

Diseño del sistema de comunicaciones de una estación terrena para satélites de órbita LEO

Jorge Enrique Espindola Díaz

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia UPTC, Tunja, Colombia, jespindola@uptc.edu.co

Jackson Yarin Tovar Cuadrado

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia UPTC, Tunja, Colombia,
jackson.sys@hotmail.com

Jorge Alberto Parra Duarte

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia UPTC, Tunja, Colombia,
jorgeparra534@hotmail.com

RESUMEN

El presente artículo muestra los resultados de una investigación acerca del “Diseño de un sistema de comunicaciones para una estación terrena satelital”, la cual hace parte del proyecto “Diseño e implementación de una estación terrena para satélites de órbita LEO (*Low Earth Orbit*)” que se desarrolla en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia por parte del grupo INFELCOM. El artículo presenta el marco referencial, la metodología y los resultados de dicha investigación. El objetivo principal consiste en plantear un diseño que cumpla con los lineamientos y normativas que a nivel de radiocomunicaciones se imponen y que sea escalable en cuanto a que permita que en el futuro la estación terrena satelital de la UPTC se logre integrar a la red de estaciones mundiales. Se concluye con el diseño del sistema de comunicaciones para la estación y con una serie de recomendaciones para la posterior fase de implementación.

Palabras claves: Cubesat, estación terrena, GENSO, modulación, AX.25.

ABSTRACT

This paper presents the results of research on "Design of a communication system for a satellite earth station, which is part of the project "Design and implementation of a ground station for satellite LEO (Low Earth Orbit)" develop in the Pedagogical and Technological University of Colombia by the group INFELCOM. The article presents the frame of reference, methodology and results of such research. The main objective is to propose a design that meets the guidelines and regulations that are imposed on radio standard and is scalable in that they allow in the future satellite earth station is achieved UPTC integrate the network of stations world. It concludes with the communications system design for the station and a series of recommendations for further implementation phase.

Keywords: Cubesat, ground station, GENSO, modulation, AX.25.

1. INTRODUCCIÓN

El proyecto titulado “Diseño e implementación de una estación terrena para satélites de órbita LEO” es desarrollado por el grupo de investigación INFELCOM de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Del mismo ya se ha dado cumplimiento a etapas previas que han entregado como resultado los siguientes trabajos: “Seguimiento de órbitas LEO basado en técnicas de Inteligencia Artificial” [1], “Simulador de

fórmulas de mecánica orbital para posicionamiento de satélites” [2] y “Diseño de estación terrena para picosatélites e implementación de software para el movimiento autónomo de antenas” [3]. La investigación realizada da cumplimiento a un objetivo específico del macro-proyecto en mención y será de vital importancia en la implementación final de la estación terrena.

Este artículo menciona los fundamentos teóricos y la metodología empleada para el desarrollo del “Diseño de un sistema de comunicaciones de una estación terrena para satélites de órbita LEO”. Se presenta un diseño de estación terrena normalizado y ajustado no solo a presente sino a futuro de acuerdo con la reglamentación y estandarización existente para el caso.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL

Los satélites LEO son satélites que orbitan a una altura máxima de 800 km ubicándose en la ionosfera terrestre [4]. Los Cubesat o Pacstar como también se les suele conocer son picosatélites de órbita LEO que se desarrollaron con fines educativos por parte de la universidad de Calpoly en Estados Unidos. Físicamente estos no exceden 1 kg de peso ni tampoco superan en tamaño a un cubo de 10x10 [5]. Para llevar a cabo su misión estos picosatélites se componen de varios subsistemas: sistema de telemetría seguimiento y control, un sistema de potencia y un sistema de comunicación [4]. El margen de frecuencias asignadas para la operación de los CubeSat es de 144 a 148 MHz para el enlace ascendente (*uplink*) y 435 a 440 MHz para el enlace descendente (*downlink*) [3].

La transmisión entre la estación terrena y el pico satélite se realiza en base a AX.25. Este es el protocolo de transmisión de paquetes para enlaces de radio cuyo modo de transferencia funciona tanto en *simplex* como en *full-duplex* [6]. El primer modo hace uso de mecanismos de realimentación para asegurarse de que las tramas sean correctamente recibidas en el otro extremo de la conexión y para el segundo caso las tramas se envían sin ningún tipo de administración de la conexión.

Por otro lado para el trabajo mancomunado e interoperación entre estaciones terrenas a nivel mundial, GENSO (*Global Educational Network for Satellite Operators*) presenta un estándar que se rige por una arquitectura específica y donde se sugiere para su operación un conjunto de equipos. La Red de Educación Global para operadores de Satélite GENSO [7] es un proyecto iniciado a nivel Europa por las agencias espaciales de algunos países de este continente. Como tal es un paquete de software [7] y su actividad se centra en aumentar la disponibilidad de satélites para el control de operaciones; gracias a la conexión que se realiza vía internet de las estaciones terrenas de diferentes países. Por ejemplo un radioaficionado que reside en Estados Unidos podrá acceder a información de satélites que son vistos desde una estación en Tokio.

Las normativas y lineamientos que se expiden en materia de comunicaciones radiales y para estaciones de radioaficionados se adoptan de asociaciones como: IARU (*Amateur Radio Union*) [8] 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 (*International Telecommunication Union*) [9]. Otra entidad regulatoria es la ARRL (*The American Radio Relay League*) [10] una asociación que reúne en su representación a los radioaficionados de los Estados Unidos. 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 goce de la radioafición.

A nivel Colombia quien emana las normas correspondientes a los segmentos de radioaficionados es el Ministerio de Tecnologías de la Información y Comunicaciones en coordinación de la oficina de radiocomunicaciones [11], [12].

2.2 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 considero anteriormente.

Estas pérdidas son:

Pérdidas por espacio libre: una definición formal de pérdida por espacio libre se contempla en [13]: “Pérdida sufrida por una onda electromagnética al propagarse en línea recta por un vacío, sin absorción ni reflexión de energía en objetos cercanos”, 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 la ITU en la recomendación UIT-R PN.525-2 [14].

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 $E(r,t)$ [4], sobre un plano que lleva el nombre de plano polarizador [15].

Pérdidas por apuntamiento: la pérdidas por no apuntamiento, desapuntamiento, o desalineación como también se les suele conocer son pérdidas que afectan directamente la transmisión debido a él 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 [16].

Pérdidas por adsorción de gases: estas pérdidas son tenidas en cuenta para aquellas comunicaciones que manejan frecuencias superiores a los 10 GHz [4].

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 consiste en la desviación indeseada de la señal del campo eléctrico al atravesar la atmosfera [3].

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.

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 se menciona en [13], los últimos son ondas electromagnéticas provenientes del espacio que opacan la señal emitida por el satélite.

Pérdidas por lluvia: a este tipo de pérdidas se le considera despreciable para frecuencias menores a 10 GHz [17].

2.3 CALCULO DEL RADIOENLACE

Se reconocen como parámetros de enlace: la potencia critica 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.

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. [18]

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. [18]

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 P_t (Potencia – pérdidas en el transmisor $L_{línea de subida-Et} - L_{FLNA}$ que entrega el amplificador de potencia de la estación terrena por la ganancia G_t que refiere a la ganancia de la antena que está en el mismo extremo transmisor. [18]

Nivel de potencia isotrópica recibida (NPIR): es el nivel de potencia recibida por una antena ideal isotrópica. [18]

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 $BW=1\text{Hz}$. [18]

Energía de bit (Eb/No). 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 ((S)/(No)). [18]

Cálculo de potencia del ruido (P_N). Expresa la potencia de ruido del sistema, tanto en la Estación como en el satélite y depende de la temperatura del sistema (Ts) y del ancho de banda utilizado (BW). [18]

3. METODOLOGÍA

El proyecto se realizó en varias etapas, en las cuales se desarrollaron varias actividades así:

Fase I. Caracterización del enlace de comunicaciones

El estudio teórico que se realiza sobre el enlace de comunicación se toma como fase inicial al considerarse como punto de partida de las fases complementarias que conforman el proyecto. En esta fase se realizan actividades concernientes al cálculo de las pérdidas que se puedan llegar a suscitar en el enlace y en base a estas realizar el cálculo de los parámetros de enlace.

Fase II. Identificar las características tecnológicas del sistema de comunicaciones.

Esta fase se desarrolla con las siguientes actividades: delimitar las funciones del sistema de comunicaciones, identificar los módulos que componen el sistema de comunicaciones e identificar el o los tipos de modulación más convenientes para el sistema de comunicaciones.

Fase III. Determinar las características de transmisión de los equipos de comunicación.

Una vez se reconoce la utilidad que proveerá el sistema de comunicaciones de la estación terrena satelital de la UPTC y se relacionan los módulos que lo integran se procede en esta fase con la descripción detallada de las características de transmisión.

Fase IV. Definición de normativas, estándares y recomendaciones para el sistema de comunicaciones.

Se contempla una revisión de las normativas que regulan el uso y operación de las estaciones de radioaficionados. Se realiza una prospectiva global, internacional hasta aterrizar en el ámbito nacional.

Fase V. Diseño del sistema de Comunicaciones para la estación terrena satelital UPTC Tunja.

Con base a los resultados obtenidos de las fases anteriores se diseña el sistema de comunicaciones para la estación terrena satelital de la UPTC. En esta fase se proponen actividades relacionadas con el montaje y prueba de los equipos de comunicación a fin de conseguir una señal *beacom*. A si mismo se realizaran las recomendaciones pertinentes que consigan lograr un óptimo diseño.

Fase VI. Desarrollo del software de simulación para el sistema de comunicaciones de la estación terrena satelital UPTC como caso de estudio.

Se desea desarrollar una aplicación Web que realice el cálculo de los parámetros de enlace teniendo en cuentas las pérdidas que se suscitan en el radioenlace.

Fase VII. Montaje y pruebas.

En esta fase se procede al montaje de los equipos de la estación terrena. Se realiza una prueba de campo a fin de capturar una señal *beacom* de un satélite de órbita LEO.

4. RESULTADOS

A continuación se presenta el estudio de pérdidas y ganancias del enlace de comunicaciones entre una estación terrena satelital y un satélite de órbita baja. Una vez calculadas las pérdidas es posible realizar el cálculo de los parámetros del enlace.

Tabla 1 Resultados pérdidas y cálculo del enlace

Pérdidas por espacio Libre			
Distancia critica $d = \sqrt{2R_e h + h^2}$		Pérdidas por espacio Libre $L_{bf} = 32.4 + 20 \log f_{(MHz)} + 20 \log d_{(Km)}$	
Re: 6.378.14 km			
h (Km)	d(Km)	L_{bf_bajada} dB	L_{bf_subida} dB
600	2830.8	144.77	154.31
650	2951.9	145.13	154.68
700	3069.0	145.47	155.01
750	3182.7	145.79	155.33
800	3293.1	145.08	155.63
Pérdidas por Polarización			
Teóricas, estimadas en 3 dB			
Pérdidas por Lluvia			
Despreciables en frecuencias < 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 lo que su valor es de 2.1 dB			
Pérdidas por Líneas de Transmisión			

Pérdidas en decibelios por cada 30 m [19]		
Tipo de Cable	Uplink	Downlink
RG-58 ^a	6.5	<10
RG-58 Foam	4.7	8
RG-213	3.0	5.9
RG-8 Foam	2.0	3.7
Belden 9913	1.5	2.9
LMR-400	1.5	2.6
7/8" Hardline	0.7	1.3
Pérdidas por Conectores		
Comúnmente un conector tiene una pérdida de 0.05 dB		
Potencia de la Estación Terrena		
P _{tsatélite} 100mW = -10dBW		
Potencia del Satellite		
P _{testación 5W} = 7dBW		
Ganancia		
Antena satélite	Gant_Satélite	1 dBi
Antena Estación	Gant_Estacion	15 dBi
LNA	LNA	15 dB
Temperatura de la Estación		
$T_s = (\alpha) T_a + (1-\alpha)T_o + T_{LNA} + T_{Radio/GLNA}$ 2168.36°K		
Temperatura del Satélite		
$T_{s_Satélite} = 678°K$		
PARAMETROS 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		
$PR_Satélite = 7dBW + 1dB + 10dBi - 146.08dB - 3dB - 1dB - 2.1dB - 2.025dB - 0.005dB$ -136.21 dBW		
PIRE Estación		
$PIRE_Estacion = (P_{testacion} - L_{linea_Subida_Estacion} - L_{filtroLNA}) + Gant_Estacion$ 13.975dBW		
PIRE Satélite		
$PIRE_Satélite = (P_{tsatélite} - L_{linea_Bajada_Satélite}) + Gant_Satélite$ -9.005dBW		
Potencia isotrópica radiada efectiva (PIRE)		
Estación $PIRE_Estacion = (P_{testacion} - L_{linea_Subida_Estacion} - L_{filtroLNA}) + Gant_Estacion$ 13.975dBW	Satélite $PIRE_Satélite = (P_{tsatélite} - L_{linea_Bajada_Satélite}) + Gant_Satélite$ -9.005dBW	
Figura de mérito G/T		
Estación $G/T = (Gant_Estacion + LNA - L_{linea_Bajada_Estacion} - L_{filtroLNA}) -$	Satélite $G/T_{Satélite} = (P_{tsatélite} - L_{linea_Subida_Satélite}) - 10 \cdot \log(T_{s_Satélite})$	

$10 \cdot \log(Ts_Estacion)$	
-4.38 dB/K	-27.32 dB/K
Densidad de potencia de la relación señal a ruido (S/No) $S/No = NPIR + G/T + 228.60$ (Boltzmann)	
Estación	Satélite
49.963 dBHz	61.043 dBHz
Energía de bit (Eb/No) $Eb/No = S/No - 10 \cdot \log(V)$	
Estación	Satélite
19.17 dB	30.25 dB
Relación señal a ruido (S/N) $S/N = Pr - PN$	
Estación	Satélite
11.98 dB	24.08 dB

Fuente: Autores

Para identificar las características tecnológicas del canal de comunicaciones una de las primeras consideraciones fue 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 bajo protocolo AX.25.

Otro aspecto a considerar son las antenas, las cuales transmiten en una banda ascendente (*up-link*), y reciben en una banda descendente (*down-link*), por lo tanto se sugiere usar dos antenas, una para transmitir y otra para recibir en bandas diferentes. La manera de asegurar una señal utilizable es instalando un preamplificador entre la antena y el transceptor a fin de amplificar la ganancia de la señal [20]. Se recomienda un amplificador de bajo ruido o LNA (*Low Noise Amplifier*) con una respuesta de frecuencia adaptada para una única banda [21].

En la figura 1 se muestra la respuesta del BER vs Eb/No de las modulaciones tratadas, las cuales tienen en cuenta las pérdidas del canal como son el ruido blanco Gaussiano y las pérdidas por espacio libre tanto en el enlace de *uplink* y *downlink*.

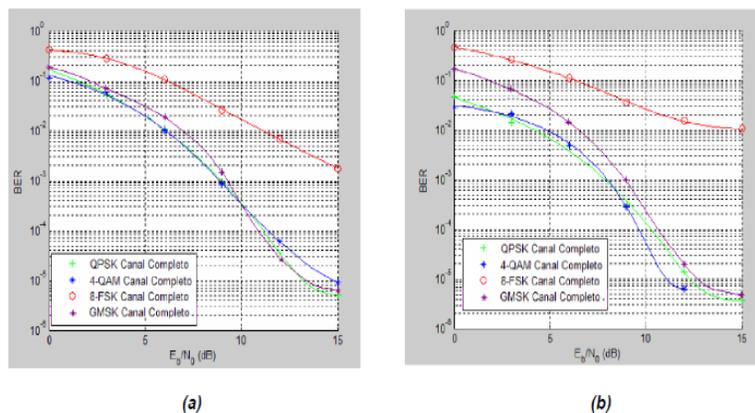


Figura 1. Tasa de error de bits BER vs Energía de bit a densidad de ruido Eb/No, QPSK, 4-QAM, 8-FSK, GMSK (a) Uplink. (b) Downlink.

Fuente: Autores

Así pues después de analizar el rendimiento espectral y la BER en presencia de ruido blanco Gaussiano y las pérdidas por espacio libre de los sistemas de modulación: QPSK, 4-QAM, 8-FSK y GMSK; se llega a la

conclusión que los sistemas de modulación que presentan un mejor rendimiento para las condiciones que presenta el canal caracterizado, son QPSK, 4-QAM y GMSK. Mientras que 8-FSK, es más susceptible a los errores que se presentan dentro del canal.

Tabla 2. Comparación de los BER en las distintas modulaciones analizadas para *uplink*.

MODULACION	CANAL IDEAL	CANAL COMPLETO UPLINK		
	BER 10^{-6}	BER 10^{-6}	BER 10^{-5}	BER 10^{-4}
QPSK	10.5 dB	--	13.2 dB	11 dB
16-QAM	--	--	--	--
4-QAM	10.51 dB	--	15 dB	11.25 dB
8-FSK	9.6 dB	--	--	--
GMSK	--	--	13.5 dB	10.8 dB

Fuente: Autores

Tabla 3. Comparación de los BER en las distintas modulaciones analizadas para *downlink*.

MODULACION	CANAL IDEAL	CANAL COMPLETO DOWNLINK		
	BER 10^{-6}	BER 10^{-6}	BER 10^{-5}	BER 10^{-4}
QPSK	10.5 dB	--	12.3 dB	10.3 dB
16-QAM	--	--	--	--
4-QAM	10.51 dB	--	11.2 dB	9.4 dB
8-FSK	9.6 dB	--	--	--
GMSK	--	--	12.8 dB	10.7 dB

Fuente: Autores

En Colombia es el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones quien se encarga de regular y reglamentar el servicio de radioaficionado; según el decreto 963 del 20 de Marzo de 2009 [11]. 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.

Se atribuyen para la banda de VHF y UHF del servicio de radioaficionado en todo el territorio nacional las siguientes frecuencias:

Tabla 5. Servicio y Atribución a título

Frecuencia MHZ	Longitud de Onda	Servicio	Atribución a Título
144 MHz – 146 MHz	2 m	Aficionados y aficionados por satélite	Primario
430 MHz – 440 MHz	70 cm	Aficionados	CoPrimario

Fuente: [11]

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 a nivel nacional y mundial. Dentro de este contexto el sistema de comunicaciones propuesto en este trabajo se rige bajo los lineamientos impuestos por GENSO. La figura 2 muestra la interacción de cada uno de los elementos de la arquitectura de GENSO.

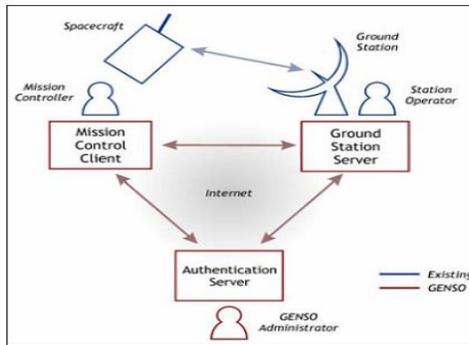


Figura 2. Descripción del sistema GENSO.

Fuente. [22]

La figura 3 indica el diseño que se propone para la estación terrena satelital de la UPTC. En el mismo se propone la inserción al sistema de otros dispositivos que se consideran necesarios para mejorar las características del enlace como lo es el caso del LNA. Otro aspecto importante de mencionar es que los transeptores que posee la estación terrena de la UPTC no se ajustan a los requerimientos del estándar GENSO.

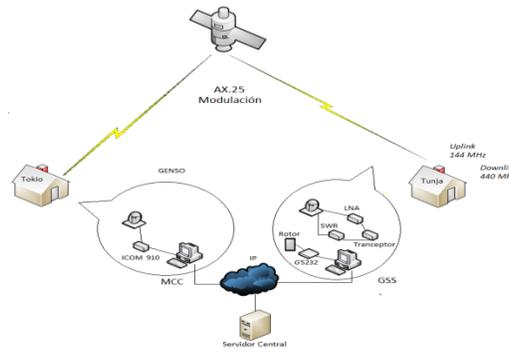


Figura 3. Diseño del sistema de comunicaciones estación terrena satelital UPTC.

Fuente: Autores.

El software desarrollado que se ha titulado como “Data Link Manager” permite analizar el cálculo del enlace, con el fin de obtener la relación señal-ruido (C/N); un parámetro considerable en el estudio del radioenlace dado que es el que realmente determina la calidad del enlace. El software permite resolver problemas concernientes al medio de propagación. A continuación en las figuras 4 se muestra la operación del mismo.



Figura 4: Cálculo de parámetros del enlace a partir de parámetros iniciales.

Fuente: Autores

La figura 5 muestra el montaje para las pruebas realizadas en la UPTC Sede Tunja, ubicada en una latitud de $73^{\circ} 24,312' W$, una longitud de $5^{\circ} 33,157' N$ y una altitud de 2710 m. En esta prueba fue posible capturar en el receptor una señal faro proveniente de dos satélites tipo Cubesat: AO-51 y AO-27. [24]



Figura 5. Montaje de prueba de campo. Estación Terrena UPTC.

Fuente: Autores

5. CONCLUSIONES

Se logró establecer radioenlaces (*simplex*) entre la Estación Terrena Satelital UPTC con algunos satélites de la red Cubesat y radioaficionados. Éstos consistieron en recibir en tierra la señal *beacom* emitida por el satélite.

Se comprobó que es posible recibir en la estación señales de satélites utilizando antenas con polarización lineal. Pero, es importante aclarar que este tipo de polarización presenta pérdidas en potencia que están alrededor de 3dB. Así mismo se sugiere se diseñen y construyan antenas tipo *yagui* cruzadas a fin de mitigar los efectos de la polarización.

Se propone la adición de un amplificador de bajo ruido LNA, lo que aumentará la sensibilidad del sistema de comunicaciones y permite 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 relación señal-ruido en la misma proporción.

De acuerdo a las pruebas y a la experiencia en el manejo de equipos se encontró que los radios (*Kenwood TM-D700 –Yaesu FT-7800*), presentan la desventaja de que el mínimo paso en frecuencia es de 5KHz imposibilitando la compensación continua de frecuencia para corregir el corrimiento por *Doppler*.

REFERENCIAS

[1] J. E. Espíndola, "Seguimiento de órbitas LEO basado en técnicas de Inteligencia Artificial," Presentado en la Novena Conferencia Iberoamericana en Sistema, Cibernética e informática, Orlando, Florida, EEUU, 2010.

[2] W. Molina, E. Corredor, "Simulador de fórmulas de mecánica orbital para posicionamiento de satélites," Presenta do en I encuentro Internacional de Investigación en Ingeniería de Sistemas e Informática, Tunja, Colombia, 2010.

- [3] A. Bernal, O. Barragán, "Diseño de estación terrena para picosatélites e implementación de software para el movimiento autónomo de antenas", Presentado en el III Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología Aeroespacial, Bogotá, Colombia, 2010.
- [4] R. N. Vela, Comunicaciones por satélite. vol. 1, 2003.
- [5] G. G. E. Eduardo, "Estructura de estación terrena para CUBESAT-UD," 2007.
- [6] P. Cornelis, "PACKET-RADIO ¿ESTO QUE ES?," 1989.
- [7] B. K. Graham Shirville. GENSO: A Global Ground Station Network.
- [8] IARU. (2009, 11 de Diciembre). The International Amateur Radio Union. Disponible en:
<http://www.iaru.org/index.html>
- [9] Disponible en: <http://www.itu.int/en/pages/default.aspx>
- [10] ARRL. About de ARRL. Disponible en: <http://www.arrl.org/about-arrl>
- [11] Decreto Numero 963 del 20 de Marzo de 2009 Reglamentación del Servicio de Aficionado, 2009.
- [12] Disponible en: <http://www.mintic.gov.co/radioDifusion.asp>
- [13] T. Wayne. (2003). Sistemas de Comunicaciones Electrónicas.
- [14] A. d. R. d. I. ITU, "Cálculo de la atenuación en el espacio libre," ed, 1994.
- [15] P. Tony. (2008, El Sol sin manchas: éste es el año "más blanco" de la Era Espacial.
- [16] L. G. Estevan. (2000). Cuando ocurren los eclipses.
 Disponible en: <http://www.arturosoria.com/fisica/art/eclipses.asp?pag=2>
- [17] E. G. Luis D. Emiliani, Jhon A. Agudelo, Juaquin G. Restrepo y Cesar Fradique-Mendez "Campaña de medición de atenuación por lluvia en Colombia, para enlaces satelitales en la banda Ku-Revision de resultados de un año".
- [18] PRATT, Timothy. BOSTIAN, Charles. Satellite Communications. Editorial WILEY. 2006.
- [19] C. KENWOOD, Manual de instrucciones de Kenwood TM-D700, 2006.
- [20] CARDAMA, Ángel y Otros. Antenas. Editorial Alfaomega. México 1999.
- [21] ARRL, he ARRL Handbook For Radio Communications 2010 Novena ed. Newington, 2010.
- [22] L. B. Thierry Capitaine , Valéry Bourn, Jacky Senlis. (2010, ROBUST SATELLITE AX25 FRAMES DEMODULATION.
- [23] P. Beavis, "The Global Educational Network for Satellite Operations," 2009.
- [24] Disponible en: <http://www.amsat.org/amsat-new/index.php>

Autorización y Renuncia

Los autores autorizan a LACCEI para publicar el escrito en las memorias de la conferencia. LACCEI o los editores no son responsables ni por el contenido ni por las implicaciones de lo que esta expresado en el escrito