



## CÁLCULO DEL PARÁMETRO DE RADIO ATENUACIÓN TROPOSFÉRICA POR LLUVIA EN LAS FRECUENCIAS DE 0.4 Y 60 GHZ

### Calculation of the Parameter of Radio Attenuation Tropospheric for rain in the Frequencies of 0.4 and 60 GHz in the Apure State

Orlenis Lameda

Universidad Dr. Rafael Beloso Chacín – Venezuela.

Carlos Durante

Universidad Del Zulia – Venezuela.

#### RESUMEN

Se planteó como propósito fundamental de esta investigación la atenuación troposférica por lluvia que sufren los radioenlaces en el estado Apure con el fin de obtener como resultado la atenuación en función de la frecuencia y la intensidad de la lluvia registrada mensualmente, a través una recolección de información de las estaciones meteorológicas ubicadas en dicho estado para conocer su comportamiento climático y realizar posteriormente el cálculo del parámetro de radio atenuación para un rango frecuencias de 0.4 a 60 Ghz, que permita la construcción de un mapa de atenuación específica del estado Apure y dar continuidad a la construcción del mapa de atenuación de Venezuela . La información documental fue recaba en los textos de Cardama (2004), recomendaciones de IUT (Internacional Union Telecommunication), entre otros. Para el cálculo se desarrolló un programa en Matlab con el fin de calcular las constantes  $K$  y  $\alpha$  para todo el rango de frecuencias planteado. La investigación se clasifica de campo, descriptiva, y longitudinal, utilizando como técnicas de recolección de datos información documental, adquisición datos históricos. El diseño de la investigación es no experimental y la metodología utilizada se define en las siguientes fases: Recopilación de la Información, Cálculo de Intensidad de Lluvia, Cálculo de Radio Atenuación y Análisis de los Resultados. Los productos obtenidos cumplen con los objetivos propuestos previamente, permitiendo el análisis de la influencia de la lluvia en las transmisiones realizadas en el rango de frecuencias de 0.4 a 60 GHz en un mes determinado, observando que en los meses donde se registró la mayor cantidad de lluvia fueron junio-octubre se obtuvo mayores índices de atenuación y a medida que la frecuencia se incrementa el resultado se traduce en mayor atenuación en las señales.

**Palabras Claves:** Radioenlaces, Atenuación, Lluvia.



## ABSTRACT

The fundamental purpose of this investigation is to study the tropospheric attenuation due to rain that affect radio link in the Apure State in order to obtain as a result the attenuation in function of the frequency and the rain intensity monthly registered, through a information gathering of the meteorological stations located in this state to know their climatic behavior and subsequently to calculate the Parameter of radio attenuation for a range frequencies from 0.4 to 60 Ghz, that allows the construction of the specific attenuation map of the state and to give continuity to the construction of the attenuation map of Venezuela. The Documental information was obtained in the texts of Cardama(2004), and in recommendations of UIT (International Union of Telecommunications). For the calculation it has been developed a program in Matlab with the purpose of calculating the constant  $K$  and  $\alpha$  for the whole outlined range of frequencies. The investigation is classified of field, descriptive, and longitudinal, using as technical of data gathering documental information, historical data acquisition. The investigation design is not experimental and the utilized methodology is defined in the following phases: Information Gathering, Calculation of Rain Intensity, Calculation of Radio Attenuation and Analysis of the Results. The Obtained results fulfill the objectives proposed allowing to analyze the influence of the rain in the transmissions carried out inside the range of frequencies from 0.4 to 60 GHz in a certain month, observing that in the months where the biggest quantity of rain was registered June-October it was obtained bigger attenuation indexes and as the frequency is increased the result it is translated in more attenuation in the signs.

**Key Words:** Radio link, Attenuation, Rain

## INTRODUCCI  N

Las se  ales de radio son ondas electromagn  ticas que est  n compuestas por una componente el  ctrica y una magn  tica la cuales est  n expuestas aciertos fen  menos como: refracci  n, reflexi  n, difracci  n y dispersi  n que son capaces de modificar el patr  n de propagaci  n de las mismas. Parte de estos fen  menos ocurren en la troposfera capa de la atm  sfera en la cual se forman las nubes, lluvia, nieve y tormentas con descargas el  ctricas, las cuales producen importantes variaciones en la propagaci  n de las ondas.

Por lo tanto cuando las ondas se propagan en regiones de lluvia se aten  an como consecuencia de la absorpci  n de potencia, adicionalmente tambi  n se producen p  rdidas sobre la onda transmitida debido a la



dispersión por parte de la energía del haz que provocan las gotas de lluvia. La pérdida de potencia de estas ondas es inversamente proporcional al cubo de la distancia recorrida en el aire, las cuales pueden atravesar obstáculos más fácilmente mientras menor es su frecuencia, ya que a mayor frecuencia viajan cada vez más en línea recta y son absorbidas por la lluvia o el agua, lo que es conocido como pérdida por lluvia / disminución pluvial (RF) o atenuación por lluvia RF (Rain Fade), uno de los fenómenos más comunes que afectan la transmisión y recepción de señales de los radio-enlaces.

El estado Apure esta situado al sureste de Venezuela, se caracteriza por un clima tropical lluvioso de sabana y una estación seca con una pluviosidad que oscila entre 1.258 mm. y 1.846 mm. anuales, aspecto que influye en la calidad de transmisión y recepción de señales en épocas de lluvia aumentando la radio atenuación que sufren los radios enlaces instalados en esta localidad. Actualmente no existe un mapa de radio atenuación de este importante estado del país, por lo tanto es posible que dichos radioenlaces hayan sido diseñados sin tomar en cuenta las características climáticas de este estado, provocando sistemas de telecomunicaciones vulnerables a la alteraciones en la propagación de la energía electromagnética provocadas por la lluvia interrumpiendo la transmisión de señales y disminuyendo la calidad de comunicación.

En tal sentido, es necesario realizar un estudio sobre el efecto de la lluvia en el comportamiento de los radioenlaces localizados en el estado Apure, mediante el cálculo del parámetro de radio atenuación troposférica, para construir un mapa del índice de radio atenuación con el fin de establecer su influencia en las transmisiones

El trabajo está dividido en 4 secciones. En la primera se hace una introducción al tema, mientras que en la segunda se presentan las principales bases teóricas sobre las cuales se fundamenta la investigación. En la tercera sección se expone metodología aplicada. Se finaliza con una cuarta sección de conclusiones seguida de las referencias.

## **BASES TEÓRICAS**

### **LLUVIA**

Es una precipitación de agua en forma de gotas que se produce cuando éstas alcanzan un diámetro superior a los 0,5 mm. caen a la tierra por la gravedad a una velocidad superior a los 3 m /seg, se expresa en milímetros de agua y equivale al agua que se acumularía en una superficie horizontal e



impermeable de 1 metro cuadrado durante el tiempo que dure la precipitación. Actualmente, la recepción de señales se ve afectada por fenómenos atmosféricos como la lluvia, reconocida como una de las principales causas que afectan la propagación de la energía electromagnética interrumpiendo la transmisión.

### **MECANISMOS DE FORMACIÓN DE LA LLUVIA**

El más sencillo sistema de formación de lluvia es el llamado por convección y se produce cuando una masa de aire asciende por que su temperatura es mayor, y por tanto, es más ligera que el aire que la rodea. El resultado es que la masa se enfría y se origina el proceso de condensación, lo que da lugar a la lluvia por convección.

Por otra parte, Chavarri (2004) expresa que una masa de aire también puede ser forzada a niveles más fríos, cuando encuentra una cadena montañosa en su camino, la lluvia producida por este método se denomina lluvia orográfica o de relieve. Un proceso similar tiene lugar cuando una masa de aire caliente se encuentra con una gran masa de aire fría, lo que en el argot metodológico se conoce como una montaa de aire fría. Como las masas de aire generalmente no se mezclan, el aire caliente asciende, deslizándose por encima del frío. La lluvia que nace de este encuentro recibe el nombre de lluvia frontal o ciclónica.

### **MEDICIÓN DE LA LLUVIA**

En su investigación Chavarri (2004), expresa que el pluviómetro es un aparato destinado a medir la cantidad de agua ca da en una precipitación, ya sea en forma de lluvia, nieve o granizo. La precipitación est  referida, como en el caso del evaporímetro, a la cantidad de litros o milímetros caídos por metro cuadrado, ya que una altura de 1 mm en una superficie de 1 m<sup>2</sup> supone exactamente 1 litro o 1000 cc.

Cualquier recipiente de boca ancha, cuya superficie sea conocida puede servir como pluviómetro; no obstante, pueden introducirse ciertos perfeccionamientos, y para ello se describe el modelo Hellmann, de uso oficial en la mayoría de observatorios. Consiste en un recipiente que almacene agua y de un colector que la conduce hasta él, y no es más que un embudo; todo ello dentro de un tubo cilíndrico que evita la evaporación. Puede construirse todo con tubería de PVC usada en desagües, adhesivo especial para este material y un embudo de plástico que d  un diámetro igual o algo mayor que el tubo que se vaya a usar.



## ATENUACIÓN POR LLUVIA

Las ondas de radio que se propagan a través de una región lluviosa se atenúan como consecuencia de la absorción de potencia que se produce en un medio dieléctrico con pérdidas como es el agua. Adicionalmente, también se producen pérdidas sobre la onda transmitida debido a la dispersión por parte de la energía del haz que provocan las gotas de lluvia, aunque son menores. Depende de la intensidad de la precipitación (medida en mm/h), de manera que cuanto más intensa es ésta mayor es la atenuación los radares de banda C sufren una atenuación media-alta de este tipo y por encima de los 10 cm de longitud de onda los efectos decrecen rápidamente.

Se puede expresar la atenuación como:

$$K_r = k \cdot \int_0^r R(r)^\alpha \cdot dr \quad (12)$$

Donde los coeficientes  $k$  y  $\alpha$  dependen principalmente de la frecuencia del radar así como de la temperatura y tipo de lluvia. Por lo tanto la atenuación depende de la longitud del camino del haz que atraviesa una zona con precipitación pero también de la intensidad de ésta. Tanto un camino largo con precipitación de intensidad moderada como un camino más corto con precipitación fuerte pueden determinar una atenuación importante.

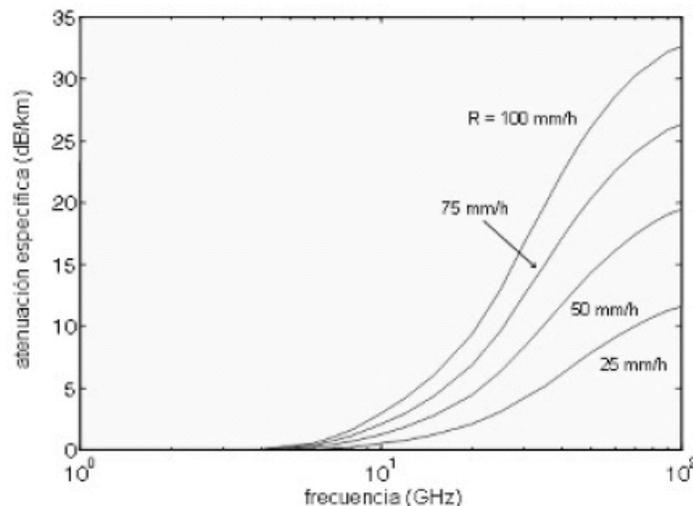
Para un longitud de onda de 3.2 cm una precipitación de 50 mm/h atenúa 5,3 veces más que una 4 veces inferior. Para 50 mm/h una longitud de onda de 3.2 cm se atenúa casi 85 veces más que una de 10 cm. Se observa de esta manera la enorme importancia de la longitud de onda y de la intensidad de la precipitación en el proceso de la atenuación por lluvia de la energía emitida por el radar.

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 debido a la lluvia puede calcularse a partir de la Recomendación UIT-R 838. La atenuación específica  $\delta$  (dB/km) se obtiene a partir de la intensidad de lluvia  $R$ (mm/h) mediante la ley exponencial:

$$\delta = kR^\alpha, \quad (13)$$

Donde  $k$  y  $\alpha$  son constantes que dependen de la frecuencia 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 I. En la Rec. UIT-R 838 se proporcionan un mayor número de valores. 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  $\alpha$ . 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.

En la figura 7 se representan curvas de atenuación específica por lluvia en función de la frecuencia y para distintos valores de precipitación. Como puede observarse, la atenuación específica crece rápidamente para frecuencias por encima de 10 GHz. Para una tasa de precipitación de  $R = 50$  mm/h se obtienen valores de atenuación específica mayores de 10 dB/km para frecuencias superiores a 30 GHz. Por lo tanto, la lluvia es un problema serio en sistemas de radiocomunicaciones que operen a frecuencias milimétricas.



**Figura 7.** Atenuación específica para distintas intensidades de lluvia. Ramos, P.

Fuente: Revista GIGATRONIC nº 12

Conviene indicar por último que en todos los cálculos anteriores se considera propagación en trayectos horizontales y polarizaciones lineales. Si se tiene una inclinación de la polarización con respecto a la horizontal o un



determinado ángulo de elevación en el trayecto, entonces los valores de  $k$  y  $\alpha$  de la tabla deben modificarse por medio de unas fórmulas de corrección incluidas en la misma Recomendación.

### COMPORTAMIENTO ESTADÍSTICO DE LA LLUVIA

Para la predicción de la atenuación producida por la lluvia se necesita información sobre las estadísticas de la intensidad de precipitación. En la Rec. UIT-R PN.837-1 se proporcionan valores de  $R$  excedidos durante determinados porcentajes de tiempo y para distintas zonas hidrometeorológicas mundiales.

Estos valores se resumen en la tabla 1 para las llamadas zonas H y K. Estas zonas son las que afectan en el caso de España, tal y como se puede observar en el mapa de zonas hidrometeorológicas de la figura 8. Así por ejemplo, Madrid se encuentra en la zona H, mientras que Valencia se encuentra en la zona K.

Los datos de la tabla 1 se utilizan para calcular la indisponibilidad por lluvia de un sistema de radiocomunicaciones. Por ejemplo, de la tabla 1 se deduce que para la zona K llueve más de 42 mm/h durante menos del 0,01% del tiempo. Por lo tanto, si se quiere que sistema presente una disponibilidad del 99,99%, será necesario realizar el diseño del mismo teniendo en cuenta una intensidad de lluvia  $R = 42$  mm/h a la hora de calcular las atenuaciones.

**Tabla 1.** Intensidad de Lluvia

Porcentaje de tiempo (%)	R(mm/h) - Zona H	R(mm/h) - Zona K
1,0	2	1,5
0,3	4	4,2
0,1	10	12
0,03	18	23
0,01	32	42
0,003	55	70
0,001	83	100

*Nota.* Intensidad de lluvia excedida para las zonas hidrometeorológicas H y K.

Fuente: Ramos, P. Revista GIGATRONIC n  12



## METODOLOGÍA

La metodología aplicada para la presente investigación se realizó tomando en cuenta todos los aspectos necesarios para poder cumplir a cabalidad los objetivos planteados, que consiste en el cálculo del parámetro de radio atenuación en el estado Apure para frecuencias entre 0.4 y 60Ghz, la misma consta de cuatro fases que se detallan a continuación:

## ESTACIONES METEOROLÓGICAS

Se recolectó la data de las precipitaciones registradas entre los años 2000-2004, suministradas por la Fuerza Aérea de Venezuela que corresponden a las estaciones Meteorológicas de San Fernando de Apure y Guasualito, las cuales fueron fundadas en 1921 y 1971 respectivamente.

**Tabla. 2** Ubicación de Estaciones Meteorológicas

Serial	Estación Meteorológica	Latitud N		Longitud W		Elevación
80450	San Fernando	7°	41'	67°	25'	47
80448	Guasualito	7°	14'	70°	48'	130

Estas estaciones se encuentran ubicadas en los aeropuertos de las localidades de San Fernando y Guasualito, la tabla N° 2 muestra su ubicación las cuales con respecto a la latitud, se encuentran 7 ° 41' y 7 ° 14' respectivamente. En la tabla N° 3 se presenta la media de las precipitaciones mensuales registradas por la estación meteorológica ubicada en San Fernando de Apure.

**Tabla 3.** Precipitaciones Estación Meteorológica San Fernando

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2000	1	0	30	0	162	279	220	238	288	116	23	1
2001	0	0	0	40	114	229	148	269	119	37	11	42
2002	1	0	23	14	145	445	173	298	60	50	34	0
2003	0	0	0	57	189	252	516	213	247	134	36	4
2004	0	4	0	109	456	267	423	353	135	113	60	0

La tabla N° 4 muestra la media de las precipitaciones registradas por la Estación Meteorológica Guasualito entre los años 2000 y 2004. Las precipitaciones registradas en ambas estaciones serán utilizadas posteriormente para el cálculo de la intensidad de la lluvia en mm/h.

**Tabla 4.** Precipitaciones Estación Meteorológica Guasualito

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2000	10	2	45	94	217	216	321	271	182	136	135	25
2001	0	0	6	90	262	230	311	217	194	113	88	97
2002	7	0	10	149	351	241	352	216	134	148	51	5
2003	0	0	1	239	543	248	248	201	291	94	96	88
2004	0	5	7	240	309	345	303	167	247	151	116	25

### CÁLCULO DE LA INTENSIDAD DE LA LLUVIA

Para el cálculo del parámetro de radio-atenuación la intensidad de la lluvia debe ser expresada en milímetros por hora por lo cual es necesario dividir el promedio mensual de las precipitaciones registradas en el estado Apure entre las horas contenidas en un mes, y multiplicarla por los días que el mes contenga, se debe tomar en cuenta los meses que tengan 30 ,31 ó 28 días en caso que el año sea bisiesto, este cálculo se realizó utilizando la siguiente fórmula:

$$R = \frac{\text{Mes.}(mm)}{\text{Horas} * (\text{Días})} \quad (14)$$

Con la aplicación de la fórmula anterior a la data meteorológica suministrada por la fuerza aérea, se obtiene la intensidad de la lluvia en mm/h necesaria para el cálculo.

La tabla N° 5 muestra el resultado de cálculo realizado para la data suministrada proveniente de las estaciones meteorológicas de San Fernando de Apure y Guasualito

**Tabla 5.** Media Intensidad de la lluvia en mm/h Estaciones Meteorológicas

	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	San Fernando	2000	0,0007	0,0000	0,0403	0,0000	0,2177	0,3875	0,2957	0,3199	0,4000	0,1559	0,0319
2001		0,0000	0,0000	0,0000	0,0556	0,1526	0,3175	0,1993	0,3616	0,1656	0,0497	0,0153	0,0563
2002		0,0007	0,0000	0,0306	0,0188	0,1952	0,6182	0,2329	0,4005	0,0833	0,0672	0,0472	0,0000
2003		0,0000	0,0000	0,0000	0,0797	0,2546	0,3500	0,6935	0,2863	0,3431	0,1801	0,0500	0,0050
2004		0,0000	0,0063	0,0000	0,1514	0,6129	0,3706	0,5690	0,4742	0,1872	0,1522	0,0829	0,0000
Intensidad Media		0,0003	0,0013	0,0142	0,0611	0,2866	0,4088	0,3981	0,3685	0,2358	0,1210	0,0455	0,0126
	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	Guasualito	2000	0,0134	0,0022	0,0605	0,1306	0,2917	0,3000	0,4315	0,3642	0,2528	0,1828	0,1875
2001		0,0000	0,0000	0,0077	0,1250	0,3522	0,3194	0,4175	0,2911	0,2696	0,1519	0,1222	0,1297
2002		0,0094	0,0000	0,0134	0,2069	0,4718	0,3347	0,4731	0,2903	0,1861	0,1989	0,0708	0,0067
2003		0,0000	0,0000	0,0012	0,3317	0,7294	0,3439	0,3333	0,2700	0,4042	0,1263	0,1333	0,1187
2004		0,0003	0,0072	0,0093	0,3332	0,4153	0,4794	0,4075	0,2245	0,3429	0,2026	0,1614	0,0331
Intensidad Media		0,0046	0,0019	0,0184	0,2255	0,4521	0,3555	0,4126	0,2880	0,2911	0,1725	0,1351	0,0644



## CÁLCULO RADIO ATENUACIÓN DEL ESTADO APURE

Para el cálculo del parámetro de radio atenuación del estado Apure, primeramente se deben calcular las constantes de  $k$  y  $\alpha$ , que dependen de la frecuencia, en función de calcular estas constantes se considerara que las gotas de lluvia son redondas y caen en línea recta, para así poder utilizar las siguientes ecuaciones:

$$K = ((kv)^2 + (kh)^2)^{1/2} \quad (15)$$

$$\alpha = ((\alpha v)^2 + (\alpha h)^2)^{1/2} \quad (16)$$

Las constantes  $K_v$ ,  $K_h$ ,  $\alpha_v$   $\alpha_h$ , son calculadas a partir de las ecuaciones presentadas en la recomendación 838-3 de la UIT, que se han obtenido a partir del ajuste de curvas a los coeficientes de baja potencia derivados de cálculos de dispersión.

Esta recomendación presenta la siguientes fórmulas que serán utilizadas en esta investigación para el cálculo de estas constantes

$$\log k = \sum_{j=1}^4 \left[ a_j \exp \left[ - \left( \frac{\log f - b_j}{c_j} \right)^2 \right] \right] + m_k \log f + c_k \quad (17)$$

$$\alpha = \sum_{i=1}^5 \left[ a_i \exp \left[ - \left( \frac{\log f - b_i}{c_i} \right)^2 \right] \right] + m_\alpha \log f + c_\alpha \quad (18)$$

donde:

$f$ : frecuencia (GHz)

$k$ : puede ser  $kH$     $kV$

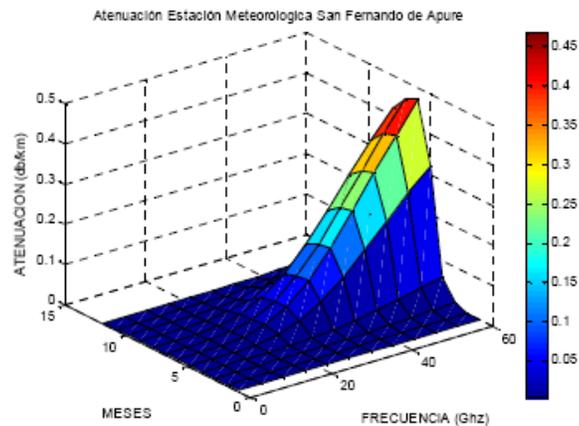
$\alpha$ : puede ser  $\alpha H$     $\alpha V$ .

Una vez determinadas todas las constantes necesarias el cálculo del parámetro de radio atenuación del estado Apure, se realizó a partir de la intensidad de la lluvia  $R$  (mm/h) mediante la ley potencial, utilizando la ecuación número 13 que se muestra a continuación:

$$a = kR^\alpha, \quad (13)$$

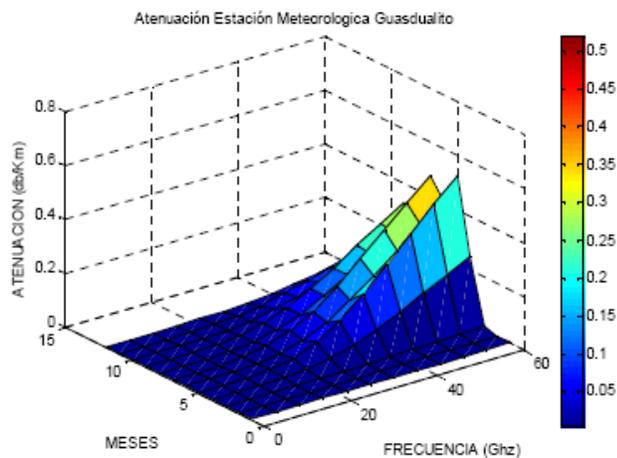
Todas las fórmulas presentadas anteriormente fueron introducidas en un programa desarrollado en matlab versión 7.0 el cual proporciona el valor de atenuación para cada frecuencia entre 0.4 y 60Ghz, el cual se encuentra como anexo de la presente investigación para las Estaciones Meteorológicas estudiadas.

A continuación se presentan las gráficas resultantes del cálculo del parámetro de Radio Atenuación:



**Figura 8.** Radio Atenuación en la Estación Meteorológica de San Fernando de Apure (Atenuación en Función de la Frecuencia y los Meses).

Fuente: Autor

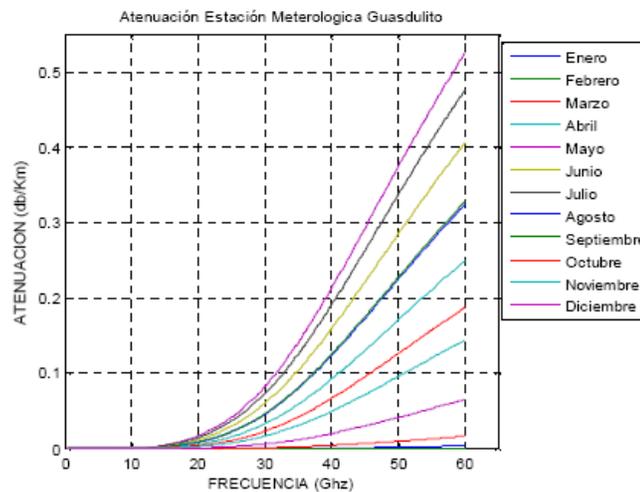


**Figura 9.** Radio Atenuación en la Estación Meteorológica de Guasualito. (Atenuación en Función de la Frecuencia y los Meses).

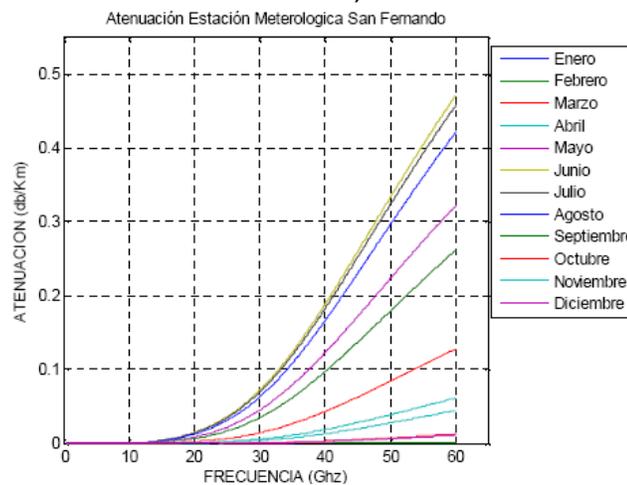
Fuente: Autor

Las Figuras 8 y 9 muestran una gráfica referente a la atenuación resultante para la estaciones de San Fernando y Guasdalito respectivamente, en las cuales se observa la radio atenuación mensualmente, en función de la frecuencia y los meses.

La atenuación máxima se registró en la estación Meteorológica de Guasdalito con un valor 0.5245 dB/km en el mes de mayo, mientras que en San Fernando se obtuvo un valor de 0.4708 dB/Km en el mes de junio, para frecuencias de 60 Ghz



**Figura 10.** Radio Atenuación en la Estación Meteorológica de Guasdalito. (Atenuación en Función de la Frecuencia). Fuente: Autor



**Figura 11.** Radio Atenuación en la Estación Meteorológica de San Fernando. (Atenuación en Función de la Frecuencia). Fuente: Autor



Las figuras 10 y 11 muestran una gráfica para las estaciones de Guasualito y San Fernando respectivamente, en las cuales se observa la radio atenuación en otro enfoque, presentando la misma, en función de la frecuencia.

## ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

La atenuación troposférica de los radio-enlaces producida por la lluvia, de acuerdo a los resultados obtenidos aumenta en función de la intensidad de lluvia registrada en la localidad y de la frecuencia que se este utilizando, hecho que confirma lo expuesto en la bases teóricas ya que la atenuación depende principalmente de la frecuencia con la cual se este trabajando.

Por tanto en el estado Apure durante los años 2000 - 2004, se puede verificar en la tabla de precipitaciones mensuales de la estación meteorológica ubicada en San Fernando de Apure que se registraron mayores precipitaciones entre los meses de abril – octubre, observando en la Figura 8 un aumento del índice de atenuación durante este período de tiempo, y el pico más alto de atenuación se registró durante el mes Junio, mes en el cual el promedio de intensidad de lluvia se ubicó en 0.4088 a una frecuencia de 60 Ghz se obtuvo para dicho mes una atenuación de 0.4708 dB/km, la cual es significativa para altas frecuencias.

Para la estación meteorológica ubicada en Guasualito se observó un comportamiento pluviométrico similar a la registrada en San Fernando las mayores precipitaciones se registraron entre los meses de abril – octubre, observando en la figura 9 un aumento en el índice de atenuación durante este período de tiempo, el pico más alto de atenuación se obtuvo durante mayo, mes en el cual el promedio de precipitaciones en milímetros por hora se ubicó en 0,4521 y a una frecuencia de 60 Ghz se obtuvo para ese mes una atenuación de 0.5245 dB/km.

## CONCLUSIONES

Los fenómenos como la lluvia originada en la troposfera ejercen gran influencia sobre la propagación de las ondas, en el estudio realizado se observa que el parámetro de radio atenuación depende de la intensidad de lluvia registrada en el estado, y del rango de frecuencia en la cual se este transmitiendo.

La intensidad de lluvia para el cálculo del parámetro de radio atenuación de una localidad en específico debe ser expresada en mm/hora por tanto es



necesario aplicar la fórmula de conversión para obtener la data de las precipitaciones ocurridas en las estaciones meteorológicas en las unidades requeridas a fin de utilizar la fórmula proporcionada por la IUT.

Para el cálculo de la radio atenuación se estableció que las gotas de lluvia caen de forma vertical y son completamente redondas, además se desarrolló un programa en matlab del cual se obtiene la relación entre el índice de atenuación que ocurre en un radioenlace, la intensidad de lluvia y la época del año.

Los valores intensidad de lluvia en el estado Apure se van incrementado entre los meses de mayo y octubre para ambas estaciones, la mayor intensidad de lluvia registrada en la estación meteorológica de San Fernando de Apure fue de 0,4008 mm/h en el mes de junio obteniendo una máxima atenuación de 0.4708/km. Para la estación meteorológica de Guasualito se registró una máxima Intensidad de lluvia de 0.4521 en el mes de mayo con una atenuación de 0.5245 dB/km.

Por otro lado el estudio del parámetro de radio atenuación es importante para el diseño de radioenlaces ya que se puede lograr la optimización de los ya existentes, en función de contrarrestar el efecto de la lluvia que altera la propagación de la energía electromagnética interrumpiendo la transmisión en los mismos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amaya F. (2006). **Atenuación troposférica de los Radioenlaces en el Estado Táchira**, Tesis de Maestría para Optar al Título de Magíster en Telemática. Universidad Rafael Belloso Chac n. Maracaibo, Venezuela.

Aparicio J. (2005). **Comportamiento de la Tasa de Transmisión del Enlace Free Space Optics FSO Infrarrojo ante la Perturbación Pluviométrica**. Tesis de Maestría para Optar al Título de Magíster en Telemática. Universidad Rafael Belloso Chac n. Maracaibo, Venezuela.

Bavaresco, A. (1997). **“Proceso Metodológico de la Investigación”**. LUZ. Venezuela.

Cardama, A., Cofre, L., Rius, J., Romeo, J., Blanch, S. y Fernando, M, (2004), **Antenas**, Barcelona, Alfaomega-Ediciones UPC Universidad Nacional del Rosario, Propagación en el Espacio Libre. Disponible en: [www.eie.fceia.unr.edu.ar/ftp](http://www.eie.fceia.unr.edu.ar/ftp)



Chávez, N. (1994). **“Introducción a la Investigación Educativa”**. Editorial ARS Gráfica S.A., Venezuela.

Hernández, Fernández y Batista. (1998). **“Metodología de la Investigación”**. Mc Graw Hill, México.

Moncada D. (2006) **Efectos de Atenuación por Lluvia en los Medios de Transmisión entre Sistemas Satelitales y Estaciones Terrestres**. Tesis de Maestría para Optar al Título de Magíster en Telemática. Universidad Rafael Belloso Chacín. Maracaibo, Venezuela.

Ramos Francisco, (2005), **Cálculo de la radio Atenuación por lluvia en un radioenlace**, España, revista GIGATRONIC N° 12.

Rec. UIT-R 838: **“Modelo de la atenuación específica debida a la lluvia para los métodos de predicción”**, Ginebra, 2003