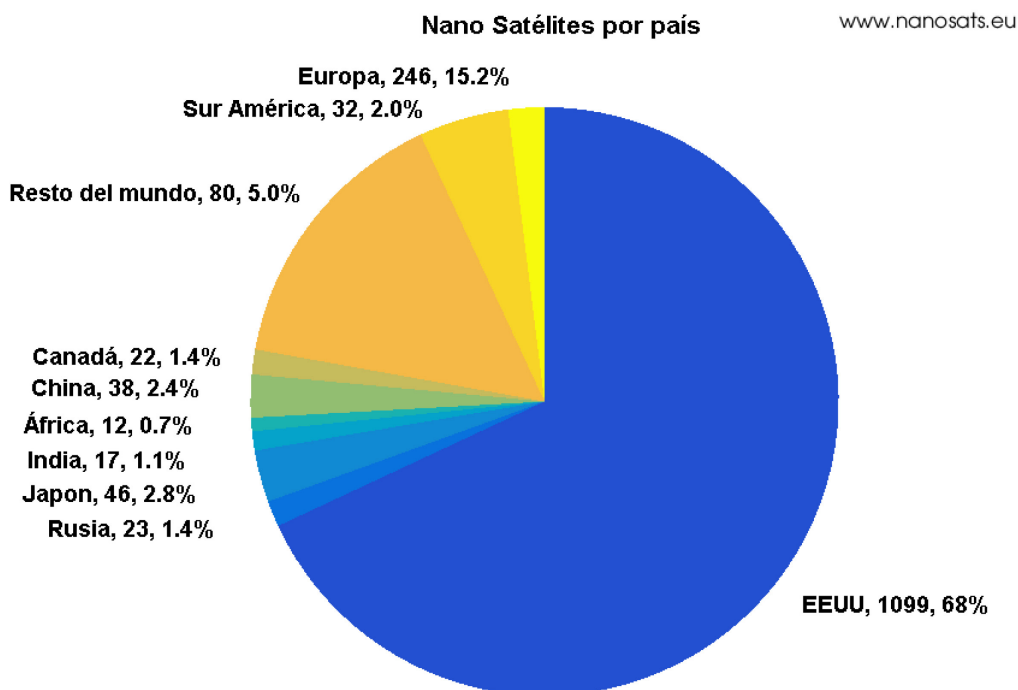


Figura 2-5. Misiones por países.

2.4.3 Nano satélites por organizaciones

En la figura 2-6 se muestran las misiones de nano satélites por tipos de organizaciones. Como se podrá observar la mayor concentración está en empresas privadas y en universidades. Esto demuestra que los nano satélites no son potestad de solo las agencias espaciales, sino de una amplia comunidad.

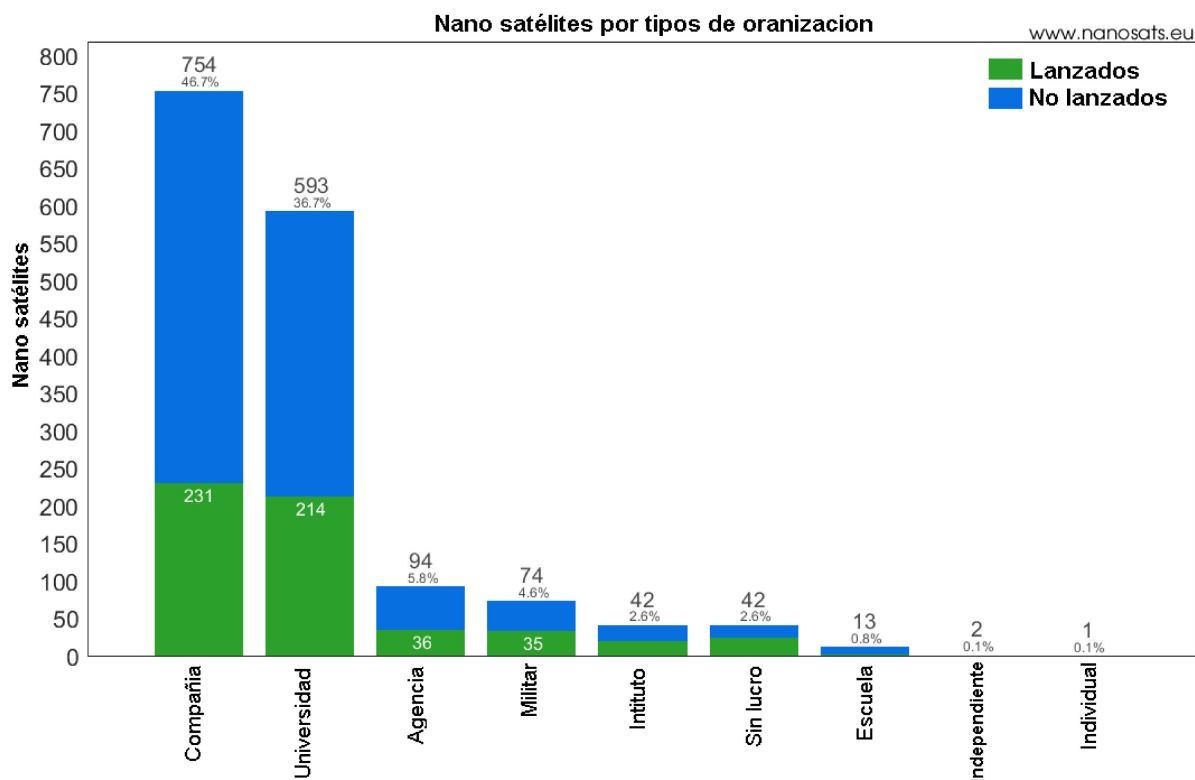


Figura 2-6. Tipos de organizaciones involucradas.

2.4.4 Tipos de nano satélites

En la figura 2-7 se muestran las misiones de nano satélites por tipos. Como se podrá observar la mayor concentración está en los nano satélites de 3 unidades de altura, lo cual fijará un estándar de nano satélite y sus cargas útiles.

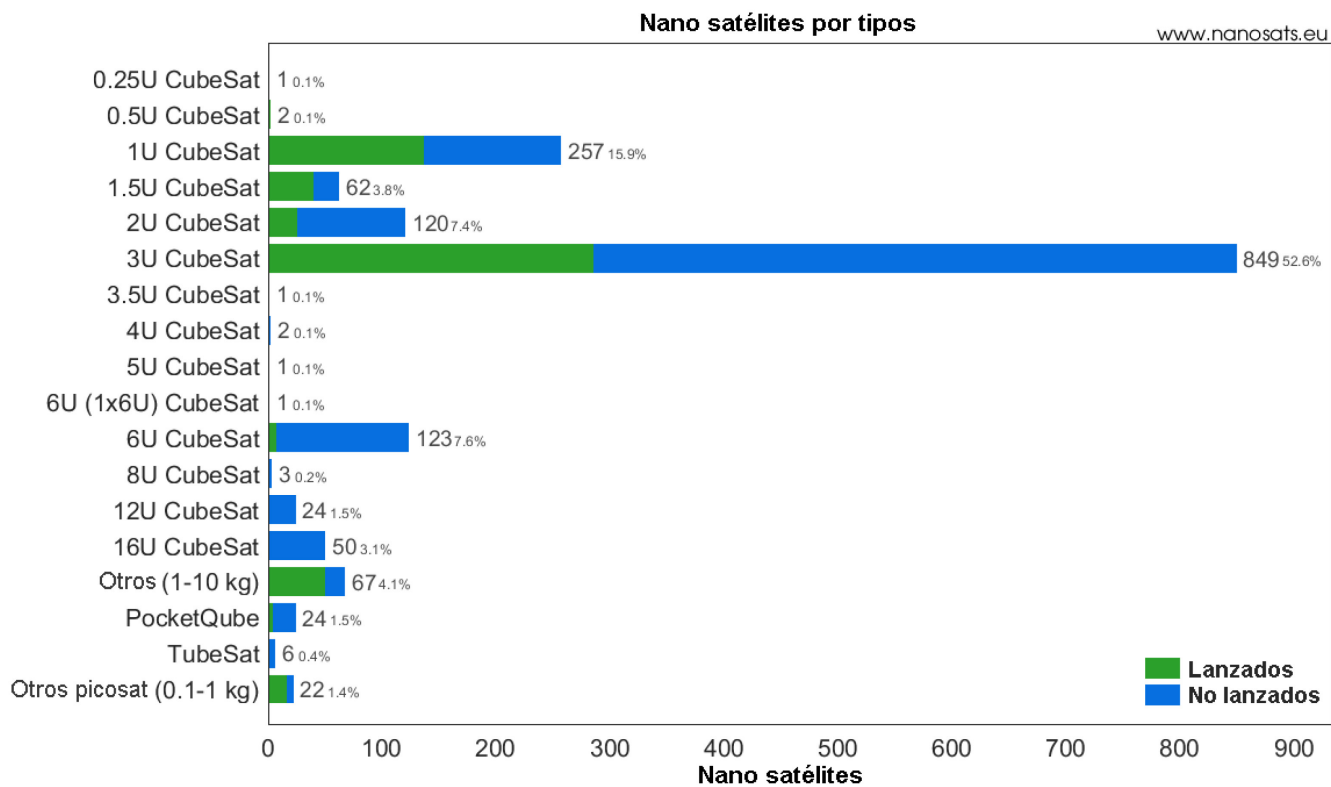


Figura 2-7. Tipo de misión de nano satélite.

3. CONCEPTO DE SEGMENTO TERRENO

El segmento terreno permite que todos los datos del satélite sean sistemáticamente adquiridos, procesados y distribuidos. Incluye elementos para monitorear, controlar los satélites, descargar, procesar y difundir datos a los usuarios. También cuenta con mecanismos para monitorear y controlar la calidad de los productos de datos. La infraestructura está 'distribuida', lo que significa que varios centros están en diferentes lugares, pero están vinculados y coordinados.

Como se observa en la figura 3-8, el Segmento Terreno está formado por los diferentes elementos que trabajan en conjunto:

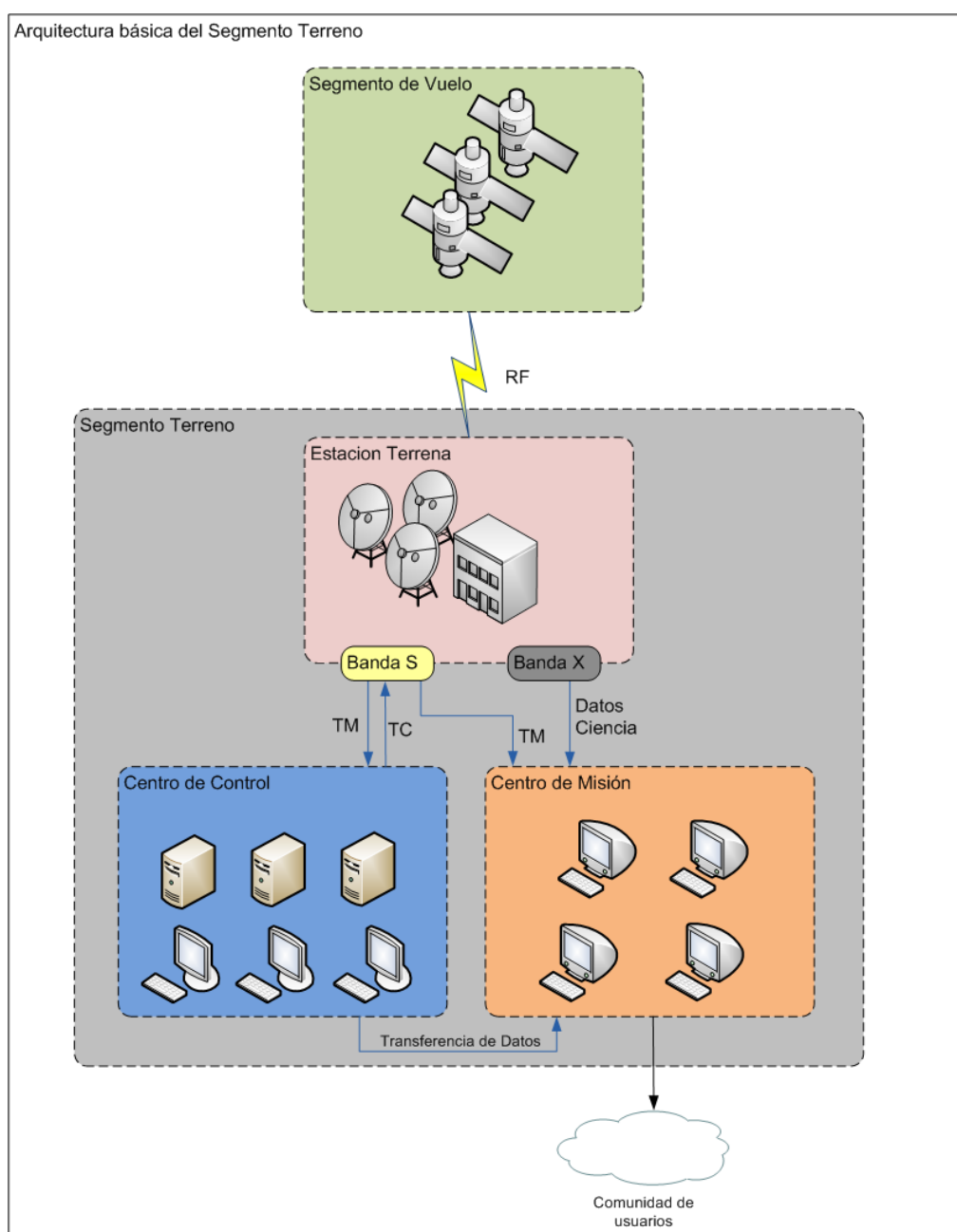


Figura 3-8. Arquitectura básica de Segmento Terreno.

- **Estaciones Terrenas:** encargadas de la comunicación con el satélite.
- **Centro de Control:** encargado de impartir todas las órdenes necesarias para el cumplimiento de la misión.
- **Centro de Misión:** responsable de la obtención de los datos de ciencias, procesamiento y distribución de los mismos hacia la comunidad de usuarios.

3.1 Definiciones

A continuación se detallan unas definiciones propias de los elementos del segmento terreno:

- **Telemetría:** se refiere a la recepción de señales provenientes del satélite como son: voltajes, corrientes, temperaturas, cargas, atenuaciones, potencias, etc.
- **Comando:** es una instrucción o conjunto de instrucciones que se envían al satélite, ya sea manual o automáticamente, para que éste realice una tarea predeterminada.
- **Banda Base:** frecuencia para modular la señales portadoras.
- **Tracking:** se conoce como tracking a la función de seguimiento de la antena para captar la señal del satélite.
- **Trama:** se conoce como una unidad de envío de datos, en la cual se extrae los paquetes de telemetría cuando llegan al destino.
- **TLE:** Un conjunto de elementos de dos líneas (Two Line Element) es un formato de datos que codifica una lista de elementos orbitales de un objeto en órbita terrestre para un determinado punto en el tiempo. Utilizando la fórmula de predicción adecuada, el estado (posición y velocidad) en cualquier punto en el pasado o el futuro se puede estimar con cierta precisión su órbita.

3.2 Estación Terrena

El propósito fundamental de una estación terrena es permitir la comunicación entre los equipos de tierra y los satélites. Además de los equipos de radiofrecuencia necesarios para la comunicación por microondas, la estación terrestre tradicionalmente cuenta con una serie de sistemas de apoyo para las necesidades específicas de la misión.

Como se observa en la figura 3-9, las estaciones terrenas proporcionan interfaces de radio entre el espacio y los segmentos de tierra para la telemetría, el seguimiento y el comando (TT&C), así como la transmisión de datos de la carga útil y la recepción.

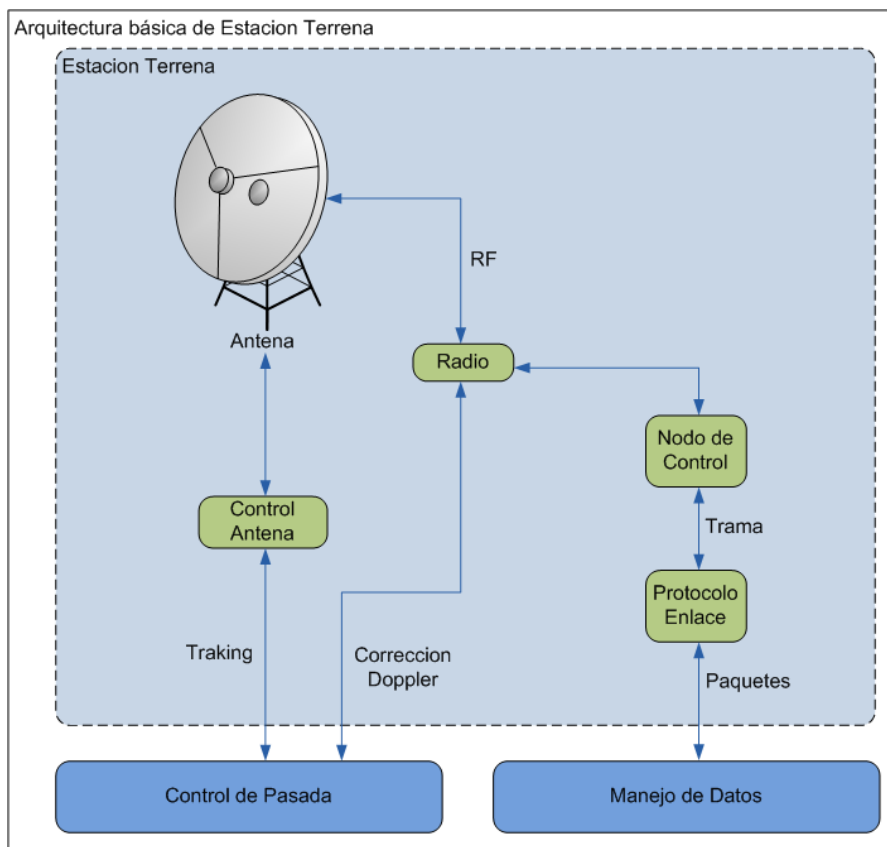


Figura 3-9. Arquitectura básica de Estación Terrena.

Las estaciones terrenas están compuestas por los siguientes elementos:

- Antenas
- Amplificadores
- Convertidores de Frecuencia
- Equipos de Banda base
- Equipo de cómputo.
- Demultiplexadores de flujos de datos
- Equipos RF transmisor/Receptor
- Equipos de TT&C

3.2.1 Funciones de una Estación Terrena

Pasadas

Una pasada es el momento en el cual la estación tiene visibilidad del satélite y permite la transmisión y recepción de datos. El momento de la pasada está determinado por la ubicación de las estaciones terrestres y por las características de la órbita del satélite.

Transmisión y recepción

Las señales de banda base que deben ser enlazadas a un satélite deben extraerse primero de paquetes de red terrestres, codificadas y moduladas, típicamente sobre una portadora de frecuencia intermedia (IF), antes de ser convertidas a la banda de radiofrecuencia asignada (RF). La señal de RF se amplifica entonces a alta potencia y se transporta a través de una guía de ondas a una antena para su transmisión.

Las señales recibidas (de enlace descendente) se pasan a través de un amplificador de bajo ruido (a menudo situado en el cubo de antena para minimizar la distancia a la que debe viajar la señal) antes de convertirlo a IF.

Estas dos funciones se pueden combinar en un convertidor descendente de bloque de bajo ruido. La señal IF se desmodula entonces, y la corriente de datos se extrae mediante sincronización y decodificación de bits y tramas. Los errores de datos, como los causados por la degradación de la señal, se identifican y corrigen cuando es posible. El flujo de datos decodificado se guarda en archivos para su transmisión en la red terrestre. Las estaciones terrestres pueden almacenar temporalmente la telemetría recibida para su posterior reproducción a los centros de control.

Un solo satélite puede hacer uso de múltiples bandas de RF para diferentes flujos de datos de telemetría, comando y carga útil (banda S telemetría, y banda X carga útil), dependiendo del ancho de banda y otros requisitos.

Seguimiento y Alcance

Las estaciones de tierra deben rastrear el satélite para apuntar sus antenas correctamente, y deben explicar el desplazamiento Doppler de las frecuencias de RF debido al movimiento del satélite. Las estaciones de tierra pueden también realizar la variación automatizada; los tonos de alcance pueden multiplexarse con señales de comando y telemetría. Los datos de seguimiento y de alcance de la estación de tierra se pasan al centro de control junto con la telemetría del satélite.

3.3 Centro de Control

El Centro de Control Satelital tiene la función de cuidar, controlar, operar, mantener, medir, comprobar, y verificar todo lo relacionado con el satélite mientras dure su vida útil.

Los centros de control procesan, distribuyen y realizan algunos análisis de telemetría, también emiten comandos, envío de datos y actualizaciones de software a los satélites.

Como se observa en la figura 3-10 la arquitectura de un centro de control está formada por:

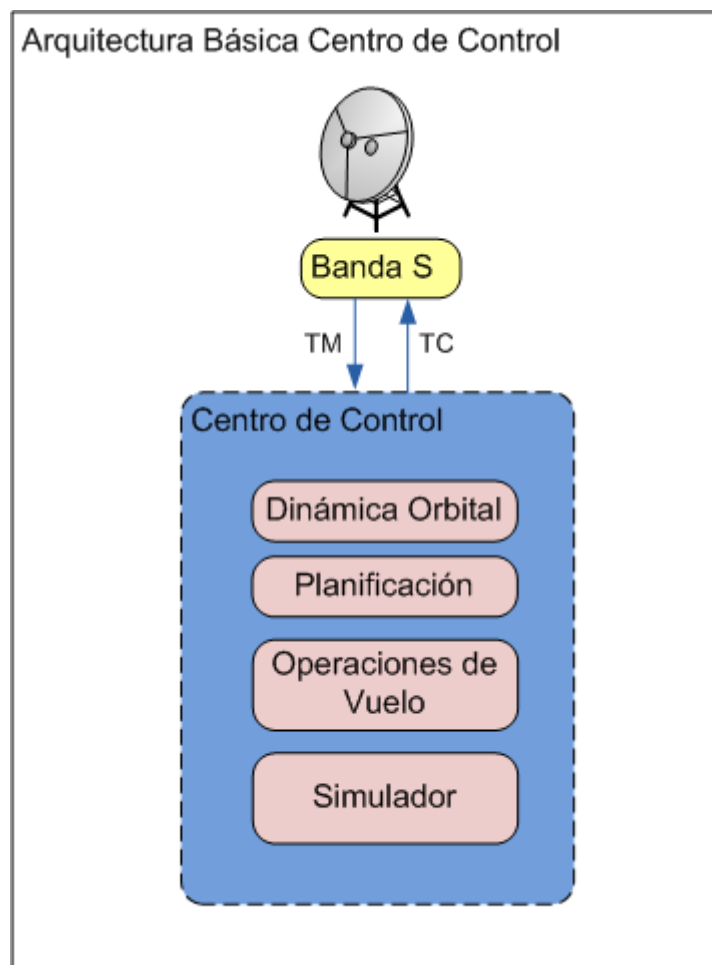


Figura 3-10. Arquitectura básica Centro de Control.

- **Dinámica Orbital:** área y sistemas encargados del cálculo, mantenimiento y control de la órbita del satélite.
- **Planificación:** área y sistemas encargados de la planificación para la subida de comandos, bajada de telemetría y datos de carga útil según la planificación de pasadas que se realice con el satélite.
- **Operaciones de Vuelo:** área responsable de todas las operaciones de vuelo del satélite, incluyendo el monitoreo y control, la ejecución de todas las actividades de la plataforma.
- **Simulador:** Los procedimientos del satélite se desarrollan a menudo y se prueban contra un simulador antes de utilizar con el satélite real.

Normalmente hay sitios de respaldo desde los cuales se puede mantener el control de la misión si hay un problema en el centro de control primario que lo hace incapaz de operar, como un desastre natural; tales contingencias se consideran en un plan de Continuidad de Operaciones.

Los centros de control están continuamente o regularmente atendidos por los operadores de vuelo. Cada vez con más frecuencia, los centros de control de satélites pueden realizar la operación automatizada, como medio de controlar los costos. El software de control de vuelo normalmente generará alertas sobre eventos significativos -tanto planificados como no planificados- en el segmento terrestre o espacial que puedan requerir la acción del operador.

3.3.1 Funciones principales

Procesamiento de telemetría

Los centros de control usan la telemetría recibida para determinar el estado de un satélite y sus sistemas. Los diferentes tipos de telemetría pueden ser llevados por canales virtuales separados. El software de control de vuelo realiza el procesamiento inicial de la telemetría recibida, incluyendo:

- Separación y distribución de canales virtuales.
- Ordenamiento y control de las tramas recibidas
- Conversión de datos brutos a valores de ingeniería y cálculo de parámetros derivados
- Control de límites y restricciones, que pueden generar notificaciones de alerta.

Se solicita a una base de datos de telemetría que proporcione información sobre el formato de telemetría, las posiciones y frecuencias de los parámetros dentro de los marcos y sus mnemotécnicos, calibraciones y límites inferiores y superiores asociados. Esta base de datos, especialmente las calibraciones y los límites de telemetría, se pueden actualizar para mantener la coherencia con el software de vuelo y los procedimientos operativos; Estos pueden cambiar durante la vida de una misión en respuesta a actualizaciones, degradación de hardware en el entorno espacial y cambios en los parámetros de la misión.

Comandos

Los comandos de la nave espacial se formatean de acuerdo con la base de datos del satélite y se validan contra la base de datos antes de ser transmitidos. Los comandos pueden ser emitidos manualmente en tiempo real, o pueden ser parte de procedimientos automatizados o semiautomáticos. Normalmente, los comandos recibidos son reconocidos en telemetría. En ciertos casos, se puede realizar un control en bucle cerrado. Las actividades dirigidas pueden pertenecer directamente a los objetivos de la misión. Los comandos (y la telemetría) pueden ser cifrados para impedir el acceso no autorizado a la nave espacial o sus datos.

3.4 Centro de Misión

El centro de misión es responsable de la adquisición y control de los datos y las tareas asignadas a la carga útil del satélite.

Tiene por objetivo el procesamiento de los datos de la carga útil (instrumentos), almacenamiento y distribución de los mismos hacia la comunidad de usuarios.

Como se observa en la figura 3-11, los datos una vez captados son enviados a la tierra donde se reciben en una estación receptora, que los envía a un centro de proceso de datos donde se decodifican las señales recibidas y se someten a procesos de corrección y georeferenciación.

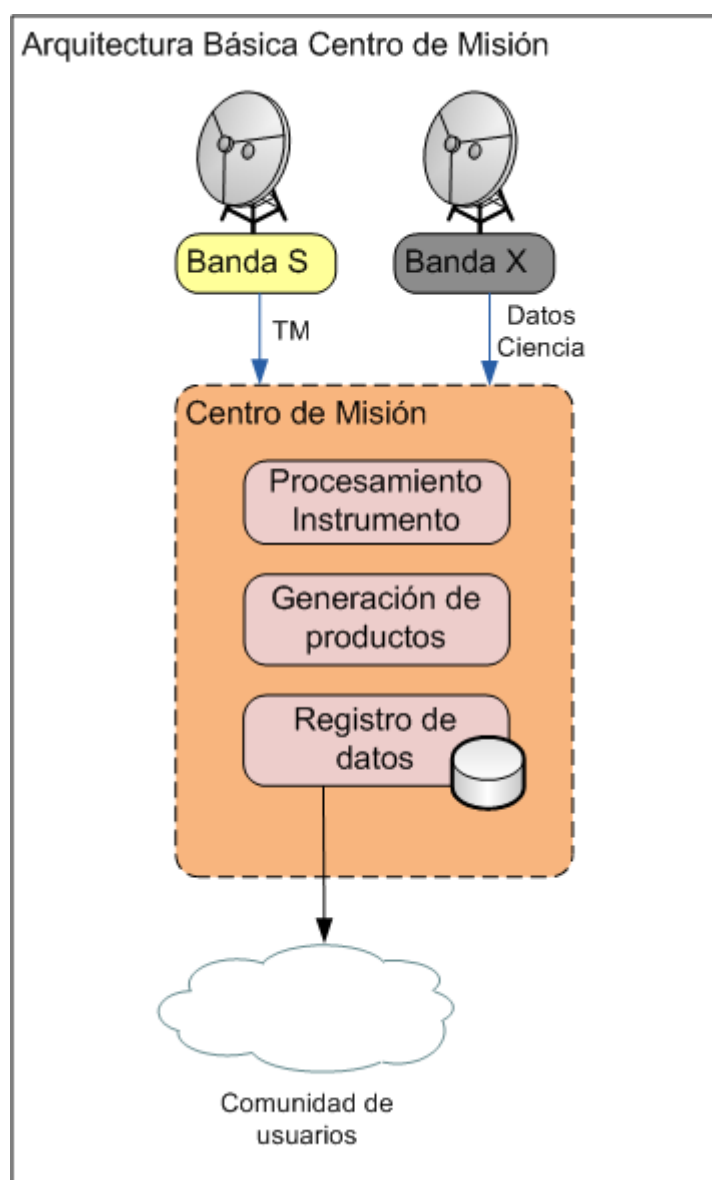


Figura 3-11. Arquitectura básica de Centro de Misión.

3.4.1 Funciones principales

Veamos con mayor detalle, el camino que sigue una señal de satélite desde que es captada por una antena receptora, hasta que es digitalizada y almacenada en un soporte informático.

Primeramente, la señal de alta frecuencia se limpia de ruido y se convierte a una frecuencia intermedia.

La frecuencia intermedia se convierte a datos digitales y se desdobra en dos señales diferentes: los datos y la señal de sincronismo. Esta información se almacena en sistemas informáticos de alta capacidad.

Posteriormente los datos digitales se someten a un "sincronizador de cuadro" que genera el formato de imagen satélite que ya puede ser tratado por los programas de corrección y análisis de imágenes.

Las imágenes recibidas deben ser corregidas por sistemas informáticos a nivel geométrico (a causa de la curvatura de la Tierra) y radiométrico (para eliminar los artefactos no deseados debidos a los efectos de la atmósfera, la iluminación solar, o los efectos del relieve).

Finalmente las imágenes se almacenan en bases de datos, diseñadas para gestionar grandes volúmenes de información. A pesar de la complejidad del sistema, se ofrece a los usuarios un único punto de acceso virtual para localizar y descargar productos.

4. INFRAESTRUCTURA DE SEGMENTO TERRENO PARA NANO SATELITES

4.1 Introducción

En base a lo expuesto en los capítulos anteriores, sobre el desarrollo de misiones de nano satélites desde el ámbito universitario y de organizaciones privadas, es que en este trabajo planteamos una nueva arquitectura de segmento terreno distinta a la que usan las agencias espaciales y grandes misiones satelitales.

Por lo general los satélites tradicionales transmiten sus señales en bandas de alta frecuencia (banda S 2GHz, banda X 8 GHz), con lo cual requieren una infraestructura compleja, como grandes antenas, equipos de transmisión de gran potencia, etc. En contrapartida los nano satélites, en general, transmiten en una banda de radio frecuencia abierta de FM (ej. 137-138 MHz), con lo que requerirán de una infraestructura menos compleja de desplegar y con menor mantenimiento.

En este capítulo se describirán los conceptos de arquitectura e infraestructura para misiones de nano satélites.

4.2 Concepto de arquitectura abierta de segmento terreno

Se plantea como concepto de arquitectura abierta de segmento terreno a todo el desarrollo e implementación de una arquitectura que utilice software libre, plataformas de hardware de código abierto e internet como medio de transmisión de la información.

El alcance de este tipo de arquitecturas es crear una pila de tecnologías abiertas basadas en estándares abiertos, que permitan desplegar un segmento terreno y estaciones terrenas de alcance global, a bajo costo y mantenimiento.

Las distintas misiones de nano satélites puede aprovechar estas arquitecturas, ya sean desplegadas por la misión o terceros, con el fin de reducir costos y tener un mayor alcance global de su segmento terreno. Al ser arquitecturas abiertas pueden ser aprovechadas por diferentes misiones, ya sea compartiendo parte del segmento terreno o realizando aportes a su desarrollos.

En la figura 4-12 se detalla el concepto de arquitectura abierta.

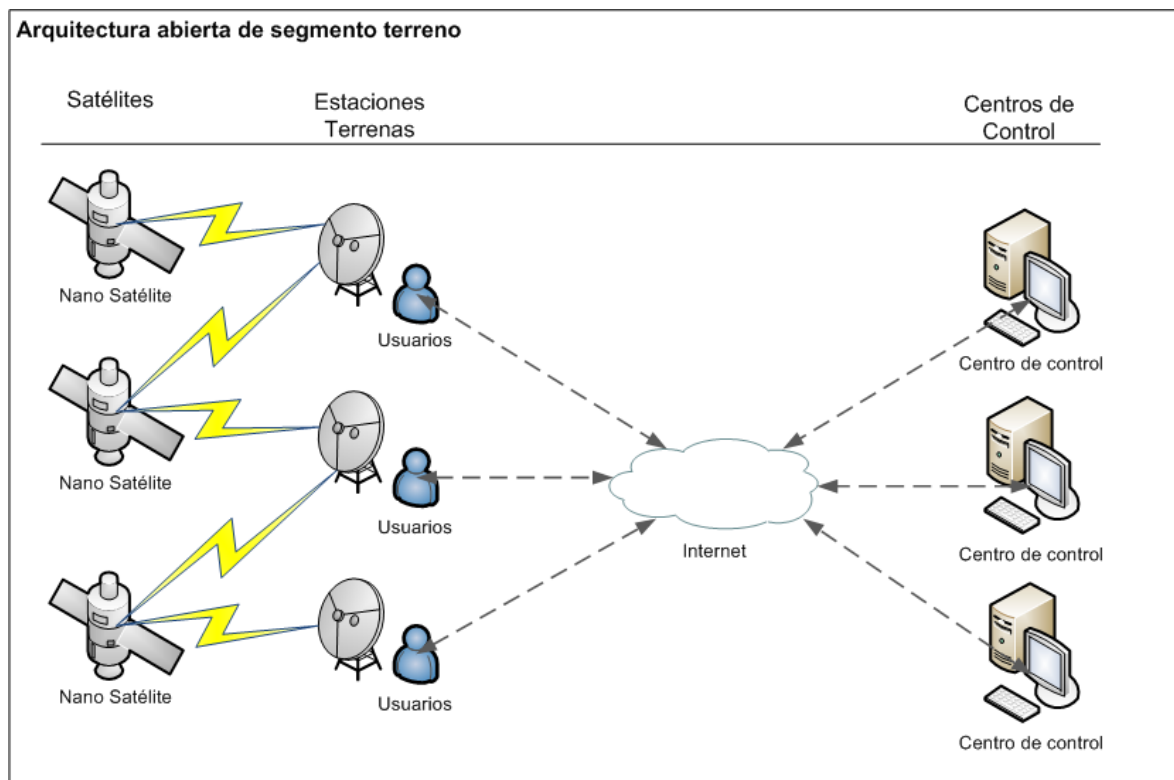


Figura 4-12. Arquitectura abierta de segmento terreno.

La principal ventaja de esta arquitectura es que se pueden desplegar las estaciones terrenas por todo el mundo, de manera independiente a la misión, y así aprovechando la cobertura de internet, poder establecer contacto con diferentes satélites y distribuir los datos de los mismos.

Los principales componentes de esta arquitectura son:

Estaciones terrenas de usuarios

Se denominan estaciones terrenas de usuarios, aquellas estaciones que pueden ser implementadas por usuarios particulares, universidades u organizaciones, bajo esta arquitectura abierta, las cuales podrán prestar servicios de interfaces contra los satélites a un bajo costo. Con lo cual se evitaría tener que utilizar las grandes estaciones terrenas de agencias espaciales u organismos privados, con un alto costo y baja disponibilidad de las mismas.

Centros de control de misiones

Los centros de control y de misión podrán ser desplegados en universidades u organismos privados, los cuales tendrán como tareas, las planificaciones de las adquisiciones con las estaciones terrenas de usuarios, para la subida de comandos, bajadas de telemetría y datos de ciencia. También dispondrán de almacenamiento de los datos, procesamiento y distribución de los mismos.

Red de datos

Para las conexiones con las estaciones terrenas de usuarios, los centros de control y la distribución de los datos se utilizara Internet como principal medio de comunicaciones. Esto permitirá una mayor cobertura de conexión contra las estaciones y por consiguiente el ahorro de costos de tener que montar una red de datos dedicada al segmento terreno, como sucede en las agencias espaciales.

4.3 Despliegue de una estación terrena de usuario

En esta sección se describirá, en rasgos generales, el diseño conceptual de una estación terrena de usuario. Las cuáles son los elementos más significativos de la arquitectura abierta de segmento terreno.

Este diseño plantea una serie de hardware y software estándares y de arquitecturas abiertas para implementar de manera genérica una estación terrena de usuario y permitir establecer contacto con los satélites de manera estándar y simple.

En la figura 4-13 se muestra el diseño de la estación, en la cual se detallan los módulos necesarios que se desplegarán.

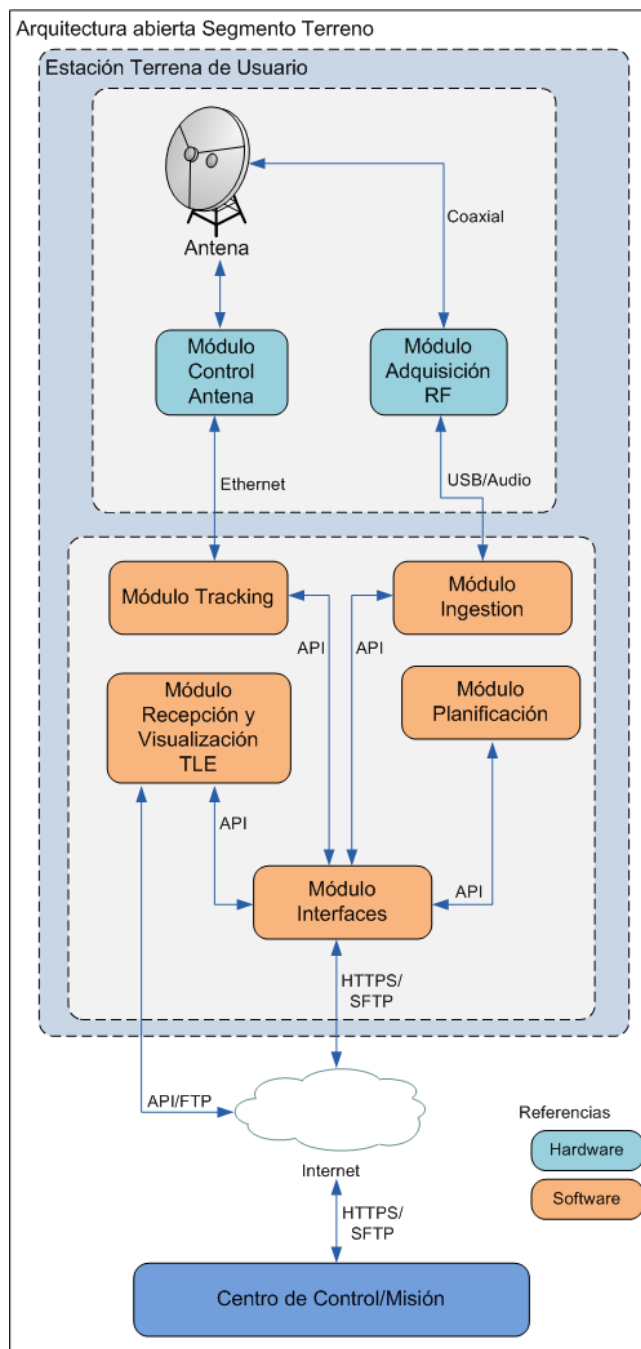


Figura 4-13. Módulos de estación terrena de usuario.

Dichos módulos corresponden tanto a hardware como a software que se necesita para su correcto funcionamiento. A continuación se especifica la función de cada módulo:

- **Antena:** es una clásica antena de dipolos o tipo yagui utilizados en radio bases.
- **Módulo de control de antena:** este módulo es responsable de mover la antena para el seguimiento del satélite, el mismo es mecánico-electrónico.

- **Módulo de adquisición de RF:** este módulo es el responsable de la comunicación por RF con el satélite. Este módulo puede ser un equipo del tipo radio base o un SDR (radio definido por software).
- **Módulo Interfaces:** este módulo de software proveerá el conjunto de interfaces para la comunicación de los diferentes módulos, como así también, las comunicaciones externas a la estación.
- **Módulo de planificación:** este módulo es el encargado de tomar las diferentes planificaciones enviadas por los centros de control de las distintas misiones de nano satélites, para los contactos con los satélites.
- **Módulo de ingestión:** es el módulo que permitirá capturar la señal del modulo de RF y almacenarla en un archivo para ser enviada al centro de control.
- **Módulo de recepción y visualización TLE:** este módulo permitirá tomar el TLE del satélite, visualizar su ubicación y enviar el dato para el seguimiento del satélite.
- **Módulo de Tracking:** este módulo permite convertir los datos que recibe de la ubicación del satélite, desde el modulo de recepción de TLE y enviárselos a la antena para su movimiento y seguimiento del satélite.

5. ANALISIS

5.1 Introducción

En el presente capítulo se realizarán análisis de factibilidad para el despliegue de una infraestructura abierta de segmento terreno para misiones de nano satélites. Dicha factibilidad a analizar corresponderá desde los puntos de vista técnico, económico y de disponibilidad de recursos existentes.

Como fundamento para los análisis se ha tenido en cuenta dos proyectos que hay en la actualidad sobre despliegues de estaciones terrenas abiertas, como el proyecto Satnogs (6), que especifica una plataforma abierta de estaciones terrenas y una comunidad de usuarios. Otro proyecto similar a Satnogs, es Infostellar Inc (7).

5.2 Factibilidad técnica

Como se planteó en el capítulo anterior, los elementos más importantes a ser analizados son las estaciones terrenas de usuarios y la red de datos global. Para el despliegue de dichos componentes, podemos utilizar los siguientes métodos:

5.2.1 *Red de radioaficionados para las estaciones terrenas*

Para lograr un despliegue global de las estaciones terrenas de usuarios, se puede plantear la disponibilidad de la comunidad mundial de radioaficionados existentes. La comunidad de radioaficionados tiene como ventajas que en la actualidad sigue muy activa, son personas con un buen conocimiento técnico y una disciplina en las operaciones de los equipos. Por lo cual, esta comunidad, presenta una oportunidad ideal para el despliegue de las estaciones terrenas de usuarios. Un ejemplo de ello es la comunidad de voluntarios de AMSAT (8), que llevan más de 48 años trabajando para la comunidad de radioaficionados y las actividades espaciales.

5.2.2 *Internet como red de interconexión del segmento terreno*

En las redes clásicas de estaciones terrenas, el centro de control de la misión es responsable de recopilar datos científicos y operativos. En las redes de estaciones terrenas de usuarios, propuesta en este trabajo, la topología es altamente distribuida y hace que sea más sofisticado llevar los datos desde la fuente hasta el destino (los datos satelitales tienen que encontrar su ruta de regreso al centro de control), lo cual se realiza mediante la utilización de Internet.

Los sistemas UHF/VHF utilizan a menudo antenas dipolo, que normalmente tienen una directividad limitada, por lo que la huella de RF de esos satélites es muy grande. Ejemplo, para un satélite sobre Europa, un gran número de estaciones terrenas pueden recibir sus señales en paralelo al mismo tiempo. En las redes clásicas de estaciones terrenas no se realiza el seguimiento paralelo, por una parte porque el haz de satélite es relativamente estrecho y, por otra, reservar varias estaciones terrenas de una agencia espacial puede resultar muy costoso. Las redes de estaciones terrenas brindadas por la comunidad de radioaficionados comparten sus recursos sin interés comercial y promueven de esta manera la recepción paralela de un flujo de datos desde un único satélite. La recepción paralela de enlaces descendentes desde un satélite contiene tanto oportunidades como desafíos. La oportunidad consiste en aprovechar los enlaces redundantes de las estaciones terrenas, por ejemplo para la robustez. El reto es la realización de un sistema de este tipo utilizando métodos adecuados de gestión, sincronización y seguridad de los datos.

El sistema de gestión de datos introducido en este capítulo surgió de la idea de combinar varios flujos de datos del mismo satélite, recibidos en estaciones terrestres geográficamente distribuidas. Teóricamente, estos flujos de datos recibidos en paralelo en estaciones terrenales deberían ser idénticos, en realidad los datos recibidos difieren debido principalmente a dos factores:

El tiempo de contacto entre el satélite y las estaciones terrestres individuales difiere para las huellas superpuestas. Cuando se tienen en cuenta dos estaciones terrestres que se superponen, pero están geográficamente distantes, todavía queda un pequeño período de tiempo en el que sólo una de ellas estará en contacto con el satélite. Esto da como resultado diferentes conjuntos de cuadros de datos recibidos en las estaciones individuales.

A partir de las circunstancias descritas anteriormente, un análisis correcto sería disponer de un sistema que combinara automáticamente los diferentes flujos de datos recibidos en torno a un dentro de control sólo supervisaría entonces un único flujo de datos "virtual", compuesto por la información de los flujos recibidos en la red. La combinación de varios flujos de datos del mismo satélite recibidos en estaciones terrestres superpuestas y geográficamente distribuidas se enfrenta a los siguientes desafíos:

Sincronización de tiempo

Poner las tramas de datos en el orden correcto en una escala de tiempo global. Debido a los relojes no sincronizados en las estaciones terrenas y a los retrasos de transmisión en el espacio y en la Tierra, el orden temporal de los paquetes puede ser alterado. Para ellos se propone la utilización del protocolo

de sincronización de tiempo NTP, el cual permitirá a todas las estaciones estar sincronizadas con el mismo uso horario. Como zona horaria estandarizada se utiliza el meridiano de Greenwich (GTM).

Corrección de errores

Los datos recibidos pueden corromperse, resultando en errores de bits o incluso faltar paquetes. Los errores de transmisión son causados por perturbaciones atmosféricas, baja relación señal/ruido o inexactitudes en el lado del receptor. Por lo tanto, el contenido de las tramas de datos puede diferir, incluso si corresponde al mismo paquete de datos.

Esto lleva a la situación de que los flujos de datos recibidos (o paquetes de datos) están en una gran fracción idéntica para estaciones terrestres que se superponen, sólo una pequeña parte difiere en información dañada o perdida. El principio de corrección de errores consiste en reducir la cantidad de errores de transmisión mediante el uso adecuado de redundancia artificialmente añadida. Este tipo de corrección de errores se llama Forward Error Correction (FEC). FEC es una estrategia muy común en las comunicaciones satelitales para garantizar la robustez de los errores en el canal de comunicación. El principio se basa en añadir redundancia para permitir la corrección de errores de transmisión en el lado del receptor. Esto es razonable para la comunicación inalámbrica en general, es decir también en comunicaciones por satélite.

Intercambio de datos

Como análisis para el intercambio de datos, ya sea en tiempo real, como datos almacenados se propone la utilización de la distribución de datos satelitales por una red híbrida peer-to-peer, supervisada desde un servidor de autenticación. El intercambio de datos sólo tiene lugar entre el cliente peer (estación terrena de usuario) y los servidor peer (centro de control).

Otra estrategia es utilizar una estructura de cliente de servidor para intercambiar datos en la red basado en la arquitectura de la tecnología Web Services para operaciones remotas.

Seguridad Redes

Otro aspecto importante cuando tenemos redes distribuidas en la seguridad de los accesos y datos compartidos. Para ello se puede optar como estrategia el uso de enlaces encriptados mediante VPN o en si se opta por web services, utilizar protocolos de encriptación.

También se debe utilizar diferentes métodos de autenticación a la hora de transferir datos, ya sea en tiempo real o datos almacenados, el servicio de autenticación debe ser provisto por el centro de control.

En la figura 5-14 se muestra un esquema de la arquitectura abierta de segmento terreno con los elementos analizados.

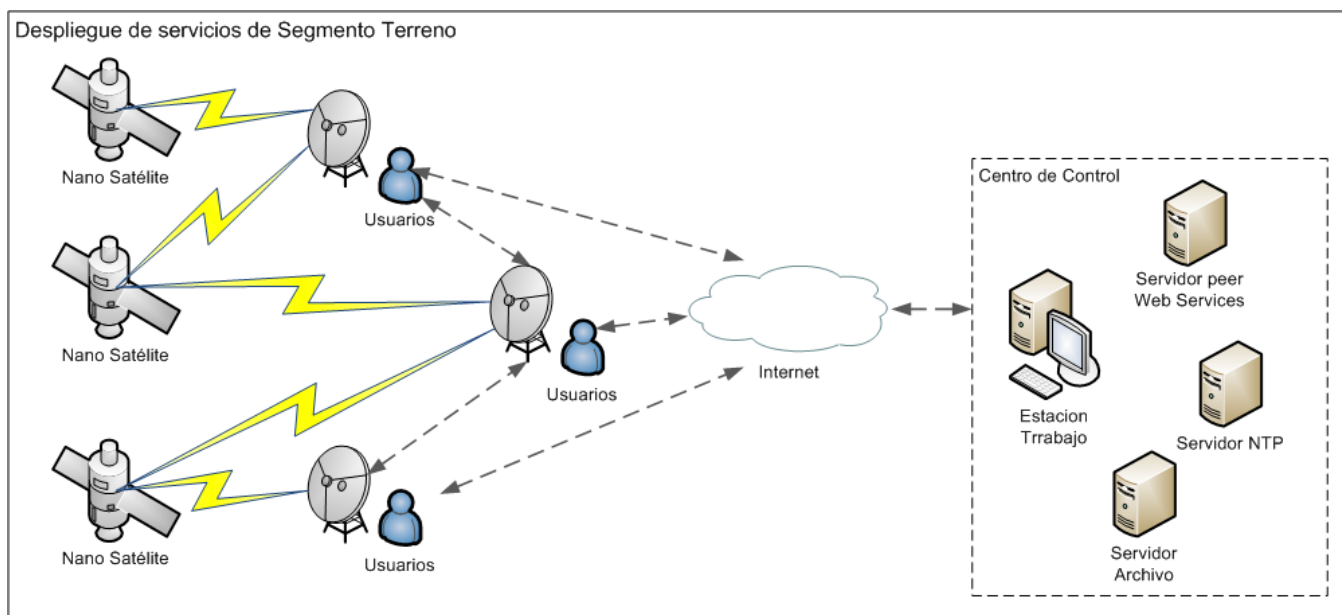


Figura 5-14. Servicios de Segmento Terreno.

5.3 Factibilidad económica

Como análisis de factibilidad económica para el despliegue del segmento terreno para misiones de nano satélites, se basa fundamentalmente en el despliegue de las estaciones terrenas de usuarios realizado mediante la comunidad de radioaficionados. Esto permite una reducción significativa de los costos para montar un segmento terreno de alcance global, en contrapartida de tener que montar una infraestructura de estaciones propias y redes propias, o tener que contratar/alquilar infraestructura de las agencia espaciales.

5.3.1 Costo de desplegar una estación terrena de usuario

Se puede establecer un valor promedio para una estación terrena de U\$D 760. Este valor se estableció como referencia de los elementos necesarios a adquirir para montar dicha estación (Anexo A).

5.3.2 Aplicación del modelo de economía compartida

Otro análisis importante es que se puede adaptar perfectamente el modelo de economía compartida o colaborativa (9) para la comunidad de usuarios que monten sus propias estaciones terrenas. "La economía compartida" es un término utilizado para describir un servicio que permite a individuos o grupos generar ingresos con activos inactivos.

Como se puede observar en la figura 5-15, el ejemplo típico de economía compartida del servicio de transporte Uber.

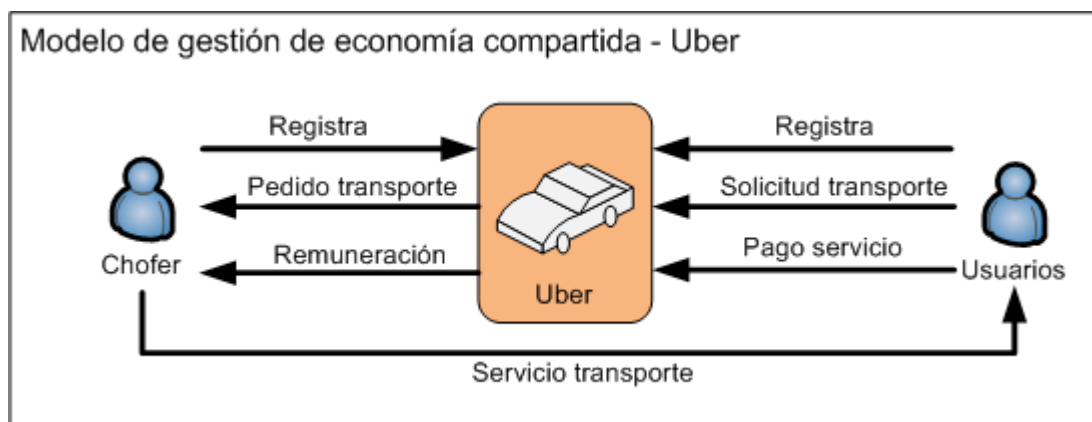


Figura 5-15. Modelo de Uber.

Este modelo, básicamente, permite compartir un recurso ocioso hacia un cliente que lo necesite, por un costo menor al tradicional.

En la figura 5-16 se puede observar un modelo similar al anterior, sobre el servicio de estaciones terrenas.

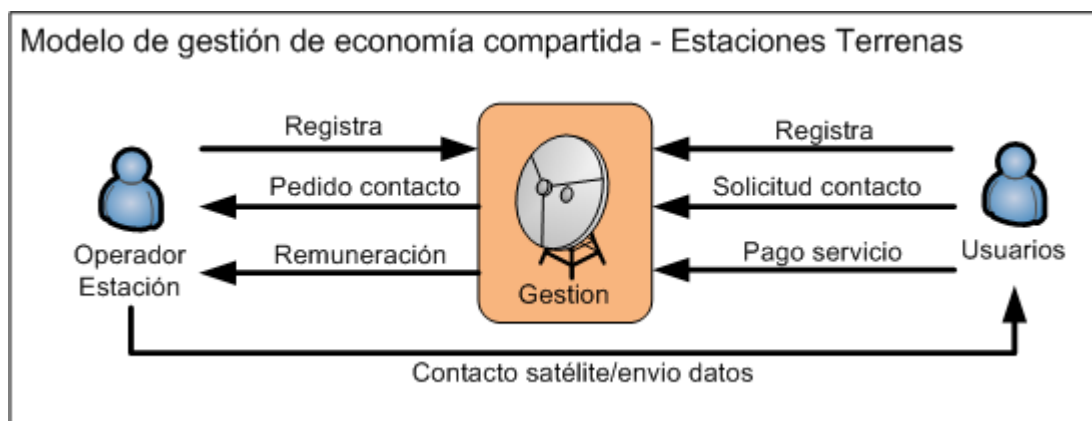


Figura 5-16. Modelo para las estaciones terrenas de usuarios.

Lo que permitirá compartir los recursos que disponga un radioaficionado para establecer contacto con el satélite y las diferentes misiones de nano satélites hacer un uso compartido de estos recursos a un costo menor que una estación tradicional.

6. CONCLUSION Y FUTUROS TRABAJOS

6.1 Conclusiones

Como principal conclusión, en base al trabajo y los análisis realizados, podemos decir que este modelo de segmento terreno de arquitectura abierta para misiones satelitales es totalmente factible de ser implementado.

Por lo expuesto en el capítulo 1, sobre la tendencia creciente de misiones de nano satélites, es necesario consolidar un esquema de segmento terreno abierto, para acompañar a esta tendencia creciente y disponer de una mayor cobertura y soporte a nivel global. Con lo cual posicionaría a las misiones de nano satélites como principal proveedoras de información satelital de alta demanda (registro óptico, información agroalimenticia, catástrofes naturales, etc).

En base a los análisis realizados en el capítulo 5, se pudo observar una factibilidad, tanto técnica, operativa, como económica para el despliegue de un segmento terreno de arquitectura abierta.

6.2 Futuros trabajos

Como futuros trabajos, se plantea realizar, utilizando como base la arquitectura del proyecto de Satnogs, el diseño y desarrollo de un sistema de planificación global para las estaciones terrenas de usuarios, que permita registrar tanto los pedidos de contactos de las diferentes misiones satelitales, como el usuario de estaciones terrenas que deseen brindar el servicio de contactos (10). Este sistema de planificación, se puede plantear como centralizado en una infraestructura tipo nube o un servicio desplegado en un centro de control para múltiples estaciones o en cada estación terrea para múltiple misiones.

El diseño de un sistema de pre procesamiento de detección de emergencias ambientales o de la plataforma del satélite, por parte de las estaciones terrenas (11). Esto es la posibilidad de que las estaciones terrenas captan los datos de ciencia que envíe el satélite, pre procesen la información y envíen las alertas al centro de control para que tome acciones. Ej., si dispongo de una amplia constelación de nano satélites y una red global de estaciones terrenas, podría pre procesar las imágenes que capturen los satélites de un naufragio y dar alerta temprana, a diferencia de los satélites tradicionales que deben bajar la información y procesarla en otro ambiente, con la pérdida de tiempo valioso. Otro ejemplo será la captura a alguna emergencia en la plataforma del satélite que sea detectada a tiempo por una estación y dar aviso al centro de control para que tome acciones, a fin de preservar el satélite.

7. REFERENCIAS

1. **Vázquez Valenzuela, Rafael.** *Astronáutica y Vehículos Espaciales*. s.l. : Departamento de Ingeniería Aeroespacial - Escuela Superior de Ingenieros, Universidad de Sevilla, 2012.
2. **Fortescue, P., Stark, J. y Swinerd, G.** *Spacecraft systems engineering. 3rd ed.* s.l. : Chichester ; New York: Wiley, corp., 2003.
3. **Janson, Siegfried W.** *Small Satellites: Past, Present, and Future*. 2008.
4. **University, California State Polytechnic.** *CubeSat Design Specification Rev. 13*. s.l. : California State Polytechnic University, 2014.
5. **nanosat.** www.nanosat.eu. [En línea] 1 de Octubre de 2016.
6. **Satnogs.** *Satnogs*. www.satnogs.org. [En línea] <https://satnogs.org/about/>.
7. **Infostellar.** *Infostellar*. www.infostellar.net. [En línea] 2017. <https://www.infostellar.net/>.
8. **(AMSAT), Radio Amateur Satellite Corporation.** www.amsat.org. www.amsat.org. [En línea] AMSAT, 2017.
9. **Owyang, Jeremiah.** *[Report] The Collaborative Economy, by*. s.l. : Published on May 31, 2013. Altimeter, a Prophet Company.
10. **Schmidt, Marco.** *Ground Station Networks for Efficient Operation of Distributed Small Satellite Systems*. 2011, Würzburg University.
11. **Gottfried, Konecny.** *SMALL SATELLITES – A TOOL FOR EARTH OBSERVATION*. 2012, Institute of Photogrammetry and GeoInformation, University of Hannover.

Anexo A. Manual para montar una estación terrena

En este anexo se describirán los pasos para montar una estación terrena de usuario. La propuesta está basada en el diseño descrito por el proyecto Satnogs y otra propuesta más genérica. En la primera propuesta se describe los elementos necesarios, costos promedios de mercado y en la segunda alternativas de componentes.

Los principales componentes, según el proyecto Satnogs, a desplegar son los siguientes:

1. Antena

Antenas ligeras diseñadas para cumplir con las especificaciones de comunicaciones por satélite. SatNOGS incluye diseño de antenas helicoidales de 70cm y 2m de banda. El diseño de la antena parabólica también funciona.



Lista de materiales están disponible en:

<https://github.com/satnogs/satnogs-antennas/blob/master/Helical/UHF%20lhcp/satnogs-helical-bom.ods?raw=true>

Los archivos CAD de diseño están disponibles en:

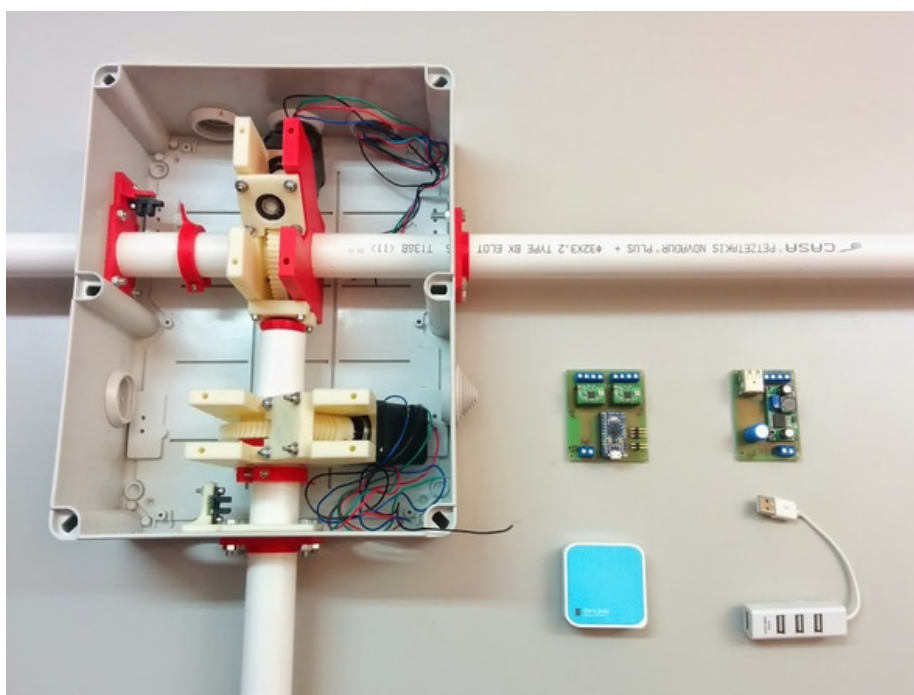
<https://github.com/satnogs/satnogs-antennas/tree/master/Helical/UHF%20lhcp>

El costo aproximado: U\$D 25

2. Rotor

Si se utiliza la antena helicoidal, se necesitará un mecanismo de que permite el seguimiento del nano satélite cuando se tenga visión del mismo, para ello se utiliza un mecanismo que permita rotar la antena y seguir la trayectoria del nano satélite.

El mecanismo de seguimiento es paramétrico por defecto, 3D impreso en menos de 8 horas. Utilizando dos motores NEMA14 paso a paso o motores de corriente continua tenemos movimiento sin restricciones en Altitud y Azimut.



Lista de materiales está disponible en:

<https://github.com/satnogs/satnogs-rotator/blob/v2/satnogs-mechanical-bom.ods>

<https://github.com/satnogs/satnogs-rotator-controller/blob/master/satnogs-rotator-controller-bom.ods>

Los archivos CAD de diseño está disponibles en:

<https://github.com/satnogs/satnogs-rotator/tree/v2>

Instrucciones de ensamble en:

<https://satnogs.dozuki.com/Guide/SatNOGS+Ground+Station+v2+Electronics+Assembly/2>

<https://github.com/satnogs/satnogs-rotator-controller>

El costo aproximado: U\$D 300

3. Hardware de adquisición

Como hardware de adquisición se utiliza una RaspberryPi 3 como una computadora de una sola placa. Ejecutando Fedora, expone toda la funcionalidad de la estación terrestre (estado, seguimiento, recepción de señal y procesamiento) a través de LAN o WiFi para movilidad extrema u operación remota.



El costo aproximado: U\$D 35

Como receptor RF se utiliza un RTL-SDR como receptor y sintonizador de señal por defecto, con chip está usando R820T. El R820T RTL-SDR es actualmente la solución más barata, más común y más eficaz disponible en términos de sensibilidad general, con una gama de frecuencias de 24 - 1766 MHz.



El costo aproximado: U\$S 20

4. Software

El proyecto SatNOGS incluye una pila de software modular de código abierto, desarrollada desde cero o utilizando proyectos existentes. La versatilidad de la arquitectura permite la comunicación con el software existente o el fácil desarrollo de software personalizado para necesidades específicas.

Cliente para raspberry, se puede descargar en:

<https://github.com/satnogs/satnogs-client>

Software de rastreo, está disponible en dos opciones de seguimiento. Los operadores pueden usar el popular GPredict para la predicción en órbita y seguimiento por satélite en tiempo real o una solución de compilación personalizada en Python que proporciona API para el seguimiento desatendido o remoto. Ambas soluciones se comunican con el montaje mediante rotctld sobre el protocolo Easycomm.

<https://github.com/satnogs/satnogs-client/>

<http://gpredict.oz9aec.net/>

Planificación y gestión de las pasadas. Utilizando Gpredict o SatNOGS Network, un operador puede planificar su sesión de observación de manera eficiente. SatNOGS Network es una interfaz de gestión global para operadores que combinan múltiples estaciones terrestres para mejorar la cobertura en todo el mundo.

<https://github.com/satnogs/satnogs-network>

A continuación describiremos otros elementos de carácter más genéricos que se pueden reemplazar en la propuesta anterior, con el fin de aprovechar elementos ya existentes o de ahorrar costos:

1. Antena

Si no se opta por el mecanismo de rotación y su electrónica, se puede optar por una antena tipo yagui, pero se debe disponer de una buena ubicación en altura y vista, sin tener ningún objeto que interfiera con la cobertura de la antena.



2. Hardware de adquisición

Como hardware de adquisición y recepción se puede optar por una computadora personal, y si se dispone de una radio VHF, esta se puede utilizar como receptora. Lo que se necesita es conectar la salida de audio de la radio VHF a la entrada de audio de la computadora personal y capturar en formato wav, la señal de nano satélite.

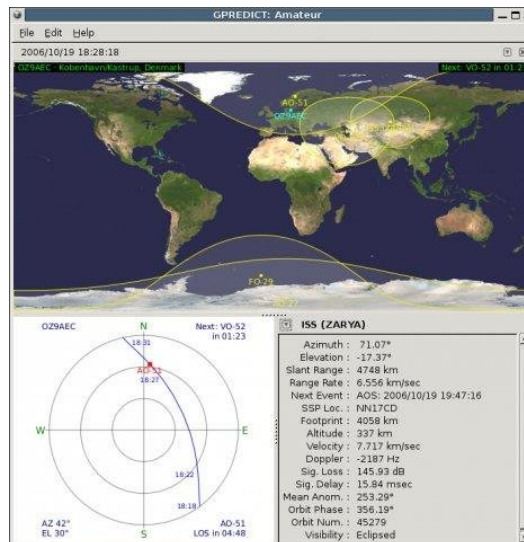
Si no se dispone de una radio VHF, se opta por el receptor RF RTL-SDR, antes mencionado.

3. Software

Se podrán utilizar un conjunto de software abiertos para establecer contacto con los nanos satélites, los cuales son los siguientes:

Para el seguimiento del satélite y predicción de su órbita, se utiliza el software gpredict, antes mencionado:

<http://gpredict.oz9aec.net/>



Para captar la señal del nano satélite y establecer la frecuencia y canal de la señal, utilizamos un software SDR, tanto en su versión para sistema operativo Windows, como para Linux:

<https://rtl-sdr.org/softwarelinux>

<http://sdr-radio.com/>

