



## NIVELES DE ATENUACIÓN TROPOSFÉRICA EN EL DEPARTAMENTO DE LA GUAJIRA

### Levels of tropospheric attenuation in the department of La Guajira

Danilo Pimienta Mengual  
Universidad Autónoma del Cesar - Colombia

Carlos Durante  
Universidad del Zulia Maracaibo – Venezuela

### RESUMEN

Con la presente investigación se obtuvieron los niveles de atenuación troposférica de las señales de radiofrecuencia en el departamento de La Guajira república de Colombia, debida al fenómeno atmosférico de la lluvia a diferentes frecuencias. Se fundamentó en el análisis estadístico del comportamiento pluviométrico histórico de puntos geográficos estratégicos de la zona estudiada, que representan en forma confiable el parámetro investigado, con base en la recomendación ITU-838R. El estudio es de tipo no experimental, de campo, descriptivo y longitudinal. Se obtiene el desvanecimiento de las señales a diferentes frecuencias para cada mes del año y se generan las gráficas que muestran el comportamiento del mismo. Los resultados obtenidos son de mucha importancia para los entes públicos y privados involucrados en el tema de las comunicaciones de radio ya que permiten planificarlas y diseñarlas para la zona en cuestión con mínimos márgenes de error y por otro lado permite ir construyendo un mapa general de atenuación por lluvia para el país. Los datos pluviométricos usados en esta investigación fueron suministrados por el IDEAM y procesados con un software desarrollado en MatLab.

**Palabras Clave:** atenuación, radiofrecuencia, pluviometría

### ABSTRACT

With the present investigation the levels of tropospheric attenuation of the radiofrequency signs were obtained for the La Guajira department Colombian republic, due to the atmospheric phenomenon of the rain to different frequencies. It was based in the statistical analysis of the behavior historical pluviometrical of strategic geographical points of the studied area that represent in reliable form the investigated parameter, with base in the recommendation ITU-838R. The study is of non experimental type, of field,



descriptive and longitudinal. The dissipation is obtained from the signs to different frequencies for every month of the year and the graphs are generated that show the behavior of the same one. The obtained results are of a lot of importance for the public and private entities involved since in the topic of the radio communications they allow to plan them and to design them for the area in question with minimum error margins and on the other hand allows to go building a general map of attenuation for rain for the country. The pluviometrical data used in this investigation were given by the IDEAM and processed with a software developed in MatLab.

**Key Words:** attenuation, radiofrequency, pluviometry

## INTRODUCCIÓN

El mundo actual está ligado de múltiples formas a procesos que implican de las personas una creciente necesidad de establecer comunicación instantánea entre ellas, sin importar lo distante que puedan estar, gracias al desarrollo de las tecnologías de información y comunicaciones que brindan un sinnúmero de opciones que facilitan cada vez más esta comunicación. El proceso de transmisión de señales por medio de ondas electromagnéticas se ve afectado en mayor o menor grado por factores inherentes al medio en que se propagan (aire) entre ellos la atenuación. En este trabajo se muestran los niveles de atenuación troposférica que sufren las señales de radio a causa de la lluvia en el departamento de La Guajira, norte de la República de Colombia.

La investigación se realizó con base en los registros mensuales de la cantidad de lluvia tomadas en las estaciones meteorológicas instaladas en todo el departamento, aplicando modelos matemáticos fundamentados en la recomendación ITU-838R y estudios experimentales desarrollados en los laboratorios de astrofísica y física teórica de La Universidad del Zulia, procesando los datos a través de un software desarrollado en Visual Basic que muestra gráficamente el comportamiento del fenómeno en estudio.

Como resultado, se obtienen datos concretos acerca de los patrones de radioatenuación troposférica de la zona, que permitan efectuar diseños y planificación de redes de comunicación en la misma con parámetros reales, y que permitirán ir construyendo un mapa general de radioatenuación para el país.



## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Indudablemente el desarrollo de la humanidad ha estado ligado muy de cerca a la forma en que ésta comunica sus ideas entre los individuos. En un principio esta comunicación se limitaba a la comunidad vecina inmediata y obviamente la tasa de transferencia de información era muy baja, lo que se supera hasta el renacimiento cuando aparecen el correo y la imprenta. A estos avances siguieron otros de importancia en el desarrollo de las comunicaciones como el telégrafo y más adelante el teléfono que hicieron que en la época moderna mejoraran sustancialmente las condiciones de comunicación del mundo.

Con la aparición de la telefonía móvil, el mundo de las comunicaciones dio un gran paso a los servicios personalizados de comunicación y se observa una fuerte tendencia hacia el uso masivo de estos medios con cada vez mejores características y servicios de valor agregado.

Actualmente se observa un mundo que gira en torno de las tecnologías informáticas y las telecomunicaciones, la aparición de los computadores y la Internet han llevado a la sociedad actual a un nivel de comunicación inmediata casi en cualquier punto del orbe terrestre con todas las facilidades y ventajas que ello implica para el desarrollo de los pueblos.

América Latina no ha escapado a estos avances tecnológicos y se observa que países como Venezuela y Colombia han entrado a hacer uso de estas tecnologías en materia de comunicaciones, es así que se aprecia el establecimiento de diversas compañías dedicadas a prestar tales servicios en una sana competencia por cautivar cada vez más clientes a su haber, ofreciendo servicios de alta calidad.

El proceso técnico científico de la comunicación involucra tecnologías de naturaleza análoga, digital o de ambas, para cumplir con el objetivo de interconectar dos o más puntos geográficamente distantes.

La comunicación por medios no guiados incluye al aire como medio de transmisión, lo que le imprime factores de vulnerabilidad que deben estudiarse y manejarse adecuadamente para garantizar un excelente servicio al usuario final y un diseño eficiente de la red de comunicaciones; uno de esos factores es precisamente la radioatenuación troposférica, es decir la pérdida de potencia de una señal que se transmite por un medio no guiado a causa de perturbaciones generadas por la temperatura, lluvia, nieve y otros elementos ambientales.



Sería de mucha utilidad para cualquier compañía estatal o privada contar con datos concretos referentes a los niveles de radioatenuación troposférica a que se ven sometidas las comunicaciones en una zona geográfica donde potencialmente posea mercado de negocios, específicamente se considera en esta investigación el departamento de La Guajira en la República de Colombia para establecer los valores de atenuación troposférica para diferentes frecuencias basados en datos históricos tomados en las estaciones metereológicas con que se cuenta en la zona.

## FUNDAMENTOS TEÓRICOS

La radio comunicación utiliza ondas electromagnéticas radiadas como soporte de la transferencia de información entre el transmisor y receptor, se diseñan para que en la recepción se obtenga una relación señal-ruido mínima que garantice su funcionamiento.

El diseño y la planificación de estos sistemas implican el conocimiento de los factores y alteraciones que pueden perjudicar la propagación electromagnética a frecuencias diferentes.

### Propagación en el Espacio Libre y en el Contorno Terrestre

En condiciones de propagación en el espacio libre la relación entre la potencia recibida y la transmitida por dos antenas separadas una distancia "r" es

$$\frac{P_r}{P_t} = \frac{1}{4\pi r^2} D_T A_{efR} = \left(\frac{\lambda}{4\pi r}\right)^2 D_T D_R = \left(\frac{1}{\lambda r}\right)^2 A_{efR} A_{efT}$$

Donde:

$D_T$  = Directibilidad transmitida

$D_R$  = Directibilidad receptora.

$A_{efR}$  = Área efectiva receptora.

$A_{efT}$  = Área efectiva transmitida.

r = Distancia existente entre las antenas emisora y receptora.

$\lambda$  = Longitud de onda



Es de tener en cuenta además la relación entre la potencia recibida y la transmitida en función de la frecuencia, y se encuentra que para frecuencias bajas, las antenas empleadas son necesariamente pequeñas en términos de  $\lambda$ , ya que esta es superior a los 100 m. Para este caso las antenas presentan una directividad constante con la frecuencia, y la pérdida de transmisión aumenta con la frecuencia.

Por otro lado, para frecuencias elevadas las antenas suelen tener dimensiones grandes con respecto a  $\lambda$ . Para esta situación, el área efectiva de la antena es proporcional al área física de la misma y, por tanto, independiente de la frecuencia, de tal forma que la pérdida de transmisión disminuye al aumentar la frecuencia.

La propagación en el espacio libre responde a un modelo ideal análogo a las condiciones de propagación en el vacío. En el entorno terrestre muy pocas situaciones se ajustan a este modelo. La presencia de la tierra, la atmósfera y la ionosfera alteran en la mayoría de los casos reales las condiciones de propagación.

La concentración de gases en la atmósfera introduce diferencias entre la propagación en el vacío y la atmósfera, encontrándose en mayor cantidad en la capa más baja de la atmósfera, llamada troposfera, que se extiende desde el nivel del mar hasta unos 10 Km. de altitud aproximadamente. En condiciones atmosféricas normales la concentración de gases disminuye con la altura, lo que provoca una variación del índice de refracción de la atmósfera en función de la altura.

La troposfera constituye un medio de propagación no homogéneo en el que la presencia de gases (sobre todo oxígeno y vapor de agua) introduce atenuación. Adicionalmente las incidencias meteorológicas como la lluvia, la niebla y la nieve, pueden introducir atenuaciones adicionales en función de la frecuencia y la intensidad de la precipitación. La absorción molecular de los gases contenidos en la atmósfera y la atenuación producida por los hidrometeoros son las principales causas de la atenuación atmosférica.

En la región de microondas y ondas milimétricas, donde la frecuencia varía desde 1 GHz hasta 300 GHz, la ionosfera puede considerarse transparente a la propagación de las ondas electromagnéticas. Esto se debe a que el efecto del campo magnético terrestre sobre los electrones es despreciable para frecuencias por encima de 10 MHz, y la frecuencia del plasma que está directamente relacionada con el fenómeno de



refracción/reflexión ionosférica también es mucho menor. Luego, la propagación de ondas en este rango de frecuencia se produce generalmente con visión directa entre las antenas.

El factor más importante a considerar en el caso de longitudes de onda de unos pocos centímetros o menos es la atenuación y dispersión producidas por la lluvia y la nieve, y en el caso de frecuencias milimétricas la atenuación producida por la niebla, vapor de agua y otros gases presentes en la atmósfera.

La atenuación por absorpci n molecular, se debe principalmente a las moléculas de oxígeno y vapor de agua. Para frecuencias inferiores a los 10 GHz es prácticamente despreciable, mientras que a frecuencias superiores la atenuación crece con la frecuencia. A 22,3 GHz y 60 GHz se presentan los primeros indicios de atenuación debido al vapor de agua y oxígeno.

La atenuación debida al oxígeno es especialmente importante ya que al nivel del mar está por el orden de los 15 db/Km imposibilitando las comunicaciones a grandes distancias en las frecuencias señaladas. Para frecuencias superiores, como por ejemplo con infrarrojos, existe una fuerte atenuación por parte del vapor de agua, o sea, por fenómenos conocidos como nubes o niebla.

En cuanto a la atenuación por hidrometeoros, la lluvia es el fenómeno que reviste mayor importancia, ya que la nieve, la niebla y el granizo producen atenuaciones muchos menores en las bandas de SHF e inferiores.

## **ATENUACIÓN**

Es la pérdida de energía de una señal radioeléctrica. La potencia de la señal decae con la distancia, por lo que hay que asegurarse que llegue con la suficiente energía como para ser captada por la circuitería del receptor y además, el ruido debe ser sensiblemente menor que la señal original.

Debido a que la atenuación varía en función de la frecuencia, las señales analógicas llegan distorsionadas, por lo que hay que utilizar sistemas que le devuelvan a la señal sus características iniciales.

En los radioenlaces troposféricos y por satélite se producen atenuaciones de la señal durante la propagación, debidas a la absorpci n y dispersión causadas por hidrometeoros como la lluvia, la nieve, el granizo o la niebla.



Estos efectos son importantes en el caso de sistemas que operan a frecuencias milimétricas.

Conceptos importantes de esta radioatenuación para el caso específico de la lluvia se detallan a continuación

### **Atenuación específica debida a la lluvia**

El doctor Francisco Ramos Pascual escribe en su artículo de la revista Gigatrónica número 12 que aunque la atenuación causada por la lluvia puede despreciarse para frecuencias por debajo de 5 GHz, ésta debe incluirse en los cálculos de diseño a frecuencias superiores donde su importancia aumenta rápidamente. La atenuación específica debida a la lluvia puede calcularse a partir de la Recomendación UIT-R 838. La atenuación específica  $\gamma$  (dB/km) se obtiene a partir de la intensidad de lluvia R(mm/h) mediante la expresión:

$$\gamma = kR^\alpha,$$

Donde

$\gamma$ , Atenuación específica debida a la lluvia (db/Km)

R, Intensidad de la lluvia (mm/h)

K y  $\alpha$  son unas constantes que dependen de la frecuencia y la temperatura de la lluvia y de la polarización de la onda electromagnética.

Algunos valores de k y  $\alpha$  para distintas frecuencias y polarizaciones lineales (horizontal y vertical) se muestran en la tabla 1, tomados de la recomendación ITU 838. Para obtener valores a frecuencias intermedias se recomienda aplicar interpolación, utilizando una escala logarítmica para la frecuencia y para k, y una escala lineal para  $\alpha$ .

Tabla 1 Coeficientes para determinar la atenuación específica por lluvia

Frec.(GHz)	$k_H$	$k_V$	$\alpha_H$	$\alpha_V$
1	0,0000387	0,0000352	0,9122	0,8801
3	0,0003504	0,0003145	1,0185	0,9927
10	0,01006	0,008853	1,2747	1,2636
20	0,07504	0,06898	1,0995	1,0663
25	0,1237	0,1125	1,0604	1,0308
30	0,1864	0,1673	1,0202	0,9974
45	0,4426	0,3922	0,9040	0,8981
60	0,7039	0,6347	0,8266	0,8263

De la tabla se deduce que la atenuación es ligeramente superior para polarización horizontal que para vertical. Esto se debe simplemente a la forma que adquieren las gotas de lluvia por el rozamiento durante la caída.

Dado que las longitudes de los tramos de visión directa suelen ser de 10 a 20 Km., atenuaciones por lluvia del orden de 1 dB/km o superiores conducen a disminuciones apreciables en el nivel de señal.

Como ya se dijo, las gotas de lluvia no son esféricas, sino que por efecto del aire tienden a achatarse formando esferoides con el eje vertical menor que el horizontal, por lo que la atenuación para la polarización vertical es ligeramente menor que para la horizontal; sin embargo en esta investigación se adoptó un modelo general para  $k$  y  $\alpha$  a través de la ecuación pitagórica así:

$$k = \sqrt{(k_h)^2 + (k_v)^2} \quad \text{y}$$

$$\alpha = \sqrt{(\alpha_h)^2 + (\alpha_v)^2}$$

Por otro lado, se utilizaron los modelos implementados en el laboratorio de física teórica y astrofísica de La Universidad del Zulia para obtener los valores completos  $k$  y  $\alpha$  que permitieron calcular la atenuación a diferentes frecuencias de acuerdo al modelo planteado y son los siguientes:





$$k_h = -7.7015e^{-14}X^9 + 1.6192e^{-11}X^8 - 1.3844e^{-9}X^7 + 6.1986e^{-8}X^6 - 1.5493e^{-6}X^5 + 2.1028e^{-5}X^4 - 1.3271 * 10^{-4}X^3 + 4.2145 * 10^{-4}X^2 - 4.4284 * 10^{-4}X + 1.5503 * 10^{-4}$$

$$k_v = -5.5811e^{-14}X^9 + 1.2023e^{-11}X^8 - 1.0575e^{-9}X^7 + 4.8859e^{-8}X^6 - 1.2612e^{-6}X^5 + 1.7595e^{-5}X^4 - 1.1195 * 10^{-4}X^3 + 3.4759 * 10^{-4}X^2 - 3.1307 * 10^{-4}X + 6.9438e^{-5}$$

$$\alpha_h = -3.823e^{-12}X^9 + 8.6797e^{-10}X^8 - 8.2285e^{-8}X^7 + 4.2451e^{-6}X^6 - 1.2968 * 10^{-4}X^5 + 2.3785 * 10^{-3}X^4 - 2.5087 * 10^{-2}X^3 + 1.3257 * 10^{-1}X^2 - 2.2376 * 10^{-1}X + 1.0316$$

$$\alpha_v = -3.4705e^{-12}X^9 + 7.9534e^{-10}X^8 - 7.6298e^{-8}X^7 + 3.9944e^{-6}X^6 - 1.2425 * 10^{-4}X^5 + 2.3303 * 10^{-3}X^4 - 2.5272 * 10^{-2}X^3 + 1.3862 * 10^{-1}X^2 - 2.5276 * 10^{-1}X + 1.0243$$

Con estos modelos se simuló a través del software desarrollado para ello, el comportamiento de la atenuación troposférica debida a la lluvia, tomando las mediciones registradas en las estaciones metereológicas objeto de la investigación, sin embargo se encontr  que el modelo falla para frecuencias mayores a los 10 Ghz, por lo que se procedió a efectuar un proceso de interpolación de los valores que entrega el ITU en la tabla 1, con la ayuda de Microsoft Excel y Matlab. Se determinó que el comportamiento de los coeficientes k y  $\alpha$  se puede interpolar confiablemente a intervalos con un polinomio para cada caso. Es así como se obtuvieron 5 intervalos de frecuencias o ventanas espectrales hasta los 400Ghz para el cálculo de k y  $\alpha$  y se detallan a continuación con el respectivo polinomio de interpolación.

Frecuencia de 1..20 Ghz

$$\text{pol1\_20kh} = 0.00000000207906x^9 - 0.00000012084805x^8 + 0.00000289932296x^7 - 0.00003719614037x^6 + 0.00027594560009x^5 - 0.00119181200302x^4 + 0.00286387211210x^3 - 0.00336457577045x^2 + 0.00148968564768x$$

$$\text{pol1\_20kv} = -0.00000000032578x^9 + 0.00000002778912x^8 - 0.00000093892850x^7 + 0.00001655422110x^6 - 0.00016640969517x^5 + 0.00096793087629x^4 - 0.00310670204399x^3 + 0.00484356092300x^2 - 0.00251882281607x$$

$$\text{pol1\_20ah} = 0.00000006471971x^9 - 0.00000470032523x^8 + 0.00014655750740x^7 - 0.00256021535127x^6 + 0.02736443324115x^5 -$$



$$0.18284644795904x^4 + 0.74538986583058x^3 - 1.72649696969474x^2 + 2.05100741203143x$$

$$\text{pol1\_20av} = 0.00000021061865x^9 - 0.00001321572311x^8 + 0.00035143026485x^7 - 0.00518831922365x^6 + 0.04675659085192x^5 - 0.26544599468486x^4 + 0.93739736544150x^3 - 1.93359651798202x^2 + 2.09973845043672x$$

Frecuencia de 20..50 Ghz

$$\text{pol20\_50kh} = -0.00000000000101x^8 + 0.00000000026814x^7 - 0.00000002983120x^6 + 0.00000180349192x^5 - 0.00006405717157x^4 + 0.00133888554796x^3 - 0.01502117311866x^2 + 0.07211545324236x$$

$$\text{pol20\_50kv} = 0.00000000008825x^6 - 0.00000002014286x^5 + 0.00000162563492x^4 - 0.00006031547619x^3 + 0.00126130396825x^2 - 0.00770952380952x$$

$$\text{pol20\_50ah} = -0.00000000180635x^6 + 0.00000033623810x^5 - 0.00002555753968x^4 + 0.00101747023810x^3 - 0.02244993253968x^2 + 0.25340309523809x$$

$$\text{pol20\_50av} = -0.00000000435238x^6 + 0.00000076071429x^5 - 0.00005333928571x^4 + 0.00190607738095x^3 - 0.03621379761905x^2 + 0.33402261904761x$$

Frecuencia de 50..100 Ghz

$$\text{pol50\_100kh} = 0.00000005767857x^4 - 0.00001382976190x^3 + 0.00110273214286x^2 - 0.01705202380952x$$

$$\text{pol50\_100kv} = -0.00000000116667x^5 + 0.00000035416667x^4 - 0.00004183333333x^3 + 0.00227958333333x^2 - 0.03685500000001x$$

$$\text{pol50\_100ah} = 0.00000000117262x^5 - 0.00000039375000x^4 + 0.00005170535714x^3 - 0.00326062500000x^2 + 0.09311773809525x$$

$$\text{pol50\_100av} = 0.00000000135780x^5 - 0.00000044189815x^4 + 0.00005618683862x^3 - 0.00343303240741x^2 + 0.09529551587302x$$



Frecuencia de 100..300 Ghz

$$\text{pol100\_300kh} = -0.00000000545833x^4 + 0.00000265291667x^3 - 0.00045329166667x^2 + 0.03545833333333x$$

$$\text{pol100\_300kv} = -0.00000000495833x^4 + 0.00000238458333x^3 - 0.00040329166667x^2 + 0.03204166666667x$$

$$\text{pol100\_300ah} = -0.00000000188889x^4 + 0.00000113166667x^3 - 0.00024712777778x^2 + 0.02271500000000x$$

$$\text{pol100\_300av} = -0.00000000189167x^4 + 0.00000113325000x^3 - 0.00024745833333x^2 + 0.02274500000000x$$

Frecuencia de 300..400 Ghz

$$\text{pol300\_400kh} = -0.00001233333333x^2 + 0.00823333333333x$$

$$\text{pol300\_400kv} = -0.00001225000000x^2 + 0.00817500000000x$$

$$\text{pol300\_400ah} = -0.00000585833333x^2 + 0.00405083333333x$$

$$\text{pol300\_400av} = -0.00000586666667x^2 + 0.00405666666667x$$

## PROCEDIMIENTO DE INVESTIGACIÓN

El procedimiento seguido durante la investigación incluyó la recopilación, selección y organización de material bibliográfico relativo al tema en revistas especializadas, proyectos de grado de maestría y recomendaciones especiales de organizaciones mundiales dedicadas a la investigación y regulación de las tecnologías de la comunicación como la UIT.

Se escucharon conceptos y recomendaciones de personas con experiencias en el tema de radiocomunicaciones con especialidades en microondas y ondas milimétricas, se lograron entrevistas con personal del IDEAM y Corpoguajira encargados de la recolección de los datos en campo y su procesamiento.

Se tomaron los modelos matemáticos que permitieron hacer los cálculos de los parámetros en estudio, con base en experiencias previas de investigadores del tema y se hizo la recopilación, normalización y adecuación de los datos pluviométricos de las estaciones metereológicas elegidas de tal forma que se hiciera la mejor representación de la zona estudiada de



acuerdo a sus características pluviométricas y topográficas, es así como se seleccionan veinte (20) de las cincuenta y seis (56) estaciones instaladas en el departamento.

Los datos pluviométricos obtenidos de la fuente, vienen dados en cantidad total de milímetros mensuales, por lo que se procedió a normalizarlos y convertirlos en milímetros hora.

Se recopilaron datos históricos de 20 años para cada mes y se promedió, obteniendo así un estimador confiable.

Seguidamente se procedió a implementar los modelos matemáticos para la obtención de los parámetros  $k$  y  $\alpha$  para intervalos de frecuencias que garantizaran una adecuada continuidad, y consecuentemente conseguir los valores de atenuación para cada mes del año a través del software desarrollado para ello, generando finalmente las gráficas que muestran el comportamiento mensual de la misma en la zona de estudio.

## RESULTADOS

El desarrollo de esta investigación logra su propósito cuando se obtienen los valores de los niveles de atenuación troposférica debida al fenómeno de la lluvia en cada una de las estaciones seleccionadas, que permiten inferir con alta confiabilidad el comportamiento de la misma en el departamento de La Guajira para frecuencias del orden de los GHz. Se observa que existe un comportamiento climático marcado especialmente en las dos temporadas de lluvia anuales en el departamento (abril-junio y septiembre-noviembre), lo que se refleja en las gráficas correspondientes a esos meses, donde se evidencian incrementos significativos en atenuación a medida que aumenta la frecuencia, es decir es un problema serio la atenuación por lluvia en los sistemas de comunicación a altas frecuencias.

Se muestran algunas gráficas de estaciones representativas.

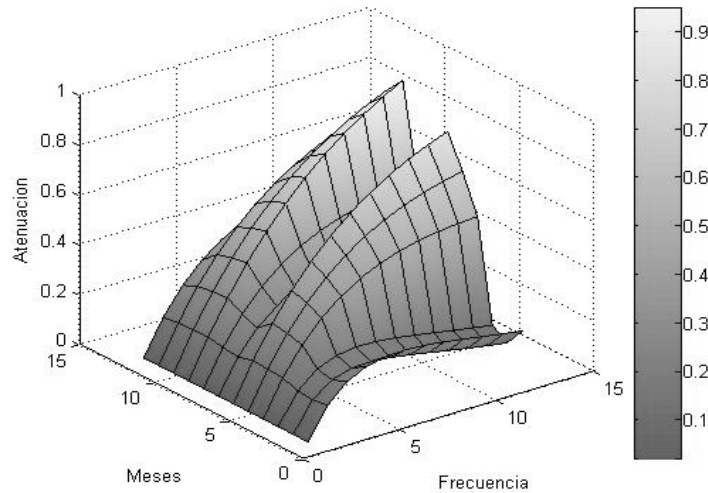


Figura 1. Comportamiento de la Atenuación en la Estación Aeropuerto Almirante Padilla.

En la figura 2 se muestran los resultados para la estación La Mina

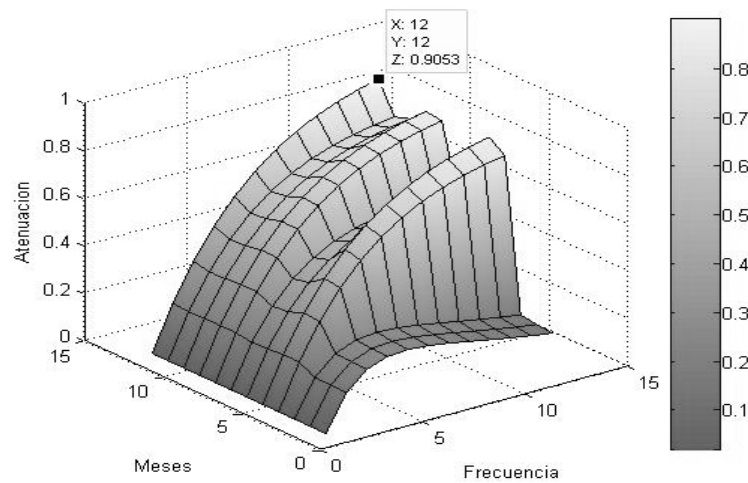


Figura 2. Atenuación en la estación La Mina

Presentamos ahora los resultados de la estación Camarones. También se observan los picos más altos en los meses de mayo y octubre.

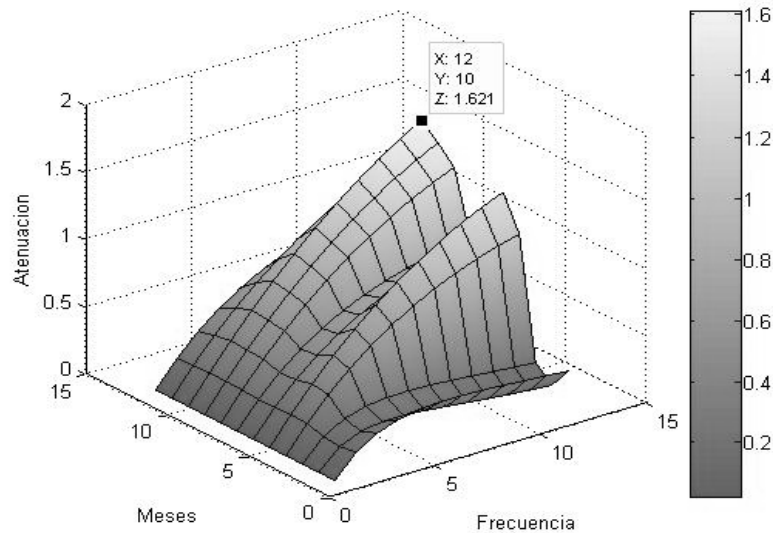


Figura 3. Comportamiento de la Atenuación en la estación Camarones

En la figura 4 se muestran los resultados para la estación Palomino, con un comportamiento similar respecto a las anteriores.

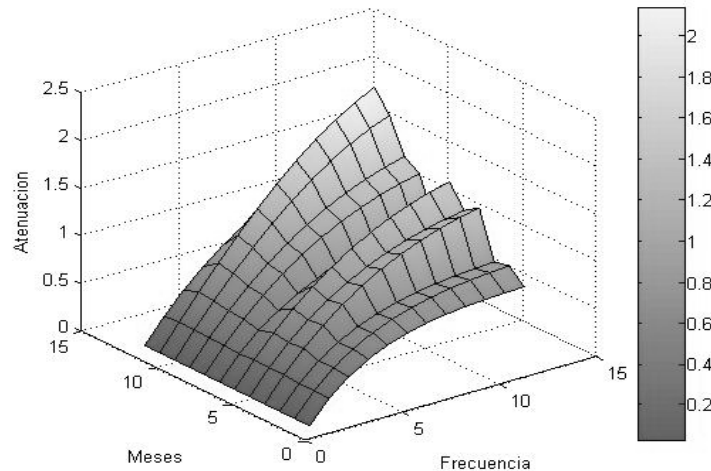


Figura 4. Comportamiento de la Atenuación en la estación Palomino



## CONCLUSIONES

1. Los resultados obtenidos al aplicar los modelos establecidos en esta investigación para el cálculo de la atenuación troposférica por lluvia en el departamento de La Guajira, permiten inferir con una alta confiabilidad el comportamiento del parámetro estudiado.
2. Destacable resulta la evidencia de la dependencia directa entre la atenuación y el nivel de lluvia para una frecuencia específica (particularmente frecuencias altas), es decir al aumentar la frecuencia aumenta considerablemente la atenuación para un mes con niveles de lluvia moderados.
3. Se logra un aporte valioso con estos resultados para la conformación del mapa general de radiotenuación por lluvia del país.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cardama, A. (1998), Antenas. Ediciones UPC. Barcelona, España

Hayt, William, Jr (1999) Teoría Electromagnética. McGraw-Hill Interamericana de Mexico S.A. de C.V. México.

Ramos, Francisco. Cálculo de la Atenuación por Lluvia en un Radioenlace (2005). [Documento en Línea]. Disponible en <http://www.radioptica.com/Radio/lluvia.asp>

ITU. Recomendación ITU 838R. [Documento en Línea]. Disponible en <http://itu.com>

Mogollón, Luis. (2006) Atenuamiento Troposférico en los Radioenlaces en el Estado Trujillo. Tesis de Maestría para optar al título de Magister en Telemática. Universidad Rafael Belloso Chacín. Maracaibo, Venezuela



UNIVERSIDAD  
Rafael Belloso Chacín.



Revista Electrónica de  
Estudios Telemáticos

TÉLÉMATIQUE