

Campaña De Medición De Atenuación Por Lluvia En Colombia, Para Enlaces Satelitales En La Banda Ku - Revisión De Resultados De Un Año.

Luis D. EMILIANI
GIDATI – Universidad Pontificia Bolivariana
Medellín, Antioquia, Colombia

Esteban GUTIÉRREZ
GIDATI – Universidad Pontificia Bolivariana
Medellín, Antioquia, Colombia

Jhon A. AGUDELO
GIDATI - Universidad Pontificia Bolivariana
Medellín, Antioquia, Colombia

Joaquín G. RESTREPO
GIDATI – Universidad Pontificia Bolivariana
Medellín, Antioquia, Colombia

César FRADIQUE-MENDEZ
Circulo De Estrategia
Bogotá D.C., Colombia

RESUMEN

La atenuación por lluvia es el factor que más afecta a las señales que se transmiten en frecuencias de microondas sobre 10 Ghz. El impacto de la lluvia resulta en atenuación de la señal y depolarización de la onda electromagnética. Existen metodologías de predicción que son capaces de estimar la atenuación en cualquier punto del planeta, pero tienen falencias a la hora de realizar predicciones en climas tropicales debido principalmente a la poca diversidad de información existente de estos climas para el desarrollo de los modelos. Este artículo propone una metodología para la medición de la atenuación por lluvia en una red VSAT operativa, de forma que pueda ser aplicada por proveedores de equipos y servicios a nivel mundial, ampliándose así la diversidad de información en las bases de datos. Esta metodología está en aplicación en Medellín, Colombia, en dos terminales Vsat y los resultados de un año de mediciones se presentan a continuación.

Palabras clave: Comunicaciones satelitales, propagación, microondas, lluvia, redes VSAT, radiopropagación.

1. INTRODUCCIÓN

La presencia de lluvia en el trayecto de transmisión es la principal causa de degradación en enlaces de microondas que operan sobre 10 Ghz. Las gotas de lluvia absorben y dispersan la onda, causando atenuación y reduciendo el desempeño y la disponibilidad del sistema.

Existen diversas metodologías para la predicción de la atenuación en trayectos de microondas. Aunque existen aproximaciones físicas al problema de la interacción entre la onda y la gota de agua que resultan en modelos de predicción de atenuación de corte físico, otra forma de enfrentar el problema es desarrollar, vía regresiones, un conjunto de ecuaciones que asemejen el comportamiento observado. Para este fin se emplean bases de datos mundiales, a las cuales

contribuyen tanto las administraciones y agencias nacionales como universidades y compañías que desarrollan investigaciones particulares. Los datos consisten en mediciones de atenuación por lluvia y rata de lluvias, con período de muestreo restringido al intervalo de 1 a 5 minutos, de forma que se caracterice correctamente un evento de lluvia de alta intensidad y corta duración.

La falta de información ya sea con propósitos de verificación o de modelamiento, proveniente de las zonas tropicales, causa que las estimaciones de los modelos globales se desvíen de los datos reales. Pocos países de zona tropical han remitido a la ITU sus mediciones y bases de datos, para que sean incluidos en los procesos de evaluación y desarrollo de modelos. Ejemplos de estos son Brasil, Malasia, Singapur, Nigeria e Indonesia. Sin embargo, estas remisiones no son suficientes para reducir la incertidumbre existente cuando un ingeniero de telecomunicaciones usa un modelo de predicción para estimar márgenes de lluvia en otras naciones tropicales. Puede percibirse, a través de los esfuerzos realizados por la Agencia Espacial Europea -ESA- (ARTES 1 1B.002 Tender) [1], que la necesidad de más información del fenómeno en climas tropicales continúa siendo muy alta. Una campaña importante, con miras a caracterizar el fenómeno de lluvia en las zonas tropicales, es el proyecto conjunto Estados Unidos - Japón denominado Misión de Mediciones de Lluvia Tropical (Tropical Rain Measurement Mission, TRMM, trmm.gsfc.nasa.gov). Aunque es un esfuerzo importante, los datos recopilados por esta campaña no pueden emplearse directamente en la predicción de atenuación debido al período de integración empleado. Otra fuente de datos con período de integración largo es el Proyecto Global de Medición de Precipitación. (Global Precipitation Climatology Project, GPCP - <http://cics.umd.edu/~yin/GPCP/>), parte del Programa de Investigación Climática Mundial (World Climate Research Programme -WCRP-).

Desde un punto de vista de servicios, hoy día existe alta demanda por servicios de banda ancha (servicios IP, acceso a

Internet, tele-medicina, tele-educación- y de igual forma, alta presión para que estos servicios se presten con una tarifa mensual competitiva (baja).

Para lograr este objetivo, deben considerarse tres factores: primero, un costo bajo de la terminal satelital, segundo, un valor de segmento espacial igualmente bajo (U\$/MHz) y tercero un valor bajo de equivalente potencia ancho de banda (PEB- Power-Equivalent Bandwidth). Es precisamente en este factor en el que juega un papel importante el margen de lluvias. El PEB es un concepto mediante el cual un operador espacial cobra al usuario tomando en cuenta tanto el ancho de banda que ocupa como la potencia de amplificador en el satélite que necesita para lograr la calidad esperada. Existe entonces una relación directa entre los márgenes contra atenuación del enlace y el ancho de banda equivalente requerido. Si se emplea una combinación “errónea” de modelos de predicción de atenuación y de predicción de rata de lluvias, existe la posibilidad de generar un sobrecosto en el sistema, debido a la necesidad de potencia adicional del transponder (mayor PEB), antenas más grandes y en consecuencia un cargo mensual mayor de lo necesario. Alternativamente, un modelo de predicción inadecuado también conduce a una subestimación del efecto de la lluvia, impactando gravemente a los usuarios resultando en una disponibilidad inferior a la esperada.

Adicionalmente, es importante anotar que el transporte de protocolo TCP en canales de alto retardo y alta probabilidad de error requiere de optimizaciones al tamaño de ventana y a los algoritmos de SLOW-START. Este punto es ampliamente reconocido hoy en día, de forma que se encuentran en el mercado y en el medio investigativo diversas alternativas de optimización como TCP-Vegas, TCP-Reno, TCP-SACK. En particular, TCP no puede explotar al máximo el canal satelital debido a lo siguiente [2].

- Elevado producto Ancho de banda – Retardo. Este producto puede definirse como la cantidad de datos en tránsito en el canal hacia el receptor requeridos para hacer máxima la utilización del canal. Este valor de producto es demasiado alto para la configuración estándar de TCP.
- Largo tiempo de realimentación (lazo de realimentación): Debido a los retardos involucrados en una transmisión satelital de doble vía (aprox. 500 milisegundos), le tomará largo tiempo al transmisor el saber si el paquete que ha enviado fue recibido correctamente. Este problema afecta tanto a las transmisiones interactivas (Telnet por ejemplo) como a los algoritmos de control de congestión.
- Errores en la transmisión: Los enlaces satelitales están sujetos a diversas fuentes de error (desvanecimientos por lluvia, gases, niebla, altas pérdidas de espacio libre) que pueden causar pérdida de paquetes. En caso de pérdida, el transmisor no es capaz de determinar si esta ocurrió por problemas de calidad del enlace o por problemas de congestión de red. Una pérdida de paquetes siempre se interpreta como congestión de red y la acción correctiva es reducir el tamaño de la ventana de transmisión, lo cual puede empeorar la situación. Es en este punto específicamente donde se ve la importancia de un adecuado modelaje del impacto de cada elemento que afecte la propagación de la señal en su trayecto tierra espacio.

Es importante anotar que los servicios descritos (tele-medicina, Internet de banda ancha, tele-educación, todos basados en TCP)

se están convirtiendo en proyectos bandera para acceso universal en los países latinoamericanos (véase por ejemplo los proyectos E-Méjico, de Méjico, Compartel, de Colombia, Fitel de Perú y GSAC de Brasil) en los que las condiciones geográficas de acceso a las zonas rurales son complejas, convirtiéndose las soluciones vía satélite en la opción más viable para el desarrollo de estos servicios de forma competitiva y asequible [3].

Habiendo descrito el impacto de la elección de un margen de lluvias, solo resta reiterar la importancia que tiene la selección de un modelo de atenuación por lluvias. Es por esto que este fenómeno continúa siendo sujeto de investigación a nivel mundial.

Este artículo propone una metodología aplicable a una terminal satelital tipo VSAT común en el mercado. A través del uso de esta metodología, las empresas o universidades interesadas en conducir sus propias campañas de medición de atenuación pueden explotar los beneficios de este tipo de actividades (mayor precisión en la estimación de las condiciones de operación de un enlace y un diseño de enlace más balanceado) sin tener que desarrollar plataformas o adquirir equipos especializados, solamente usando sus propias estaciones.

Este artículo se divide en cuatro secciones:

La sección 2 describe el experimento y la propuesta de modelo para resolver el problema de encontrar la atenuación en el enlace, para un tiempo t .

La sección 3 muestra los resultados de la campaña, en banda Ku

La sección 4 resume conclusiones y trabajos futuros.

2. DESCRIPCION DE LA METODOLOGÍA EMPLEADA

El objetivo del experimento es determinar las pérdidas adicionales a las del espacio libre en un trayecto tierra-espacio, a una frecuencia determinada. Como se dijo antes, para frecuencias superiores a 10 Ghz la presencia de agua en la atmósfera en forma de lluvia es causa de degradaciones importantes en la señal transmitida, convirtiéndose en el fenómeno de propagación de mayor impacto en enlaces de disponibilidad media-alta (>99.5%), por encima de otros fenómenos como absorción por gases atmosféricos y nubes. Esto significa que la atenuación experimentada en el enlace está dominada por la contribución de la lluvia, la cual es al menos un orden de magnitud superior que los demás efectos.

La ecuación básica de transmisión establece una relación E_b/N_0 a partir de la Potencia Isotrópica Efectiva Radiada (EIRP – Effective Isotropic Radiated Power) de un transmisor. Los elementos más importantes a considerar en esta ecuación de enlace son:

- Potencia de transmisión, vía la EIRP.
- Distancia de la estación terrena al satélite
- Figura de mérito (G/T) de la estación receptora, dependiente de las condiciones climáticas.
- Factores asociados al satélite como densidad de flujo de saturación (SFD), EIRP de saturación, G/T.
- Atenuación en exceso, causada por lluvias, gases y nubes.

Si se dispone de información referente a potencia transmitida y potencia o calidad de señal recibida, para un mismo instante de tiempo t , puede proponerse un modelo en el cual la única incógnita sea la atenuación atmosférica en los trayectos de subida y bajada, dado que las demás variables parte del problema pueden asumirse constantes o dependientes de la intensidad de lluvia instantánea.

Arquitectura de red

Dado que la metodología propuesta se apoya en las facilidades de una terminal VSAT disponible comercialmente, describiremos a continuación las características principales de este sistema.

La red VSAT que soporta a este experimento es una red TDM-TDMA para comunicaciones en malla, con posibilidad de gestión de red via Simple Network Management Protocol (SNMP). El sistema incluye un algoritmo de control de potencia de transmisión (Uplink Power Control, UPC) diseñado para compensar la atenuación por lluvia en el enlace de subida mejorándose así la disponibilidad del sistema. Este algoritmo está bajo control de la estación maestra de la red, la cual también se encarga de la asignación de capacidades de transmisión a cada estación esclava y de suministrar la señal de sincronismo.

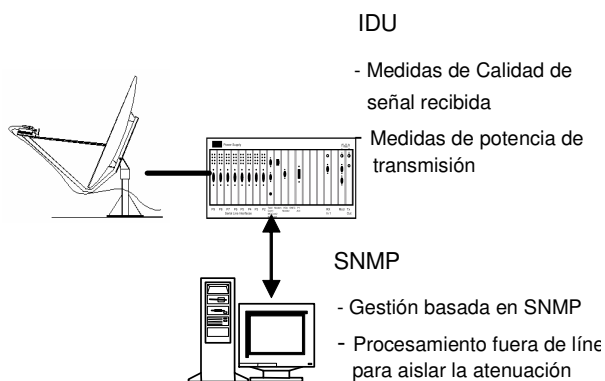
La señal a medir corresponde al pulso de referencia transmitido vía los primeros time slots de la trama TDMA, evitándose el uso de segmento espacial adicional al existente en la red para fines del experimento.

Hardware

Para establecer la magnitud de la atenuación, se requiere de lo siguiente: Primero, un transmisor en el cual sea posible medir la potencia de señal transmitida para cada momento del tiempo, segundo, un receptor en el cual pueda medirse la calidad de señal recibida en cualquier momento. La figura 1 muestra la arquitectura básica del sistema.

El período de muestreo recomendado para este tipo de mediciones de atenuación es de 1 Hz.

Para el caso de la terminal empleada en nuestro experimento, tanto el nivel de potencia transmitida como la calidad de señal recibida (E_b/N_o) se encuentran disponibles en el sistema de gestión como variables SNMP.



Recolección y procesamiento de datos
 Figura 1. Arquitectura del sistema.

Mostraremos a continuación como cada componente de la ecuación básica de transmisión se modifica por la presencia de la atenuación por lluvia.

Ecuación de enlace

La ecuación que describe un enlace satelital es, para condiciones de cielo despejado:

$$\frac{1}{(C/T)_u} + \frac{1}{(C/T)_d} + \frac{1}{(C/T)_{HPA}} + \frac{1}{(C/T)_{TWT}} = \frac{1}{(C/T)_T} \quad (Ec. 1)$$

donde:

$(C/T)_u$ es la relación potencia de portadora a temperatura de ruido en el enlace de subida.

$(C/T)_d$ es la relación potencia a temperatura de ruido en el enlace de bajada.

$(C/T)_{HPA,TWT}$ es la relación potencia a temperatura de ruido por intermodulación en amplificadores de satélite y de la estación terrena.

$(C/T)_T$ es la relación potencia a temperatura de ruido total del enlace. Con base en este parámetro puede derivarse la relación E_b/N_o y viceversa.

La introducción de cualquier tipo de perturbación en el enlace, puede considerarse como una variación sobre la ecuación de cielo despejado. Este caso se muestra en la figura 2 como un "delta" de EIRP de estación terrena ($EIRP_1$), una variación en la densidad de flujo incidente al satélite (Ω_1), una variación en la EIRP del satélite ($EIRP_{S_2}$) y un cambio en el E_b/N_o resultante.

La figura muestra un caso general, en el cual tanto transmisor como receptor están en lugares geográficos diferentes. Para este experimento, la estación transmisora es la misma receptora.

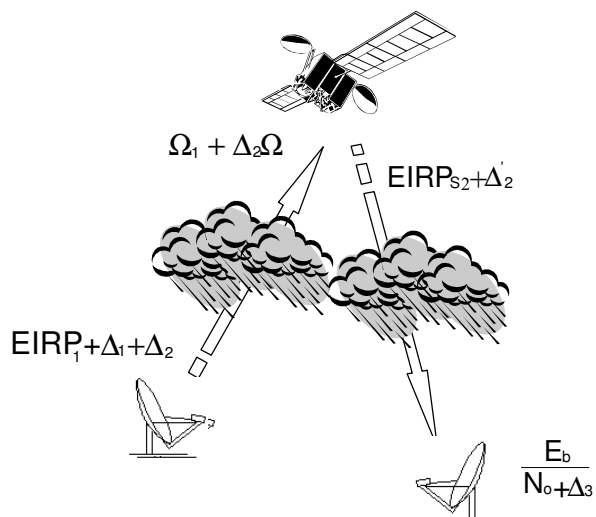


Figura 2. Descripción del enlace bajo análisis.

La siguiente ecuación expresa estas variaciones (mostradas en la figura 2 como $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_2', \Delta_3$) como condiciones "primadas":

$$\frac{1}{(C/T)'_u} + \frac{1}{(C/T)'_d} + \frac{1}{(C/T)'_{HPA}} + \frac{1}{(C/T)'_{TWT}} = \frac{1}{(C/T)'_T} \quad (Ec.2)$$

En unidades "lineales", estas variaciones pueden expresarse así:

$$(C/T)'_u = (C/T)_u * UPC * (1/L_u) \quad (\text{Ec. 3})$$

$$(C/T)'_d = (C/T)_d * UPC * (1/L_u) * (1/L_d) * (1/K) \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde UPC representa la potencia adicionada para mantener la calidad de recepción (E_b/N_0) en un rango determinado (respecto a la condición de cielo despejado) durante un evento de lluvias y L_u, L_d (consideradas mayores a 1) son las pérdidas adicionales en los enlaces de subida y bajada respectivamente. $K (>1)$ es un factor que se incluye para considerar la degradación de la figura de mérito de la estación terrena por efecto de las lluvias.

Adicionalmente, en la ecuación 2 se incluyen

$$(C/T)'_{HPA} = (C/T)_{HPA} * UPC \quad (\text{Ec. 5})$$

$$(C/T)'_{TWT} = (C/T)_{TWT} * UPC * (1/L_u) \quad (\text{Ec. 6})$$

Estos dos parámetros se agregan para modelar el efecto que tiene el incremento de potencia efectuado por el algoritmo UPC (para efectos de compensación de la atenuación durante un evento de lluvias) sobre la intermodulación. $(C/T)'_T$ y $(C/T)'_T$ son proporcionales al valor de E_b/N_0 medido y pueden calcularse directamente

Para efectos de simplificación de las anteriores ecuaciones, se propone un modelo mediante el cual la atenuación se exprese en función únicamente de la atenuación de bajada, reduciéndose una variable de la ecuación (4):

$$L_u = F(L_d) \quad (\text{Ec. 7})$$

Se realizó una revisión de los modelos más comúnmente empleados para escalamiento de frecuencias [4],[5],[6],[7],[8] con miras a encontrar una relación práctica entre las atenuaciones experimentadas en el enlace de subida y bajada. Se encontró que esa expresión es:

$$L_u = 10^{((1.1581 * 10 * \text{Log}_{10}(L_d)) / 10)} \quad (\text{Ec. 8})$$

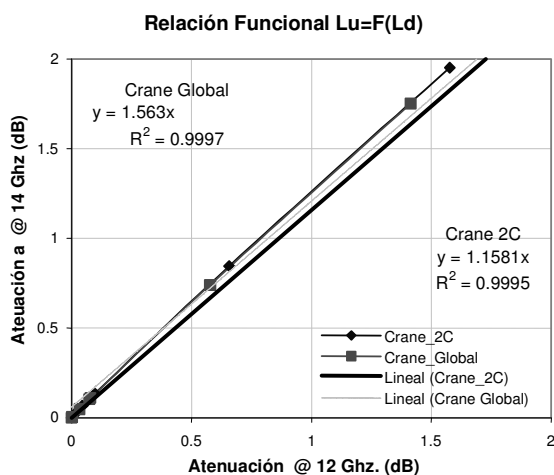


Figura 3. Relación de atenuaciones de bajada y subida.

Que corresponde a expresar en unidades “lineales” una función lineal que relacione las atenuaciones de subida y bajada calculadas con un modelo de predicción existente. Para esto, se consideraron las mediciones efectuadas en Colombia durante la campaña de medidas desarrollada por la agencia espacial norteamericana NASA, en el marco del proyecto ACTS

(Advanced Communications Technology Satellite), las cuales indicaron que el modelo que más se ajustaba a las mediciones de atenuación en banda Ka es el modelo 2-Componentes de R. Crane [9].

Finalmente, un valor para K en función de la atenuación de bajada, L_d , puede obtenerse a partir de un análisis del incremento de la temperatura de ruido del sistema debida a la presencia de una “red atenuante” adicional (la celda de lluvia). Como base de este análisis puede emplearse de la metodología expuesta en la hoja de cálculo X-Factor disponible vía Intelsat [10].

3. RESULTADOS DE LA CAMPAÑA EN MEDELLÍN, COLOMBIA

A continuación se muestran las distribuciones acumuladas de probabilidad (ECDF – empirical cumulative distribution function) obtenidas a partir del procesamiento de los datos de las estaciones del proyecto, ubicadas en la ciudad de Medellín.

Son este tipo de gráficos los que permiten al planificador de la red determinar el objetivo de indisponibilidad del sistema basándose en la probabilidad de que se exceda un valor de atenuación dado (eje X, probabilidad). Este valor de atenuación permitido se denomina **margen del sistema**.

Distribución acumulada de probabilidad (empírica)

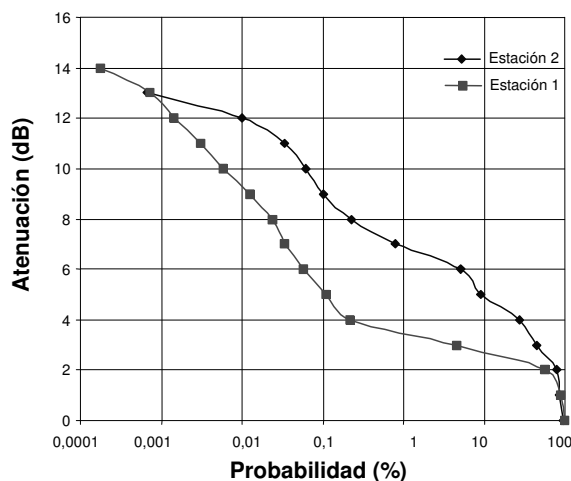


Figura 4. Distribución acumulada de probabilidad (empírica) para 12.6 GHz, estaciones 1 y 2.

Para la estación 1, con coordenadas $6^{\circ} 11' 22.24''$ N y $75^{\circ} 33' 29.03''$ O, se encuentra una atenuación de 9 dB para el 0.01% del tiempo. Para la estación 2, $6^{\circ} 14' 26.1''$ N y $75^{\circ} 35' 25.32''$ O, es de 12 dB. Esto significa que durante el 0.01% de un año (52,6 minutos) se experimentarán atenuaciones de 9 dB mínimo (o inversamente, por el 99.99% del año se experimentarán atenuaciones de máximo 9dB). Si el margen de atenuación tolerada del sistema es inferior a este valor, el enlace saldrá de servicio durante este porcentaje de tiempo. Esta cifra servirá como guía para el diseño del sistema de comunicaciones.

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), en su recomendación P.311-10 [11], define una variable error y una metodología para su cálculo con el objetivo de utilizarla como

indicador de desviación entre predicciones y mediciones de atenuación. Empleando esta variable y considerando que:

1. Las atenuaciones de 0.01% medidas en estación 1 y estación 2.
2. Una intensidad de lluvias para 0.01% del tiempo obtenida a través del uso de 3 modelos a saber: Modelo Global de Crane [12] (209.7 mm/hr), modelo Global de ITU [13] (100 mm/hr) y modelo de Rice-Holmberg [14] (106.8 mm/hr),
3. Ocho modelos de predicción de atenuación por lluvia [15]: El modelo Global de Crane, el modelo 2-Componentes de Crane, el modelo actual de ITU-R, el modelo Simple de García, el modelo de Flavin, el modelo Bryant, la variación al modelo de ITU-R propuesta por M.S Pontes y el modelo Leita-Watson.

Se obtiene que el modelo que mejor desempeño presenta (variable error más cercana a cero) es el modelo Simple de García combinado con el modelo Rice-Holmberg de predicción de ratas de lluvia, con un error del 0.007 para la estación 1 y el modelo de Bryant, combinado con el modelo Rice-Holmberg para la estación 2, con un error de 0.02.

Es importante resaltar que:

1. Los resultados obtenidos en términos de variable error indican que, si bien las diferencias entre las ratas de lluvia empleadas para las predicciones con los modelos ITU-R y Rice Holmberg son muy similares (difieren en tan solo 6 mm/hr), el resultado de menor error se obtuvo empleando el segundo modelo. Este modelo emplea datos locales (acumulación de lluvias mensual para un periodo de 30 años, número de tormentas eléctricas por año, acumulación anual promedio) para obtener la distribución acumulada de lluvias, integrada cada minuto. Continúa siendo importante el uso de modelos que empleen datos locales para la elaboración de las estadísticas de lluvias, pero el modelo global de ITU, que emplea para su desarrollo estadísticas mundiales entrega resultados muy aproximados. En este punto es necesario resaltar el hecho de que si bien se obtienen errores muy pequeños, el modelo de predicción de atenuación está enmascarando la necesidad de estadísticas locales de lluvia con periodos de integración de un minuto. Ninguno de los modelos empleados para predicción de intensidad de lluvia se ha contrastado contra medidas de rata de lluvias integrada 1 minuto en Medellín. Estas medidas no se encuentran disponibles en este momento.

2. La magnitud de las diferencias de atenuaciones medidas para las dos estaciones (3 dB) justifica, desde el punto de vista técnico, un esquema de diversidad de sitio. En cuanto a la disponibilidad del experimento, la estación 1 estuvo activa desde Noviembre 1 de 2001 a Noviembre 29 de 2002 (13 meses), con una disponibilidad de 87.85%, y la estación 2 con una disponibilidad de 84.2%, estimada a partir del número de días con medidas válidas y el número de días totales del período de un año. Es necesario indicar que la estación 2 tuvo un período de inactividad de 6 meses (Enero-Mayo de 2003) y que sus mediciones abarcaron un período superior al de la estación 1, con 21 meses (Noviembre 2001 – Enero 2004). Este último hecho puede explicar en parte la diferencia de 3 dB obtenida en el valor de 0.01% entre las dos estaciones.

4. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Este artículo presentó los resultados de una campaña de mediciones de atenuación por lluvia en Medellín, Colombia, utilizando un producto VSAT disponible en el mercado. Desde este punto de vista, la metodología misma es un resultado importante dado que, por un lado, es la primera iniciativa de mediciones de atenuación por lluvia en Colombia y, adicionalmente, es una metodología que puede ser empleada por todo interesado que disponga de una terminal de similares condiciones a la empleada en este caso, con capacidades de monitoreo vía SNMP (NDSatcom SkyWan Vsat). La distribución obtenida es del tipo AFS, *Attenuation with respect to Free Space*, indicando que cubre todos los fenómenos de atenuación atmosférica indicados anteriormente. Respecto a los resultados de la campaña, los modelos más ajustados a las mediciones son los modelos Simple de García y Bryant.

Como trabajos a desarrollar podemos destacar:

- 1) Optimización de la metodología, con el fin de mejorar el algoritmo empleado para determinar la atenuación
- 2) Estimación de ajustes de las curvas ECDF a distribuciones estadísticas Log-Normal y Gamma.
- 3) Desarrollo de comparaciones de metodologías de diversidad de sitio.
- 4) Parametrización del modelo simple de García a las condiciones locales.
- 5) Análisis de dinámica de desvanecimientos (tiempo entre desvanecimientos, duración de desvanecimientos, profundidad)

5. REFERENCIAS

- [1] Web page. ESA Telecommunications - Satellite Applications. <http://telecom.esa.int/telecom/www/category/index.cfm?fcategoryid=42>.
- [2] M. Allman, D. Glover, y Luis Sanchez. **RFC-2488. Enhancing TCP Over Satellite Channels using Standard Mechanisms.** Available at: <http://www.faqs.org/rfcs/rfc2488.html>
- [3] Restrepo, Joaquin G., Emiliani, Luis D. **Technical Aspects For Future Broadband Satellites In Geo Orbit, Servicing Tropical Zones.** World Summit on the Information Society. Ginebra, Diciembre, 2003. Available online: <http://www.oosa.unvienna.org/SAP/act2003/geneva/>
- [4] L.J. Ippolito. **Propagation Effects Handbook for Satellite System Design.** 5th Edition, 2nd. revision. ITT Industries. Sept. 2000.
- [5] Recommendation ITU-R 618-8. **“Propagation Data and Prediction Methods required for the Design of Earth-Space Telecommunication Systems”.** ITU-R Recommendations, P Series, Geneva, 2003. 24 pp.
- [6] B. Gremont and M. Filip. Modelling the Instantaneous Frequency Scaling Factor (IFSF) of Rain Attenuation and Applications. **COST 255 Workshop** 28-29 October 1998.
- [7] MITEQ inc. **Uplink power control system.** Technical note 25T029, April 2001, Rev F. Available at: <http://www.miteq.com/satcomeq/technote.htm>

[8] L3 Communications. Satellite Networks Division. **Uplink Power Control Unit**. Installation and Operations Manual.

[9] S.K. Johnson. "Propagation Models Comparison With Measurements Taken In A Tropical Rain Zone Using The Acts System." **IEEE AP- S/ URSI SYMPOSIUM**, July 12, 1999.

[10] **X-Factor Calculator Spreadsheet**. Accompanying file to IESS modules 308, 309 and 310. Available at: http://www.intelsat.com/iess/iess_e.asp.

[11] Recommendation ITU-R P.311-10. "**Acquisition, presentation and analysis of data in studies of tropospheric propagation**". ITU. International Telecommunications Union, Geneva, 2001. 8pp.

[12] R. K. Crane. "Prediction of attenuation by rain" **IEEE Trans. Communications**, vol. Com 28, No. 9, September 1980, pp. 1717-1733.

[13] Recommendation P.837-4. "**Characteristics of precipitation for propagation modeling**". ITU-R Recommendations, P Series, Geneva, 2001. 8pp.

[14] P. Rice and N. Holmberg, "Cumulative Time Statistics of Surface-Point Rainfall Rates". **IEEE Trans. Commun.** Vol. COM-21, pp-1131-1136, October 1973.

[15] COST 255 "**Radiowave Propagation Modelling For New Satcom Services At Ku-Band And Above**". Final Document. Editor : Bertram Arbesser-Rastburg.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a INTERNEXA S.A. y en particular a Genaro García, Ramón Villa y Erney Arango, por su colaboración autorizando el uso de las estaciones VSAT sujeto de este experimento.

7. BIOGRAFIAS

Joaquín G. Restrepo M.: Ingeniero Electrónico de la U.P.B., Máster en Gestión de Tecnología en la U.P.B.; Máster en Telecomunicaciones Satelitales, ENST, Site de Toulouse; Ph.D. en Telecomunicaciones Satelitales, ENST, Site de Toulouse. Actualmente es director de Planeación del proyecto Compartel, adjunto al Ministerio de Telecomunicaciones de Colombia. Ha publicado varios artículos y presentado ponencias sobre sistemas Non-GEO en EUA y Europa, coautor de 2 patentes europeas en sistemas no-GEO. Email: restrepo@upb.edu.co

Luis David Emiliani A.: Ingeniero Electrónico de la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín. Especialista en Telecomunicaciones y Mágister en Ingeniería de la U.P.B. Investigador del Grupo de Investigación, Desarrollo y Aplicación en Telecomunicaciones e Informática –GIDATI- de la Universidad Pontificia Bolivariana en el área de radiopropagación y comunicaciones satelitales. Docente en el área de líneas de transmisión, antenas y propagación en la facultad de Ingeniería Electrónica de la U.P.B. Email: ldemiliani@ieeee.org

Esteban Gutiérrez P. Recibió el título de Ingeniero Electrónico de la Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín,

Colombia en el 2004. Investigador de GIDATI, Grupo de Investigación, Desarrollo y aplicación en Telecomunicaciones e Informática. Fue Presidente de la Rama Estudiantil IEEE de la Universidad Pontificia Bolivariana para el periodo 2003-2004. Actualmente trabaja en operación de redes de telecomunicaciones en INTERNEXA S.A. Email: h.gutierrez@ieeee.org

Jhon A. Agudelo J. Recibió el título de Ingeniero Electrónico de la Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia en el 2004. Investigador de GIDATI, Grupo de Investigación, Desarrollo y aplicación en Telecomunicaciones e Informática. Miembro de la Junta Directiva de la Rama Estudiantil IEEE de la Universidad Pontificia Bolivariana durante el periodo 2003-2004. Actualmente trabaja en el proyecto GSM en EDATEL S.A.E.S.P. Email: jagudelo@ieeee.org

César A. Fradique-Méndez: Ingeniero Eléctrico Universidad de los Andes. Físico de la Universidad de los Andes. Máster en Administración de Empresas, Universidad de los Andes. Actualmente se desempeña como Team Leader para productos Ópticos y de telefonía para la región andina en Nortel Networks. Es co-fundador, socio y consultor en estrategia y tecnología de la firma *Círculo de Estrategia* de Bogotá, Colombia. Email: cfradique@circulodeestrategia.com