



ATENUACIÓN POR LLUVIA EN UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN ESTACIÓN-SATÉLITE

Dennys Moncada

Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico e Ingeniería
Universidad Rafael Belloso Chacín

J. R. Fermin*

Departamento de Física, Facultad de Ciencias, Universidad del Zulia,
Apartado. Postal 526, Maracaibo 4001, Zulia, Venezuela

RESUMEN

El propósito fundamental de este trabajo es el estudio de la atenuación por lluvia en los medios de transmisión entre sistemas satelitales y estaciones terrestres. Los datos utilizados para este estudio corresponden a la estación terrestre ubicada en el sector de Chacaíto, Caracas. Para el cálculo de los coeficientes de atenuación por lluvia se utilizó el método recomendado por la CCIR publicado en su reporte 564-4 de 1990. Este modelo permite estimar, para un trayecto arbitrario, el valor de la atenuación excedida durante lapsos acumulados de lluvia. Con estos resultados se pudo determinar la importancia que este estudio tiene para el desarrollo de nuevas tecnologías referentes al diseño de enlaces satelitales, a los fines de poder servir de punto partida para el desarrollo de esquemas que mejoren los problemas que el fenómeno natural de lluvia trae consigo y que atenta permanentemente contra el buen desempeño del canal de comunicación.

Palabras Clave: Estación Terrestre, Atenuación por Lluvia, Satélite, canal de comunicación.

ABSTRACT

The main purpose of this work is to study the rain attenuation in the transmission media between a satellite and a terrestrial station. The data used for this study were obtained from the transmission station at Chacaíto, Caracas. For the calculation of the attenuation coefficients we have used the method recommended by the CCIR in 1990. This model allows us to estimate the value of the attenuation coefficients during cumulate raining periods, and for an arbitrary trajectory. Our results serve to set the importance of rain attenuation for developing new technologies, and designing communication links.

Keywords: Terrestrial station, rain attenuation, satellite, communication channel.

* Investigador invitado de CIDETIU



1.- INTRODUCCIÓN

La posibilidad que una persona pueda ver un canal de televisión cuya transmisión se origina en otra parte del mundo, comunicarse telefónicamente desde el automóvil, o bien recibir mensajes en un radiolocalizador, es posible por la acción de los satélites que permiten amplificar las señales recibidas de la tierra para retransmitirlas por medio de ondas electromagnéticas. Sin embargo, esta recepción algunas veces se ve afectada por fenómenos atmosféricos como la lluvia, reconocida como una de las principales causas que alteran la propagación de la energía electromagnética interrumpiendo la transmisión.

Generalmente se utilizan dos estaciones terrestres por satélite. Una de estas estaciones es el emisor u origen de la señal enviada al satélite y la otra es el receptor de dicha señal, aunque tienen cada una la capacidad de enviar y recibir, por lo que se les llaman *transreceptores*.

La idea de poder recibir información desde un sitio remoto sin necesidad de estar limitado por un enlace satelital es fenomenal. Sin embargo, esta recepción algunas veces se ve afectada por fenómenos atmosféricos como la lluvia, reconocida como una de las principales causas que alteran la propagación de la energía electromagnética interrumpiendo la transmisión.

Para buscar una solución a esta problemática, es importante estudiar el fenómeno apoyándose en modelos estadísticos de lluvia que permiten conocer el efecto de ésta en las comunicaciones. Los modelos se basan en análisis meteorológicos o climáticos, así como también en experimentos donde se pone particular atención al tipo de perturbaciones que este efecto produce sobre los medios de transmisión entre sistemas satelitales y estaciones terrestres.

La magnitud máxima de la atenuación y la transpolarizaci n en un enlace de comunicación, pueden calcularse aproximadamente mediante modelos físicos y estadísticos ampliamente difundidos en la literatura. Los modelos más exitosos se derivan de los propuestos en las recomendaciones R PN.837-1 (1994) y 838 (1992) así como en el informe 564-4 (1990) de la UIT.

2.- ATENUACIÓN POR LLUVIA

Cuando llueve en la zona donde está instalada una estación terrena, ya sea transmisora o receptora, las señales portadoras son atenuadas conforme se propagan a través de la región del aire en donde está lloviendo; la distancia total "d" que las señales viajan a través del canal depende de la altura "h" de las nubes con relación al piso y del ángulo de elevación " θ " de la antena de la estación (gráfico 1).

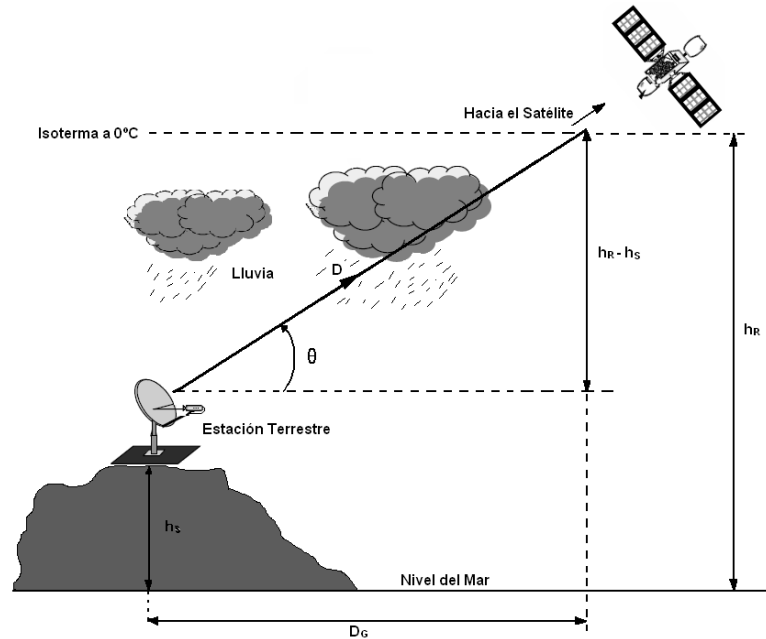


Gráfico 1. Representación parcial de un trayecto tierra-espacio con algunos de los parámetros empleados para la predicción de atenuación por lluvia.

3.- MODELO DE ATENUACIÓN POR LLUVIA

Este modelo permite obtener, para un trayecto oblicuo determinado, el valor estimado de la atenuación A_p que es excedido durante lapsos acumulados con lluvia que en conjunto representen un % p especificado de un año medio. Para predecir las estadísticas a largo plazo de la atenuación debida a la lluvia se requiere la siguiente información:

θ : ángulo de elevación del trayecto (grados)

τ : ángulo de inclinación de la polarización respecto a la horizontal (grados)

f : frecuencia de la portadora

R : intensidad de la lluvia en el punto que se trate para un año medio excedida durante el % p del año (mm/h) especificado con fines de diseño de una red, con un tiempo de integración de un minuto, obtenida de mediciones a largo plazo.

El método general empleado en este modelo, que es útil para frecuencias en Banda C y provisionalmente para frecuencias mas altas, consiste en multiplicar la atenuación específica (por kilómetro de trayecto de lluvia) o coeficiente de atenuación por lluvia γ_R en Db/Km, en función de la intensidad de la lluvia y de la frecuencia, por una longitud efectiva D_G de trayecto de lluvia y por un factor de ajuste de longitud del trayecto r en función de los demás parámetros requeridos, es decir



$$A_p = L_R = \gamma_R D_G r \quad \text{dB} \quad (1)$$

El proceso para obtener la predicción se basa en los siguientes pasos:

La altura efectiva de la lluvia, h_R (Km), se calcula a partir de la latitud φ de la estación terrena (ver figura A.1)

$$h_R = \begin{cases} 3.0 + 0.028\varphi \rightarrow \text{para : } 0 \leq \varphi \leq 36^\circ \\ 4.0 - 0.075(\varphi - 36) \rightarrow \text{para : } \varphi \geq 36^\circ \end{cases} \quad (2)$$

el resultado puede no ser muy correcto si la estación de lluvia es muy distinta de la estación de verano.

La longitud del trayecto oblicuo D por debajo de la altura de lluvia es

$$D = \frac{(h_R - h_S)}{\text{sen } \theta} \text{ Km} \quad (3)$$

para $\theta < 5^\circ$ $\text{sen } \theta$ debe sustituirse por

$$0.5 \left\{ \text{sen}^2 \theta + \frac{2(h_R - h_S)}{R_e} \right\}^{1/2} + 0.5 \text{sen } \theta \quad (4)$$

donde R_e es el radio ficticio de la tierra (8500Km). La proyección horizontal de la longitud del trayecto oblicuo requerido en 1 es

$$D_G = D \cos \theta (\text{Km}) \quad (4)$$

por otra parte, la atenuación específica o coeficiente de atenuación se determina de

$$\gamma_R = k R^\alpha \text{ dB / Km} \quad (5)$$

donde k y α son coeficientes que dependen de la frecuencia. Para la polarización lineal y circular, y para cualquier geometría del trayecto, los coeficientes de la ecuación 5 pueden calcularse mediante los valores del cuadro A.1 utilizando las ecuaciones siguientes ($\tau = 45^\circ$ para polarización circular):

$$k = [k_H + k_V + (k_H - k_V) \cos^2 \theta \cos 2\tau] / 2 \quad (6)$$

$$\alpha = [k_H \alpha_H + k_V \alpha_V + (k_H \alpha_H - k_V \alpha_V) \cos^2 \theta \cos 2\tau] / 2 \quad (7)$$



Cuadro A.1

Frecuencia (GHz)	k_H	k_V	α_H	α_V
1	0.0000387	0.0000352	0.912	0.880
2	0.000154	0.000138	0.963	0.923
4	0.000650	0.000591	1.121	1.075
6	0.00175	0.00155	1.308	1.265
7	0.00301	0.00265	1.332	1.312
8	0.00454	0.00395	1.327	1.310
10	0.0101	0.00887	1.276	1.264
12	0.0188	0.0168	1.217	1.200
15	0.0367	0.0335	1.154	1.128
20	0.0751	0.0691	1.099	1.065
25	0.124	0.113	1.061	1.030
30	0.187	0.167	1.021	1.000
35	0.263	0.233	0.979	0.963
40	0.350	0.310	0.939	0.929
45	0.442	0.393	0.903	0.897
50	0.536	0.479	0.873	0.868
60	0.707	0.642	0.826	0.824
70	0.851	0.784	0.793	0.793
80	0.975	0.906	0.769	0.769
90	1.06	0.999	0.753	0.754
100	1.12	1.06	0.743	0.744

Los valores de los coeficientes son fiables hasta frecuencias de 40 GHz. Se puede obtener los coeficientes a frecuencias distintas a las del cuadro mediante interpolación, utilizando una escala logarítmica para la frecuencia y para k y una escala lineal para α .

El valor de R preferiblemente debe obtenerse de fuentes locales fiables. En caso de no contarse con dicha información, puede hacerse una estimación utilizando las figuras A.2, A.3, o A.4 que representan zonas hidrometeorológicas señaladas en mapas, conjuntamente con el cuadro A.2 que permite obtener directamente R para cada tipo de zona.

Como los valores de los coeficientes del cuadro A.1 en general difieren poco para polarización horizontal y vertical, el tercer término de las ecuaciones A-6 y A-7 tiene un valor comparativamente menor, por lo que el ángulo de elevación del trayecto y el ángulo de polarización de la portadora tiene poco efecto en γ_R . además, k tiene como valores extremos k_H y $(k_H - k_V)/2$. tomando en cuenta lo anterior, se muestran valores menos exactos de γ_R , la cual se calculó haciendo $k = k_H$ y $\alpha = \alpha_H$.



Cuadro A.2
Intensidad de la lluvia excedida (mm/h)

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DECIEMBRE
1950	4	36	28	24	128	290	54	259	260	289	203	22
1951	2	330	56	74	51	99	128	129,5	133,5	57	168	44
1952	5	22	4	105	165	63	99	110	190	146,1	115,9	62
1953	50	38	6	100	140	152,7	111,3	85	149	33	144	45
1954	14	4	15	85	66	142	167	83	145	30	72	93
1955	55	10	13	60	58	186	180,2	60	38	236	81	42
1956	90	4	29	80	65,6	31,8	60	100	110	200	44	102
1957	4	1	1	23	50	193	99	145	194	184	142	22
1958	3	7	1	40	136	377	100	36,2	140	44	119	14
1959	1	1	1	1	128	97	103	117	154	62	15	9
1960	1	9	9	12	120	40	113	27	60	28	160	8
1961	7	6	1	5	13	38	80	20	247	101	88	8
1962	31	2	22	1	152	172	142	189	34	102	72	47
1963	20	20	9	59	301	165	98	54	102	43	10	11
1964	1,8	30	20	16,2	21,2	163,6	152,7	137,7	135,4	98,8	23,8	22,7
1965	52,5	24,2	1	23	75,2	84,4	36,2	234,2	72,8	72,5	96,8	6,8
1966	16,7	36,6	1	88,6	92,4	187,4	140,9	58,2	93,4	87,8	112,9	58,9
1967	13,7	0,6	10,6	61,1	12,2	69,8	107,1	98	126,8	30	62	60
1968	60	6,2	7,9	63,2	60,5	80	86,2	47,5	95,5	64,1	23,6	23,9
1969	78,6	27,4	73,2	26,9	90,5	100,6	72,4	229,7	179,2	124,5	73,2	90,8
1970	24,4	0,4	59,8	6,7	149,4	158,3	115,4	129,3	63,6	26,2	61,6	21,5
1971	10,6	2,2	14	107,1	56,3	32,9	63,4	152,3	111,9	57,7	29,2	24,4
1972	22,6	12,7	6	25,7	70,4	39,4	57,5	61,2	63,1	49,9	39,6	24,7
1973	15,9	1	0,6	29,8	48	52,3	16	147,7	55,4	58	96,7	43
1974	13	1,5	2,3	10,1	93,4	13,6	30	129,1	133	22	20	50
1976	10	20	1	8	60	25	44	26	105,8	157,8	48,2	28,6
1977	1	0,2	1,6	0,2	33	50	60,6	109	84,5	66,9	99,6	2,2
1978	0,2	1	0,8	106	63,2	59,2	60,4	75,3	34,2	103,4	75,2	35,6
1979	5	0,2	51,2	38,2	81	185,4	129,8	112,8	186,8	130,8	75,8	80,6
1980	15,2	2,6	1	43,2	62,6	62	105,4	139,2	204,9	98,6	68,4	44,7
1981	14,2	129,6	2,8	321	149	128	78,6	110	177,2	83,4	70,2	29,6
1982	31,9	16,4	1,4	49,2	148	136,2	55,8	66	91	38,4	10,6	15,4
1983	77,7	21,8	1	69	92,4	105,2	68,6	54,4	84,2	111,6	27,2	14

Como factor complementario de ajuste para las condiciones de 0.01% del tiempo se calcula $r_{0,01}$ en función de D_G y $R_{0,01}$ de la fórmula

$$r_{0,01} = \frac{1}{1 + D_G / 35 \exp(-0.015R_{0,01})} \quad (8)$$

Se seleccionó como referencia la estación terrena perteneciente a MOVISTAR y está ubicada en la Torre Parque Canaima, Latitud (N): 10°30'00", Longitud (O): 66°50'33", Cota: 870 M.S.N.M. Av. Francisco de Miranda, C.C. El Parque, Urb. Los Palos Grandes, Caracas, Estado Miranda. Los datos suministrados se muestran en el cuadro 2.



Cuadro 2. Datos de la Estación Terrestre de Estudio (Moncada)

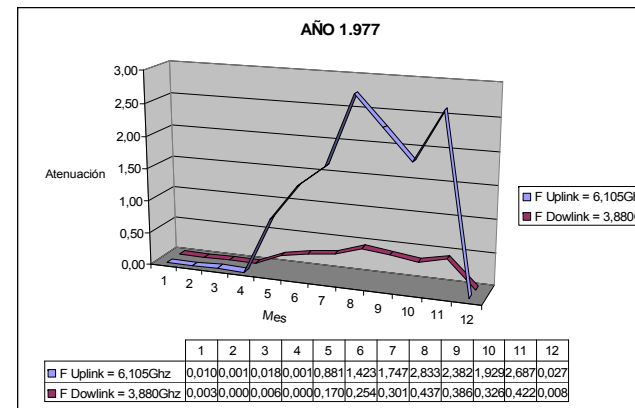
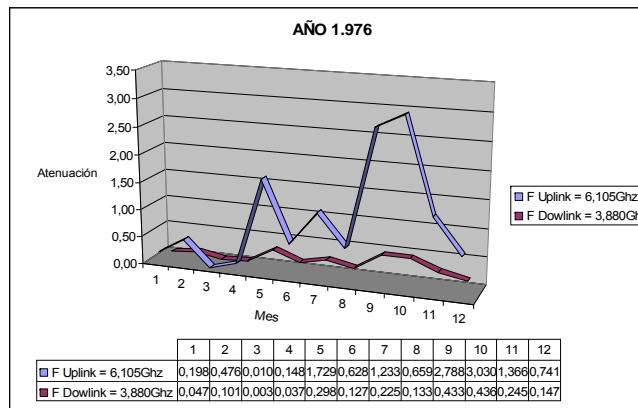
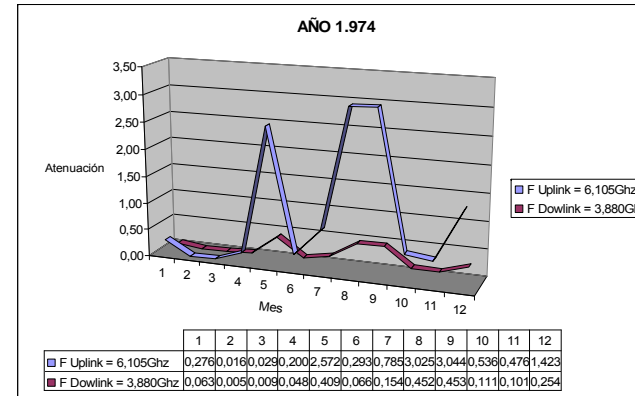
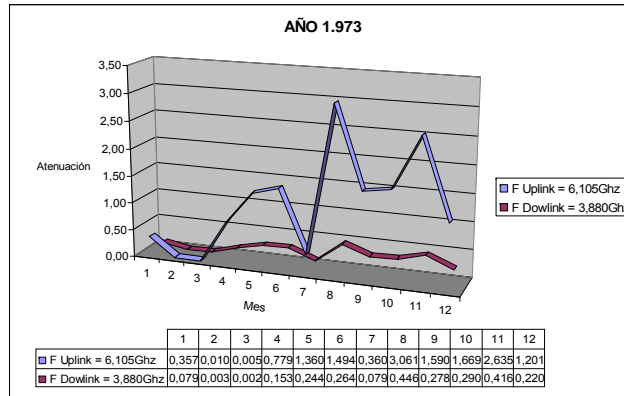
DATOS DE LA ESTACIÓN TERRESTRE	
Longitud (Lo)	Lon(O): 66° 50' 33"
Latitud (ϕ)	Lat(N): 10° 30' 00"
Altitud (h_s)	870 M.S.N.M.
�ngulo de elevación del trayecto (Θ)	21°
Frecuencia de la portadora (F) Banda C	Uplink 6,105 GHz
	Downlink 3,880 GHz
Polarización	Horizontal
Intensidad o tasa de lluvia excedida considerada para el diseño del enlace	0,01%
Disponibilidad del enlace	99,99% de cada mes

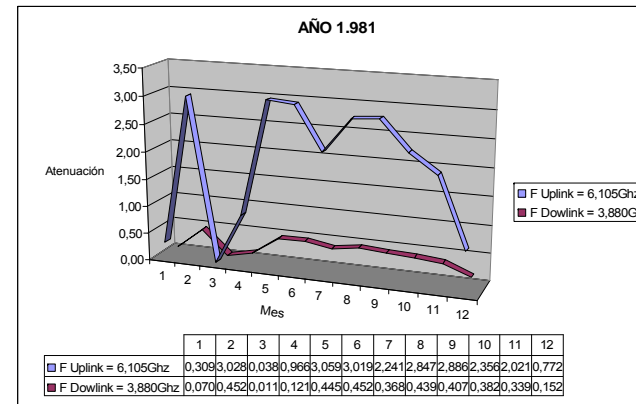
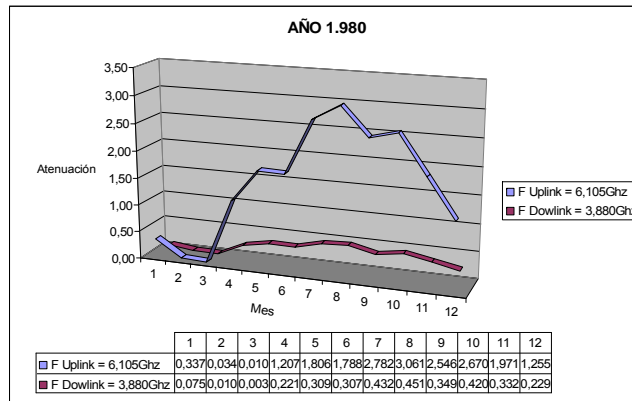
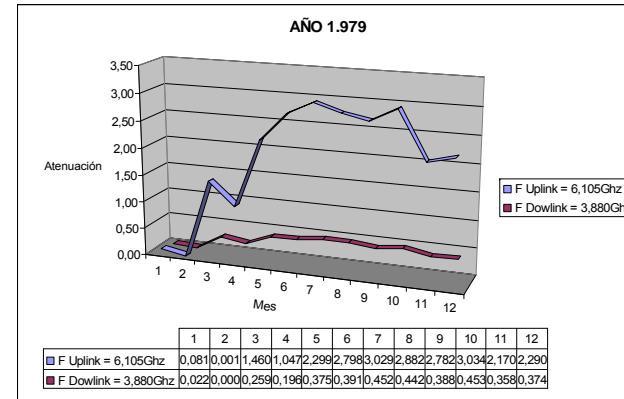
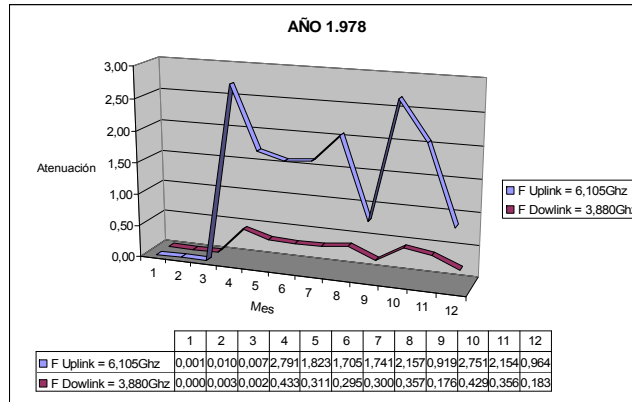
Se tomó como referencia los datos de intensidad pluviométrica suministrados por la Estación Meteorológica Caracas-Chacaito, serial 5021, latitud 10°31'27", longitud 66°51'49", altitud 1.200 M.S.N.M. del estado Miranda. El organismo que suministró la data fue el Ministerio del Ambiente a través de SINAIHME (Sistema de Información Hidrológica y Meteorológica). La estación meteorológica fue instalada en abril de 1.950 y eliminada en enero de 1984, lo cual quiere decir, que los datos de precipitación est n dentro de este lapso de tiempo y tomando como parámetro, precipitación máxima recogida en el intervalo de 30 minutos.

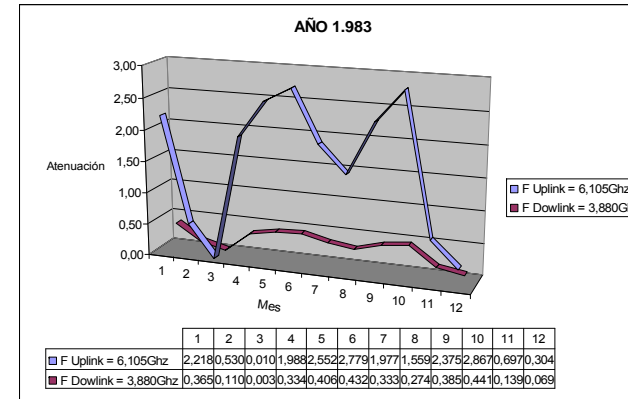
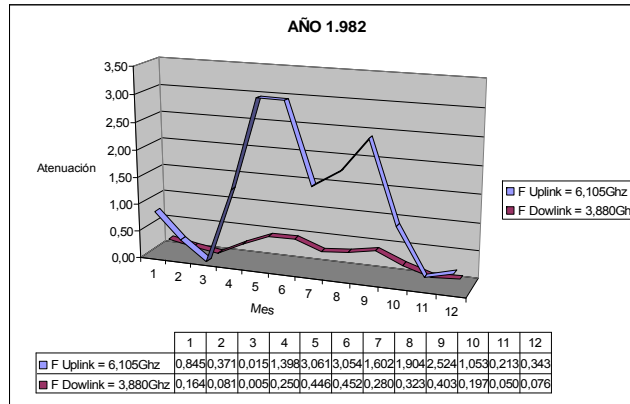
4. RESULTADOS OBTENIDOS

A continuación se presentan las gráficas obtenidas del proceso de determinación de atenuación por lluvia, cada una representa la atenuación en función de cada mes para los últimos 10 años y de la frecuencia, la estación meteorológica utilizada para realizar esta investigación es Caracas – Chacaito.

Es importante recalcar que esta estación fue seleccionada debido a la ubicación geográfica de la estación terrena seleccionada, hecho por el cual nos permite realizar una aproximación del comportamiento pluviométrico para esta estación terrena en particular.









5. CONCLUSIONES

Observando las gráficas obtenidas, se puede establecer de manera indirecta el comportamiento pluviométrico de la zona donde se encuentra ubicada la estación terrena.

De cada gráfica se puede inferir la influencia de la intensidad de lluvia y en caso específico la precipitación en los medios de transmisión, al observar se afirma la condición que a mayor intensidad de lluvia se obtiene una mayor atenuación en la señal, hecho que comprueba revisando las tablas de información meteorológica de la estación meteorológica.

Es de vital importancia observar el comportamiento de la atenuación en función de la frecuencia, donde se aprecia el efecto, a medida que aumenta este factor la señal se deteriora en mayor cantidad, cuando se cuenta con presencia de intensidad de lluvia.

Con estos resultados se confirma lo establecido en lo planteado en las bases teóricas, donde se muestra la dependencia de la lluvia y la frecuencia de transmisión que afectan directamente la calidad de los medios de transmisión satelitales, es decir, que mayor intensidad de lluvia representa una mayor atenuación para los medios de transmisión, y a medida que se aumenta la frecuencia la señal se ve afectada en mayor cantidad.

De acuerdo con los datos obtenidos y en concordancia con la información reflejada en las bases teóricas de la investigación, se pueden deducir los efectos de atenuación por lluvia y dar alternativas para mejorar el rendimiento en los medios de transmisión entre sistemas satelitales y estaciones terrestres ante condiciones climáticas adversas.

6.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ingvar Henne Per Thorvaldsen (2000) **Planning of Line-Of-Sight Radio Relay Systems.**

Rosado Carlos (1999) **Comunicación por Satélites.** Editorial Limusa S.A.

Aldibbiat, N., Z. Ghassemilloy and McLaughlin, (2004) **R. Multipath dispersion in optical wireless network Employing dh-pim.**

<http://www.shu.ac.uk/belarus.pdf> Amaya, A. (2002). **Sistema Óptico Inalámbrico (Opticall Wireless) como enlace de Última Mila.** Universidad Dr. Rafael Belloso Chacín.

Carlson, Robert y Paciorek, Slawomit (2001). **Environmental qualification and field test results for the Sonabeam 155 and 622.**



- Chavarri, Eduardo (2004) **Curso: Hidrología Aplicada**. Universidad Nacional Clark Gerald.
- Couch, L. (1997) **Sistemas de Comunicación Digitales y Analógicos**. México. Editorial: Prentice Hall.
- Rec. UIT-R 838: “**Modelo de la atenuación específica debida a la lluvia para los métodos de predicción**”, Ginebra, 1998.
- Rec. UIT-R PN.837-1: “**Características de la precipitación para establecer modelos de propagación**”, Ginebra, 1998.
- Rec. UIT-R P.530-7: “**Datos de propagación y métodos de predicción necesarios para el diseño de sistemas terrenales con visibilidad directa**”, Ginebra, 1998.
- Willebranb, Heinz. Achour, Maha. (2001) **Hybrid Free Space Optical / Microway Communicaton Networks: A Unique Solution For Ultra High-Speed Local Loop Connectivity**.