



PRONÓSTICO DE LA ATENUACIÓN POR LLUVIA EN LAS COMUNICACIONES SATELITALES MEDIANTE MÉTODOS DE REGRESIÓN

(Prediction of rain attenuation of satellite communications using statistical
methods)

Recibido: 12-10-2010 Aprobado: 16-11-2010

José Fermín

Universidad del Zulia, Venezuela

jfermin70@gmail.com

Manuel Simancas

Universidad Dr. Rafael Belloso Chac  n, Venezuela

Manuel.simancas@gmail.com

RESUMEN

El propósito fundamental de esta investigación fue pronosticar la atenuación por lluvia en las comunicaciones de señal satelital mediante métodos estadísticos, con el fin de determinar los procedimientos estadísticos más adecuados para el cálculo de la atenuación por lluvia que pudiera existir hasta el año 2016. La investigación fue de tipo predictiva y de diseño no experimental. La metodología se realizó en tres (3) fases. Para hacer el pronóstico, se aplicaron los métodos de Regresión Lineal, Suavizamiento Exponencial y Método de Box-Jenkins (ARIMA). Los resultados obtenidos ratificaron la importancia del empleo de los métodos estadísticos como herramientas en la implementación de los enlaces de comunicación satelital.

Palabras clave: Métodos estadísticos de predicción, Atenuación por lluvia, Se  al satelital.

ABSTRACT

The main purpose of this work is to predict the rain attenuation in satellite communications up to 2016. For this, linear regression, exponential smoothing, Box-Jenkins methods were used. The investigation was of predictive and of non experimental design, and was carried out in three fundamental methodological phases. Our results show how statistical methods can be employed as a fundamental tool for implementing communication links.

Keywords: Statistical methods of prediction, Rain attenuation, Satellite signal.

INTRODUCCIÓN

Las comunicaciones de señal satelital se logran gracias a los satélites que orbitan alrededor del planeta, en conjunto con estaciones terrenas ubicadas en puntos estratégicos del mundo. Estas comunicaciones se realizan a través del aire mediante señales electromagnéticas, y en el medio ambiente existen múltiples factores o fenómenos que pueden afectar en un alto grado las comunicaciones satelitales que se



transmiten desde la superficie terrestre hacia el espacio, para finalmente ser proyectados a puntos equidistantes en la tierra.

Particularmente, la lluvia es un fenómeno atmosférico reconocido como una de las principales causas que alteran la propagación de la energía de las señales electromagnética en pérdida o reducción de las características de potencia y polarización, llegando hasta la interrupción total de la comunicación.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A nivel mundial, las tecnologías de comunicación han experimentado un salto a gran escala, dada la importancia que tiene para el hombre estar comunicados entre sí. La comunicación mediante satélites est   presente desde hace décadas y se ha mantenido gracias a su flexibilidad para tecnologías de diferentes aplicaciones.

También, gracias a sus soluciones de bajo costo, alta calidad, fácil expansión, alcance global, entre otros aspectos; los cuales hacen de este sistema una buena opción, en contraparte de su competidor principal: la comunicación vía fibra   ptica.

En el medio donde trabajan los sistemas satelitales existen grandes factores que afectan o perturban las señales electromagnéticas transmitidas; bien sean desde la tierra o hacia la tierra.

Los cambios atmosféricos presentes en el planeta afectan notablemente las comunicaciones de señal satelital, hecho que ha motivado a científicos e ingenieros en la búsqueda de soluciones para afrontar todos estos inconvenientes.

En el caso de los fenómenos atmosféricos, particularmente la lluvia, es reconocida como una de las principales causas que alteran la propagación de la energía de las señales electromagnética, en pérdida o reducción de las características de potencia y polarización, llegando hasta la interrupción total de la comunicación.

La lluvia o los fenómenos atmosféricos en forma de lluvia pueden suceder de imprevisto y presentarse en cualquier área geográfica del planeta donde se est   dando una comunicación de señal satelital; este suceso es la principal fuente de degradación para los sistemas de comunicaciones que utilizan señal satelital.

Las gotas de lluvia absorben y dispersan la energía de la onda o señal, resultando una atenuación (reducción en la amplitud de la señal transmitida), la cual degrada la confiabilidad y el desempeño en enlaces vía satélite.

En este sentido, es importante dar a conocer los métodos y/o modelos estadísticos de predicción que ayuden a pronosticar la atenuación por lluvia en las comunicaciones de señal satelital, otorgando la posibilidad de brindar una herramienta eficaz a los que est  n involucrados al mundo de las comunicaciones satelitales, y así implementar los resultados en nuevos diseños o en actualizaciones de los sistemas.



Por todo lo planteado anteriormente, la presente investigación busca estudiar los diferentes métodos o modelos estadísticos que permitan pronosticar la atenuación causada por los fenómenos atmosféricos en forma de lluvia en las comunicaciones de señal satelital.

MÉTODOS ESTADÍSTICOS DE PRONÓSTICO O PREDICCIÓN

Muchas de las técnicas de pronóstico que se utilizan actualmente y que se exponen en este trabajo se desarrollaron en el siglo XIX; un ejemplo de ello son los análisis de regresión con el desarrollo de técnicas de pronóstico más complejas.

Junto con el advenimiento de las computadoras, los pronósticos recibieron más atención durante los años recientes, desarrollados en especial desde la proliferación de la pequeña computadora personal.

En la actualidad todos poseen la capacidad de utilizar técnicas de análisis de datos muy complejas para fines de pronóstico, y una comprensión de dichas técnicas es esencial para cualquier organización, empresa o institución pública o privada en general, además es vital para administradores y diseñadores en el área de las telecomunicaciones.

Pronosticar es emitir un enunciado sobre lo que es probable que ocurra en el futuro, basándose en análisis y en consideraciones de juicio, para obtener conocimiento sobre eventos inciertos que son importantes en la toma de decisiones presentes. De igual manera es la estimación anticipada del valor de una variable, a través del uso de métodos con bases estadísticas.

PRONÓSTICOS A LARGO PLAZO

Se refiere a los pronósticos que abarcan un periodo de dos o más años. Se caracterizan por ser muy inexactos, imprecisos; por lo que no representan una gran ventaja cuando se utilizan.

PRONÓSTICOS A MEDIANO PLAZO

Se refiere a los pronósticos que abarcan de tres meses a dos años, típicamente se derivan de los pronósticos a largo plazo, o a partir de una integración de pronósticos a corto plazo.

PRONÓSTICOS A CORTO PLAZO

Los pronósticos a corto plazo tienden a ser aceptablemente precisos, y las ventajas que pueden obtenerse al cambiar del modo de pronóstico intuitivo/implícito al formal/implícito, tienden a ser positivas.



Cuadro 1
Métodos Estadísticos

Método	Definición
Curvas de tendencia	Las observaciones pasadas se describen como una función del tiempo, luego el patrón identificado se utiliza para pronosticar el futuro. Las funciones t��picas son la recta, la línea exponencial y la curva en forma de ese (S). En el software de computación se encuentran algunas curvas alternativas. A menudo este método se emplea en pronósticos a largo plazo.
Descomposición	Se considera que una serie de tiempo que consta de cuatro componentes: La tendencia (su comportamiento a largo plazo), Cíclica (los vaivenes alrededor de la tendencia a largo plazo), Estacional, y un componente aleatorio sobrante. Una vez que se han identificado los componentes sistemáticos, estos pueden reintegrarse para generar pronóstico.
Atenuación exponencial	El pronóstico se basa en una suma ponderada de las observaciones pasadas. Los valores dependen de los llamados parámetros de atenuación. Una vez que se han elegido tales parámetros, es fácil calcular los pronósticos. El método se puede adaptar fácilmente para considerar los factores estacionales y la tendencia.
Modelos de Box-Jenkins (ARIMA)	Como en la atenuación exponencial, los pronósticos se basan en una suma ponderada de las observaciones previas. Sin embargo, la selección de los valores es mucho más complicada. Los modelos ARIMA brindan al analista una gama de modelos diferentes, escogiéndose el más apropiado para la aplicación particular.

Fuente: Makridakis & Wheelwright (1992).

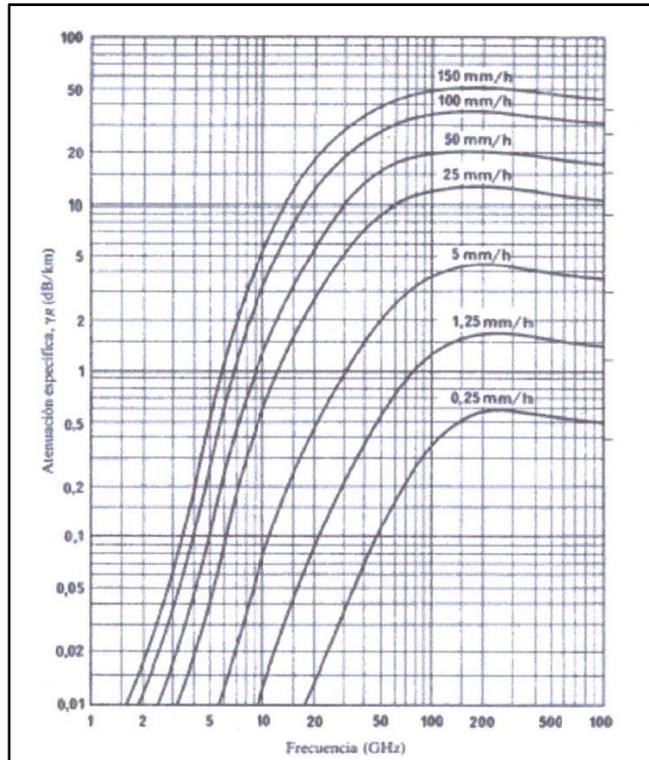
ATENUACIÓN POR LLUVIA

Las señales de los satélites utilizan las bandas de comunicaciones comerciales C, Ku y Ka para transmisiones entre 4 y 30 Gigahertz (GHz). En frecuencias superiores a los 5 GHz la lluvia es un factor dominante en lo que a atenuación de señales se refiere. Esto se debe, como lo explica Sosa y otros (2005), a que la energía electromagnética es absorbida y convertida en calor por las gotas de lluvia, lo que desvía las ondas de la dirección de recepción.

La forma y el tamaño de las gotas de lluvia, que en ocasiones son comparables con la longitud de onda, están relacionadas directamente con la pérdida de energía electromagnética. Debido a las fallas que este fenómeno atmosférico puede causar en las telecomunicaciones, se hace imperioso realizar un análisis de lluvia para predecir sus efectos en enlaces de microondas; a fin de disminuir las posibilidades de falla en la transmisión de señales de los satélites.

En la siguiente gráfica se muestra cómo la atenuación de la señal varía en función de la intensidad de lluvia:

Gráfica 1. Atenuación en dB/Km debido a la lluvia



Fuente: <http://www.eie.fceis.un.edu.ar>

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (2005), bajo la recomendación P.838-3, determinó que es necesario calcular el parámetro de atenuación a partir de datos existentes de lluvia, para lo cual sugiere la siguiente ecuación:

$$Y_R = k R^\alpha, \quad (1)$$

Donde K y α son parámetros relacionados con la geometría de la gota y el ángulo de inclinación, respectivamente; y R es la intensidad de la lluvia en mm/H. Esta investigación se desarrolló en tres (3) fases metodológicas:

FASE I: MANEJO DE DATOS Y APLICACIÓN DE MÉTODOS

Se procedió a organizar los datos de atenuación por lluvia, data que fue tomada de la investigación efectos de la atenuación por lluvia en los medios de transmisión entre sistemas satelitales y estaciones terrestres realizada por Moncada (2006), para poder importarla al programa estadístico Statistical Package for the Social Sciences (SPSS).

Para esto se aplicarán los diferentes métodos estadísticos para realizar el cálculo del pronóstico de atenuación por lluvia, una vez aplicados los métodos, se conocerá cual será o cuales serán los métodos a utilizar para realizar el pronóstico de la atenuación por lluvia hasta el año 2016.

FASE II: DETERMINACIÓN DEL MÉTODO Y ANÁLISIS DEL PRONÓSTICO

En esta fase se determinó el método estadístico o el conjunto de métodos estadísticos de predicción más adecuados para el pronóstico de la atenuación por lluvia hasta el año 2016, seguido de un análisis completo de los resultados arrojados una vez realizado el pronóstico.

FASE III: VALIDACIÓN DEL MÉTODO ESTADÍSTICO UTILIZADO

En esta fase, se validó el método estadístico utilizado en el cálculo del pronóstico de la atenuación por lluvia hasta el año 2016, mediante una serie de pruebas a las cuales se somete el método o conjunto de métodos usados.

RESULTADOS DE LOS PRONÓSTICOS

Aplicando el método de regresión lineal en los modelos logarítmicos Inverso, Cuadrático, Cubico, Compuesto y Exponencial, tanto para la data de UpLink como para la de Down-Link (cuadro 2), se puede concluir que no se obtiene una buena predicción para el año 1975, dado que el coeficiente de determinación R^2 el más alto valor obtenido es de 0.017 para UpLink y 0.012 para DownLink. Por tanto, ésta tiende a 0, y es donde se identifican los peores casos de pronóstico.

Cuadro 2. Datos UpLink/DownLink. Resumen de la aplicación del modelo de regresión lineal

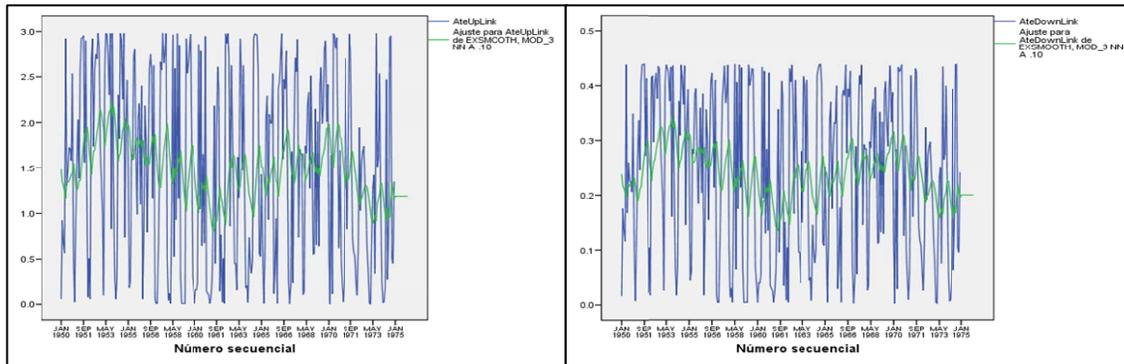
Resumen del modelo y estimaciones de los parámetros									
Variable dependiente: AteUpLink									
Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de los parámetros			
	R cuadrado	F	gl1	gl2	Sig.	Constante	b1	b2	b3
Lineal	.014	4.233	1	298	.041	1.699	-.001		
Logarítmica	.006	1.872	1	298	.172	1.889	-.086		
Inversa	.004	1.182	1	298	.278	1.503	-.930		
Cuadrático	.014	2.118	2	297	.122	1.717	-.002	1.19E-006	
Cúbico	.017	1.670	3	296	.174	1.861	-.007	4.84E-005	-1.05E-007
Compuesto	.005	1.385	1	298	.240	.952	.999		
Potencia	.005	1.419	1	298	.235	1.345	-.113		
Crecimiento	.005	1.385	1	298	.240	-.050	-.001		
Exponencial	.005	1.385	1	298	.240	.952	-.001		

Resumen del modelo y estimaciones de los parámetros									
Variable dependiente: AteDownLink									
Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de los parámetros			
	R cuadrado	F	gl1	gl2	Sig.	Constante	b1	b2	b3
Lineal	.009	2.610	1	298	.107	.264	.000		
Logarítmica	.003	.959	1	298	.328	.281	-.009		
Inversa	.005	1.548	1	298	.214	.242	-.154		
Cuadrático	.009	1.318	2	297	.269	.267	.000	2.44E-007	
Cúbico	.012	1.164	3	296	.324	.289	-.001	7.43E-006	-1.59E-008
Compuesto	.003	.978	1	298	.324	.169	.999		
Potencia	.003	.984	1	298	.322	.215	-.079		
Crecimiento	.003	.978	1	298	.324	-1.779	-.001		
Exponencial	.003	.978	1	298	.324	.169	-.001		

Fuente: elaboración propia.

El segundo método que se aplicó fue el método de Suavizado Exponencial Simple (SES). Este método consiste en que los puntos de datos más recientes tienen mayor peso; este peso se reduce exponencialmente cuanto más antiguos son los datos.

Gráfica 2. Datos Reales vs. Pronosticados UpLink/DownLink SES

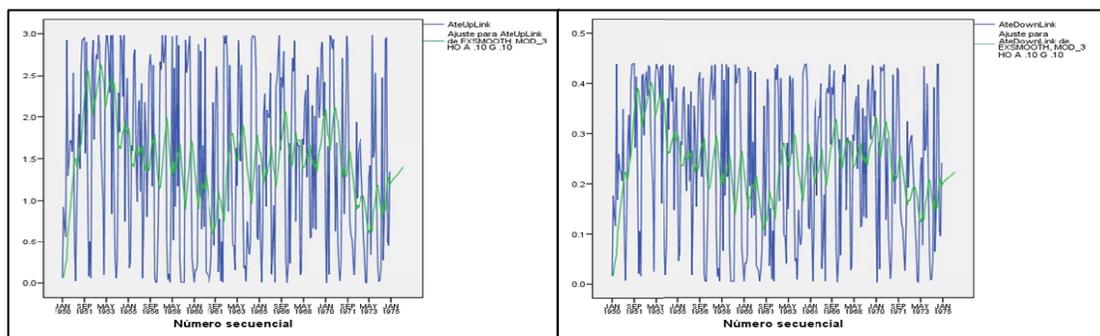


Fuente: elaboración propia.

Al aplicar el método se observa que los datos obtenidos del pronóstico (líneas verdes) junto con los datos reales (líneas azules) de atenuación por lluvia tanto para UpLink como para DownLink, donde en los dos casos se puede apreciar que no existe un comportamiento relacionado entre los valores reales y los pronosticados.

El tercer método aplicado a los datos de atenuación por lluvia, tanto para Uplink como para DownLink, es el método de Suavizado de Holt (SEH). Este método es una variante del método simple que consiste en incorporar la tendencia al método base.

Gráfica 3. Datos Reales vs. Pronosticados UpLink/DownLink SEH

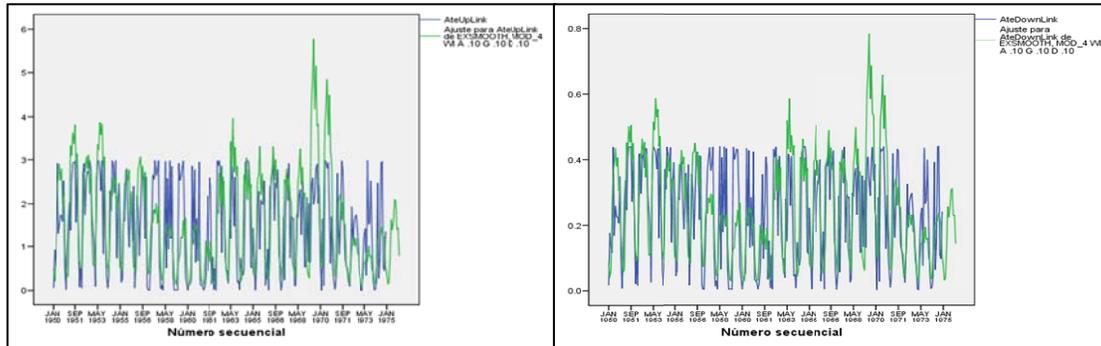


Fuente: elaboración propia.

Al aplicar el método observa los datos obtenidos del pronóstico (líneas verdes) junto con los datos reales (líneas azules) de atenuación por lluvia tanto para UpLink como para DownLink, donde en los dos casos se puede apreciar que no existe un comportamiento relacionado entre los valores reales y los pronosticados.

El cuarto método que se aplicó con el programa estadístico SPSS, es el método de Suavizado Exponencial de Winters (SEW), esta técnica se basa en atenuar en forma directa la tendencia y la estacionalidad empleando diferentes constantes de atenuación para cada uno.

Gráfica 4. Datos Reales vs. Pronosticados UpLink/DownLink SEW

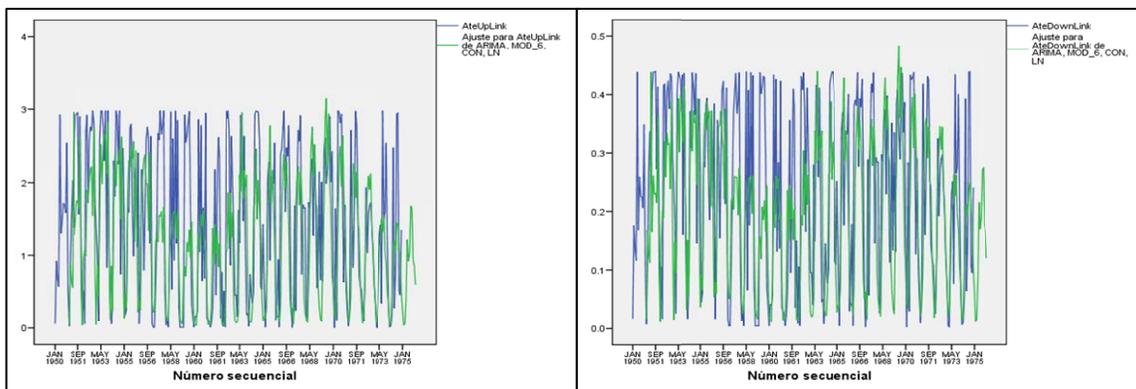


Fuente: elaboración propia.

En el gráfico de secuencia se pueden observar los datos obtenidos del pronóstico (líneas verdes) junto con los datos reales (líneas azules) de atenuación por lluvia tanto para UpLink como para DownLink, donde en los dos casos se puede apreciar que no existe un comportamiento relacionado entre los valores reales y los pronosticados.

El último método que se aplicó en esta investigación fue el modelo ARIMA para realizar el pronóstico del año 1975, tanto para la atenuación de lluvia en la data UpLink como para la data DownLink, así luego pronosticar hasta el año 2016. Este modelo reúne varias características, comprende modelos autoregresivos y modelos de medias móviles para aplicarse en las predicciones. El modelo ARIMA requiere la identificación de un número correcto de regresiones y de los coeficientes que deben ser utilizados.

Gráfica 5. Datos Reales vs. Pronosticados UpLink/DownLink ARIMA



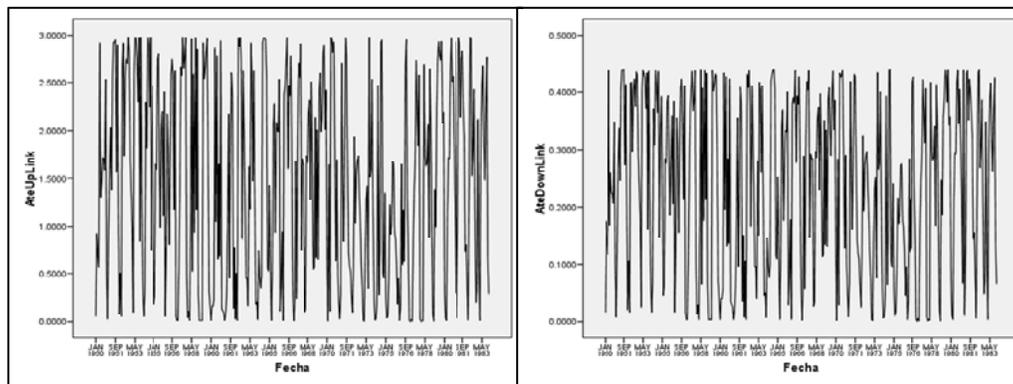
Fuente: elaboración propia.

En el gráfico de secuencia anterior observan los datos obtenidos del pronóstico (líneas verdes) junto con los datos reales (líneas azules) de atenuación por lluvia tanto para UpLink como para DownLink, donde en los dos casos se puede apreciar que existe un comportamiento estrechamente relacionado entre los valores reales y los pronosticados.

Según los resultados arrojados al aplicar cada uno de los métodos estudiados en esta investigación y aplicados en el cálculo del pronóstico del año 1975 para los enlaces UpLink como DownLink, se determinó que el mejor método para dicho pronóstico es el Modelo de Box-Jenkins, el Método de autoregresión integrado de medias móviles (ARIMA).

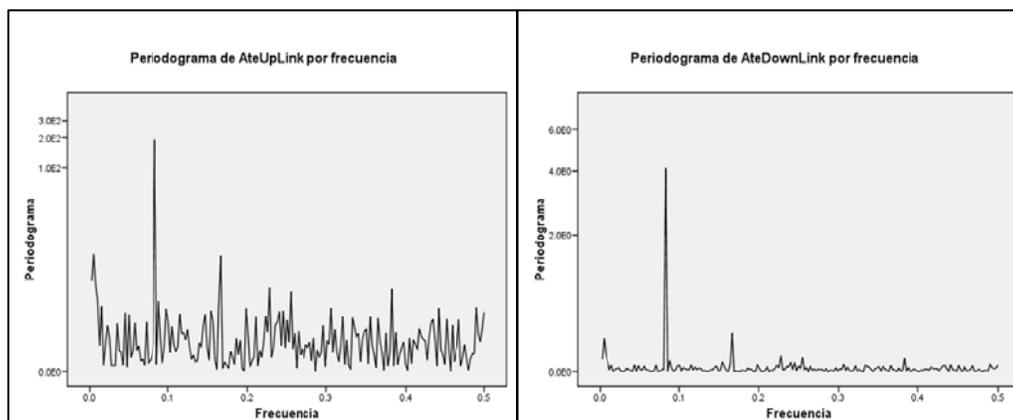
Para comenzar con el pronóstico de la atenuación por lluvia hasta el año 2016, se inició con la fase de identificación, y se procedió a realizar una representación gráfica como fue aplicada en los métodos anteriores, para observar la estacionalidad, ya de antemano se conoce que las series de UpLink como de DownLink, presentan estacionalidad, tal y como se observa en los gráficos 6 y 7.

Gráfica 6. Secuencia UpLink/DownLink ARIMA



Fuente: elaboración propia.

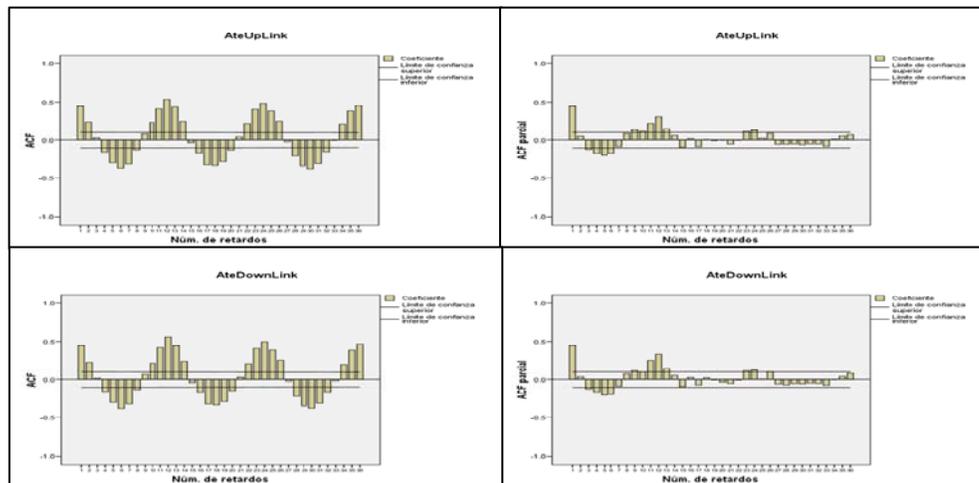
Gráfica 7. Periodograma UpLink/DownLink ARIMA



Fuente: elaboración propia.

Asimismo, se realizaron funciones de auto-correlación y auto-correlaciones parciales estimadas, dado que por medio de ellas se puede detectar además de la estacionalidad la estacionariedad (ACF y ACF parcial respectivamente), con un máximo de retardos a 36 para representar la ACF con un tramo significativo.

Gráfica 8. ACF y ACF parcial UpLink/DownLink ARIMA



Fuente: elaboración propia.

Se observa en las funciones de auto-correlación (ACF) y de auto-correlación parcial (ACF parcial), tanto para UpLink como para DownLink, que validan los periodos estacionales porque los coeficientes de la ACF para retardos múltiplos del periodo estacional de las series son significativamente distintos de cero.

Además, para una cantidad grande de retardos la ACF se configura en forma de abanico que completa su ciclo girando sobre el eje de las abscisas para una cantidad igual al periodo estacional. Por otro lado, los coeficientes de la ACF no decaen rápidamente, lo que indica la falta de estacionariedad en media.

Al realizar el análisis descriptivo se obtuvieron las sucesiones de medias y varianzas por años con diferenciaciones significativas crecientes y decrecientes a lo largo del tiempo, lo que indicó que no hay estacionariedad ni en media ni en varianza en la serie original; este resultado lleva a tomar logaritmos para diferenciar las series originales UpLink y DownLink; con el objetivo de atenuar la falta de estacionariedad en media y en varianza.

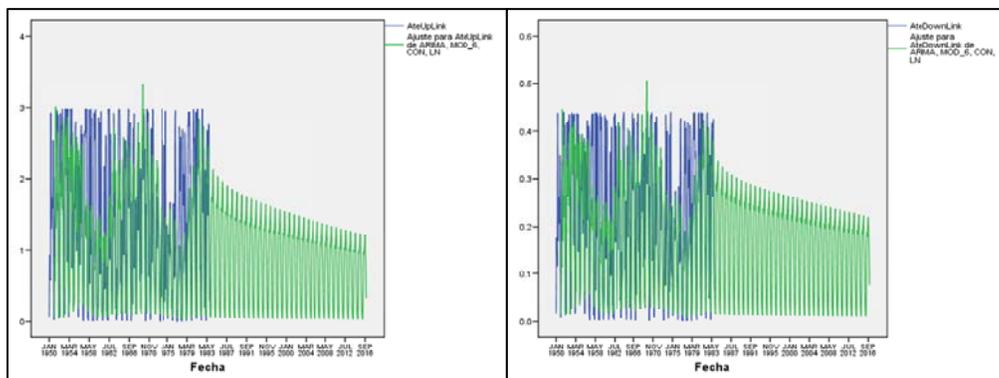
Como las series son estacionales, al aplicar los logaritmos se diferenció tanto en la parte regular de las series como en la parte estacional. Al diferenciar sólo en la parte regular, las ACF y ACF parcial de UpLink y DownLink no superan el problema de la falta de estacionariedad, ya que la AC no decae rápidamente.

Al diferenciar sólo una vez en la parte estacional, las ACF y ACF parcial estimadas ya superan el problema de la falta de estacionariedad. Finalmente, la parte regular de la serie logarítmica es integrada de orden cero (0), y la parte estacional es integrada de orden uno (1).

Para identificar la parte auto-regresiva AR y la parte de medias móviles, se realizó un análisis ACF y ACF parcial. De aquí se obtuvo la estacionariedad y la estacionalidad; donde observando estas funciones (ver gráficas 7 y 8), se advierte que sus coeficientes no se anulan bruscamente con periodicidades y que sus estructuras se ajustan claramente a un modelo ARMA (1,1)(0,1).

Dado el análisis realizado, se identifica el modelo para el pronóstico como un modelo ARIMA (1,0,1) (0,1,1). Asimismo, se aplicó el método ARIMA para realizar el pronóstico de la atenuación por lluvia en los enlaces de subida (UpLink) y de bajada (DownLink) hasta el año 2016.

Gráfica 9. Datos Reales vs. Pronosticados UpLink/DownLink ARIMA

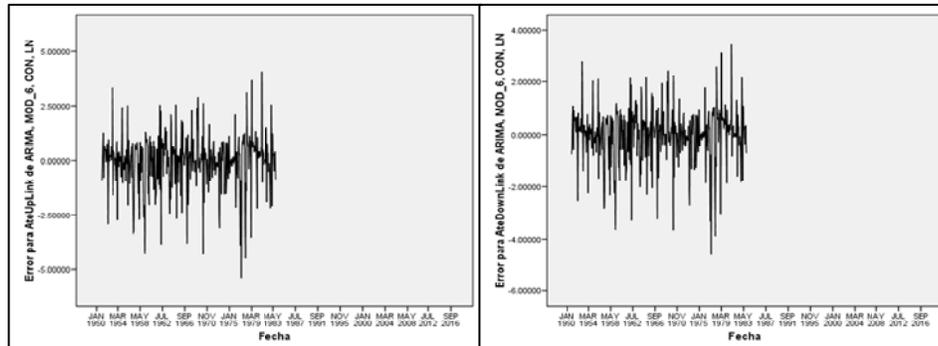


Fuente: elaboración propia.

En el gráfico de secuencia se observan los datos obtenidos del pronósticos (líneas verdes) junto con los datos reales (líneas azules) de atenuación por lluvia tanto para UpLink como para DownLink; en los dos casos se puede apreciar que existe un comportamiento estrechamente relacionado entre los valores reales y los pronosticados.

Para finalizar, se produjo una representación gráfica de los errores del modelo estimado como se muestra en el siguiente gráfico, donde se observa una estructura aleatoria, hecho muy favorable como prueba de diagnóstico de la modelización ARIMA realizada.

Gráfica 10. Errores modelo UpLink/DownLink ARIMA estimado



Fuente: elaboración propia.

Después de realizar a cabalidad las fases para la identificación del modelo ARIMA, y siguiendo el proceso de validación que muestra los resultados del cálculo en el error del modelo seleccionado, se puede determinar y concluir que el método ARIMA es el mejor procedimiento estadístico de predicción para el pronóstico de la atenuación por lluvia hasta el año 2016, y el modelo que mejor representa las series originales.

Al analizar las predicciones obtenidas por dicho método, y la tendencia de la atenuación de los datos originales, con los datos pronosticados; se observan la coincidencia que en los meses de los diferentes años donde se experimenta mayor cantidad de efectos atmosféricos como la lluvia, se enfatiza el porcentaje mayor de atenuaciones.

Estos resultados confirman lo planteado en las bases teóricas, donde se muestra la influencia del factor atmosférico como la lluvia, la cual afecta 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.

CONCLUSIONES

Una vez pronosticada la atenuación por lluvia en las comunicaciones de señal satelital mediante métodos estadísticos de predicción hasta el año 2016, y de haber analizado los resultados obtenidos de los mismos, se plantean conclusiones que corresponden directamente a los objetivos de la presente investigación.

En la investigación se pudieron describir los métodos estadísticos de predicción planteados en el basamento teórico que sustenta la investigación, por medio de la utilización del programa estadístico SPSS, logrando el pronóstico de la atenuación por lluvia para cada uno de dichos métodos.

Al analizar los resultados de pronósticos obtenidos de los diferentes métodos estadísticos, así como la estructura y comportamiento de la data utilizada para realizar el



pronóstico, se determinó que el mejor método para el pronóstico de la atenuación por lluvia hasta el año 2016 es el ARIMA de Box-Jenkins.

Se ratificó, una vez realizado el análisis del pronóstico de la atenuación por lluvia en las comunicaciones de señal satelital hasta el año 2016, por medio del método ARIMA, la influencia del factor atmosférico como la lluvia, la cual afecta directamente la calidad de los medios de transmisión satelitales, produciendo atenuación de las señales transmitidas por los mismos.

Se comprob  , mediante los procesos de validación y las diferentes fases para poner en práctica el modelo utilizado del método de Box-Jenkins, que los métodos estadísticos permiten y ayudan a pronosticar la atenuación por lluvia en las comunicaciones de señal satelital, brindando así una herramienta poderosa y vital a todos los involucrados el mundo de las comunicaciones satelitales; cuando se les presente la hora de diseñar, implementar y/o mejorar sistemas de comunicación satelitales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Makridakis, J. y Wheelwright, M. (1992). Manual de Técnicas de Pronóstico. México. Editorial Limusa, Grupo Noriega Editores.

Moncada, D. (2006). Efectos de atenuación por lluvia en los Medios de Transmisión entre Sistemas Satelitales y Estaciones Terrestres (Tesis para título de Magíster en Telemática) Decanato de Investigación y Postgrado de la Universidad Dr. Rafael Belloso Chac  n. Venezuela.

Sosa, J.; López, J. y Barrera, V. (2005). La ecuación generalizada de Pocklington para antenas de alambre de forma arbitraria. Revista Científica del Instituto Politécnico Nacional. Vol. 9, número 2, Pp. 83-86.

Unión Internacional de Telecomunicaciones (2005). Recomendación P.838-3. Modelo de atenuación específica debido a lluvia para los métodos de predicción. Documento en línea. Disponible en: <http://webs.uvigo.es/servicios/biblioteca/uit/rec/P/R-REC-P.838-3-200503-1!!PDF-S.pdf> Consulta: 15/09/2010.