



MODELO MATEMÁTICO PARA EVALUAR EL EFECTO DE LOS FENÓMENOS ATMOSFÉRICOS EN ENLACES DE RADIO MICROONDAS DE 2.4 GHZ

(Mathematical Model to Evaluate the Effect of the Atmospheric Phenomena in
Radio Links Microwaves of 2.4 GHz)

González Romero Pedro Vicente

Universidad Dr. Rafael Belloso Chac n- Universidad del Zulia.

pedrovgr@gmail.com – pedro_vgr@yahoo.com

Orozco Rodríguez José Ignacio

Universidad Dr. Rafael Belloso Chac n.

ingjorozco@hotmail.com

RESUMEN

El propósito fundamental de este trabajo de investigación fue el desarrollo de un modelo matemático para evaluar el efecto de los fenómenos atmosféricos en enlaces de radio microonda de 2.4 GHz; para establecer una relación entre factores atmosféricos, tales como: humedad, velocidad del viento, presión y temperatura, contra parámetros de calidad de enlace como: paquetes perdidos, tiempo de retardo, relación señal a ruido y velocidad de transmisión. La data para el desarrollo matemático se obtuvo de las celdas de redes y de la página web tutiempo.com, donde se reflejan las condiciones atmosféricas de la ciudad de Maracaibo. Los resultados obtenidos cumplen con los objetivos propuestos, y se definió un modelo matemático basado en el método de regresión lineal múltiple. Como conclusión, se determinó que la velocidad del viento es la que más afecta a los enlaces de radio, ya que ésta lleva consigo pequeñas partículas que sirven de obstáculos a las ondas electromagnéticas, produciendo atenuación y desvi  de algunos de sus componentes; mientras que la humedad es la que menos la afecta; todo está evidenciado en la matriz de correlaciones entre los factores atmosféricos y los parámetros de calidad del enlace.

Palabras Clave: Modelo matemático, Factores atmosféricos, Parámetros de calidad de enlace, Regresión lineal múltiple.

ABSTRACT

The fundamental intention of this work of investigation was the development of a mathematical model to evaluate the effect of the atmospheric phenomena in radio links microwave of 2,4 GHz; in order to establish a relation between atmospheric factors such as humidity, wind speed, pressure and temperature, against parameters of link quality as lost packages, time of retardation, relation signal to noise and speed of transmission. The data for the mathematical development obtained from the cells of networks and the web site tutiempo.com, where it reflects the atmospheric conditions of the city of Maracaibo. The obtained results fulfil the proposed objectives and a mathematical model was defined based on the method of multiple linear regressions.



As conclusion, it determine that the wind speed is the one that more affects the radio links since this it takes with himself small particles that serve as obstacles the electromagnetic waves producing attenuation and turned aside of some of his components; whereas the humidity is the one that except affects it; all this demonstrated in the matrix of correlations between the atmospheric factors and the parameters of quality of the connection.

Key Words: Mathematical model, Atmospheric factors, Parameters of links quality, multiple linear regressions.

INTRODUCCIÓN

El surgimiento de las computadoras trajo consigo en poco tiempo la aparición de las redes de datos, en las cuales dos o más equipos de computadoras conectados entre sí a través de un cable, podían compartir información en forma eficiente.

Sin embargo, a pesar de todas las ventajas que ofrecen estos tipos de redes, todavía existen dificultades para conectar organizaciones o departamentos dentro de una misma organización, a causa de los problemas que se presentan en el diseño del cableado, situación que llevó al surgimiento de las redes inalámbricas.

Una red inalámbrica presta esencialmente el mismo servicio que una red cableada tradicionalmente, la carencia de un cableado hace a la red mucho más flexible. También es una ventaja cuando la disposición física del edificio haga imposible la instalación del cableado. Son particularmente apropiadas para la utilización de computadores portátiles o dispositivos de telemetría, lo cual permite movilidad sin sacrificar las ventajas de estar conectado a una red.

Uno de los métodos de transmisión inalámbrica que se está aplicando en los últimos años es la tecnología de enlaces de radio microondas a 2.4 GHz, la cual permite la transmisión de información mediante ondas electromagnéticas que pueden ser transmitidas a gran velocidad, permitiendo un ancho de banda de transmisión bastante amplio; para ello es necesario que exista línea de vista, y que no se interpongan obstáculos entre el transmisor y el receptor.

Esta nueva tecnología no escapa del inclemente ruido que tanto afecta a los sistemas de comunicaciones. Dentro de estos se tiene que los efectos atmosféricos, de una u otra forma, afectan a dichos enlaces, produciendo desvanecimiento y cambios de dirección en las ondas electromagnéticas. Con base en lo anteriormente señalado surge el propósito de la siguiente investigación: establecer un modelo matemático para evaluar el efecto de los fenómenos atmosféricos en enlaces de radio microondas de 2.4 GHz.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El desarrollo tecnológico de las redes de computadoras se remonta a los primeros sistemas de tiempo compartido desarrollados a principios de los años sesenta, en los



cuales se logró compartir una misma computadora por un grupo de usuarios de manera local.

Luego surgió la idea de compartir entre muchas personas muy distantes, recursos disponibles, tales como: discos, terminales, impresoras, programas especializados, bases de datos, entre otros. Las redes de amplio alcance pasaron a ser usadas no sólo para la comunicación entre computadoras conectadas directamente, sino también para redes de área local conocidas comúnmente como redes LAN.

Surge de esta forma la telemática (telecomunicaciones + informática), la cual ha facilitado el acceso a la información científica, y técnica a partir de recursos informáticos y de telecomunicaciones; gracias a la incorporación de aplicaciones de software a tradicionales sistemas de telecomunicaciones, con lo cual es posible ofrecer servicios informáticos a distancia como internet.

Al igual que en muchos países del mundo, en la República Bolivariana de Venezuela las redes de computadoras juegan un papel muy importante; actualmente existen muchas empresas, instituciones públicas, instituciones educativas y hasta hogares, que cuentan con una Red de  rea Local, comúnmente conocidas como redes LAN.

En ciertos casos en los que la interconexión física entre redes LAN resulta engorrosa, es necesario recurrir a los enlaces inalámbricos, los cuales se han convertido en los últimos años en herramientas de vanguardia. Las tecnologías de LAN inalámbricas comprenden el infrarrojo (IR), láser, radio de UHF, spread spectrum y radio microondas, que van desde frecuencias en GHz a frecuencias infrarrojas.

La transmisión de radio microondas sobre la banda de 2.4 GHz es una alternativa a otras formas de conexión de capa física, transparente al protocolo y ancho de banda. Estos enlaces son una tecnología de poco alcance, utilizadas en redes WLAN, y tienen la característica de operar en frecuencias que han sido catalogadas internacionalmente como "no licenciadas".

Es decir, que no se amerita ningún tipo de permisología para operarlas, pues son consideradas de dominio público, y asignadas, según la Organización Internacional de Telecomunicaciones (OIT), para el uso de Educación, Salud e Industria. No obstante, existen fenómenos atmosféricos importantes que afectan de una u otra forma a estos sistemas inalámbricos, tales como: el viento, temperatura, humedad relativa y presión atmosférica, entre otros; todos ellos contribuyen a una degradación de las señales transmitidas, así como a la contaminación de éstas por el ruido térmico.

Dicha degradación y contaminación produce alteraciones en la data digital transmitida, lo cual favorece a reducir el rendimiento del sistema de comunicación digital, afectando la relación señal a ruido (SRN), pérdidas de paquete, duplicado de paquete, velocidad de transmisión y latencia entre otros.



Poca información se tiene sobre el efecto de los fenómenos atmosféricos sobre los enlaces de radio microonda en la banda de 2.4 GHz, por tanto es necesario desarrollar investigaciones sobre la materia que puedan contribuir a contrarrestar estos efectos adversos a la calidad de la información transmitida.

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

La presente investigación está basada en los siguientes trabajos, los cuales sirvieron de apoyo y referencia:

Vielma (2003) efectuó un trabajo titulado Factores Atmosféricos que afectan la Tecnología Óptica de Espacio Libre, en la Universidad Dr. Rafael Belloso Chacín. Su propósito fue el análisis de los factores atmosféricos que afectan la tecnología Óptica de Espacio Libre (FSO); con el fin de establecer una matriz de selección de productos adecuados entre las diversas soluciones ofrecidas por los fabricantes de sistemas de enlaces FSO.

Según sus resultados, la transmisión de haces de luz a través de la atmósfera siempre se ve influenciada por agentes climáticos o propios de la atmósfera, siendo estos los factores más incidentes en estos tipos de enlaces.

Antúnez (2002) elaboró un trabajo llamado Redes Inalámbricas para la Interconexión de Redes y Acceso a Internet en Entidades Municipales en la Zona Rural. Su propósito fue el análisis del costo-beneficio que representan las redes inalámbricas, como alternativa de solución al problema de interconexión de forma tradicional (cableada) de las entidades de gobierno correspondientes al municipio Jesús Enrique Lossada del Estado Zulia.

Como resultado final de la investigación se planteó un diseño de una red inalámbrica de voz y datos para interconectar ocho entidades municipales ubicadas en la zona urbana de La Concepción y las tres juntas parroquiales ubicadas en las parroquias del municipio.

Piña (2003) desarrolló un trabajo de investigación titulado Modelo de Regresión Lineal para la Estimación del Rendimiento de una Red Ethernet con Interface de Tipo Socket, su objetivo fue utilizar el método de regresión lineal para estimar el rendimiento de una red ethernet, cuando la misma utiliza una interface denominada socket; el estudio se justificó dada la necesidad de crear una metodología de apoyo para los programadores de aplicación y los administradores de redes.

Como resultado se obtuvieron dos funciones polinómicas de orden cúbico, que determinan con un alto coeficiente estimado la relación entre las variables, con un bajo error estándar entre ellas.

Por otra parte, Cisnero (2003) elaboró un trabajo de investigación denominado Simulación de Moduladores/Demoduladores utilizando Redes Neurales, con la



finalidad de desarrollar modelos para la simulación de moduladores/demoduladores utilizando la teoría de redes neuronales.

Para lograr esto, se generaron datos de entrada/salida a la red neuronal, utilizando un modelo matemático con la finalidad de describir los diversos moduladores/demoduladores, y buscar una aproximación al comportamiento real de los mismos mediante el desarrollo de redes del tipo Backpropagation. La herramienta utilizada para generar los datos y desarrollar de los diversos modelos de esta investigación, fue el Toolbox Neural Network del Matlab, versión 6.0.

Por otro lado, Rincón (2003) desarrolló un trabajo de investigación titulado Modelo Matemático para la Estimación del Performance de una Red Ethernet, su propósito fue la formulación de un modelo matemático para la estimación del rendimiento de una red Ethernet; con la finalidad de proporcionar a los investigadores una herramienta teórica que permita determinar el comportamiento bajo ciertos parámetros (tamaño del bus, tamaño del marco de datos, número de computadores, entre otros), de cualquier red ethernet.

Los resultados demostraron que el modelo matemático planteado responde en un alto porcentaje al comportamiento de las redes ethernet en la vida real, lo que permitió demostrar su validez. Bustamante (2003) realizó un trabajo de investigación denominado Modelo matemático para la generación de pasos para robots móviles, su finalidad fue desarrollar un modelo matemático capaz de generar los pasos de un robot móvil con locomoción estructurada de seis (6) extremidades.

El modelo se implanta y verifica a través de una simulación basada en un lenguaje de programación orientado a objeto, con el fin de estudiar las características básicas que puede poseer un robot físico dentro de ciertas especificaciones sobre un terreno aleatorio conocido, como también estimar costo y tiempo para el desarrollo de autómatas.

MODELOS MATEMÁTICOS MEDIANTE ESTADÍSTICOS DE REGRESIÓN

Los modelos estadísticos están basados en el análisis de datos. De acuerdo a Dennys, William y Richard (2002), los modelos estadísticos de regresión lineal estudian la relación estocástica cuantitativa entre una variable de interés Y un conjunto de variables explicativas, es decir, que el análisis de regresión lineal es una técnica estadística utilizada para estudiar la relación entre variables cuantitativas.

Sea Y la variable de interés, variable respuesta o dependiente y sean x_1, x_2, \dots, x_k las variables explicativas o regresoras. La formulación matemática de estos modelos es la siguiente:

$$Y = m(x_1, x_2, x_3, \dots, x_k) + \varepsilon$$



donde ε es el error de observación debido a variables no controladas.

La expresión matemática del modelo de regresión lineal general es:

$$Y = \alpha_0 + \alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 + \dots + \alpha_k x_k + \varepsilon$$

Un primer objetivo en el estudio de este modelo es el de estimar los parámetros del mismo $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k$ y la función de distribución del error F_ε a partir de una muestra de n observaciones. De la expresión matemática del modelo de regresión lineal general se deduce que para $i = 1, 2, \dots, n$ se verifica la siguiente igualdad:

$$y_i = \alpha_0 + \alpha_1 x_{i1} + \alpha_2 x_{i2} + \dots + \alpha_k x_{ik} + \varepsilon_i \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Donde ε_i es el error aleatorio o perturbación de la observación i -ésima (Vilar, Juan. 2003).

METODOLOGÍA APLICADA

La metodología empleada para la realización del desarrollo del modelo matemático para evaluar el efecto de los fenómenos atmosférico en enlaces de radio microondas de 2.4 GHz es propia, basada en consideraciones que derivan de Peña, Daniel (2002), Pardo (2002), así como de Dennys, William y Richard (2002), la cual consta de las siguientes fases:

a.- Identificar Factores Atmosféricos que afectan a los Enlaces Inalámbricos de Radio Microondas

Durante esta fase se busca información documental de cuáles son los factores atmosféricos que inciden en los enlaces inalámbricos de radio microondas que producen degradación de las señales electromagnéticas transmitidas, luego se recolecta una base de datos de dichos factores y de los parámetros de calidad de enlace de radio para establecer una relación entre ellos.

b.- Identificar Modelos Matemáticos

Se estudian los diferentes métodos para generar modelos matemáticos basados en el conocimiento de datos de las distintas variables a considerar, las cuales están clasificadas en variables independientes constituidas por los factores atmosféricos que, de alguna manera, afectan a los enlaces de radio microondas y dependientes compuestas por los parámetros de calidad de enlaces de radio microondas.

c.- Proponer un Modelo Matemático

Obtenida y clasificada la data de las variables de los fenómenos atmosféricos y de los parámetros de radio enlace, se procede al desarrollo del modelo matemático, para



ello, se efectúa un estudio estadístico basados en un Análisis de Regresión Lineal Múltiple, el cual se realiza utilizando una técnica denominada por paso. El análisis de regresión múltiple se ejecuta siguiendo los siguientes pasos:

1.- Determinar la matriz de correlación con la data original.

Utilizando el software de estadística denominado SPSS 12.0 para Windows, desarrollado por Apache Software Foundation, se establece la matriz de coeficiente de correlación de Pearson entre las variables en estudio.

Esto con el fin de cuantificar el grado de relación lineal existente entre las variables independientes (humedad, velocidad del viento, presión y temperatura), y las variables dependientes (paquetes perdidos, tiempo de retardo, relación señal a ruido y velocidad de transmisión).

Este coeficiente toma valores entre 1 y -1, representando 1 una relación perfecta positiva, un valor de -1 corresponde a una relación perfecta negativa, mientras que un valor de 0 indica relación lineal nula; Pardo (2002).

Según la estadística, un valor en magnitud del coeficiente mayor a 0,3 puede considerarse bueno, ya que la data obtenida corresponde a datos experimentales; sin embargo, lo aconsejable es tener valores por encima de 0,6.

2.- Analizar Estadísticos Descriptivos.

Se efectúa un análisis exhaustivo de las variables involucradas en el estudio; con el fin de conocer la tendencia central basados en el análisis de la media, mediana e intervalos de confianza; el grado de dispersión tomando en cuenta la varianza, desviaciones típicas, valores mínimos y máximos; y el grado de distribución a través de los coeficientes de asimetría y curtosis, estos valores deben ser menores a 1,96 en valor absoluto para que la distribución tenga una tendencia normal, Pardo (2002).

Se realiza la prueba de normalidad (estadísticos de Kolmogorov-Smirnov y de Shapiro-Wilk) con el propósito de verificar si los datos recopilados por variables, tanto dependientes como independientes, proceden de una población normal; esta hipótesis se corrobora si el nivel crítico de significación (Sig) es menor a 0,05; Pardo (2002).

3.- Depuración de Data.

Los gráficos de diagrama de caja, además de proporcionar información del grado de dispersión de los datos, y el grado de asimetría de la distribución, permiten determinar los valores atípicos y extremos de la data por cada variable. Esta información es de sumo interés para la depuración de la data; con el fin de mejorar el coeficiente de correlación entre las variables independientes y las dependientes.



4.- Análisis de Regresión Lineal Múltiple por Variable Dependiente.

En análisis de regresión lineal múltiple, la ecuación de regresión es definida por un hiperplano en un espacio multidimensional, por lo que la representación gráfica de dispersión deja de ser atractiva, razón por la cual es preferible su análisis a través de la ecuación del modelo de regresión lineal.

Utilizando el software de SPSS se efectúa un análisis de regresión por paso con el método de pasos sucesivos; con la finalidad de obtener la mejor ecuación de regresión lineal, dependiendo de la inclusión de las variables independientes en función de algunos criterios estadísticos. La validez del modelo es verificado con el cumplimiento de los criterios de linealidad, independencia, homocedasticidad, normalidad y no-colinealidad.

La linealidad se verifica a través de un diagrama de dispersión en el cual la relación entre la variable dependiente y la independiente adopta un comportamiento más o menos lineal; el análisis de los residuos (diferencias entre los valores observados y los valores pronosticados) son muy útiles para comprobar el criterio de linealidad, mientras más pequeño sea el error típico de las estimaciones de los residuos, mejor es el ajuste a la relación lineal.

Por otro lado, un valor absoluto de residuos grandes permite la detección de valores atípicos, y por ende depurar mejor la data. Si el valor de los residuos divididos por su error típico (parámetro denominado residuos tipificados), se encuentran entre 1,96 y -1,96, se interpreta que los residuos están normalmente distribuidos.

La independencia entre los residuos es verificada por el estadístico de Durban-Watson, valor que se encuentra entre 0 y 4, siendo el valor 2 el mejor indicio de independencia entre los residuos. Se dice que los residuos son independientes si este estadístico se encuentra entre 1,5 y 2,5; Pardo (2002).

La homocedasticidad o igualdad de varianza (varianza constante), se verifica a través de los diagramas de dispersión entre los pronósticos tipificados y los residuos tipificados.

Si este diagrama no sigue ninguna pauta de asociación clara (ni lineal ni de otro tipo), es indicio de independencia entre los residuos, lo que no implica que la varianza sea homogénea, el diagrama de dispersión también permite detectar relaciones de tipo no lineal entre las variables.

La normalidad se verifica a través de los histogramas de los residuos tipificados y gráficos de probabilidad normal de los residuos. En los histogramas se puede verificar si para cada valor de la variable independiente o combinaciones de ellos, los residuos se distribuyen normalmente con media cero; mientras que en los gráficos de probabilidad normal se puede observar si los residuos se distribuyen normalmente alineados sobre la diagonal del gráfico.



La colinealidad se comprueba observando la relación entre las variables independientes, si ésta es perfectamente lineal, entonces existe colinealidad perfecta, por lo que la correlación entre las variables independientes es alta, y no es posible estimar los coeficientes de la ecuación de regresión; también se puede estimar a través de los estadísticos de colinealidad, nivel de tolerancia y los factores de inflación de la varianza (FIV).

Si el valor de tolerancia es muy pequeño, implica que hay colinealidad, y esa variable puede ser explicada por una combinación lineal del resto de las variables. El FIV de una variable independiente es el recíproco del nivel de tolerancia, mientras más alto sea, mayor es la varianza del correspondiente coeficiente de regresión.

5.- Transformación de Variables.

Dependiendo del resultado obtenido del método de regresión lineal múltiple por pasos sucesivos, y con la ayuda de las estimaciones curvilíneas, se evalúan las posibles mejoras de transformación para las variables en estudio, y la inclusión o no dentro del modelo para garantizar la optimización del mismo. Después de estimar las más apropiadas transformaciones, se vuelven a corroborar los criterios de validez del método de regresión lineal múltiple especificado en el apartado anterior.

d.- Validación de Modelo Matemático

Una vez planteado el modelo matemático se procede al estudio de validez del mismo, a través de métodos, tales como: la simulación. Para tal fin se analizan diversas alternativas de herramientas de simulación disponibles actualmente.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

A continuación se presenta paso a paso el desarrollo de esta investigación planteada en concordancia con lo establecido en los apartados anteriores.

Fase I: Identificar Factores Atmosféricos que afectan a los Enlaces Inalámbricos de Radio Microondas

En esta fase se estudiaron los diferentes factores atmosféricos que pueden afectar a los enlaces inalámbricos. Según la documentación estudiada y los expertos consultados, son muchos los factores que afectan a dichos enlaces, entre los cuales se encuentran condiciones climáticas como: la temperatura, la lluvia, el viento, la humedad, la presión, la nieve, el granizo, las tormentas, entre otros.

Según www.radioptica.com, las ondas de radio que se propagan a través de un ambiente lluvioso son atenuadas debido a la absorción de potencia producida en un medio dieléctrico con pérdidas como el agua, además de producirse pérdidas sobre las ondas transmitidas a causa de la dispersión de parte de la energía del haz que provocan las gotas de lluvias.



Por otro lado, los vapores de agua y de oxigeno no condensados poseen líneas de absorción en la banda de frecuencias de microondas y de ondas milimétricas. Según Vielma (2003), la transmisión de haces de luz a través de la atmósfera es influido por agentes climáticos o propios de la misma, tales como: la niebla, el granizo, la lluvia y la incidencia directa de la luz solar.

Para el desarrollo del modelo matemático se deben tomar como factores atmosféricos la velocidad del viento, la temperatura, la humedad y la presión; todos ellos conforman las variables independientes del modelo, esto debido a que se dispone de una base de datos tomada de las estaciones meteorológicas ubicadas en el Aeropuerto Internacional La Chinita de la ciudad de Maracaibo.

Fase II: Identificar Modelos Matemáticos

Después de una revisión de diferentes literaturas se pudo determinar que existen diversos métodos para desarrollar modelos matemáticos, entre los cuales se pueden mencionar:

- Método de regresión lineal múltiple, éste se basa en desarrollar un modelo matemático partiendo de una recopilación de datos producto de algún experimento, aplicando criterios estadísticos para conseguir la mejor ecuación de regresión lineal que relacione una variable dependiente con varias variables dependientes.

- Redes Neuronales, una tecnología computacional que puede utilizarse en un gran número y variedad de aplicaciones, inspirada en la estructura y funcionamiento de los sistemas nerviosos, donde la neurona es el elemento fundamental.

Las redes neuronales son modelos que intentan reproducir el comportamiento del cerebro. Teniendo una base de datos tanto de entrada como de salida de un sistema (causa-efecto), es posible generar una red neuronal para modelar dicho sistema y poder realizar un mejor análisis del mismo.

Fase III: Proponer un Modelo Matemático

El desarrollo del modelo matemático se efectuó en base a los datos recopilados desde enero de 2005 hasta octubre de 2005 de parámetros, de factores atmosféricos, y de parámetros de una red radio enlace de microonda de 2.4 GHz con una potencia de transmisión fija de 100 mW.

Posterior al estudio de diferentes modelos matemáticos, se planteó realizarlo empleando métodos de regresión lineal múltiple, por ser éste un procedimiento bastante completo en el cual se aplican diversos criterios estadísticos, y además es comúnmente utilizado en el ámbito experimental.

Para el desarrollo del modelo matemático se tomaron como variables independientes factores atmosféricos, tales como: la velocidad del viento, la



temperatura, la humedad y la presión; mientras que las variables dependientes del modelo lo conforman los parámetros de calidad de enlaces de radio microondas, tales como: paquetes perdidos, tiempo de retardo, relación señal a ruido y velocidad de transmisión. Los resultados obtenidos de este método se analizan a continuación:

Matriz de correlación de la data original

En primer lugar se procedió a determinar la matriz de correlación de Pearson de la data original; para ver el grado de relación entre las variables en estudio.

Tabla 1. Matriz de Correlación de Pearson de la data original

	Hu	Vv	Pr	Te
Pp	-0.138	0.313	-0.269	0.130
Tr	-0.063	0.001	-0.020	0.198
SNR	0.177	-0.251	0.224	-0.208
Rb	0.143	-0.368	0.306	-0.147

Fuente: González y Orozco (2010)

Se puede observar que es muy poca la relación que existe entre ellas, los paquetes perdidos (Pp) guardan más relación con la velocidad del viento (Vv) y la presión (Pr), que con la humedad (Hu) y la temperatura (Te); el tiempo de retardo (Tr) tiene muy poca relación con la velocidad del viento, presión y humedad, mientras que presenta una ligera relación con la temperatura.

Con respecto a la relación señal a ruido (SNR), ésta si guard  una leve relación con las variables independientes en estudio, lo mismo que la velocidad de transmisión (Rb).

En general, los niveles de correlación est n muy bajos, siendo el más alto presentado de -0,368 correspondiente entre la velocidad del viento y la velocidad de transmisión, esto significa de que existe muy poca relación entre los fenómenos atmosféricos en estudio con respecto a los parámetros de red del radio enlaces microonda estudiados.

Estadísticos descriptivos

El estudio estadístico descriptivo de la data recopilada de las distintas variables revela que los datos de las variables humedad, presión y temperatura presentan una tendencia central, ya que su media se encuentra más o menos centrada entre sus valores máximos y mínimos, así como entre sus intervalos de confianza.

Los datos de las variables humedad, presión, temperatura y relación señal a ruido se encuentran menos dispersos, atendiendo a su desviación t pica con respecto a la media. Las variables velocidad del viento y tiempo de retardo presentan una distribución bastante asimétrica con respecto a su media, esto puede apreciarse



observado que los coeficientes de asimetría y curtosis se encuentran por encima de 1.96 de valor absoluto.

TABLA 2. Prueba de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl.	Sig.	Estadístico	gl.	Sig.
Hu	,097	1168	,000	,954	1168	,000
Vv	,172	1168	,000	,671	1168	,000
Pr	,166	1168	,000	,954	1168	,000
Te	,084	1168	,000	,983	1168	,000
Pp	,274	1168	,000	,732	1168	,000
Tr	,407	1168	,000	,129	1168	,000
SNR	,165	1168	,000	,927	1168	,000
Rb	,370	1168	,000	,709	1168	,000

Fuente: **González y Orozco (2010)**

De las pruebas de normalidad, a través de los coeficientes de Kolmogorov-Smirnov y de Shapiro-Wilk, se puede apreciar que ninguna de las variables procede de una población normal, ya que sus niveles críticos de significación est n por debajo de 0,05.

Depuración de Data

Utilizando los diagramas de caja se determinaron los valores atípicos de de las diferentes muestras por variables, esto sirvió para efectuar una depuración de la data; los resultados obtenidos son los siguientes:

Para la velocidad del viento los valores atípicos correspondían a velocidades mayores o iguales a 26 Km/hr; para la presión los menores o iguales a 1003 mb. y los mayores o iguales a 1017 mb.; para la temperatura los menores o iguales a 18  C y mayores o iguales a 39  C. Para paquetes perdidos los mayores o iguales a 8, y para el tiempo de retardo los mayores a 7,9 seg. Posterior a la depuración de la data se determinó nuevamente la matriz de correlación, los resultados de ésta se presentan en la tabla N  3.

Tabla 3. Matriz de Correlación de Pearson de la data depurada

	Hu	Vv	Pr	Te
Pp	-0.182	0.409	-0.294	0.143
Tr	-0.087	0.313	-0.254	0.038
SNR	0.177	-0.315	0.227	-0.193
Rb	0.143	-0.410	0.310	-0.138

Fuente: **González y Orozco (2010)**



Comparando los resultados expresados en la tabla N° 1 con los de la N° 3, es evidente la mejora de los coeficientes de correlación, ya que los datos atípicos distorsionan las medias y las desviaciones típicas de las variables.

Regresión Lineal Múltiple por Variable Dependiente

Basados en el método por pasos sucesivos, tomando como nivel criterio de independencia (estadístico F) menor a 0,05 (probabilidad de entrada) y nivel de criterio mayor que 0,10 (probabilidad de salida); se realizó un análisis de regresión lineal múltiple considerando cada variable dependiente por separado. Considerando la variable dependiente paquetes perdidos se obtuvieron los siguientes resultados:

En la tabla N° 4 se expresan los resultados de la regresión lineal, considerando como variable dependiente los paquetes perdidos. Se aprecia que el modelo 3 es el que presenta el mayor índice de correlación ($R=0,440$), tomando en cuenta solamente las variables independientes velocidad del viento, presión y temperatura, su R^2 vale 0,193, lo que supone un incremento de 0,009 (cerca del 1%).

TABLA N° 4. Regresión lineal para Paquetes Perdidos.

Modelo	R	R ²	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio		Durbin-Watson
				Cambio en F	Sig. F	
1	,408	,166	1,61078	200,768	,000	
2	,429	,184	1,59404	22,259	,000	
3	,440	,193	1,58580	11,485	,001	,875
Modelo 1: Variables predictoras: (Constante), Vv						
Modelo 2: Variables predictoras: (Constante), Vv, Pr						
Modelo 3: Variables predictoras: (Constante), Vv, Pr, Te						
Variable dependiente: Pp						

Fuente: González y Orozco (2010)

Su estadístico F de 11,485 y un nivel crítico de 0,001 indican que la última variable independiente anexada al modelo (temperatura) contribuye de forma significativa a explicar el comportamiento de la variable dependiente mejorando su ajuste; se logra explicar el 19,3 % de la variabilidad de los paquetes perdidos. Con un valor del estadístico de Durban-Watson de 0,875 no se logra independencia de los residuos.

En la tabla N° 5 se aprecian los coeficientes de regresión parcial y su error típico, los coeficientes beta informan la importancia relativa de las variables dentro de la ecuación, para el caso del modelo 3, la variable velocidad del viento es la más importante para describir a la variable paquetes perdidos.

Según las pruebas t, y sus niveles críticos de significación, las variables involucradas en el modelo contribuyen de forma significativa al ajuste del modelo (los valores de Sig. están por debajo de 0,005). De acuerdo a los estadísticos de

colinealidad, ya que los valores de tolerancia no son muy pequeños, no existe colinealidad entre las variables independientes.

TABLA N° 5. Coeficientes parciales de regresión para paquetes perdidos.

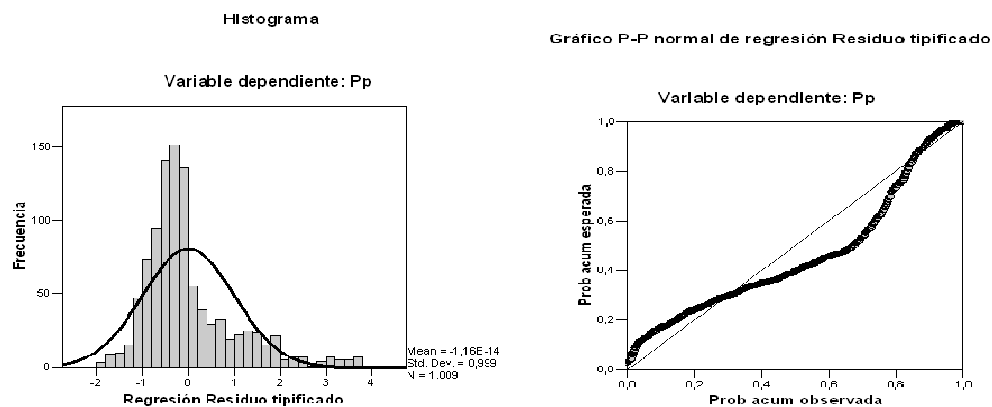
Modelo		Coeficientes no estandarizados		t	Sig.	Estadísticos de colinealidad	
		B	Error típ.			Tolerancia	FIV
1	Cts.	,001	,096	,015	,988	1,000	1,000
	Vv	,138	,010	14,169	,000		
2	Cts.	130,423	27,644	4,718	,000	,823	1,214
	Vv	,117	,011	11,010	,000		
	Pr	-,129	,027	-4,718	,000		
3	Cts.	137,332	27,576	4,980	,000	,789	1,267
	Vv	,109	,011	10,141	,000		
	Pr	-,137	,027	-5,020	,000		
	Te	,045	,013	3,389	,001		

Fuente: González y Orozco (2010)

En la figura 1 se observa que los residuos y pronósticos tipificados siguen una tendencia lineal, por lo que no son independientes. Con respecto al criterio de homocedasticidad no se aprecia una clara homogeneidad de la varianza. En el histograma se puede observar que la distribución es algo asimétrica acumulando más casos hacia los valores negativos, por lo que la distribución de los residuos no parece seguir el modelo de probabilidad normal.

Por esta razón, los resultados del análisis deben ser interpretados con reserva, los mismos son corroborados en el gráfico de probabilidad normal, ya que los puntos no se encuentran alineados sobre la diagonal del gráfico. Los diagramas de dispersión no parecen tener un comportamiento claro de tendencia lineal, por lo que hay que realizar una transformación de variables para mejorar los resultados.

Fig. 1. Resultados de regresión lineal para paquetes perdidos.



Fuente: González y Orozco (2010).

La ecuación de regresión lineal parcial para la variable paquetes perdidos es:

$$P_p = 137,332 + 0,109 \times V_v - 0,137 \times P_r + 0,045 \times T_e \quad R = 0,440$$

Para la variable dependiente tiempo de retardo, se obtuvieron los siguientes resultados:

TABLA N° 6. Regresión lineal para tiempo de retardo

Modelo	R	R ²	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio		Durbin-Watson
				Cambio en F	Sig.F	
1	,314	,098	1,11007	103,399	,000	
2	,336	,113	1,10164	15,566	,000	,793
Modelo 1: Variables predictoras: (Constante), Vv						
Modelo 2: Variables predictoras: (Constante), Vv, Pr						
Variable dependiente: Tr						

Fuente: González y Orozco (2010)

En la tabla N° 6 se consideran los resultados de la regresión lineal. El modelo 2 es el que presenta mayor índice de correlación ($R=0,336$) considerando solamente las variables independientes velocidad del viento y presión, su R^2 es 0,113, lo que supone un incremento de 0,015 equivalente a 1,5%.

El estadístico F de 15,566 y un nivel crítico de 0.000 indican que la variable presión introducida de último al modelo contribuye de forma significativa a explicar el comportamiento de la variable dependiente mejorando su ajuste; se logra explicar el 11,3% de la variabilidad del tiempo de retardo. El estadístico de Durbin-Watson es de 0,793, valor que indica que no se logra independencia de los residuos.

Los coeficientes de regresión parcial y su error típico es plasmado en la tabla N° 7; en ella se aprecia que para el modelo 2 el coeficiente beta es de -0.262 para la velocidad del viento, el cual representa el valor más alto. Esto implica que la variable es la más importante para describir a la variable tiempo de retardo, además, su nivel crítico de significación es de 0,000, lo cual se traduce en que contribuye de forma significativa al ajuste del modelo.

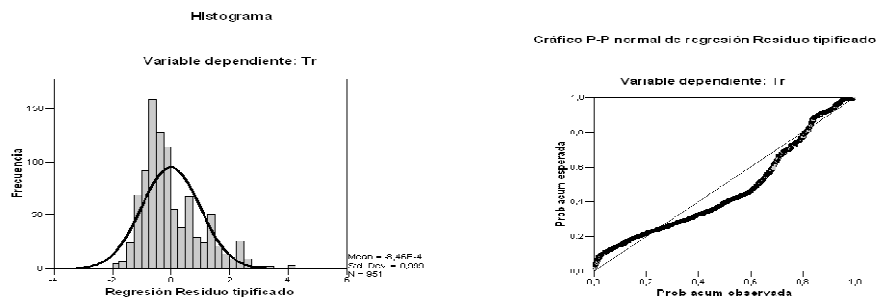
TABLA N° 7. Coeficientes parciales de regresión lineal para tiempo de retardo.

Modelo		Coeficientes no estandarizados		t	Sig.	Estadísticos de colinealidad	
		B	Error típ.			Toleranci	FIV
1	ts	2,648	,066	39,872	,000	1,000	1,000
	v	,069	,007	10,169	,000		
2	ts	80,105	19,632	4,080	,000	,845	1,184
	v	,057	,007	7,863	,000		
	Pr	-,077	,019	-3,945	,000		

Fuente: González y Orozco (2010)

Los valores de tolerancia en la prueba de colinealidad indican la independencia entre las variables; esto es confirmado con la matriz de covarianza entre las variables independientes al observar poca relación lineal en ella.

Fig. 2. Resultados de regresión lineal para tiempo de retardo



Fuente: González y Orozco (2010)

En la figura N° 2 se muestran los resultados correspondientes al análisis de regresión lineal para esta variable dependiente, en ella se observa que los residuos y los pronósticos tipificados tienen una tendencia lineal, razón por la cual no son independientes, además, no parece claro que la varianza sea homogénea.

El histograma refleja la asimetría de la distribución acumulando más casos al lado negativo, por lo que la distribución de los residuos no parece seguir el modelo de probabilidad normal, esto se aprecia también en el gráfico de normalidad. Los diagramas de dispersión no presentan un comportamiento claro de tendencia lineal, por lo que es necesario realizar transformaciones de variables para ajustar el modelo. La ecuación de regresión parcial para la variable tiempo de retardo es:

$$Tr = 80,105 + 0,057 \times Vv - 0,077 \times Pr$$

$$R = 0,336$$

Considerando ahora la variable dependiente relación señal a ruido, el análisis de regresión lineal arrojó los siguientes resultados:

TABLA N° 8. Regresión lineal para relación señal a ruido.

Modelo	R	R ²	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio		Durbin-Watson
				Cambio en F	Sig.F	
1	,322	,104	4,88606	125,079	,000	
2	,361	,130	4,81568	32,740	,000	
3	,378	,143	4,78406	15,285	,000	,775
Modelo 1: Variables predictoras: (Constante), Vv						
Modelo 2: Variables predictoras: (Constante), Vv, Te						
Modelo 3: Variables predictoras: (Constante), Vv, Te, Pr						
Variable dependiente: SNR						

Fuente: González y Orozco (2010)



En la tabla N° 8 se aprecia que el modelo 3 es el que presenta mayor índice de correlación, éste es de 0,378, apoyados por las variables independientes: velocidad del viento, temperatura y presión.

Su R^2 vale 0,143, con lo que sólo se puede explicar el 14,3% de la variable relación señal a ruido, teniendo un incremento de 0,012 equivalente a 1,2%. El estadístico F es de 15,285 y su nivel crítico es de 0,000, indicando que la variable velocidad del viento contribuye significativamente a explicar a la variable relación señal a ruido. El coeficiente de Durban-Watson es de 0,775, valor que expresa la no independencia de los residuos.

TABLA N° 9. Coeficientes parciales de regresión lineal para relación señal a ruido.

Modelo	Coeficientes no estandarizados		t	Sig.	Estadísticos de colinealidad	
	B	Error típ.			Tolerancia	FIV
1 Cts. Vv	51,197	,282	181,373	,000	1,000	1,000
	-,311	,028	-11,184	,000		
2 Cts. Vv Te	57,361	1,113	51,556	,000	,975	1,026
	-,286	,028	-10,297	,000		
	-,223	,039	-5,722	,000		
3 Cts. Vv Te Pr	-262,04	81,704	-3,207	,001	,793	1,262
	-,234	,031	-7,655	,000		
	-,236	,039	-6,055	,000		
	,316	,081	3,910	,000		

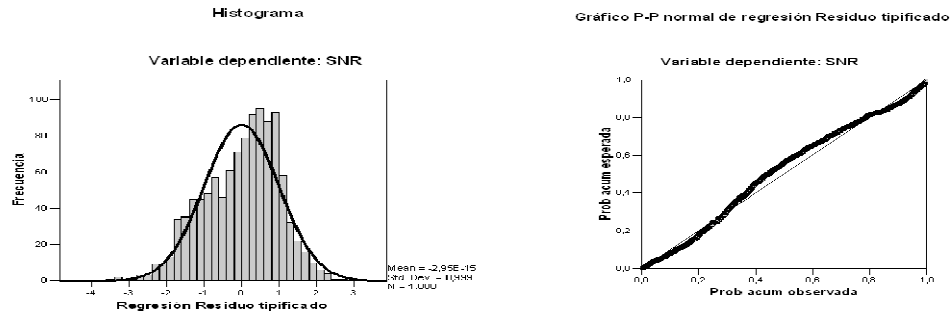
Fuente: **González y Orozco (2010)**

Los coeficientes de regresión se plasman en la tabla N° 9, además, de su error típico. El coeficiente beta indica la gran importancia de la variable presión dentro de este modelo. Según las pruebas t y sus niveles críticos, las variables involucradas en el modelo explican a la variable dependiente relación señal a ruido.

Los estadísticos de colinealidad revelan que no existe colinealidad entre las variables independientes, lo que es soportado por la matriz de covarianza al observarse poca linealidad entre ellas. En la figura N° 3 se observa la tendencia lineal de los residuos y los pronósticos tipificados, esto implica la no independencia entre sus variables independientes.

También se observa en esta figura los histogramas, el gráfico de normalidad, y la dispersión, no definida claramente una tendencia hacia el modelo de probabilidad normal, ni un comportamiento claro de linealidad, por lo que hay que realizar transformación de variables.

Fig. 3. Resultados de regresión lineal para relación señal a ruido.



Fuente: González y Orozco (2010)

Con respecto a la homocedasticidad, no parece estar clara la homogeneidad de la varianza. La ecuación de regresión lineal parcial es:

$$\text{SNR} = -262,040 - 0,234 \times Vv - 0,236 \times Te + 0,316 \times Pr \quad R = 0,378$$

Para la variable dependiente velocidad de transmisión se obtuvieron los siguientes resultados:

TABLA N° 10. Regresión lineal para velocidad de transmisión.

Modelo	R	R ²	Error típ. de la estimación	Estadísticos de		Durbin-
				Cambio en F	Sig. F	
1	,414	,171	3,35667	222,924	,000	
2	,439	,192	3,31522	28,119	,000	
3	,450	,202	3,29694	12,981	,000	,668
a Variables predictoras: (Constante), Vv						
b Variables predictoras: (Constante), Vv, Pr						
c Variables predictoras: (Constante), Vv, Pr, Te						
d Variable dependiente: Rb						

Fuente: González y Orozco (2010)

En la tabla N° 10 se expresan los resultados de la regresión lineal, considerando como variable dependiente la velocidad de transmisión. Se aprecia que el modelo 3 es el que presenta el mayor índice de correlación (R=0,450), tomando en cuenta solamente las variables independientes: velocidad del viento, presión y temperatura, su R² vale 0,202, lo que supone un incremento de 0,010 (representando el 1%).

Su estadístico F de 12,981 y un nivel crítico de 0,000 indican que la última variable independiente anexada al modelo (temperatura) contribuye de forma significativa a explicar el comportamiento de la variable dependiente mejorando su ajuste; se logra explicar el 20,2 % de la variabilidad de los paquetes perdidos. Con un valor del



estadístico de Durban-Watson de 0,668 no se logra independencia de los residuos.

En la tabla N  11 se aprecian los coeficientes de regresión parcial y su error típico; los coeficientes beta informan la importancia relativa de las variables dentro de la ecuación, para el caso del modelo 3, la variable presión es la más importante para describir a la variable velocidad de transmisión.

TABLA N  11. Coeficientes parciales de regresión lineal para velocidad de transmisión.

Modelo		Coeficientes no estandarizados		t	Sig.	Estadísticos de colinealidad	
		B	Error típ.			Tolerancia	FIV
1	Cts.	10,657	,194	54,953	,000	1,000	1,000
	Vv	-,285	,019	-14,931	,000		
2	Cts.	-288,901	56,491	-5,114	,000	,818	1,222
	Vv	-,238	,021	-11,415	,000		
	Pr	,296	,056	5,303	,000		
3	Cts.	-302,534	56,307	-5,373	,000	,793	1,262
	Vv	-,225	,021	-10,658	,000		
	Pr	,312	,056	5,604	,000		
	Te	-,097	,027	-3,603	,000		

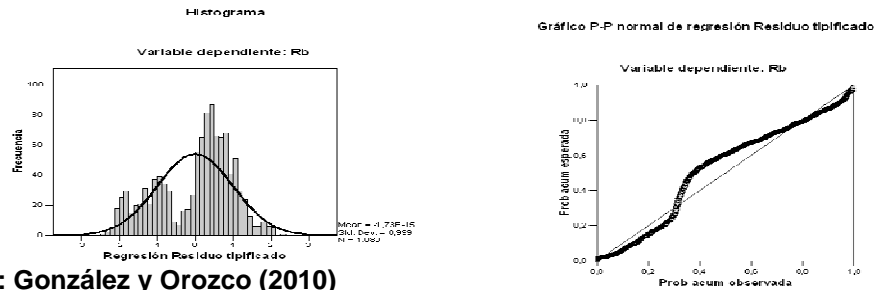
Fuente: **González y Orozco (2010)**

Según las pruebas t, y sus niveles críticos de significación, las variables involucradas en el modelo contribuyen de forma significativa al ajuste del modelo (los valores de Sig. est n por debajo de 0,005). De acuerdo a los estadísticos de colinealidad, ya que los valores de tolerancia no son muy pequeños, no existe colinealidad entre las variables independientes. Esto puede ser corroborado con la matriz de covarianza entre las variables independientes al observar la poca linealidad entre ellas.

En la figura 4 se observa que los residuos y pronósticos tipificados siguen una tendencia lineal, por lo que no son independientes. Con respecto a la homocedasticidad, no hay una proyección clara de tener una varianza homogénea. En el histograma se puede observar que la distribución es algo asimétrica, acumulando más casos hacia los valores positivos, por lo que la distribución de los residuos no parece seguir el modelo de probabilidad normal.

Debido a lo anterior, los resultados del análisis deben ser interpretados con reserva, los mismos son corroborados en el gráfico de probabilidad normal, ya que los puntos no se encuentran alineados sobre la diagonal del gráfico.

Resultados de regresión lineal para velocidad de transmisión. Fig. 4



Fuente: González y Orozco (2010)

Los diagramas de dispersión no parecen tener un comportamiento claro de tendencia lineal, por lo que hay que realizar una transformación de variables para mejorar los resultados.

La ecuación de regresión lineal parcial para la variable paquetes perdidos es:

$$Rb = -302,534 - 0,225 \times Vv + 0,312 \times Pr - 0,097 \times Te$$

$$R = 0,450$$

Transformación de Variables

Debido a que los coeficientes de relación lineal para las distintas ecuaciones presentadas están bajas, es necesario el realizar una serie de transformaciones a las variables en estudio para mejorar dichos coeficientes.

Utilizando la estimación curvilínea del software SPSS 12.0 para Windows, y los criterios de Pardo (2002), se procedió a efectuar una serie de transformaciones a las variables en estudio, después de las cuales se efectuó un nuevo análisis de regresión lineal múltiple por variables dependiente. Los resultados arrojados de esas transformaciones son las siguientes:

Considerando la variable dependiente paquetes perdidos, fue necesario transformar las variables presión y humedad por sus respectivos inversos; mientras que la variable paquetes perdidos se transformó en una exponencial negativa. La ecuación resultante del análisis de regresión lineal con su respectivo coeficiente de regresión fue la siguiente:

$$Pp = \ln \left(\frac{1}{45,357 - 0,026 \times Vv - \frac{44337,9}{Pr} - 0,016 \times Te - \frac{11,793}{Hu}} \right)$$

$$R = 0,509$$

Considerando la variable dependiente tiempo de retardo, fue necesario transformar la variable presión por una cúbica, mientras que la variable tiempo de



retardo se transformó por una logarítmica neperiana. La ecuación resultante del análisis de regresión lineal con su respectivo coeficiente de regresión lineal fue:

$$Tr = e^{(8,216 + 0,017 \times Vv - 7,03 \times 10^{-9} \times Pr^3)} \quad R = 0,344$$

Analizando la variable dependiente relación señal a ruido, las transformaciones fueron cúbica para la variable temperatura, y cúbica negativa para la variable presión, mientras que para la variable relación señal a ruido la transformación fue una raíz cuadrada. La ecuación resultante y su respectivo coeficiente de regresión lineal fue:

$$SNR = (14,976 - 0,017 \times Vv - 6,83 \times 10^{-6} \times Te^3 - 7,9 \times 10^9 \times Pr^{-3})^2 \quad R = 0,380$$

Con respecto al análisis de la variable dependiente velocidad de transmisión, las transformaciones fueron cúbicas para las variables presión y temperatura; el resultado final del análisis de regresión lineal y su respectivo coeficiente de relación fue:

$$Rb = -93,344 - 0,226 \times Vv + 1,013 \times 10^{-7} \times Pr^3 - 3,73 \times 10^{-5} \times Te^3 \quad R = 0,449$$

4.-Fase IV: Validación del Modelo Matemático.

Una vez planteado el modelo matemático se procedió a la validación del mismo. Para tal efecto, se utilizó el programa de matlab para generar un programa al cual al introducirle datos de la data recolectada, los procesara utilizando el modelo matemático planteado. Los resultados obtenidos del modelo fueron contrastados con los correspondientes a la data, obteniendo un margen de error bastante aceptable. En la tabla N° 12 se aprecian los resultados obtenidos para 20 muestras tomadas al azar.

TABLA N° 12. Verificación del Modelo Planteado.

Valores Observados								Valores Esperados			
Variables Independientes				Variables Dependientes				Variables Dependientes			
Hu	Vv	Pr	Te	Pp	Tr	SNR	Rb	Pp	Tr	SNR	Rb
65	18	1010	35	2	4.17	48	5.5	1.392	3.593	45.017	5.358
90	3	1012	28	0	2.13	49	11	0.119	2.667	51.162	10.150
100	5	1013	27	0	2.99	49	11	0.096	2.7	51.22	10.094
96	6	1014	28	1	2.91	55	11	0.100	2.687	51.077	10.096
81	4	1014	25	0	2.05	56	11	0.019	2.598	52.186	10.784
76	17	1007	28	1	4.22	40	5.5	1.265	3.767	46.249	5.437
74	25	1010	33	2	4.79	47	5.5	2.114	4.047	44.062	4.035
79	2	1012	27	0	2.18	51	11	0.093	2.622	51.628	10.461
69	3	1011	30	0	2.89	47	11	0.258	2.725	50.348	9.651
91	5	1012	25	0	2.66	56	11	0.122	2.759	51.294	9.934
73	5	1013	30	0	2.65	51	11	0.203	2.7	50.507	9.821
67	4	1013	31	0	2.95	49	11	0.208	2.655	50.478	9.943
74	4	1012	30	0	2.16	49	11	0.221	2.713	50.428	9.736
76	20	1008	26	2	4.63	41	5.5	1.274	3.880	46.275	5.231
61	22	1009	34	2	4.68	50	5.5	2.251	3.929	44.13	4.278

62	22	1009	36	3	3.98	48	5.5	2.572	3.929	43.466	4.004
61	22	1010	33	2	3.89	50	5.5	1.803	3.846	44.741	4.713
92	6	1009	26	0	2.97	49	11	0.336	2.994	49.893	8.704
94	3	1007	21	0	3.65	51	11	0.238	2.969	50.771	9.075
83	12	1007	26	0	4.65	49	5.5	0.783	3.460	47.825	6.731

Fuente: **González y Orozco (2010)**

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Video



Fuente: **González y Orozco (2010)**

Los resultados arrojados por el modelo matemático reflejan claramente que los factores atmosféricos, tales como: la temperatura, velocidad del viento y presión, afectan a los parámetros de calidad de enlace de una red inalámbrica basados en enlaces de radio microondas de 2.4 GHz, manteniendo una potencia de transmisión constante.

La humedad muy poco contribuye al degradamiento de las ondas electromagnéticas, los coeficientes de Pearson para esta variable con respecto a las variables de calidad de servicio manejados en esta investigación, reflejan casi la nulidad de relación entre ellas.

De los factores atmosféricos estudiados, los que presentan mayor relación con los parámetros de calidad de enlace, son: la velocidad del viento y la temperatura, siendo el mayor contribuyente a la degradación de las ondas electromagnéticas la velocidad del viento, posiblemente por el hecho de que con ella lleva pequeñas partículas que hacen reflejar dichas ondas que en tamaño son comparables a tales partículas.

Es importante destacar que el enlace radio microondas trabaja de forma eficiente y sin errores en la transmisión cuando operan sin perturbación alguna. Para dar cumplimiento al desarrollo del modelo matemático fue necesario el estudio de los



postulados para el desarrollo del mismo, basado en el método de regresión lineal expuesto por Pardo (2002).

Se plantea como alternativa para compensar el efecto de los fenómenos atmosféricos el aumento de la potencia de transmisión, dependiendo de los valores de estos parámetros observados que son pronosticables.

CONCLUSIONES

Una vez desarrollado el modelo matemático para evaluar el efecto de los fenómenos atmosféricos en enlaces de radio microondas de 2.4 GHz, y de haber analizado los resultados obtenidos del mismo, se plantean conclusiones que corresponden directamente a los objetivos de la presente investigación.

Con respecto al primer objetivo específico, se concluye que existen factores climatológicos llamados fenómenos atmosféricos, que inciden en las transmisiones inalámbricas de ondas electromagnéticas, tales fenómenos son: la velocidad del viento, la temperatura y la presión.

Con respecto a la humedad, queda evidenciado que es muy poca la contribución de esta al atenuo de dichas ondas. La velocidad del viento presenta mayor peso de influencia con respecto a las otras variables atmosféricas. Para compensar esta atenuación es necesario el ajuste de la potencia de transmisión.

En relación al segundo objetivo, se concluye que existen diversos métodos muy eficaces para el desarrollo de modelos matemáticos de cualquier sistema, basados en una recolección de data. Actualmente se dispone de una gran variedad de software que ayudan a minimizar el tiempo de desarrollo de modelos matemáticos, tales como: el SPSS para Windows y el Matlab.

Atendiendo al tercer objetivo, se concluye que el método de regresión lineal múltiple es esencial para el desarrollo de modelos matemáticos basados en datos recolectados experimentalmente. Antes del desarrollo de cualquier modelo matemático a través de cualquier método, es indispensable efectuar un análisis estadístico para eliminar datos llamados atípicos (obtenidos bien sea por error de los instrumentos de medición o por error en la observación de datos), que pueden afectar al resultado final del modelo.

Por último, del cuarto objetivo se concluye que los métodos de simulación basados en software son una herramienta muy eficaz para la verificación de los modelos matemáticos.

RECOMENDACIONES

Después de haber desarrollado, analizado y concluido la investigación, se procede a desglosar diversas recomendaciones que pueden contribuir al mejoramiento de este trabajo por parte de futuros investigadores.



Es necesario, para obtener eficaces modelos matemáticos relacionados con factores atmosféricos, recolectar la data por un período de tiempo largo (superiores a un año), y contar con instrumentos eficaces de medición para evitar los datos atípicos.

Fomentar la investigación de modelos matemáticos para evaluar enlaces inalámbricos, atendiendo a los factores atmosféricos, a través de otros métodos, tales como: red neuronal o lógica difusa.

Considerar para el modelo matemático otros factores atmosféricos, como las perturbaciones pluviométricas. Asimismo, seguir indagando sobre el efecto de la velocidad del viento en los enlaces inalámbricos, considerando otros factores, tales como: partículas que puedan contener, y la dirección del viento con respecto al enlace.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Antúnez (2002). Redes Inalámbricas para la Interconexión de Redes y Acceso a Internet en Entidades Municipales en la Zona Rural. Universidad Dr. Rafael Belloso Chac n.
- Bustamante (2003). Modelo Matemático para la Generación de Pasos para Robot Móviles. Universidad Dr. Rafael Belloso Chac n (URBE).
- Cisnero (2003). Simulación de Moduladores/Demoduladores Utilizando Redes Neuronales. Universidad Dr. Rafael Belloso Chac n (URBE).
- Dennys, William y Richard (2002). Estadísticas Matemáticas con Aplicaciones. México: Editorial Thomsom.
- Pardo, A. y Ruiz, M. (2002). SPSS 11 Guía para el análisis de datos. España: Editorial McGraw Hill Interamericana.
- Peña, Daniel. (2002). Análisis de Datos Multivariantes. España: Editorial McGraw Hill.
- Piña (2003). Modelo de Regresión Lineal para la Estimación del Rendimiento de una Red Ethernet con Interface de Tipo Socket. Universidad Dr. Rafael Belloso Chac n (URBE).
- Rincón (2003). Modelo Matemático para la Estimación del Performance de una Red Ethernet. Universidad Dr. Rafael Belloso Chac n (URBE).
- Vielma, Nelson. (2003). Factores Atmosféricos que afectan la Tecnología  ptica de Espacio Libre. Universidad Dr. Rafael Belloso Chac n (URBE).
- Vilar, Juan. (2003). Modelos Estadísticos Aplicados. Documento en línea. Disponible en: http://www.udc.es/dep/mate/estadistica2/estadistica_2.htm. Consultado en el año 2003.