

Implementación de estación terrena para seguimiento a picosatélites de órbita LEO*¹

[Implementation of ground station for tracking LEO orbit picosatellites]

JORGE ENRIQUE ESPÍNDOLA DÍAZ², JAIR ALONSO MESA LARA³

RECIBO: 20.02.2012 - APROBACIÓN: 20.05.2012

Resumen

El presente artículo muestra los resultados de una investigación acerca de estaciones terrenas de seguimientos a picosatélites, que se desarrolla en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Presenta el marco referencial, la metodología y los resultados de dicha investigación. El objetivo principal consiste en plantear un diseño de la estación que cumpla con los lineamientos y normativas que a nivel de radiocomunicaciones se imponen y que sea escalable en cuanto permita que a futuro la estación terrena satelital de la Universidad se logre integrar a la red de estaciones mundiales. Se concluye con el diseño de las comunicaciones para la estación y con una serie de recomendaciones para la posterior fase de implementación.

Palabras clave: estación terrena, picosatélites, radioenlace

-
- * Modelo para citación de este Artículo de investigación científica y tecnológica:
ESPÍNDOLA DÍAZ, Jorge Enrique y MESA LARA, Jairo Alonso (2012). Implementación de estación terrena para seguimiento a picosatélites de órbita LEO. En: Ventana Informática. No. 26 (ene. – jun., 2012). Manizales (Colombia): Facultad de Ciencias e Ingeniería, Universidad de Manizales. p. 77-91. ISSN: 0123-9678
- 1 Artículo proveniente del proyecto Diseño e implementación de una estación terrena para satélites de órbita LEO (LowEarthOrbit), ejecutado en el periodo junio de 2011 a diciembre de 2012, e inscrito en el grupo de investigación INFELCOM de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
 - 2 Ingeniero de Sistemas, Especialista en Telemática, MSc. Ciencias de la Información y las Comunicaciones. Profesor Asistente Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia - UPTC, Tunja (Colombia). Director del grupo INFELCOM UPTC. Correo electrónico: jespindola@uptc.edu.co
 - 3 Ingeniero Electrónico, Especialista en Telemática, MSc. Ciencias de la Información y las Comunicaciones. Profesor Auxiliar Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia - UPTC, Tunja (Colombia). Correo electrónico: jairo.mesa@uptc.edu.co

Abstract

This paper presents the results of an investigation of ground stations to pico-tracking, which takes place at the Pedagogical University and Technology of Colombia by the group INFELCOM. It presents the frame of reference, methodology and results of such research. The main objective is to raise a station design that meets the guidelines and regulations that are imposed at radio and are scalable in the future allow the satellite earth station of the university can integrate the network of stations worldwide. It concludes with the design of communications for the season and a series of recommendations for the subsequent implementation phase.

Keywords: earth station, picosatellites, radio link.

Introducción

El seguimiento y monitoreo de picosatélites se realiza en una base terrestre, a través de un conjunto de elementos que agrupados constituyen la llamada estación terrena. La importancia del proyecto se fundamenta en el interés que tiene la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, UPTC, en el estudio del área de la ciencia y la tecnología aeroespacial en conjunto con otras universidades del país ligadas por el seguimiento a satélites de órbita baja con fines académicos e investigativos (proyecto *Cubesat*). El término *CubeSat* fue usado específicamente para referirse a picosatélites que se ajustan a las normas descritas en el Pliego de Diseño *CubeSat* publicado por la *California Polytechnic State University* (CalPoly).

El proyecto plantea hacer el diseño y la implementación de la estación terrena satelital en la ciudad de Tunja, dentro de las instalaciones de la UPTC basado en estudios hechos en una etapa anterior.

El presente artículo muestra un diseño de estación terrena normalizado y ajustado a la reglamentación y estandarización existente para el caso. Igualmente se presenta un análisis de las características tecnológicas del sistema de comunicaciones y el hardware del mismo. Primero, se describen de forma breve los elementos conceptuales propios del proyecto como son: estación terrena, órbita LEO, picosatélites, frecuencia, características y efectos del medio de propagación, cálculo de enlace, arquitectura, actuadores. Luego, se muestran la fase de desarrollo y resultados obtenidos y por último, las conclusiones.

1. Fundamentación teórica

1.1 Estación Terrena

Una estación terrena es la parte encargada de transmitir, recibir y procesar los datos del Cubesat en tierra, de acuerdo con Pratt, Bostian & Allnutt (2006, 353). Es una estación situada en la superficie de la tierra, o en la parte principal de la atmósfera terrestre destinada a establecer comunicación con una o varias estaciones espaciales; o con una o varias estaciones terrenas, mediante el empleo de uno o varios satélites reflectores u otros objetos situados en el espacio.

Para este fin, debe estar dotada con radios FM (Frecuencia Modulada) transmisor - receptor, y acoplada a un módem, un computador, un sistema de antenas y accesorios como servomotores con su respectivo control de posición para el seguimiento del satélite. En este sentido, el control de los servomotores que manipulan el posicionamiento de las antenas, es un factor de vital importancia para el óptimo funcionamiento de la estación.

Los satélites orbitan a diferentes distancias respecto a la tierra; particularmente los satélites de órbita baja se conocen como satélites LEO, cuya distancia está entre los 640 y 1400 Km.

1.2 Picosatélites

Para definir el término de picosatélite es necesario entender el concepto de satélite artificial. Tomando como referente a Prochnow, Durão & Schuch (2006, 10), «*un satélite artificial es un sistema que gira en torno a nuestro planeta*». Estos satélites se clasifican según su tamaño en grandes, medianos y pequeños. Los últimos se subdividen en cinco categorías en la cual se encuentran los picosatélites, caracterizados porque su masa oscila entre los 100 g y 1 Kg y su órbita no es mayor de 800 km.

1.3 Cubesat

Los *Cubesat* o *Pacstar*, como también se les suele conocer son picosatélites de órbita LEO desarrollados con fines educativos por parte de la estadounidense Universidad de Calpoly, físicamente, **estos no exceden 1 Kg de peso ni tampoco superan en tamaño a un cubo de 10x10 cm** (Gaona, 2007). Se integran de subsistemas tales como: sistema de telemetría seguimiento y comando un sistema de potencia y un sistema de comunicación (Neri Vela, 2003). El margen de frecuencias asignadas para la operación de los *CubeSat* es de 144 a 148 MHz para el enlace ascendente, o *uplink*, y 435 a 440 MHz para el enlace descendente, o *downlink* (IARU, 2009).

1.4 Frecuencias de operación

Las normativas y lineamientos que se expiden en materia de comunicaciones radiales y para estaciones de radioaficionados se adoptan de asociaciones como:

- IARU (*The International Amateur Radio Union*), una asociación cuyo interés radica en velar por el uso espectro radioeléctrico y así mismo conceder un mejor uso al mismo al querer organizar a nivel nacional e internacional a las asociaciones de radioaficionados y ejercer su representación ante la ITU (IARU, 2009).
- ARRL (*American Radio Relay League*), una asociación que reúne en su representación a los radioaficionados de los Estados Unidos (ARRL, 2010). Es una de las asociaciones nacionales de radioaficionados más grandes del mundo y, así mismo, hace parte del conglomerado de asociaciones que integran IARU. ARRL centra su objetivo general en promover y fomentar el arte, la ciencia y el desarrollo y experimentación de la radio afición.

En Colombia, los segmentos de radioaficionados se regulan mediante el decreto No. 963 del 20 de marzo de 2009 (Presidencia de la República de Colombia, 2009). En este se define el servicio de radioaficionado como un servicio de radiocomunicación destinado a la instrucción individual, intercomunicación y radio-experimentación de aquellos expertos y no expertos con fines personales y sin ánimo de lucro. Además, adopta las disposiciones y definiciones que en materia de telecomunicaciones imparte la UIT Región II para la planificación, acceso y adecuada compartición del espectro radioeléctrico en los países latinoamericanos. También, se atribuyen para la banda de VHF y UHF del servicio de radioaficionado en el territorio nacional, mediante las frecuencias y utilidades específicas, como se presentan en la tabla 1.

Las estaciones tanto fijas como móviles deberán operar en un rango de frecuencias determinado según la categoría de la licencia de radioaficionado como se indica a continuación para las bandas de interés: UHF y VHF.

1.5 Características y efectos del medio de propagación

El enlace de comunicación, que se establece entre estación terrena y pico satélite, está expuesto a una serie de pérdidas en su mayoría relacionadas con la distancia o técnicamente distancia crítica entre emisor y receptor, como se consideró anteriormente.

1.5.1 Pérdidas por espacio libre. Una definición formal de pérdida por espacio libre consiste en la «pérdida sufrida por una onda electromagnética al propagarse en línea recta por un vacío, sin absorción ni reflexión de

Tabla 1. Servicios, atribución de título y utilidades de las frecuencias
(Construida a partir de Presidencia de la República de Colombia, 2009)

Rango de Frecuencia (MHz)	Longitud de onda	Servicio	Atribución a título	Frecuencia (MHz)	Utilización
144 MHz a 148 MHz	2 m	Aficionados y aficionados por satélite	Primario	144,000 – 144,050	Rebote Lunar en telegrafía (CW)
				144,050 – 144,060	Balizas de propagación
				144,060 – 144,100	Uso general en telegrafía (CW) y señales débiles en (CW)
				144,100 – 144,200	Rebote Lunar (EME)
				144,300 – 144,500	Sub- banda Satélites Oscar
				145,800 – 146,000	Sub-banda internacional de Satélites
435 MHz a 440 MHz	70 cm	Aficionados	CoPrimario	431,900 – 432,250	CW – Fonia (FM) – Satélite
				435,000 – 436,000	Satélite
				436,200 – 437,250	Satélite

energía en objetos cercanos» (Tomasi, 2003), esto significa que una onda electromagnética pierde su potencia debido a la distancia que recorre en el espacio libre, sin ningún tipo de obstáculo que la absorba o refleje en su trayectoria. La metodología para su cálculo es sugerida por Blake (2004).

1.5.2 Pérdidas por polarización. Técnicamente el concepto de polarización, tanto de la onda como de la antena, refiere a la orientación con respecto al tiempo y al espacio que sigue el vector de campo eléctrico de la onda en propagación $E(r,t)$ (Neri Vela, 2003) sobre un plano que lleva el nombre de plano polarizador. Básicamente son pérdidas que solo se llegan a tener en cuenta en el receptor en aquellas ocasiones en las que la señal enviada por emisor viaja hasta su destino final con una polarización distinta debido a la transformación y/o alteración que sufre al atravesar las capas atmosféricas.

1.5.3 Pérdidas por apuntamiento. Conocidos también como Pérdidas por no apuntamiento, des-apuntamiento, o desalineación, son las que afectan directamente la transmisión debido al margen de error que se produce en la mala alineación o no alineación de las antenas de la estación terrena y a los movimientos del satélite en la ventana de posicionamiento.

1.5.4 Pérdidas por adsorción de gases. Estas pérdidas son tenidas en cuenta para aquellas comunicaciones que manejan frecuencias

superiores a los 10 GHz, afirma Neri Vela (2003). Para el caso enlace estación terrena satelital y picosatélite no son aplicables.

1.5.5 Efecto Faraday. Se atribuyen como pérdidas debidas al efecto Faraday aquellas relacionadas con la disminución de la potencia que llega a la antena receptora *fading* y a la inmersión de ruido en la señal portadora. Las señales que viajan tanto en sentido ascendente como sentido descendente deben atravesar parte de las capas atmosféricas, en cuya interacción con las cargas y partículas ionizadas presentes en el medio sufren algunas alteraciones. El efecto Faraday, según Shahan (2004, 62), consiste en la desviación indeseada de la señal del campo eléctrico al atravesar la atmosfera.

1.5.6 Pérdidas en los conectores y líneas de transmisión. Son las pérdidas que se relacionan en operaciones tanto de recepción y transmisión con el tipo de cable o medio guiado que es usado para conducir la señal del amplificador de microondas al alimentador de la antena y los conectores. En comunicaciones satelitales se adopta como valor típico los 0.5 y 1.0 dB de pérdida, considera Neri Vela (2003).

1.5.7 Efecto Doppler. Se define como el cambio de tono que una persona fija experimenta al escuchar un sonido proveniente de una fuente en movimiento conforme esta se acerca o se aleja. Se parte del supuesto que una estación terrena es un observador estacionario y que el satélite se mueve (acerca y aleja) con relación al observador. Según este planteamiento uno de los extremos de la comunicación se mueve de manera relativa respecto al otro extremo y como consecuencia la frecuencia de la señal portadora sufre una variación que se considera de interés en recepción. Dicha variación depende de la distancia a la que se encuentre el objeto transmisor del objeto receptor y a la velocidad en que se desplacen.

1.5.8 Ruido. Existen diversas fuentes de ruido asociados al enlace satelital como por ejemplo el ruido del tráfico cercano a la estación terrena, el ruido emitido por las personas y también ruidos provenientes del espacio como el solar, galáctico y cósmico, como menciona Tomasi (2003), los últimos son ondas electromagnéticas provenientes del espacio que opacan la señal emitida por el satélite.

1.5.9 Pérdidas por lluvia. A este tipo de pérdidas se le considera despreciable para frecuencias menores a 10 GHz.

1.6 Cálculo del radioenlace

Se reconocen como parámetros de enlace a: la potencia crítica recibida (P_r), la potencia radiada isotrópica (PIRE), la figura de mérito (G/T), la relación señal ruido (S/N) y la rata de error de bit (BER). El

cálculo del radioenlace es fundamental para el diseño de cualquier sistema de comunicación inalámbrico; particularmente, tiene en cuenta las pérdidas y ganancias que se relacionan tanto en emisor como en receptor. El objetivo de este cálculo es establecer un límite o margen dentro del cual se considere que todo está dentro de los valores permitidos.

1.6.1 Potencia Recibida. Hace referencia a la potencia con la que finalmente se recibe la señal portadora en la estación terrena. Su cálculo involucra las pérdidas y ganancias del radioenlace.

1.6.2 Figura de mérito G/T. Es el parámetro que indica el grado de desempeño de la antena receptora. Se establece mediante la relación que hay entre la ganancia de la antena y la temperatura.

1.6.3 Potencia Isotrópica Radiada Efectiva (PIRE). Este parámetro permite indicar la potencia con que irradia el sistema transmisor, si hipotéticamente se usara un radiador isotrópico y no una antena directiva. Es el resultado de multiplicar la potencia efectiva transmitida (Potencia – pérdidas en el transmisor que entrega el amplificador de potencia de la estación terrena) por la ganancia que refiere a la ganancia de la antena que está en el mismo extremo transmisor.

1.6.4 Nivel de Potencia Isotrópica Recibida (NPIR). Es el nivel de potencia recibida por una antena ideal isotrópica.

1.6.5 Densidad de potencia de la relación señal a ruido (S/o). Indica las intensidades relativas de la señal y el ruido en un sistema de comunicaciones tomando como ancho de banda $BW=1\text{Hz}$.

1.6.6 Energía de bit (E_b/N). Es la relación que indica la calidad de una comunicación digital, depende de la velocidad de transmisión (V), y de la densidad de la relación señal a ruido.

1.6.7 Cálculo de potencia del ruido. Expresa la potencia de ruido del sistema, tanto en la Estación como en el satélite y depende de la temperatura del sistema (T_s) y del ancho de banda utilizado (BW).

2. Metodología

Para el desarrollo de este proyecto se tuvieron en cuenta los conceptos de diseño del sistema de comunicaciones basado en la metodología propuesta por GENSO⁴ (*Global Education Network for Satellite Operations*), el sistema de posicionamiento de antenas, los actuadores y por último los diferentes métodos de seguimiento a picosatélites, estos

4 Proyecto de la Agencia Espacial Europea (ESA), coordinado por su Oficina de Educación.

conceptos se convirtieron en las fases del proyecto, a continuación se hará una breve descripción de cada una de ellos.

2.1 Diseño del sistema de comunicaciones

El diseño del sistema de comunicaciones debe estar sujeto a estándares que puedan definir una estación terrena normalizada con miras a una integración de estaciones terrenas satelitales en los entornos nacional y mundial. Dentro de este contexto, el sistema de comunicaciones propuesto en esta investigación se rige bajo los lineamientos de GENSO.

La interacción de cada uno de los elementos de la arquitectura de GENSO, puede entenderse a partir del siguiente caso: Si se supone que existe una estación terrena situada en un lugar A que desea acceder y obtener control de otra estación terrena ubicada en un lugar B, ambas estaciones estarán vinculadas e integradas a la red GENSO (GENSO, 2010). La estación A, actúa como controlador de misión o dicho de otra manera la estación A será la que solicite el acceso y control de la estación B a través de la red. Tanto en la estación A como en la estación B existe un cliente de control de la misión (*Mission Control Client* - MCC) y de igual forma un servidor de estación terrena (*GroundStation Server* - GSS). La MCC es una aplicación que tiene a su cargo enviar una petición al servidor de autenticación o servidor central (*Authentication Server*- AUS) quien autentifica su registro. El MCC recibe del AUS una GSSL (Lista de GSS).

Los elementos mínimos requeridos por GENSO para el montaje de una estación terrena son:

- Radio: ICOM 910 H. Bandas: VHF (Tx: 144-146 MHz, Rx: 136-174 MHz) – UHF (Tx: 430-440 MHz, Rx: 420-480 MHz)
- Rotor: Yaesu GS-232 y controlador de interfaz GS-232B
- Modem TNC: Requiere soporte para AX25.

GENSO soporta como módem de comunicaciones, entre otros. a *Kantronics* 9612+, *KPC3*, *NTG TNC7 Multi*, *Timewave* PK96, *DSP-2232*.

2.2 Posicionamiento de antenas

El rastreo de un satélite es utilizado para corregir la posición del mismo, como también de una antena en una estación terrena. Una vez que el satélite se encuentra en órbita, existen algunas fuerzas no deseadas que dificultan que el satélite permanezca con la misma orientación con respecto a la superficie terrestre. Debido a las fuerzas perturbadoras, la comunicación de la estación terrena con el satélite puede no ser confiable; en este caso se requiere

de algún sistema de posicionamiento para mantener la antena de la estación terrena con la mejor orientación para la transmisión y recepción de la señal.

Para orientar una antena es necesario tener un montaje que permita realizar movimientos del reflector. Existen tres tipos de montajes que puede tener una antena: Azimut, Elevación X-Y y Ecuatorial o Polar. La orientación de la antena de una estación terrena hacia un satélite con un montaje Azimut-Elevación se realiza ajustando dos ángulos, en elevación y azimut; los valores de estos ángulos dependen de la posición geográfica de la estación (en latitud y longitud) y de la ubicación del satélite, expresa Corbasi (1998, 10).

Tomando como referencia al eje de simetría del plato parabólico, que coincide con su eje de máxima radiación, el ángulo de elevación es aquel formado entre la horizontal y dicho eje de simetría dirigido hacia el satélite; por su parte, el ángulo de azimut es la cantidad en grados que hay que girar la antena en el sentido de las manecillas del reloj (con relación al norte geográfico de la Tierra) para que ese mismo eje de simetría pase por la posición en longitud del satélite, de acuerdo con Logsdon (1995, 61).

La elevación es el ángulo al que hay que elevar la antena desde el horizonte para localizar el satélite en cuestión (90° en el ecuador). El azimut es el ángulo horizontal al que hay que girar el eje de la antena, desde el polo norte geográfico terrestre hasta encontrar el satélite (Figura 1).

2.3 Actuadores

Los actuadores, se encargan de gestionar la respuesta deseada de un sistema. Existen actuadores mecánicos, hidráulicos y eléctricos, dependiendo del tipo de energía empleada. Para el direccionamiento de las antenas de la estación terrena se emplearon actuadores eléctricos, como son los rotores G-5500.

El rotor G-5500, de acuerdo con Yaesu Musen (1998, 1-10), es un dispositivo electromecánico, que consta de los motores eléctricos, las cajas de engranes, los sensores de posición (potenciómetros), todo encapsulado en un empaque que le brinda la debida protección ante las exigencias climáticas. Este rotor en realidad son dos rotores por separado (uno de Azimut y uno de Elevación), que pueden ser instalados conjuntamente (Figura 2), o pueden ser usados por separado, obteniendo un resultado de movimiento de Azimut o de Elevación según sea el rotor escogido. Vale aclarar que el fabricante afirma que estos rotores están debidamente lubricados y no requieren de mantenimiento.

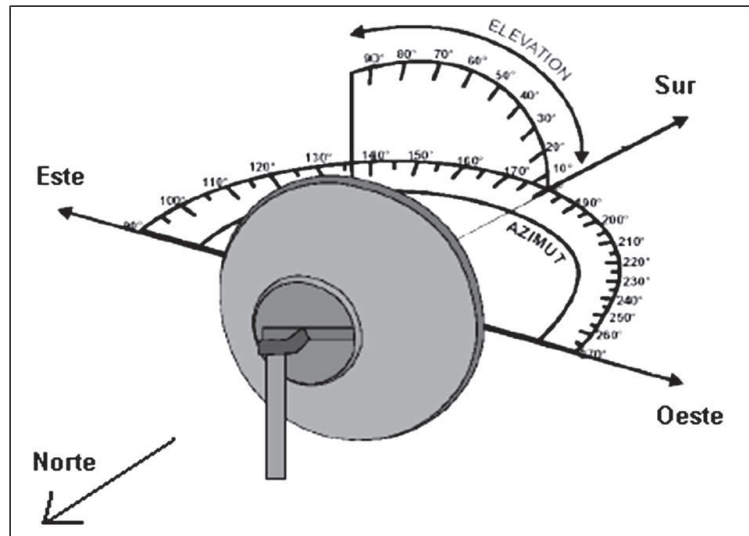


Figura 1. Ejes Azimut y Elevación (Tecnología Electrónica, 2009)



Figura 2. Rotor Yaesu G-5500 y su unidad de control (Yaesu Muse, 1998, 1)

2.4 Métodos de seguimiento

Existen diferentes métodos de control para lograr el seguimiento de objetos en movimiento, pero no todos son aplicables al seguimiento de satélites. El seguimiento puede realizarse por medio de un software, el cual mediante desarrollos físicos – matemáticos puede simular con exactitud y precisión el comportamiento del satélite y al comunicarse

con el rotor de las antenas ubicarlas para una correcta comunicación (Espíndola, Vargas & Aparicio, 2009, 30).

3. Resultados

Los resultados obtenidos en el estudio desarrollado, teniendo en cuenta las condiciones específicas del sitio donde se realizaron las pruebas de campo arrojaron los datos de tipos de pérdidas del enlace de comunicaciones entre una estación terrena satelital y un satélite de órbita baja que se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Resultados del cálculo de pérdidas

Pérdidas por espacio Libre			
Distancia crítica		Pérdidas por espacio Libre	
Re: 6.378.14 km			
h (Km)	d(Km)	dB	dB
600	2830.8	144.77	154.31
700	3069.0	145.47	155.01
800	3293.1	1455.08	155.63
Pérdidas por Polarización Teóricas, estimadas en 3 dB			
Pérdidas por Lluvia Despreciables para frecuencias menores a 2GHz			
Pérdidas por Apuntamiento Teóricas, estimadas en 1 dB			
Pérdidas Atmosféricas según las características topográficas que rodean la estación terrena se estima un ángulo mínimo de 5° para el cual, su valor es de 2.1 dB			
Pérdidas por Líneas de Transmisión Pérdidas en decibels por cada 30 m [16]			
Tipo de Cable	Uplink	Downlink	
RG-58 Foam	4.7	8	
RG-8 Foam	2.0	3.7	
Times Microwave LMR-400	1.5	2.6	
Pérdidas por Conectores Comúnmente un conector tiene una pérdida de 0.05 dB			
Potencia de la Estación Terrena Ptsatélite 100mW=-10dBW			
Potencia del Satellite Ptestación 5W =7dBW			
Ganancia			
Ganancia Antena satélite	Gant_ Satélite	1 dBi	
Ganancia Antena Estación	Gant_ Estacion	15 dBi	
Ganancia LNA	LNA	15 dB	

Una vez calculadas las pérdidas, fue posible realizar el cálculo de los parámetros del enlace (Tabla 3).

Para identificar las características tecnológicas del canal de comunicaciones una de las primeras consideraciones es determinar qué tipo de operación tiene la estación terrena, a fin de delimitar las funciones de la misma. Para el caso de estudio se quiere implementar una estación

con funciones de transmisión, recepción y telemetría, además de esto la estación debe dar soporte a datos de telemedicina bajo protocolo AX.25. Con respecto al manejo del protocolo AX.25 se usa el módulo TNC (controlador terminal del nodo) de los transceptores *Kenwood* TM-D700A el cual convierte los paquetes de datos a tonos de audio y viceversa.

El debilitamiento de la señal, factor crítico a considerar, se puede dar por varias razones, como por ejemplo: - el tipo de cable coaxial, si es de mala calidad genera pérdidas por líneas de transmisión, - la distancia que hay entre la antena y el transceptor, debilita la señal, o - la distancia que hay entre el satélite y la estación terrena.

Tabla 3. Resultados cálculo del enlace

Parámetros de Enlace	
Potencia Recibida en la Estación $PR_{Estacion} = -10dBW + 1dB + 16dBi - 155.63dB - 3dB - 1dB - 2.1dB - 3.513dB - 0.009dB + 15dB = -143.252dBW$	
Potencia Recibida en el Satélite $PR_{Satélite} = 7dBW + 1dB + 10dBi - 146.08dB - 3dB - 1dB - 2.1dB - 2.025dB - 0.005dB = -136.21dBW$	
PIRE Estación $PIRE_{Estacion} = (P_{testacion} - L_{linea_subida_estacion} - L_{filtroLNA}) + G_{ant_estacion} = 13.975dBW$	
PIRE Satélite $PIRE_{Satélite} = (P_{tsatélite} - L_{linea_bajada_satélite}) + G_{ant_satélite} = -9.005dBW$	
Potencia isotrópica radiada efectiva (PIRE)	
Estación	Satélite
$PIRE_{Estacion} = (P_{testacion} - L_{linea_subida_estacion} - L_{filtroLNA}) + G_{ant_estacion} = 13.975dBW$	$PIRE_{Satélite} = (P_{tsatélite} - L_{linea_bajada_satélite}) + G_{ant_satélite} = -9.005dBW$
Figura de mérito G/T	
Estación	Satélite
$G/T = (G_{ant_estacion} + LNA - L_{linea_bajada_estacion} - L_{filtroLNA}) - 10 \log(Ts_{Estacion}) = -4.38 dB/K$	$G/T_{Satélite} = (P_{tsatélite} - L_{linea_subida_satélite}) - 10 \log(Ts_{Satélite}) = -27.32 dB/K$
Densidad de potencia de la relación señal a ruido (S/No)	
$S/No = NPIR + G/T + 228.60$ (Boltzmann)	
Estación = 49.963 dB/Hz	Satélite = 61.043dB/Hz
Energía de bit (Eb/No)	
$Eb/No = S/No - 10 \log(V)$	
Estación = 19.17 dB	Satélite = 30.25 dB
Relación señal a ruido (S/N)	
$S/N = Pr - PN$	
Estación = 11.98 dB	Satélite = 24.08 dB

La manera de asegurarse de que se tiene una señal utilizable es instalando un preamplificador debajo de la antena, que amplifica la ganancia de la señal útil tratando de introducir la menor cantidad de ruido posible.

Se recomienda un LNA (Amplificador de Bajo Ruido) o con una respuesta de frecuencia adaptada para una única banda.

El diseño para el caso de estudio estación terrena satelital de la UPTC, se muestra en la Figura 3, donde se propone la inserción al sistema de otros dispositivos, que se consideran necesarios para mejorar las características del enlace, como el caso del LNA.

Las especificaciones de hardware y software que conforman la estación terrena son:

- Longitud 73.375 oeste
- Latitud 5.5209 norte
- Altitud 2738 m
- Frecuencias de Operación 144-146 MHz, 432-438 MHz
- Antenas (2m – VHF) Yagi diseñadas y comerciales SSB/CW/FM
- Antenas (70cm – UHF) Yagi diseñadas y comerciales (Cushcraft A44911S)
- Rotor de la antena Yaesu G-5500
- Radios Kenwood TM-D700, Yaesu FT-7800
- Radios auxiliares Yaesu VX-6R, Yaesu VX-3R
- Vatímetro & SWR Diamond SX-400
- GPS Garmin Etrex
- Fuente de corriente Diamond GZV4000
- Amplificador de bajo ruido LNA (70cm) SP-700 (Recomendado)
- Software de predicción de efemérides *WinOrbit*, *WxTrack*, *Orbitron*, AMSAT

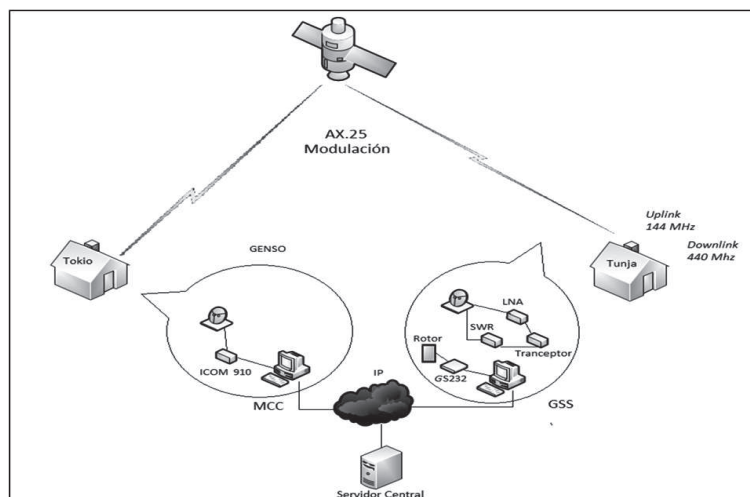


Figura 3. Diseño del sistema de comunicaciones estación terrena satelital UPTC

4. Conclusiones

El diseño propuesto para la estación terrena satelital con el fin de realizar seguimiento de picosatélites de órbita LEO, cumple con los requerimientos de GENSO y de las entidades promotoras de este tipo de tecnología.

Se propone la adición de un amplificador de bajo ruido, LNA, lo que aumentará la sensibilidad del sistema de comunicaciones y permitirá recibir señales más débiles de satélites que se encuentren a mayor altura y/o transmitan a menor potencia. De igual forma debe tenerse en cuenta que el LNA incrementa la señal y el ruido en la misma proporción.

La implementación de la estación terrena satelital en la UPTC permitirá la integración de diferentes universidades del entorno nacional alrededor del estudio de satélites y tecnología aeroespacial.

La ejecución del proyecto propuesto, permitió no solamente fortalecer el nivel investigativo del grupo INFELCOM (Informática, electrónica y comunicaciones), sino que garantiza un impacto regional, liderado por la UPTC, ya que constituye la primera estación terrena de seguimiento a picosatélites del nororiente colombiano.

Agradecimientos

Los autores expresan su gratitud al grupo de investigación INFELCOM avalado por Colciencias e inscrito en la Dirección de Investigaciones DIN de la UPTC, al igual que a la Facultad de Ingeniería de la misma universidad por apoyar la investigación en este tipo de áreas del conocimiento.

Bibliografía

- ARRL, AMERICAN RADIO RELAY LEAGUE (2010). About de ARRL [on line]. Newington (CT, USA): ARRL. <<http://www.arrl.org/about-arrl>> [consulta 20/10/2011]
- BLAKE, Roy (2004). Sistemas electrónicos de comunicaciones. Buenos Aires (Argentina): Cengage Learning, 520 p. ISBN 978-970-6863652
- CORBASI ORTIN, Ángel (1998) Sistemas de Navegación: Desde el compás magnético a la navegación por satélite. Madrid (España): McGraw-Hill. 295 p. ISBN: 9788448120573
- ESPÍNDOLA, Jorge E.; VARGAS, Ernesto G. & APARICIO, Lilia E. (2009). Seguimiento de órbitas de satélites LEO basado en técnicas de inteligencia artificial. En: Revista Tecnura: Tecnología y cultura afirmando el conocimiento, Vol. 12, No. 24 (semestre I), Bogotá (Colombia): Universidad Distrital Francisco José de Caldas. p. 25-34. ISSN 0123-921x.
- GAONA, Eduardo (2007) Estructura de estación terrena para Cubesat-UD, En: I Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología Aeroespacial CICTA (11-13/10/2007), Bogotá (Colombia): Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Memorias del Congreso CICTA 2007.
- GENSO (2010). Ground Station Hardware [on line]. Los Angeles (CA, USA): GENSO. <<http://www.genso.org/index.php/ground-station-hardware>> [consult: 07/07/2011]
- IARU, THE INTERNATIONAL AMATEUR RADIO UNION (2009). The International Amateur Radio Union. Newington (CT, USA): IARU. <http://www.iaru-r1.org/index.php?option=com_content&view=article&id=519:report-from-region-1-satellite-coordinator&catid=42:vhf&Itemid=100> [consulta: 10/06/2011].
- LOGSDON, Tom (1995). Mobile Communication Satellites: Theory and Applications. Columbus (OH, USA): McGraw-Hill, 260 p. ISBN: 978-0070384767
- NERI VELA, Rodolfo (2003). Comunicaciones por satélite. México: Thomson. 544 p. ISBN: 978-970-6862822
- PRATT Timothy; BOSTIAN, Charles & ALLNUTT, Jeremy E. (2006). Satellite Communications. Hoboken (NJ, USA): John Wiley & Sons. 560 p. ISBN: 978-047-1878377.
- PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA (2009). Decreto No. 963 de 2009. Bogotá (Colombia): Presidencia de la República.
- PROCHNOW, Silvano Lucas; DURÃO, Octavio Santos Cupertino & SCHUCH, Nelson Jorge (2006). Miniaturização de Satélites: Relatório final de projeto de iniciação científica PIBIC/INPE-CNPq/MCT [em línea]. Santa Maria (Brasil): Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE–MCT. 84 p. <<http://mtc-m16.sid.inpe.br/col/igpg/sid.inpe.br/mtc-m16@80/2006/08.15.13.13/doc/Silvano%20Lucas%20Prochnow.pdf>> [consulta: 15/01/2012]
- SHAHEN, Hacyan (2004). Física y metafísica del espacio y el tiempo: La filosofía en el laboratorio. México: Fondo de Cultura Económica. 198 p. ISBN 968-167351-4
- TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA (2009). Apuntamiento al satélite: Elevación, Azimut y Polarización [en línea]. Lima (Perú): Vía Satelital. (15/05/2009). <<http://viasatelital.com/blogs/?p=227>> [consulta: 28/02/2011]
- TOMASI, Wayne (2003). Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. 4 ed. México: Prentice Hall Hispanoamericana, 948 p. ISBN 968-880-6749
- YAESU MUSEN (1998). G-5500: Instruction manual [on line]. Tokyo (Japan): Yaesu Musen Co., Ltd. <<http://polysat.calpoly.edu/earthstation/documents/g-5500.pdf>> 10 p. [consulta: 28/02/2011]

Bibliografía complementaria

- CAPITAINE, Thierry; BARRANDON, Ludovic; BOURNY, Valéry; SENLIS, Jacky; LE MORTEL-LEC, Antoine; ASTIER, Rémy & LORTHOIS, Aurélien (2010). Robust satellite AX25 frames demodulation [on line]. In: Small satellites Systems and services – The 4S Symposium 2010 (31/05-04/06/2010), Funchal (Madeira, Portugal): European Space Agency, ESA. <http://www.insset.u-picardie.fr/file/Recherche/Ax25_frames_d%C3%A9modulation.pdf> [consult: 20/10/2011]

