

Canal de respaldo satelital para equipos GPRS

Back up satellite channel for GPRS equipment

Canal de respaldo de satélite para equipamientos GPRS

Fecha Recepción: 8 de Julio de 2015
Fecha Aprobación: 5 de Agosto de 2015

Hernán Paz-Penagos*
Johnny Alexander Arévalo-López**
Marco Andrés Ortiz-Niño***

Resumen

Se presenta la evaluación de la propagación sobre activos móviles de información transmitida desde el dispositivo OSP/Satelital a través de un canal de respaldo satelital de órbita baja. Esta comunicación se establece mediante el módem STX-2 de Globalstar®, que ofrece un canal de transmisión de datos alterno para unidades de Localización Vehicular Automática cuando salen de la cobertura de la red celular. La evaluación de la propagación se hizo mediante un balance de potencia calculada matemáticamente en el receptor. Los resultados de la experiencia investigativa evidencian un canal continuo, con baja latencia y desvanecimiento, que favorece la transmisión de la señal de radio microondas con bajo ruido y atenuación, y, en consecuencia, la recuperación de la información en el receptor.

Palabras clave: Activos móviles, Canal satelital, Frecuencia de microondas, Balance de potencia.

Abstract

The mobile assets information propagation's evaluation from the OSP / Satellite device, to a low-orbit satellite, through a support channel, is presented. This communication is established by the STX-2 modem of Globalstar® that offers an alternate channel data transmission for Automatic Vehicle Location units, when they leave the cellular coverage network. The propagation evaluation was made by a power balance mathematical calculations in the receiver. The research results show a continuous channel, with low latency and fading, which favors the transmission of microwave radio signal with low noise and attenuation, and therefore the information retrieval in the receiver.

* Ph. D. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito (Bogotá – Distrito Capital, Colombia). hernan.paz@escuelaing.edu.co.
** Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito (Bogotá – Distrito Capital, Colombia). johnny.arevalo@escuelaing.edu.co.
*** Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito (Bogotá – Distrito Capital, Colombia). marco.ortiz@escuelaing.edu.co.

Keywords: Mobile Assets, Satellite Channel, Microwave Frequency, Power Balance.

Resumo

Apresenta-se a avaliação da propagação sobre ativos móveis de informação transmitida desde o dispositivo OSP/Satélite através de um canal de respaldo de satélite de órbita baixa. Esta comunicação se estabelece mediante o modem STX-2 de Globalstar®, que oferece um canal de transmissão de dados alternativo para unidades de Localização Veicular Automática quando saem da cobertura da rede celular. A avaliação da propagação foi feita mediante um balanço de potência calculada matematicamente no receptor. Os resultados da experiência de pesquisa evidenciam um canal contínuo, com baixa latência e desvanecimento, que favorece a transmissão do sinal de rádio micro-ondas com baixo ruído e atenuação, e, em consequência, a recuperação da informação no receptor.

Palavras chave: Ativos móveis, Canal de satélite, Frequência de micro-ondas, Balanço de potência.

I. INTRODUCCIÓN

Recientemente se han lanzado constelaciones de satélites para ofrecer comunicaciones de voz y datos a usuarios móviles en todo el mundo; estos sistemas utilizan satélites de órbita baja (*LEO=Low Earth Orbit*), pequeños o grandes, o de órbita media (*MEO=Medium Earth Orbit*); los primeros ofrecen servicios de datos y telemetría, y los segundos proporcionan comunicaciones de voz en tiempo real.

Este avance de las telecomunicaciones era la oportunidad que estaban esperando compañías del sector de transporte de hidrocarburos y de carga en Colombia, las cuales requieren monitorear sus activos móviles en todo momento y en lugares geográficos de cobertura nacional, con fines de logística, trazabilidad y administración de ellos. Sin embargo, las soluciones tecnológicas que ofrece el mercado de las telecomunicaciones son equipos de transmisión de servicio general de paquetes vía radio (*GPRS: General Packet Radio Service*) con cobertura celular [1]; dichos equipos mantienen la comunicación mientras exista conexión a la antena, y la pierden en regiones apartadas.

Frente a esta situación, el Grupo de Investigación Ecitronica, de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito (entidad ejecutora), Colciencias (entidad financiadora) y OSP LTDA (entidad beneficiaria) sumaron esfuerzos para diseñar y construir un dispositivo OSP/satelital que reusara equipos GPRS existentes en el mercado [2] y garantizara la localización y seguimiento de activos móviles con cobertura nacional. Para lograr lo anterior aprovechó el canal de respaldo que ofrece el módem STX-2 de *Globalstar®*, y lo comunicó a través de un microcontrolador a las unidades de localización

automática existentes en el mercado (*DCT SYRUS®*, *Skypatrol TT8750®* y *Enfora GSM1308®*); de esta forma concibió el dispositivo OSP/Satelital para su diseño y construcción.

Este artículo presenta la evaluación de la propagación de información modulada RF desde el dispositivo OSP/Satelital y hacia la red de satélites de órbita baja de *Globalstar®*, que sucede cuando la comunicación del activo móvil sale de cobertura de la red celular y conmuta al canal de respaldo satelital [3-5]. Dicha evaluación se hizo mediante el balance de potencia que recoge los factores de ganancia y pérdida del enlace de radio móvil, confrontándolos con las necesidades de señal recibida en el extremo distante.

II. MARCO TEÓRICO

A. Dispositivo OSP/Satelital

Este desarrollo integró hardware, firmware y software, y con él se pudo transmitir información (mensajes de hasta 144 bytes en paquetes de nueve bytes) de forma simplex y con cobertura nacional. El equipo también cuenta con interfaces (*EUSART: Enhanced Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter; SPI: Serial Peripheral Interface*), puertos de entrada (*USB: Universal Serial Bus*, y *DB-9*) y comandos simples para comunicarse con computadores, unidades de localización automática, módulos de desarrollo (STX2), microcontroladores y FPGA (*Field-Programmable Gate Array*), entre otros. Las unidades de localización automática son equipos GPRS comerciales que se utilizan para localización y rastreo de activos móviles con cobertura celular, y en intervalos de tiempo real. En las Figuras 1a-1c se muestra el diseño y la construcción del dispositivo OSP/Satelital.

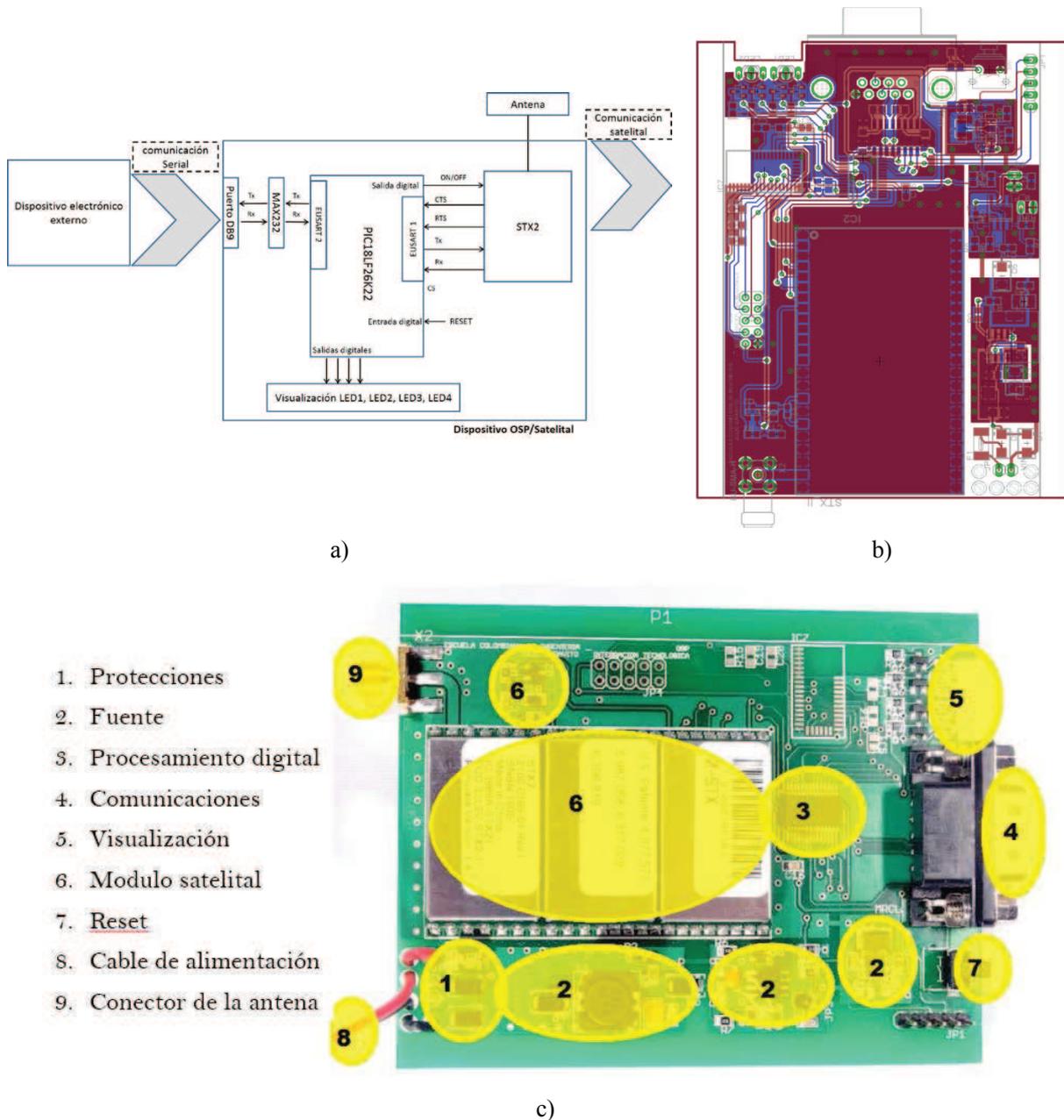


FIG. 1. a) Diagrama de bloques del diseño, b) PCB, c) Tarjetas del dispositivo OSP/Satelital.

La Fig. 1a) muestra los bloques circuitales del hardware y las interfaces de comunicación que conforman el OSP/Satelital; las Figs. 1b) y 1c) evidencian la construcción del PCB y la tarjeta de dicho dispositivo. Los datos del dispositivo electrónico externo (ver Fig. 1a) son variables de medición o geolocalización de activos móviles, como latitud, longitud, orientación, altura, velocidad, temperatura, humedad y cualquier otra variable medible que implique un ancho de

banda reducido para su transmisión; estas deben estar en formato ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*) y no pueden superar los 300 bytes, para evitar desbordamientos en el buffer del microcontrolador, lugar en el cual son almacenados los datos.

Esta información se envía serialmente a la MAX232, y de esta, a la interfaz serial EUSART 2 del

microcontrolador PIC18LF26K22 [6], para que sea procesada. Luego, el micro la retransmite a través de su interfaz serial EUSART 1 al módem satelital STX2 del fabricante *Globalstar*[®], que se encarga de la transmisión satelital [7-8].

B. Modem STX2

El módem STX2 fue fabricado por *Globalstar*[®] y certificado FCC-CFR (*Federal Communications Commission-Code of Federal Regulations*) Parte 25, Industry Canada y CE Tested; es el encargado de ofrecer el canal de respaldo satelital o camino de

datos alterno y complementario a las unidades de localización vehicular.

Como se muestra en la Fig. 2, el módem STX2 consta de una antena tipo parche [9-11], una entrada digital (que lo habilita o deshabilita), una fuente de alimentación (que suministra un voltaje máximo de 3.3V), un sensor y una interfaz de comunicación serial. Esta interfaz es bidireccional, usa el protocolo UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) con señales digitales de 3V para sus pines RX, TX, CTS y RTS, y su conexión física la establece mediante caminos de montaje superficial.

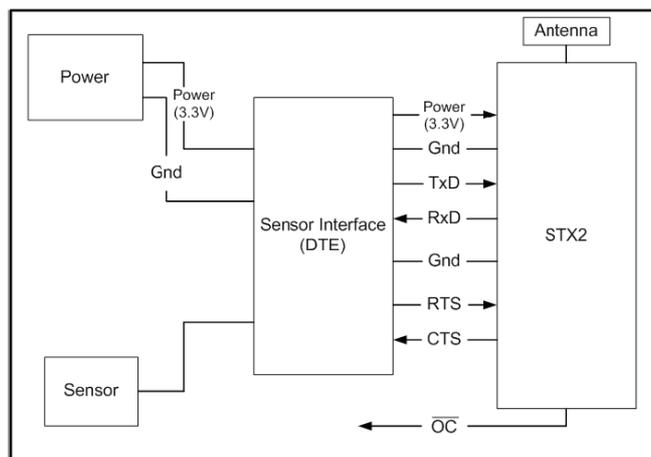


FIG. 2. Bloques circuitales del STX2.

C. Conformación de la banda base para el STX2

En el microcontrolador del dispositivo OSP/Satelital se empaquetan comandos y datos que se reciben serialmente de las interfaces EUSART; además, se le agregan datos de verificación de paridad [12] para garantizar una transmisión correcta; esta información se envía al STX2. Cuando el STX2 recibe del microcontrolador un paquete con comando 0X00, extrae el mensaje interno de 9 bytes y lo reubica en un nuevo paquete.

La unidad del servicio de radiofrecuencia del STX2 es un mensaje. Dependiendo de la longitud de datos por enviar, un mensaje puede ser dividido en varios paquetes. El módem utiliza el protocolo que se muestra en la Fig. 3 para administrar la transmisión de datos. La estructura del paquete inicia con un preámbulo, sigue con el identificador de la unidad, el número de mensajes por transmitir, el número de paquetes por mensaje, nueve bytes de información del usuario y termina con un CRC (*Cyclic Redundancy Check*) de 24 bits [13].

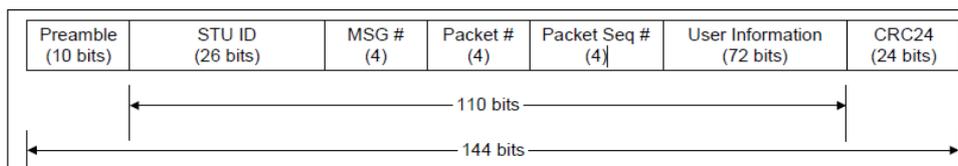


FIG. 3. Paquete de datos de la interfaz aérea. Fuente: [4].

Una vez se ha creado el paquete, es enviado repetidas veces. El tamaño del paquete es de nueve bytes, generalmente, y el tiempo de transmisión es de 1.4 seg. El número de intentos de transmisión, así como el intervalo de tiempo para estos intentos, son parámetros configurables. El intervalo de tiempo es seleccionado

de manera aleatoria según el rango mínimo y máximo configurado. Para enviar varios paquetes a través de la interfaz aérea se debe seguir una secuencia para todos los intentos; por ejemplo, para la transmisión de tres paquetes se sigue la secuencia mostrada en la Fig. 4 [14].

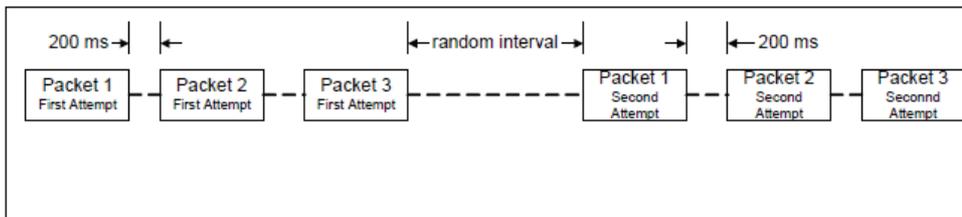


FIG. 4. Secuencia que siguen tres paquetes que se envían a través de la interfaz aérea. Fuente [4].

D. Transmisión de la banda base

Los bits de información se codifican mediante una lógica digital OR exclusiva con una secuencia de Barker (también llamado código de dispersión o *PN*: *Pseudo-Noise*); con esta operación se genera un patrón de bits redundante para cada uno de los bits que componen la señal. Cuanto mayor sea ese patrón de bits, mayor será la resistencia de la señal a las interferencias. El estándar IEEE 802.11 recomienda

un tamaño de 11 bits. En recepción se decodifica para obtener la información original.

La señal banda base codificada se modula en DSSS (Direct-Sequence Spread Spectrum), de tal forma que aumente el ancho de banda de la transmisión y reduzca la densidad de potencia espectral [15]. Como se muestra en la Fig. 5, la señal resultante tiene un espectro muy parecido al del ruido y se transmite con una potencia isotrópica radiada efectiva: PIRE de 18dBm +/- 2dB.



FIG. 5. Portadora digital que modula banda base del dispositivo OSP/Satelital.

El usuario puede seleccionar la frecuencia de radio a la cual quiere transmitir la información; esta frecuencia puede ser escogida entre un rango comprendido de

1611.25 MHz hasta 1818.75 MHz, con una resolución de 2.5 MHz entre canales.

E. Antena del STX2

la izquierda; otras especificaciones de la antena se resumen en la Tabla 1.

La antena del STX2 es cerámica y radia campo electromagnético con polarización circular hacia

TABLA 1
ALGUNAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA ANTENA

Especificaciones	Valor
Tipo de tecnología	Patch Antenna
Marca	API Technologies - Spectrum Control
Frecuencia	1615MHz
Permitividad eléctrica	$2.2 \leq \epsilon_r \leq 12$
Ancho de banda	25MHz
Impedancia	50Ω
Rango de ganancia	De -1dBic a 4dBic en un área espacial comprendida entre 25° y 90° de ángulo de elevación
Ganancia promedio	3 dBi
Área del plano artificial de tierra	2.75x2.75pulgadas
Impedancia de antena	$Z_a=50\Omega$
Alimentación	Por línea microstrip

Como se evidencia en la Fig. 6, la antena *patch* emite un patrón de radiación directivo.

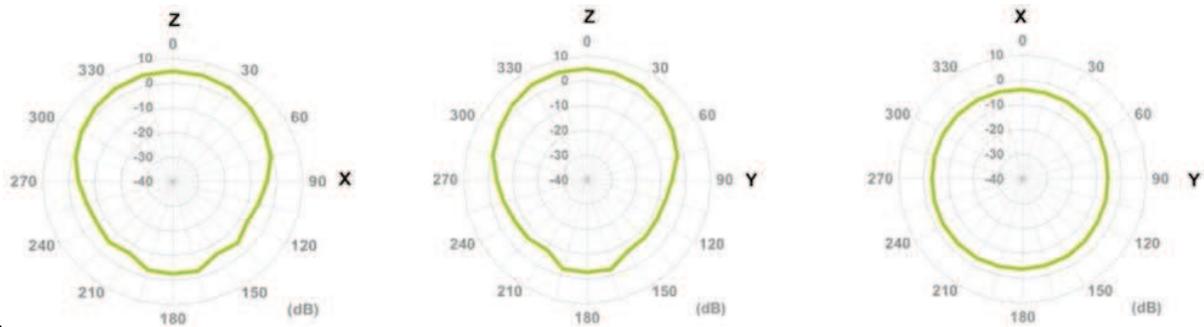


FIG. 6. Patrón de radiación de la antena *patch* para F=1615MHz.

F. Propagación de señal a satélites de órbita baja

La comunicación entre el dispositivo OSP/satelital y el receptor de datos (usuario) puede hacerse a través de la red celular o mediante la constelación de satélites de *Globalstar*® (ver Fig. 7). Esta última se establece por conmutación de paquetes [16].

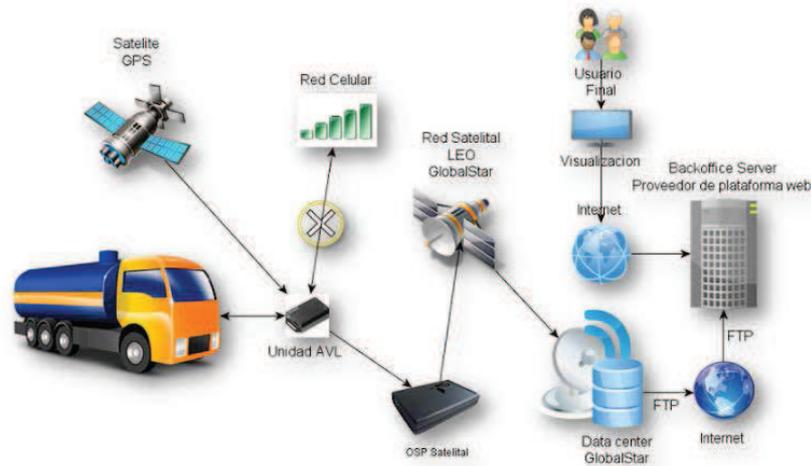


FIG. 7. Propagación satelital de la señal entre el activo móvil y el receptor de datos (usuario).

La propagación de la banda base modulada DSSS, a una frecuencia y con una polarización del campo eléctrico específico, a través del canal de respaldo satelital presenta características particulares. Estas características definen el comportamiento de la señal electromagnética: velocidad, dirección e intensidad, que cambian según las condiciones del espacio libre.

Un aspecto importante para predecir el comportamiento de la señal electromagnética es la forma como se modela el medio de propagación (canal de radio) y el ambiente en el cual se desea implementar un sistema en particular (orografía colombiana). El modelo de propagación es la representación simplificada de la realidad por medio de un conjunto de expresiones matemáticas, diagramas y algoritmos en función de la frecuencia, la distancia y otras condiciones, usados para representar el enlace de radio en un contexto particular.

Los distintos modelos que cuantifican el valor de las pérdidas del trayecto (*Path Loss*) se diferencian entre ellos por su enfoque, complejidad y precisión; sin embargo, se puede hacer una clasificación general de los modelos en función de su origen, constituyéndose tres grupos: empíricos, semiempíricos y analíticos [8]. En el grupo de los modelos empíricos aplicables a sistemas de enlace a satélite de órbita baja se encuentra el modelo de propagación en espacio libre modificado por el suelo (reflexión y difracción) y por la troposfera (refracción, atenuación y dispersión); este también

es conocido como modelo de Friis y es usado para predecir la señal recibida cuando el transmisor y el receptor tienen línea de vista.

III. METODOLOGÍA

Para evaluar la propagación de la portadora digital de espectro expandido (*DSSS: Direct Sequence Spread Spectrum*) a través de un canal de respaldo satelital de órbita baja, se hicieron dos pruebas previas que validan la recepción correcta de la información. En este contexto, el Anexo 1 evidencia el éxito de dichas pruebas.

En pruebas realizadas con el OSP/Satelital se conocía la potencia transmitida P_t , la distancia r , la frecuencia y la ganancia de la antena parche G_A ; además, se asumió la figura de mérito, que representa la calidad de la recepción de la señal en el satélite de órbita baja, y se evaluaron las pérdidas en espacio libre, la potencia efectiva radiada isotrópica *PIRE*; con los resultados anteriores se calculó matemáticamente el balance de potencia en el receptor.

Para minimizar el efecto de algunos problemas que se iban a presentar en la propagación de información a través del canal de respaldo satelital, se aplicaron algunas estrategias de diseño en ingeniería de telecomunicaciones; estas fueron: el dimensionamiento y construcción del dispositivo OSP/Satelital fue cuidadoso al seleccionar elementos

de bajo ruido, filtrado, blindaje electrostático o electromagnético, módem con tipo de modulación resistente al ruido, antena con polarización del campo eléctrico adecuado (polarización circular) y lugar de operación del transmisor.

En algunos casos se usaron conexiones balanceadas (dos líneas con señales opuestas en fase y una línea común de referencia) que permitieron cancelar el ruido captado por los conductores; en otros casos, se eliminaron las fuentes que generaban ruido (fuentes de polarización conmutadas, trabajar en laboratorio con presencia de tubos fluorescentes encendidos, etc.). De igual manera, se pudieron evitar los problemas de interferencias operando el sistema con un mínimo ángulo de elevación.

IV. RESULTADOS

Las pérdidas de propagación en el espacio libre responden al cálculo de la ecuación (1).

$$l_p(dB) = 20 \log \left(\frac{4\pi r}{\lambda} \right) = 159.6 \quad (1)$$

Donde:

λ = longitud de onda, para una $F = 1611.23(GHz)$

r = distancia en km: 1414 km del dispositivo OSP/Satelital al satélite de *Globalstar*®

Como se evidencia en la anterior ecuación, las pérdidas se incrementan mientras que la potencia recibida decrece a medida que la separación r entre las antenas receptora y transmisora aumenta; esta ley del cuadrado inverso afirma que entre más lejano vaya el frente de onda de la señal transmitida, la densidad de potencia es más pequeña.

El balance de potencia en el satélite se evalúa mediante la ecuación (2).

$$\frac{C}{N_o}(dB) = PIRE(dBm) - l_p(dB) + \left(\frac{G}{T_e} \right) (dB \cdot K^{-1}) - K(dB \cdot K) \quad (2)$$

Donde:

$PIRE$ se calcula con la ecuación (3).

$$PIRE = P_t \cdot G_A = 18(dBm) \quad (3)$$

Los enlaces de los activos móviles a frecuencias de microondas bajas (banda L) se justifica por la limitación de potencia en el terminal.

l_p : Pérdidas por espacio libre.

Debido a las potencias extremadamente pequeñas de la portadora de recepción que normalmente se experimentan en los sistemas satelitales, frecuentemente se sitúa un LNA (*Low-Noise-Amplifier*) en el punto de alimentación de la antena. G/T_e es una relación de la ganancia de la antena receptora más la ganancia del LNA, a la temperatura de ruido equivalente.

$\left(\frac{G}{T_e} \right)$: es la figura de mérito que para comunicaciones con satélites de órbita baja se asume de -27.32 (dB/K).

$K(dB \cdot K)$ es la constante de Boltzmann, que en unidades logarítmicas se calcula con la ecuación (4).

$$K(dB \cdot K) = 10 \log(1.38 \times 10^{-23}) \quad (4)$$

Finalmente se obtiene $\frac{C}{N_o}(dB) = 59.68$

Con respecto a la recepción correcta de la información, también se analizaron otros parámetros de interés en el enlace: línea de vista y polarización del campo eléctrico de la antena transmisora.

La condición más desfavorable constatada durante las pruebas de transmisión del dispositivo OSP/Satelital se presentaron cuando se obstruía la línea de vista. Nunca fue posible recibir ningún tipo de información en el servidor durante los tiempos establecidos (20 minutos) cuando se ocultaba la antena del dispositivo OSP/Satelital.

La pérdida de la línea de vista también se presentó, en las pruebas, cuando no había disponibilidad del satélite para el dispositivo OSP/Satelital; esto sucedió para ángulos de elevación de la antena entre 5° y 175° , siempre medidos desde el punto de observación y sobre el horizonte de observación. Este intervalo de tiempo corresponde a una fracción del periodo de rotación del satélite alrededor de la Tierra (recomendación UIT-R S.579).

La pérdida del enlace también pudo haber sucedido durante la transmisión cuando el satélite era visible por el dispositivo OSP/satelital –se plantea de manera hipotética, porque no se contó con medidas de información de las señales recibidas en el satélite–. En este caso, la portadora digital pudo arribar al satélite con un margen dinámico grande, imposible para que la circuitería interna del satélite pudiese recuperar los datos, para continuar retransmitiéndolos.

Aunque no se constató, porque corresponde a la estación receptora terrena, se pudo perder la comunicación cuando la estación receptora terrena estaba en el punto más cercano dentro del horizonte de observación del satélite, esto debido a la presencia de ondas reflejadas secundarias que acompañan la señal directa (fenómeno de multitrayectoria).

La trayectoria que seguía la propagación de la portadora digital en la banda de UHF (*Ultra High Frequency*) entre el equipo OSP/Satelital y el satélite de la red de satélites Globalstar cruzaba la capa de la ionósfera. Esta situación ocasionaba pérdidas de transmisión por despolarización de la onda debido al efecto de la rotación de Faraday (el vector de campo eléctrico al cruzar la ionósfera gira de manera aleatoria, y la onda tipo TEM pierde la polarización); sin embargo, para paliar este efecto se usó una antena transmisora tipo patch con polarización circular hacia la derecha.

La rotación de Faraday es inversamente proporcional al cuadrado de la frecuencia y proporcional a la integral del producto de la densidad de electrones en la ionósfera por el componente de campo magnético terrestre en la dirección del trayecto de propagación. Su valor medio presenta variaciones diurnas, estacionales y de ciclo solar regulares que pueden predecirse. Estas pueden ser compensadas por medio de ajustes de la polarización en la estación terrena receptora o en el satélite.

V. DISCUSIÓN

Las pérdidas halladas para el enlace ascendente están por debajo del nivel permitido por el STX2, de 161.23 dB para el enlace de subida a la frecuencia de $F = 1611.23(GHz)$.

Las órbitas terrestres de baja altura (red de satélites LEO) prometen un ancho de banda extraordinario y una latencia reducida (casi despreciable de unas pocas centésimas de segundo). De igual manera, y como se muestra en la Fig. 8, los enlaces de microondas en la sub-banda L (1611 MHz) presentan efectos de atenuación despreciables para condiciones de transmisión con lluvia, niebla y componentes gaseosos.

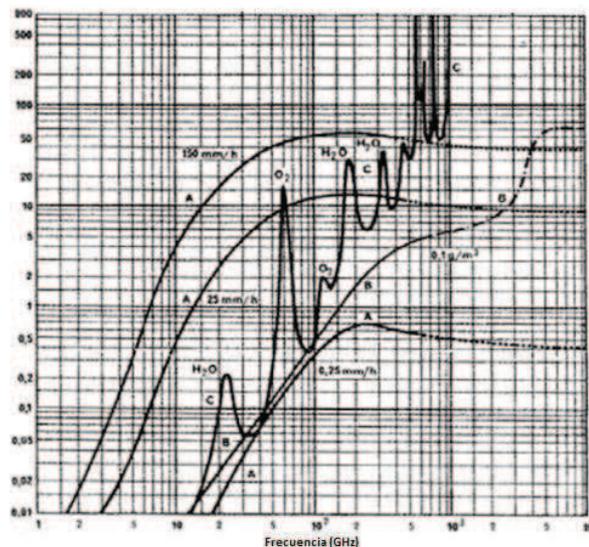


FIG. 8. Efectos de atenuación en la atmósfera vs. frecuencia. A) Lluvia, B) Niebla y C) Componentes gaseosos.

Los efectos de la tropósfera sobre la propagación de la señal de radio pueden curvar en algunos casos las trayectorias rectilíneas de propagación de las ondas de radio, debido a la no homogeneidad de sus índices de refracción; sin embargo, este no fue el caso de esta transmisión, ya que el enlace se estableció en la sub-banda L de microondas, en cuya franja es despreciable tal efecto.

La variación de la densidad de la atmósfera con la altura y la presencia de discontinuidades y turbulencias producen refracción de las ondas y desencadenan el fenómeno de desvanecimiento por multitrayectoria. Como resultado de la suma vectorial de las ondas recibidas de distintas trayectorias puede producirse reforzamiento o cancelación parcial de la señal en forma de desvanecimientos o fluctuaciones rápidas; sin embargo, esta condición de centelleo no fue posible evidenciarla en esta investigación, porque no se tenía acceso a la antena receptora de la estación terrena.

Es probable que el movimiento del satélite a lo largo de su órbita (no estacionariedad de él) produzca una deriva de frecuencia respecto a la frecuencia central en el receptor (efecto doppler que provoca el desplazamiento de la frecuencia de la portadora respecto a la frecuencia central). Bajo estas circunstancias, se afectan los sincronismos de bit y de portadora, que pueden ser las causas por las cuales se deban hacer varios envíos. Sin embargo, el servicio de comunicación satelital ofrecido por *Globalstar*® a través del módulo STX2 es redundante (un terminal tiene acceso simultáneo a 4 satélites); esto evita los cortes de comunicación cuando un obstáculo surge entre el usuario y un satélite en particular.

VI. CONCLUSIONES

Con el funcionamiento del dispositivo OSP/Satelital se comprobó alta probabilidad de transmisión en todo el territorio nacional, baja latencia y probabilidad de error, siempre que se garantizaba transmisión con línea de vista con el satélite.

Las condiciones climatológicas, como presencia de lluvia o nubosidad, que se podrían pensar eran las menos favorables, para la transmisión de microondas, no representaron problemas de desvanecimientos por multitrayectoria y cambio de polarización de la onda emitida por el dispositivo OSP/Satelital. Este resultado se constató con la recepción de información correcta en el servidor y dentro de los tiempos establecidos (20 minutos). En esta perspectiva, el desempeño de los enlaces de los activos móviles a frecuencias de microondas en la sub-banda L es bueno, debido a las bajas pérdidas por absorción atmosférica con presencia de lluvia o nubosidad (del orden de 0.0001) para una onda electromagnética con polarización circular a la derecha y a la frecuencia de 1611.23 GHz.

La relación entre la señal de la portadora y la densidad espectral de ruido, calculada para el enlace ascendente entre la antena Patch del módulo satelital STX2 y el satélite de órbita baja de *Globalstar*®, es de 59.68 (dB), lo que representa que el nivel de la señal de la portadora es 955 veces mayor que el nivel de ruido. Esto permite confirmar que la tasa de error de bit (BER=Bit Error Rate) es bajo y que se garantiza una recepción correcta de la información.

La comunicación con satélites de *Globalstar*® no se ve directamente afectada por ruido galáctico; tampoco evidencia grandes pérdidas por espacio libre y retardos considerables de propagación, debido a las menores trayectorias de transmisión en comparación con los sistemas de órbita geostacionaria (*GEO: Geostationary Earth Orbit*).

REFERENCIAS

- [1] R. J. Bates, *GPRS*. Kindle edición, Mc Graw-Hill. New York, 2012.
- [2] Z. Zhao, W. *et al.* "Shipping Monitoring System Based on GPS and GPRS Technology", in: *2009 WASE International Conference on Information Engineering ICIE*, vol. 1, pp. 346-349. Washington DC, USA, 2009.
- [3] Orbcomm system review. (2001, Aug.). [Online]. Available: http://www.m2mconnectivity.com.au/sites/default/files/more-information/System_Overview_Rev_G.pdf
- [4] Axonn-Globalstar, *Satellite Transmitter Product Data Sheet*. [Online], 2005, Nov. Available: <http://common.globalstar.com/doc/axonn/stx2-datsasheet.pdf>
- [5] Iridium Communications - Revised 4.0. *Iridium 9602 SBD Transceiver Developer's Guide* (2014 Jan.). [Online]. Available: http://www.g-layer.com.au/wp-content/uploads/IRDM_9602DeveloperGuideV4_DEVGUIDE_Sep2012.pdf
- [6] Microchip Technology Incorporated (2012, June). *PIC18 (L) F2X / 4XK22 Data Sheet 28/40/44-Pin, Low-Power and High-Performance Microcontrollers with XLP Technology*. [Online]. Available: www.tme.eu/es/Document/.../pic18f2x_4xk22.pdf
- [7] A. Goldsmith. *Wireless communications*. Fourth edition, Cambridge university press. Stanford University. Santa Barbara, California. 2005.
- [8] A. Sendin. *Fundamentals of mobile communication systems*. McGraw-Hill/Inter of Spain, SAU, 2004.
- [9] M. Wael *et al.* "Implementation of GPRS-Based Positioning System Using PIC Microcontroller", *2nd International Conference on Computational Intelligence, Communication Systems and Networks CICSYN*, 2010, pp. 365-368.

- [10] On Medany *et al.* "A Cost Effective Real-Time Tracking System Prototype Using Integrated GPS / GPRS Module", *Sixth International Conference on Wireless and Mobile Communications: ICWMC*, 2010, pp. 521-525.
- [11] C. A. Balanis. *Antenna theory: analysis and design*, fourth edition, John Wiley & Sons, Inc. New Jersey, 2005.
- [12] H. Paz. *Digital communications systems*", first edition, Colombian School of Engineering. Bogotá-Colombia. 2009.
- [13] B. Jun *et al.* "Traffic Data Collection System for Floating Car Based on GPS / GPRS / MM", *Second WRI Global Congress on Intelligent Systems: GCIS*, vol. 3, pp. 66-69, 2010.
- [14] M. J. Donahoo and K. L. Calvert. "TCP / IP Sockets", in *C. Morgan Kaufman Publishers*. USA. 2001.
- [15] M. Scarpino. *Designing Circuit Boards with Eagle*, Kindle edition, Prentice Hall, United Kingdom. 2014.
- [16] S. Haykin. *Communications systems*. Fourth edition. John Wiley & Sons, Inc. USA. 984p.