

Radioatenuación troposférica por lluvia para el Estado Mérida

(Tropospheric Radio Attenuation by Rain for the Merida State)

Miguel R. Briceño A. Ingeniero de Computación. Universidad Rafael Beloso Chacin. Maracaibo – Venezuela. C-electrónico: miguel_briceno@hotmail.com
Carlos Durante. Doctor en Ciencias. Universidad del Zulia.
Maracaibo – Venezuela. C-electrónico: cdurante@luz.edu.ve

RECIBIDO ENERO 2010 ACEPTADO ABRIL 2010

RESUMEN

El objetivo fundamental de esta investigación fue pronosticar la radioatenuación troposférica por lluvia para el Estado Mérida entre los años 2008 hasta el 2012, utilizando los datos de lluvia para períodos anuales posteriores, determinados a partir del método de pronóstico de Promedio Móvil Integrado de Auto Regresión (ARIMA) para series temporales. Igualmente, el propósito para su desarrollo está directamente relacionado a los problemas que producen las precipitaciones en forma de lluvia en los enlaces de radiofrecuencias, donde se observa la pérdida en la potencia de la señal electromagnética a causa de la disipación de energía en forma de calor por las gotas de lluvia. El tipo de investigación es de modalidad de campo y predictiva, se considera según su diseño no experimental. El estudio está compuesto por 3 fases de procedimiento, basado en el análisis del método de pronóstico ARIMA para series temporales calculados con los datos de lluvia proporcionados por el Ministerio del Ambiente, la Fuerza Aérea Nacional y TUTIEMPO NETWORKS, S.L; a su vez, se determinó la intensidad de lluvia por hora pronosticada y por último se presentan los resultados de las radioatenuaciones para cada período mensual. Los resultados obtenidos fueron que la máxima radioatenuación troposférica e intensidad de lluvia la presenta en el aeropuerto de Mérida y las de menor nivel localidades de Timotes y Jajó. Se recomienda a las Universidades, para continuar con la investigación del pronóstico de las radioatenuaciones troposféricas en otras ciudades del país, para tomar en cuenta los efectos de los fenómenos atmosféricos y así se disminuyen los problemas que estos ocasionan a las ondas electromagnéticas.

Palabras clave: pronóstico, radioatenuación, lluvia, atmósfera, troposfera, ARIMA.

ABSTRACT

This research was aimed forecasting the tropospheric radioattenuation by rain for the Merida State between the years 2008 and 2012, determined from the forecasting method of Mobile Integrated Average of Car Regression (ARIMA) for temporary series. Also, the intention for this development is related directly to the problems that produce the rainfalls of rain in the links of radio frequencies, Where it is observed that the loss in the power of the electromagnetic signal occurs due to the dissipation of energy in the shape of heat by the drops of rain. The investigation has field and predictive model, considered and it is not experimental. The study is composed by 3 phases of procedure, based on the analysis of the method of forecasting ARIMA for temporary series calculated with the information of rain provided by the Ministry of the Environment, the National Air Force and TUTIEMPO NETWORKS, S.L. Also, the intensity of rain per hour was predicted and finally the results of the radioattenuation for every monthly period appears. The obtained results show that the higher tropospheric radioattenuation and intensity of rain appears by Merida Airport and the lower level for Timotes and Jajó. It is recommended to the Universities, to continue with the investigation of the forecast of the tropospheric radioattenuations in other cities of the country, to take in one counts the effects of the atmospheric and like that phenomena there are diminished the problems that these they cause to the electromagnetic waves.

Keywords: forecast, radioattenuation, rain, atmosphere, troposphere, ARIMA.

INTRODUCCIÓN

A lo largo del siglo XX se generó un gran avance en el campo científico y tecnológico, y de una manera muy especial en el área de las telecomunicaciones, logrado entrar ampliamente a todos los ámbitos de los servicios, entretenimientos, aplicaciones, así como a la investigación y a la exploración, mejorando la calidad de vida de todos los seres humanos y facilitando principalmente la comunicación a grandes escalas.

A pesar de los grandes avances, las telecomunicaciones pueden verse afectadas en su funcionamiento por distintas causas, entre ellas los fenómenos meteorológicos que interfieren con la trayectoria o con la distribución de las señales emitidas, los gases atmosféricos como el oxígeno, las precipitaciones en forma de lluvia, granizo o nieve, entre otros factores, son algunos de los problemas fundamentales que pueden llevar a que las ondas electromagnéticas sean perturbadas de su estado original y por ende a la pérdida de la comunicación. Este estudio refleja los problemas causados por las precipitaciones en forma de lluvia.

En busca de una solución a esta problemática, investigadores del mundo estudian 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 y climáticos de la región específica a la cual será enviada la señal electromagnética con el propósito de disminuir riesgos de falla en las transmisiones. La atenuación por lluvia depende del tamaño de las gotas y de su deformación al caer, pero sobre todo de la cantidad global de agua en el aire. Debido a la dificultad de medir los primeros parámetros la atenuación se expresa en función de la intensidad de lluvia medida en mm/h o litros/hora.

La atenuación se produce por la disipación de efecto Joule debido al comportamiento del agua como dieléctrico con pérdidas, y a la dispersión de la energía en direcciones diferentes a la de propagación que producen las propias gotas. Esta atenuación varía con la frecuencia hasta unos 100 GHz y el Sector de Normalización de las Radiocomunicaciones (UIT-R) proporciona gráficas de atenuación en dB/km para distintos niveles de lluvia.

Asimismo, en Venezuela específicamente en el Estado Mérida, posee clima templado y de montaña, tal particularidad se atribuye a la situación geográfica de este Estado dentro de la cordillera andina y a su gran altitud, lo cual, proporciona características meteorológicas distintivas a las del resto del país. Las estaciones meteorológicas utilizadas para la recolección de los datos de lluvia fueron: Aeropuerto de Mérida, Timotes, Jajó, Estación 804380 (SVMD).

Por todo lo antes expuesto, se puede decir que en la actualidad no se disponen de los coeficientes de radioatenuación para estas localidades, ameritando un estudio para la determinación de la radioatenuación troposférica por lluvia. En esta investigación, el procedimiento llevado a cabo comienza con la recopilación de los datos de lluvia en mm/hr de 12 años proporcionados por el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente, la Fuerza Aérea Venezolana y TUTIEMPO NETWORK, S.L, siguiendo con la aplicación y análisis del método de pronóstico ARIMA. Finalmente, se realizan los pronósticos de radioatenuaciones para 5 años siguientes, comenzando desde el año 2008.

Igualmente, se detalla algunas de las principales bases teóricas que describen y explican en referencia a los fenómenos climatológicos y los efectos en las telecomunicaciones, siguiendo con una breve explicación del procedimiento llevado a cabo para obtener los resultados del pronóstico y la radioatenuación. Finalmente se discuten los resultados y se presentan las conclusiones y recomendaciones de esta investigación.

BASES TEÓRICAS

EFECTO DE LA TROPOSFERA Y LA RADIOATENUACIÓN

La troposfera perturba la propagación de las ondas electromagnéticas de forma que al establecer cualquier tipo de radiocomunicaciones dentro de este entorno atmosférico aparecerán una serie de fenómenos que modificarán las condiciones ideales de propagación en el vacío. La atenuación de las señales electromagnéticas en la troposfera parte de la absorción molecular de los gases que la componen principalmente por hidrometeoros. Esta absorción molecular, se debe principalmente a las moléculas de oxígeno y al vapor de agua. Dentro de las frecuencias superiores a los 10 GHz, la atenuación en las telecomunicaciones se torna considerable, acrecentando la radioatenuación a medida que aumenta su frecuencia. A partir de los 22,3 GHz y 60 GHz aparecen los primeros indicadores asociados al vapor de agua y al oxígeno. El indicador oxígeno es especialmente importante ya que a nivel del mar presenta atenuaciones del orden de 15 dB/Km, lo que imposibilita las comunicaciones a larga distancia.

La atenuación por hidrometeoros, especialmente la lluvia, depende de la intensidad y de otros factores tales como el tamaño de la gota, cantidad y velocidad del agua, es decir, a diferentes intensidades de lluvia puede resultar apropiado utilizar un método de pronóstico para obtener la probabilidad de que ocurra una precipitación, y sobredimensionando el sistema de forma que la atenuación adicional asociada a esta intensidad de lluvia no afecte al sistema.

Para aplicaciones prácticas la atenuación específica de la lluvia según la recomendación ITU-R P.838-3, puede calcularse como:

$$\gamma_R = kR^\alpha \text{ (dB/km)} \quad (1)$$

Donde R representa la intensidad de lluvia en mm/hr, k y α son los coeficientes en función de la frecuencia dentro del rango de 1 GHz hasta los 1.000 GHz, que difieren de la polarización vertical como la horizontal. Para el cálculo de los coeficientes según su polarización, k_H , k_V y α_H , α_V ; se utilizan las ecuaciones 2 y 3 con los valores de los cuadros 1, 2, 3 y 4 respectivamente.

$$\log_{10} k = \sum_{j=1}^4 a_j \exp \left[- \left(\frac{(\log_{10} f - b_j)^2}{c_j} \right) \right] + m \log_{10} f + c_k \quad (2)$$

$$\alpha = \sum_{j=1}^5 a_j \exp \left[- \left(\frac{(\log_{10} f - b_j)^2}{c_j} \right) \right] + m \log_{10} f + c_\alpha \quad (3)$$

Cuadro 1. Coeficientes para k_H

j	a_j	b_j	c_j	m_k	c_k
1	-5,3398	-0,10008	1,13098	-0,18961	0,71147
2	-0,35351	1,2697	0,454		
3	-0,23789	0,86036	0,15354		
4	-0,94158	0,64552	0,16817		

Cuadro 2. Coeficientes para k_V

j	a_j	b_j	c_j	m_k	c_k
1	-3,80595	0,56934	0,81061	-0,16398	0,63297
2	-3,44965	-0,22911	0,51059		
3	-0,39902	0,73042	0,11899		
4	0,50167	1,07319	0,27195		

Cuadro 3. Coeficientes para α_H

j	a_j	b_j	c_j	m_α	c_α
1	-0,14318	1,82442	-0,55187	0,67849	-1,95537
2	0,29591	0,77564	0,19822		
3	0,32177	0,63773	0,13164		
4	-5,3761	-0,9623	1,47828		
5	16,1721	-3,2998	3,4399		

Cuadro 4. Coeficientes para α_V

j	a_j	b_j	c_j	m_α	c_α
1	-0,07771	2,3384	-0,76284	- 0,053739	0,83433
2	0,56727	0,95545	0,54039		
3	-0,20238	1,1452	0,26809		
4	-48,2991	0,791669	0,116226		
5	48,5833	0,791459	0,116479		

Para el cálculo de los coeficientes k y α con las componentes horizontal k_H , α_H y vertical k_V , α_V obtenidas, se sustituyen los valores utilizando las siguientes 2 ecuaciones:

$$k = \frac{[k_H + k_V + (k_H - k_V) \cos^2 \theta \cos 2\tau]}{2} \quad (4)$$

$$\alpha = \frac{[k_H \alpha_H + k_V \alpha_V + (k_H \alpha_H - k_V \alpha_V) \cos^2 \theta \cos 2\tau]}{2k} \quad (5)$$

Donde θ es el ángulo de elevación del trayecto de la onda en grados y τ es la inclinación de la polarización en grados. Finalmente, con los coeficientes k y α ya obtenidos, es posible calcular el valor de la radioatenuación por efecto de la lluvia en dB/Km con la ecuación 1 para un determinado valor de intensidad de lluvia R .

Entretanto, como las gotas de lluvia no son esféricas debido al el efecto de rozamiento del aire, estas tienden a achatarse formando esferoides con el eje vertical menor que el horizontal lo que significa que para la polarización vertical la atenuación es ligeramente menor que para la polarización horizontal, tal como se muestra en el cuadro 5.

Cuadro 5. Coeficientes para estimar la atenuación específica de la lluvia

Frecuencia (GHz)	kH	αH	kV	αV
1	0,0000259	0,9691	0,0000308	0,8592
10	0,01217	1,2571	0,01129	1,2156
50	0,6600	0,8084	0,6472	0,7871
100	1,3671	0,6815	1,3680	0,6765
500	1,5418	0,6253	1,5366	0,6272
1000	1,3795	0,6396	1,3822	0,6365

Si consideramos que las gotas son esféricas y utilizamos la ecuación 1, podemos observar en la figura 2 que la atenuación a frecuencias inferiores a los 100 GHz aumenta a medida que se acerca, mientras que cuando la frecuencia esta sobre los 100 GHz la atenuación disminuye levemente y se puede percibir un valor constante incluso cercano dentro de los límites de las frecuencias ópticas.

Para pronosticar los efectos de la lluvia sobre los enlaces en las telecomunicaciones subsiste el problema de conocer las características de las lluvias en la zona. Es fundamental disponer de los datos de observación meteorológica para establecer una forma probabilística de las diferentes intensidades de lluvia, para ello se requiere de series de observación largas para garantizar la fiabilidad estadística de los resultados.

Por último, en trayectos de propagación de señales inclinadas o trayectos tierra-espacio, los valores de radioatenuación específica difieren a los puesto que a medida que se gana altura disminuye las concentraciones de gases y por lo tanto la atenuación. El contenido de vapor de agua disminuye considerablemente mientras que el oxígeno lo hace de forma más gradual.

PROMEDIO MÓVIL INTEGRADO DE AUTO REGRESIÓN (ARIMA)

ARIMA es el método de análisis de series de tiempo más adaptable ya que puede tratar con cualquier patrón de datos. Para todo propósito práctico, múltiples clases o tipos generales de series de tiempo pueden describir cualquier tipo de patrón de datos de series de tiempo, estos pueden ser: autorregresivos (AR), de promedio móvil (MA) y de promedio móvil autorregresivo mixto (ARMA), tanto simples como estacionales.

Un modelo autorregresivo tiene la forma siguiente:

$$Y_t = \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + e_t \quad (6)$$

Donde Y_t es la variable dependiente y $Y_{t-1}, Y_{t-2}, \dots, Y_{t-p}$ son las variables independientes. En este caso, estas variables independientes son valores de la misma (de aquí el nombre de auto) variable, es decir, observaciones, pero de períodos anteriores. Por último, e_t , es el error, o término residual, que representa las perturbaciones aleatorias que no pueden ser explicadas por el modelo.

En el mismo orden de ideas, la ecuación 6 se llama autorregresivo porque se asemeja a la ecuación de regresión ($Y = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_p X_p + e$). La única diferencia es que $X_t = Y_{t-1}, X_2 = Y_{t-2}, \dots, X_p = Y_p$, y así las variables independientes son simplemente valores rezagados de la variable dependiente con rezagos de tiempo 1, 2, ..., p períodos.

Otro modelo posible es del tipo de promedio móvil (MA), se representa de la siguiente forma:

$$Y_t = e_t - \theta_1 e_{t-1} - \theta_2 e_{t-2} - \dots - \theta_q e_{t-q} \quad (7)$$

En donde, como en el modelo anterior, e_t es el error o residuo y $e_{t-1}, e_{t-2}, \dots, e_{t-q}$, son los valores anteriores del error. Finalmente ambas ecuaciones son semejantes con la excepción de que implica que la variable dependiente Y_t depende de valores previos del término de error más que de la variable misma.

Para los modelos mixtos ARMA, se parte de una combinación de las ecuaciones 6 y 7, en la cual se muestra los valores futuros a partir de las observaciones pasadas y de los errores pasados entre los valores reales y pronosticados, tal como se muestra en la siguiente ecuación:

$$Y_t = \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + e_t - \phi_1 e_{t-1} - \phi_2 e_{t-2} - \dots - \phi_q e_{t-q} \quad (8)$$

Para modelos con datos estacionales, las ecuaciones 6, 7 y 8 podrían no ser suficientes y debe completarse con parámetros estacionales. Como explicado anteriormente, los modelos estacionales pueden ser: AR, MA y ARMA. Un modelo AR estacional con datos mensuales sería:

$$Y_t = \phi_{12} Y_{t-12} + e_t \quad (9)$$

Para un modelo MA estacional mensual tendría la forma siguiente:

$$Y_t = e_t - \theta_{12} e_{t-12} \quad (10)$$

Y un modelo mixto ARMA estacional mensual presentaría la siguiente ecuación:

$$Y_t = \phi_{12} Y_{t-12} + e_t - \theta_{12} e_{t-12} \quad (11)$$

Estos tipos de modelos de series de tiempo: AR, MA y ARMA, han sido utilizados por algún tiempo. Yule (1926, 1927) fue quien describió los modelos AR hace 60 años. En 1937 Slutsky propuso los modelos MA, y en 1954 Wold explicó los modelos mixtos ARMA. No obstante, tales

contribuciones en su desarrollo y aplicación estuvieron gravemente limitadas, fundamentalmente debido a razones de cómputo.

PROCEDIMIENTO

En esta parte, se explica en resumen el procedimiento llevado a cabo para la recolección de la serie de datos obtenidos por las distintas estaciones meteorológicas y el análisis concerniente al método de pronóstico ARIMA aplicados para el posterior cálculo de la radioatenuación troposférica por lluvia para el Estado Mérida.

RECOPIACIÓN DE LOS DATOS DE LLUVIA

En esta fase se conforma la recopilación de los registros de lluvia proporcionados por el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente, la Fuerza Aérea Venezolana y TUTIEMPO NETWORK, S.L, los cuales poseen los registros de las precipitaciones de lluvia medidas en mm del Estado Mérida, específicamente de las zonas de: Aeropuerto de Mérida, Timotes, Jajó (a 7 Kms de la frontera) y la Estación 804380 (frontera con el Estado Zulia) comenzando desde el año 1996 hasta el 2008.

Estos datos de precipitación serán utilizados posteriormente para el cálculo del pronóstico de lluvia mensual con el SPSS. Los valores de lluvia obtenidos por este organismo se detallan en los cuadros 6, 7, 8 y 9.

Cuadro 6. Muestra de medidas de lluvia mensuales del aeropuerto de Mérida. Fuente: Fuerza Aérea de Venezuela. 2008

AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1996	56	21	42	114	163	143	154	79	173	161	141	28
1997	49	67	22	124	113	140	56	91	155	260	143	29
1998	5	16	102	221	332	152	177	160	207	249	172	222
1999	62	215	64	156	108	168	102	207	183	201	214	122
2000	101	57	75	76	269	70	77	125	288	262	151	44
2001	1	4	80	141	146	78	151	51	155	318	127	89
2002	10	32	144	151	183	204	35	59	108	160	60	30
2003	4	7	66	185	139	225	111	133	370	478	234	152
2004	44	5	35	285	335	14	148	103	333	240	260	83
2005	109	70	83	295	328	291	53,7	45,3	143	347	236	41,2
2006	68,8	7	219	364	254	88,9	99,8	167	139	228	235	89,5

Cuadro 7. Muestra de medidas de lluvia mensuales de Timotes. Fuente: Ministerio del Poder Popular para el Ambiente. 2008

AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1996	13,5	23,7	10,9	43,8	97,3	89,6	107,6	155,2	39,5	12,5	30,9	45,8
1997	30,5	0,5	17,4	32,8	92,9	75,2	43,9	29,5	67,1	48,1	38,8	5,7
1998	3,1	16,8	36,6	177,7	82,2	68,2	49,0	103,9	79,9	61,7	71,0	93,1

1999	12,0	81,0	34,9	33,5	51,1	48,2	55,7	92,5	136,4	107,7	113,5	58,9
2000	18,7	38,4	30,6	14,9	77,4	54,0	32,2	32,9	110,3	99,0	20,8	4,9
2001	0,0	8,8	6,5	13,7	106,0	18,2	103,9	26,8	52,1	110,1	10,2	41,3
2002	1,5	10,6	31,5	50,0	88,0	12,8	26,3	10,0	32,2	69,9	3,1	22,5
2003	2,1	0,0	31,5	68,3	85,2	80,6	48,7	67,4	81,5	181,3	54,1	30,1
2004	38,8	10,3	32,0	123,8	102,8	34,6	44,7	50,1	120,1	142,9	80,0	64,8
2005	21,7	29,4	26,5	101,3	130,2	134,9	18,9	63,9	52,7	120,5	120,8	9,5
2006	9,7	3,0	84,2	98,6	126,8	55,1	72,5	79,3	53,9	97,7	29,3	19,5
2007	13,0	10,6	53,8	50,4	33,0	45,5	33,1	132,0	120,3	189,6	16,6	7,1

Cuadro 8. Muestra de medidas de lluvia mensuales de Jajó.

Fuente: Ministerio del Poder Popular para el Ambiente. 2008

AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1996	43,1	14,1	64,7	142,4	134,1	57,7	138,4	99,7	66,0	149,2	91,7	13,5
1997	39,8	7,0	19,6	79,5	131,1	95,4	28,6	43,3	61,8	78,3	53,2	12,0
1998	2,7	15,0	83,0	194,7	110,4	25,9	65,8	127,8	93,9	90,9	74,9	65,1
1999	21,6	98,7	40,9	85,1	35,9	77,1	48,8	108,8	140,3	86,5	63,2	98,7
2000	34,9	50,2	70,9	40,2	55,4	71,0	13,7	55,0	199,5	105,1	56,8	1,9
2001	0,0	8,9	29,5	29,8	33,6	23,1	60,8	34,1	90,6	111,9	14,1	37,7
2002	2,3	47,4	87,6	93,8	13,1	16,4	51,8	59,2	42,3	85,6	76,2	44,2
2003	4,2	4,8	29,4	185,0	46,7	87,1	74,0	90,3	105,8	128,5	108,9	40,6
2004	3,8	6,0	92,4	105,0	148,3	16,5	37,8	69,2	115,3	98,2	85,8	10,1
2005	0,0	13,6	54,0	111,4	80,2	72,2	72,6	182,5	107,2	125,7	51,5	94,2
2006	14,5	1,8	148,4	84,2	74,2	56,4	65,7	96,3	45,9	105,3	45,6	23,8
2007	1,80	5,1	50,2	161,5	65,9	27,6	65,7	167,3	119,0	156,7	15,2	46,1

Cuadro 9. Muestra de medidas de lluvia mensuales de la Estación 804380

AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1996	46,50	110,00	34,28	56,40	277,11	159,01	143,51	72,66	128,78	181,61	125,21	17,28
1997	42,44	55,37	34,56	122,43	108,47	126,49	89,69	90,19	144,54	109,47	148,33	8,89
1998	8,13	16,01	89,40	231,90	308,59	101,10	166,89	142,25	203,97	277,61	103,63	142,26
1999	27,30	23,00	91,80	146,00	156,20	80,30	85,20	77,40	65,79	260,09	160,02	0,00
2000	7,11	2,03	435,87	250,21	56,13	68,07	68,07	122,93	309,39	277,61	141,48	26,17
2001	101,09	0,00	65,78	240,28	149,85	50,30	100,83	50,03	226,32	291,85	57,90	76,71
2002	9,67	33,53	132,07	87,63	68,08	182,11	27,95	186,92	109,72	225,80	59,42	29,22
2003	3,55	0,51	66,04	161,53	79,75	176,03	284,48	94,48	263,67	466,34	368,54	188,98
2004	43,95	5,08	35,31	155,46	234,20	2,55	98,55	72,39	123,20	193,82	188,46	38,87
2005	37,59	50,55	5,59	140,97	279,40	205,48	35,81	30,98	96,26	135,13	3,30	21,60
2006	1,27	3,30	177,29	259,84	209,29	75,94	17,78	76,72	68,57	25,39	81,79	73,66
2007	25,40	0,00	24,39	68,83	100,07	127,76	79,51	107,44	135,90	412,24	174,51	36,06
2008	0,51	46,75	8,88	123,44	176,53	76,70	173,48	136,91	105,41	102,59	275,86	26,16

(SVMD). Fuente: TUTIEMPO NETWORK, S.L. 2009

APLICACIÓN Y ANÁLISIS DEL MÉTODO DE PRONÓSTICO

En esta fase de la investigación, se comienza con el análisis de series de tiempo utilizando las observaciones mensuales de lluvia recopiladas durante los años 1996 hasta el 2008. Se realizaron los cálculos para la determinación de los coeficientes óptimos y el proceso de identificación de los parámetros para el método ARIMA, obteniendo resultados para un pronóstico de 5 años siguientes, es decir, hasta el año 2012. Cada paso será realizado para las zonas en estudio de la Costa Oriental del Lago.

Como primer paso, se determina la presencia de la estacionalidad en la serie de datos. Para esto se realiza un diagrama espectral con el fin de establecer con qué frecuencia ocurre cada ciclo de lluvia. Como se muestran en las figuras 1, 2, 3 y 4 se puede observar un pico en la frecuencia 0.08, la cual corresponde al inverso del período, es decir $1/0.08 = 12$ meses. Con este resultado se deduce un ciclo estacionario en la serie.

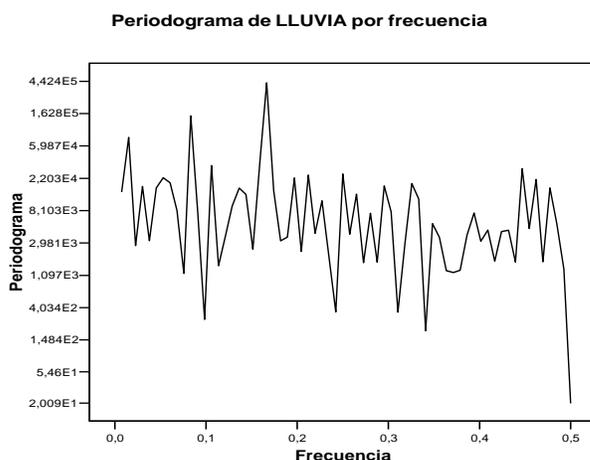


Figura 1. Diagrama Espectral para determinar la estacionalidad de la serie de datos de lluvia real. (Localidad: Aeropuerto de Mérida). Fuente: SPSS, Briceño (2009).

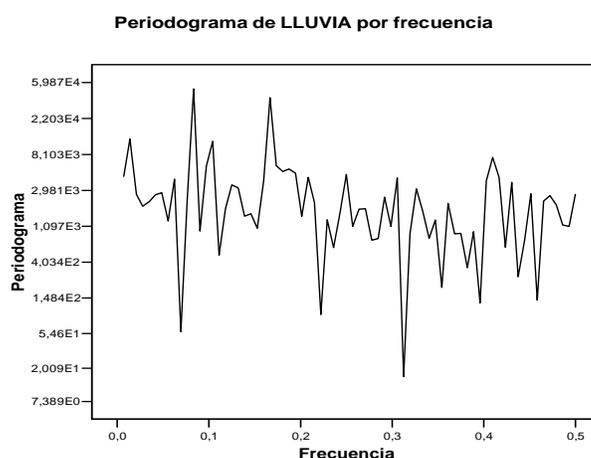


Figura 2. Diagrama Espectral para determinar la estacionalidad de la serie de datos de lluvia real. (Localidad: Timotes). Fuente: SPSS, Briceño (2009).

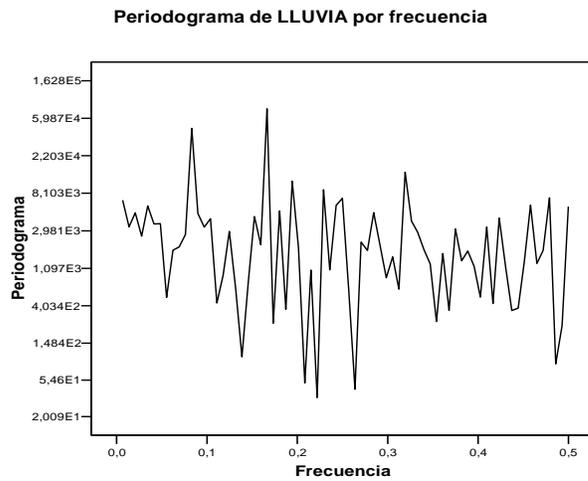


Figura 3. Diagrama Espectral para determinar la estacionalidad de la serie de datos de lluvia real. (Localidad: Jajó). Fuente: SPSS, Briceño (2009).

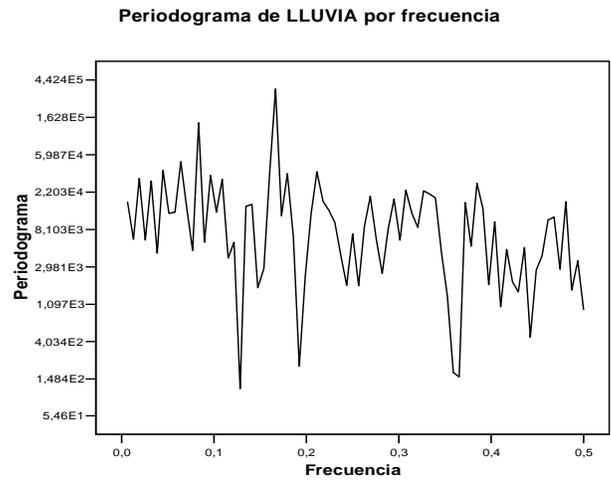


Figura 4. Diagrama Espectral para determinar la estacionalidad de la serie de datos de lluvia real. (Localidad: Estación 804380 (SVMD)). Fuente: SPSS, Briceño (2009).

Ahora, se recurren a las gráficas que representan los valores de lluvia real y pronosticada desde el año 1994 hasta el año 2009, calculadas con el método de ARIMA, observándose que la lluvia pronosticada es semejante al comportamiento anual de lluvia real. Para visualizar mejor los resultados obtenidos, se muestran las figuras 5, 6, 7 y 8.

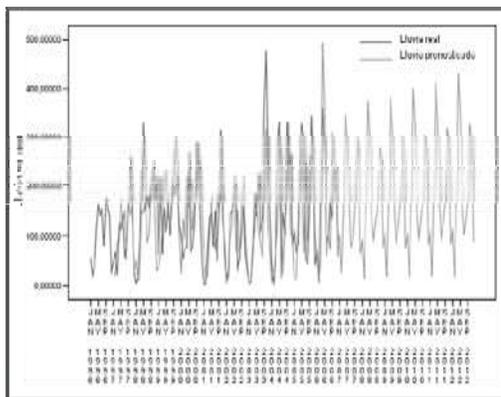


Figura 5. Lluvia mensual real y pronosticada aplicando el Método de ARIMA. (Aeropuerto de Mérida). Fuente: SPSS, Briceño (2009).

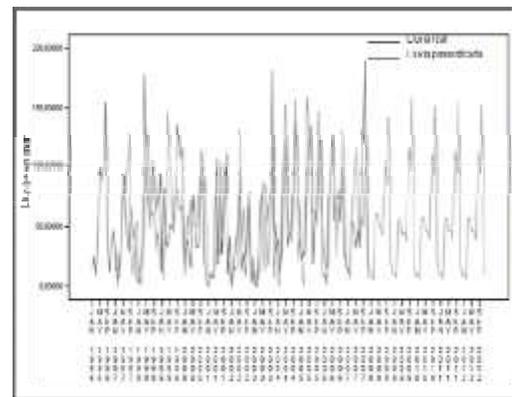


Figura 6. Lluvia mensual real y pronosticada aplicando el Método de ARIMA. (Timotes). Fuente: SPSS, Briceño (2009).

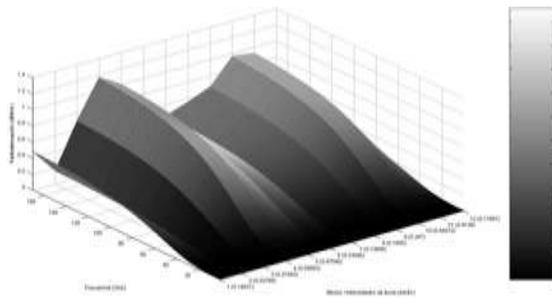


Figura 9. Radioatenuación troposférica por Lluvia para el año 2012. (Aeropuerto de Mérida) Fuente: MATLAB, Briceño (2009).

En este orden de ideas, durante el año 2009 (ver figura 10), en Timotes, se puede decir que la máxima intensidad de lluvia registrada fue para el mes de octubre, con una radioatenuación de 0.60 dB/Km. A su vez, le siguen los meses de agosto y septiembre con una radioatenuación de 0,48 dB/Km y 0,44 dB/Km respectivamente. La menor radioatenuación registrada fue para el mes de febrero con una radioatenuación de 0,08 dB/Km.

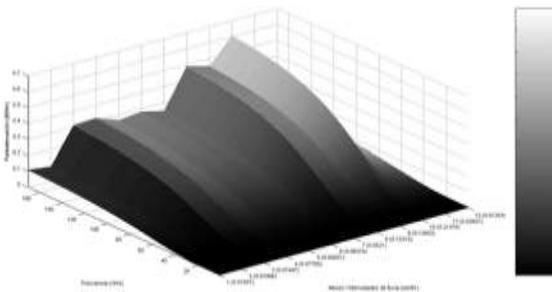


Figura 10. Radioatenuación troposférica por Lluvia para el año 2009. (Timotes) Fuente: MATLAB, Briceño (2009).

Por otra parte, Durante el año 2009 (ver figura 11), en Jajó, se puede decir que las máximas intensidades de lluvia registradas fueron para los meses de abril, agosto y octubre, con radioatenuación de 0.56 dB/Km, 0.57 dB/Km y 0.56 dB/Km respectivamente. La menor radioatenuación registrada fue para el mes de febrero con una radioatenuación de 0,06 dB/Km.

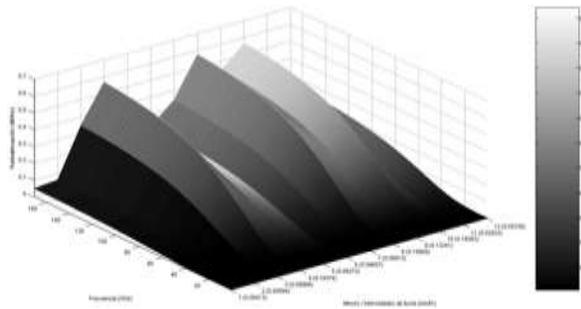


Figura 11. Radioatenuación troposférica por Lluvia para el año 2009. (Jajó)
Fuente: MATLAB, Briceño (2009).

Finalmente, durante el año 2010 (ver figura 12), en la Estación 804380 (SVMD), se puede decir que las máximas intensidades de lluvia registradas fueron para los meses de noviembre y mayo con radioatenuación de 0,73 dB/Km y 0,52 dB/Km respectivamente. Por otra parte, en el mes de octubre también se puede apreciar una alta radioatenuación con 0,51 dB/Km. La menor radioatenuación registrada fue para el mes de enero con una radioatenuación de 0,03 dB/Km.

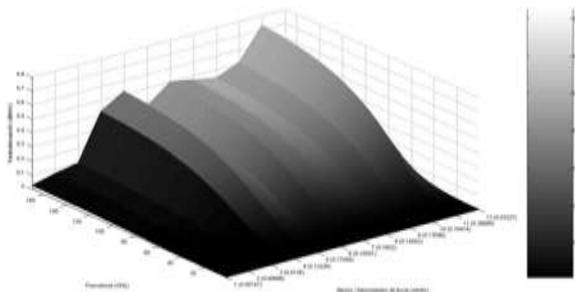


Figura 40. Radioatenuación troposférica por Lluvia para el año 2010.
(Estación 804380 (SVMD)). Fuente: MATLAB, Briceño (2009).

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En este estudio, analizando según lo planteado en las fases para su desarrollo en comparación con los antecedentes y sus bases teóricas formuladas en el capítulo II, se observa la disminución considerable de la potencia de la señal debido al efecto de la radioatenuación troposférica por lluvia.

En este mismo orden de ideas, toda la serie de estudios realizados por otras investigaciones, dan a lugar a escoger como mejor método de pronóstico ARIMA, por ser un método diseñado para analizar las series

temporales, para lograr el resultado del pronóstico se debe realizar una serie de ensayos de las autocorrelaciones y así se logra los coeficientes óptimos para el cálculo del ARIMA.

Asimismo, es importante considerar que los diversos fenómenos atmosféricos pueden alterar el comportamiento estable de los enlaces de telecomunicaciones basadas en ondas electromagnéticas. Debido a la disipación de energía en forma de calor causada por los gases o por las precipitaciones en forma de lluvia, nieve o granizo.

En la Troposfera se da lugar a la mayoría de los fenómenos meteorológicos, es por eso, que allí se origina la radioatenuación troposférica, debido a que el sol calienta la superficie terrestre y ésta transmite el calor a las zonas más bajas de la Troposfera, de allí es que se puede notar los cambios que se producen en las épocas de lluvia.

Este mismo autor señala, que la troposfera perturba la propagación de las ondas electromagnéticas de forma que al establecer cualquier tipo de radiocomunicaciones dentro de este entorno atmosférico aparecerán una serie de fenómenos que origina la modificación de dichos fenómenos. La atenuación de las señales electromagnéticas en la troposfera parte de la absorción molecular de los gases que la componen principalmente por hidrometeoros.

De allí puede decir que la atenuación por hidrometeoros, especialmente la lluvia, depende de la intensidad y de factores tales como el tamaño de la gota, cantidad y velocidad del agua.

La atenuación específica debido a la lluvia puede calcularse a partir de la Recomendación UIT-R 838, la cual se define de la siguiente manera: la atenuación específica a (dB/Km) se obtiene a partir de la intensidad de lluvia R (mm/h) mediante la ley exponencial, en este estudio se trabajó con esa recomendación.

Hoy en día, existen diversas maneras de pronosticar las precipitaciones en forma de lluvia, una de ellas es mediante el uso de los métodos cuantitativos, para esta investigación se utilizó el Método ARIMA, que es un método de análisis de series de tiempo más adaptable ya que se puede tratar con cualquier patrón de datos.

Al realizar el pronóstico del Método ARIMA, para el Estado Mérida, se obtuvo los siguientes resultados de los parámetros de coeficientes óptimos para cada una de las localidades, teniendo que para el Aeropuerto de Mérida es (1,1,1) (1,1,0), Timotes (1,0,1) (1,1,0), Jajó (1,1,1) (1,1,0) y la Estación 804380 (SVMD) (1,0,1) (1,1,0).

Es importante señalar, que la frecuencia con que se trabajó en esta investigación fue desde 1 GHz a 170 GHz. En la determinación de la radioatenuación troposférica por lluvia para el Estado Mérida se observó que para la el Aeropuerto de Mérida en el año 2007, la máxima radioatenuación registrada en la frecuencia de 170 GHz fue de 1,01 dB/Km en el mes de abril y su intensidad de lluvia igual a 0,483 mm/hr; mientras que la radioatenuación menor pertenece al mes de febrero con 0,19 dB/Km.

Para el 2008, la intensidad máxima de lluvia fue para los meses de abril y mayo, con una radioatenuación de 1.06 dB/Km y 0,89 dB/Km. A su vez, le siguen los meses de octubre y noviembre con una radioatenuación de 0,85 dB/Km y 0,83 dB/Km respectivamente.

Para el último año pronosticado 2012 del Aeropuerto de Mérida (ver figura 9), los máximos valores pertenecen a abril y mayo con una radioatenuación de 1,16 dB/Km y 0,99 dB/Km con respecto a las frecuencias de 170 GHz.

En el mismo orden de ideas, para Timotes se tiene que en el 2008, la radioatenuación más elevada se registró en los meses de mayo y septiembre, con radioatenuaciones de 0,55 dB/Km, le siguen los meses de agosto y septiembre con una radioatenuación de 0,45 dB/Km y 0,40 dB/Km respectivamente, y la menor en febrero con una radioatenuación de 0,07 dB/Km.

Por otro lado, la radioatenuación troposférica para el año 2009 (ver figura 10), presentó una máxima en el mes de octubre con 0,60 dB/Km, le siguen los meses de agosto y septiembre con una radioatenuación de 0,48 dB/Km y 0,44 dB/Km respectivamente. Por otro lado, febrero registra la menor radioatenuación con 0,08 dB/Km

En el último año pronosticado 2012, presentó una máxima en el mes de octubre con 0,58 dB/Km, le siguen los meses de agosto y septiembre con una radioatenuación de 0,47 dB/Km y 0,43 dB/Km respectivamente. Por otro lado, febrero registra la menor radioatenuación con 0,08 dB/Km

A continuación, se muestran los valores de máxima radioatenuación para la localidad de Jajó del año 2008, de abril, agosto y octubre, con radioatenuación de 0.50 dB/Km, 0.52 dB/Km y 0.52 dB/Km respectivamente. La menor radioatenuación registrada fue para el mes de febrero con una radioatenuación de 0,06 dB/Km.

Durante el año 2009 (ver figura 11), se puede decir que las máximas intensidades de lluvia registradas fueron para los meses de abril, agosto y octubre, con radioatenuación de 0.56 dB/Km, 0.57 dB/Km y 0.56 dB/Km respectivamente. La menor radioatenuación registrada fue para el mes de febrero con una radioatenuación de 0,06 dB/Km.

Por último, tenemos el 2012, donde las máximas radioatenuación se registrara en los meses de abril, agosto y octubre, con radioatenuación de 0,55 dB/Km, 0,57 dB/Km y 0,56 dB/Km respectivamente. La menor radioatenuación registrada fue para el mes de febrero con una radioatenuación de 0,06 dB/Km, en la frecuencia de 170 GHz.

La Estación 804380 (SVMD) en el 2008, las máximas intensidades de lluvia registradas fueron para los meses de abril y mayo con radioatenuación de 0,55 dB/Km y 0,56 dB/Km respectivamente. Por otra parte, en el mes de noviembre también se puede apreciar una alta radioatenuación con 0,45 dB/Km. La menor radioatenuación registrada fue para el mes de febrero con una radioatenuación de 0,01 dB/Km

Durante el 2009, las máximas intensidades de lluvia registradas fueron para los meses de noviembre y octubre con radioatenuación de 0,69 dB/Km y

0,67 dB/Km respectivamente. Por otra parte, en el mes de mayo también se puede apreciar una alta radioatenuación con 0,48 dB/Km. La menor radioatenuación registrada fue para el mes de febrero con una radioatenuación de 0,01 dB/Km.

Finalmente, tenemos el último año pronosticado 2012 de radioatenuación troposférica de Estación 804380 (SVMD), que las máximas intensidades de lluvia registradas fueron para los meses de noviembre y octubre con radioatenuación de 0,66 dB/Km y 0,50 dB/Km respectivamente. Por otra parte, en el mes de mayo también se puede apreciar una alta radioatenuación con 0,47 dB/Km. La menor radioatenuación registrada fue para el mes de enero con una radioatenuación de 0,03 dB/Km.

Con todo lo antes expuesto, se puede decir que en la determinación de la radioatenuación troposférica por lluvia, la máxima radioatenuación e intensidad de lluvia la presenta la localidad del Aeropuerto de Mérida; y las zonas con menos nivel son Timotes y Jajó.

CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos en esta investigación y con las herramientas utilizadas para el análisis y discusión de los mismos, se presentan las siguientes conclusiones:

El estudio se realiza en base a registros pertenecientes fuente de los datos de lluvia suministrados por el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente, la Fuerza Aérea Venezolana y TUTIEMPO NETWORK, S.L.

Al describir el método de pronóstico ARIMA, se determinó como el más adecuado y avanzado en su tipo, compatible con las características de la serie de datos real y sus patrones estacionales. Logrando el comportamiento de la serie de datos de lluvia mensual, con la identificación del patrón de estacionalidad y estacionariedad de la data.

Para el análisis del pronóstico de lluvia obtenido a través del método ARIMA, se logró los gráficos de las autocorrelaciones simples y parciales de la serie, donde se pudo observar que los retrasos caen hacia cero, para llegar transformar la serie es necesario que se busque la estacionariedad, por lo tanto, se tiene que diferenciar para así obtener los coeficientes óptimos de ARIMA, y decir que se ha llegado al pronóstico de lluvia.

Por otra parte, se pudo comparar los valores obtenidos con los valores de lluvia real, lográndose que la lluvia pronosticada fuera semejante al comportamiento anual de lluvia real, es decir, que se mantiene en el mismo parámetro, no se aprecie que exista mucha variación entre ambos datos.

Al calcular la radioatenuación troposférica con la intensidad de lluvia obtenida con el método ARIMA, para el Estado Mérida, se determinó los meses donde existe mayor y menor radioatenuación e intensidad de lluvia de los años pronosticados, apreciando que para la Aeropuerto de Mérida los meses donde existe un nivel alto de radioatenuación son los de abril y mayo y el más bajo en los meses de febrero. Obteniéndose, que el año 2012 es el

que presentó la máxima radioatenuación e intensidad con valores 1.16 dB/Km y 0,99 dB/Km.

En cuanto, a la zona de Timotes los meses con más radioatenuación e intensidad son octubre, agosto y septiembre, mostrando que el año donde se concentró la máxima radioatenuación fue en el 2009, presentando valores de 0,60 dB/Km y 0,214 mm/hr.

Por otro lado, Jajó, presentó los meses de abril, agosto y octubre con máxima radioatenuación e intensidad de lluvia, y la más leve fue en febrero; observándose, el año 2009 donde hubo más lluvia con unos valores de 0,57 dB/Km y 0,199 mm/hr.

Para finalizar, en la Estación 804380 (SVMD) el nivel más alto de radioatenuación se obtuvo en noviembre, y el más bajo en enero y febrero, presentando al 2010 como el año que tendrá los máximos valores de lluvia con 0,73 dB/Km y 0,288 mm/hr.

En conclusión, se puede decir que las localidades de Timotes y Jajó presentan los niveles más bajos de radioatenuación troposférica e intensidades de lluvia, mientras que en el Aeropuerto de Mérida existen los valores máximos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arteaga, R. (2007). Pronóstico de la Radioatenuación Troposférica por Lluvia para la ciudad de Maracaibo. Tesis de Maestría, Universidad Rafael Belloso Chacín.
- Cardama, A., Cofre, L., Rius, J., Romeo, J, Blanch, S., Ferrando, M. (2005). Antenas. Alfaomega-Ediciones UPC. Barcelona, España.
- Cuadrat, J. y Pita, M. (2006). Climatología. Ediciones Cátedra. 4ta. Edición.
- Diccionario de Términos Meteorológicos (2008).
- Enciclopedia Encarta (2006).
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2003). Metodología de la Investigación. México: McGraw-Hill.
- ITU (2005). Specific Attenuation Model for Rain for Use in Prediction Methods. Recommendation ITU-RP.838-3.
- Lameda, C. (2007) Cálculo de Radioatenuación Troposférica por Lluvia en las Frecuencias de 0.4 y 60 GHz. Tesis de Maestría, Universidad Rafael Belloso Chacín.

- Makridakis, S. y Wheelwright, S. (2004). *Métodos de Pronósticos*. México: Limusa.
- Moreno, H. (2006). *Cálculo del Índice de Atenuación Troposférica en Radio-Enlaces para el Departamento de Cesar Colombia*. Tesis de Maestría, Universidad Rafael Belloso Chacín.
- Pérez, C. (2005). *Métodos Estadísticos Avanzados con SPSS*. España: Thomson.
- Prieto, Y. (2007). *Parámetro de radioatenuación troposférica por lluvia para el rango de frecuencia de 0.4 Ghz y 60 Ghz en el Estado Mérida*.
Revista Gigatronic N° 12.
- Ramos, F (2005). *Atenuación Específica debida a la Lluvia*.
- Risquez, G., Fernández, E. y Pereira, B. (1999). *Metodología de la Investigación*. Maracaibo: Preeduca.
- Zsarolyani, A. (2007). *Pronóstico de Radioatenuación Troposférica por lluvia para la ciudad de Maracay*. Tesis de Maestría, Universidad Rafael Belloso Chacín.