



## INFLUENCIA DE LA RADIACIÓN SOLAR SOBRE EL DESEMPEÑO DE LAS REDES WI-FI EN LA BANDA DE LOS 5 GHz (802.11a)

### Influence of the solar radiation on the Wi-Fi networks performance in the 5 GHz band (802.11a)

Carlos Orlando Chávez  
Universidad Rafael Bellosó Chacín – Venezuela.

#### RESUMEN

El propósito fundamental de esta investigación fue el análisis de la influencia de la radiación solar sobre el desempeño de las redes WI-FI que operan en la banda de los 5 GHz (802.11a), con el fin de determinar en qué medida la radiación solar incidente afecta el desempeño de estas redes en términos de throughput y porcentaje de paquetes perdidos. Para la recolección de datos de desempeño se diseñó e implementó una red WI-FI de prueba operando en la banda de 5 GHz configurada en modo Ad-Hoc donde, con la ayuda de un sniffer inalámbrico, se obtuvieron las métricas del throughput y pérdida de paquetes; a la vez que se analizaron los datos de radiación solar suministrados por la estación meteorológica de la Facultad de Arquitectura y Diseño de la Universidad del Zulia. Los resultados obtenidos mediante el análisis estadístico de correlación y regresión de variables, indican que la radiación solar ejerce una significativa influencia sobre el desempeño de las redes Wi-Fi que operan en la banda de 5 GHz. El hallazgo obtenido sirve de referencia tanto a empresas como a profesionales de redes, para que tomen en consideración este parámetro meteorológico a la hora de implementar estas redes que operen en la banda de 5 GHz en áreas geográficas con las características climáticas de la ciudad de Maracaibo.

**Palabras Claves:** Radiación Solar, Redes WiFi 802.11a, desempeño, throughput, pérdida de paquetes, sniffer.

#### ABSTRACT

The fundamental intention of this investigation was the analysis of the influence of the solar radiation on the Wi-Fi networks performance that operate in the 5 GHz band (802.11a), with the purpose of determining to what extent the incident solar radiation affects the performance of these networks in terms of throughput and the percentage of lost packages. For the data collection of performance a test Wi-Fi network was designed and implemented operating in the 5 GHz band formed in Ad-Hoc mode and, with



the aid of a wireless sniffer, throughput and loss of package were obtained; at the same time the data of solar radiation provided by the weather station of the Faculty of Architecture and Design of the University of Zulia was analyzed. The obtained results indicate that the solar radiation exerts a significant influence on the performance of the Wi-Fi networks that operate in the 5 GHz band. In order to reach this conclusion, a performance index was created based on throughput and the loss of packages that, once quantified, was tabulated together with the values solar radiation values later to make a statistical analysis of regression and correlation of variables. The obtained finding serves as reference to companies as to network professionals, in order that they take in consideration this meteorological parameter at the moment of implementing networks that operate in the 5 GHz bands in geographical areas with the climatic characteristics of the Maracaibo.

**Key words:** Solar radiation, WiFi Networks 802.11a, performance, throughput, loss of packages, to sniffer.

## INTRODUCCIÓN

Las redes inalámbricas basadas en los estándares 802.11 de la IEEE operan en bandas de frecuencias destinadas para aplicaciones industriales, científicas y médicas (ISM, *Industrial, Scientific and Medical*) que no requieren de licencia de operación. Los estándares 802.11 b/g son las versiones que se refieren a la radiocomunicación en la banda de frecuencias de 2.4 GHz (2400-2483,5 MHz), mientras que la norma 802.11a, que es el estándar del caso estudiado en este trabajo de investigación, opera en la banda de frecuencias de los 5 GHz (5725-5850 MHz).

Cabe considerar que las redes Wi-Fi fueron diseñadas para operar en ambientes cerrados y de corto alcance, por lo que el uso de este tipo de tecnología para enlaces de área metropolitanas (MAN), o incluso de área amplia (WAN), hacen que estén expuestas a condiciones para las cuales no fueron concebidas, tales como la interferencia de otras fuentes de señales de radiofrecuencia, la corrosión, y por supuesto, los factores atmosféricos como la humedad, la temperatura, presión, lluvia y, entre otros, la radiación solar incidente, siendo este último el parámetro de estudio de esta investigación.

Dentro de esta perspectiva, este trabajo analiza si la intensidad de la radiación solar incidente puede afectar, y en qué medida, el desempeño de las redes Wi-Fi que operan en la banda de 5 GHz (802.11a); a través de la exposición de una red experimental a la radiación solar para evaluar el desempeño de la misma en términos del *throughput* o *rendimiento* – tasa de



transferencia de datos en bits por segundo – y del porcentaje de paquetes perdidos en la transmisión.

El hecho que esta investigación haya sido realizada en la Ciudad de Maracaibo, donde los niveles de radiación solar incidente son elevados debido a su ubicación geográfica tropical, reviste de una importancia significativa aunado a la creciente implementación y despliegue de este tipo de redes en esta ciudad y a la falta de estudios relacionados con este fenómeno.

El trabajo está dividido en 6 secciones. En la primera se hace una introducción al tema, mientras que en la segunda se presentan las principales bases teóricas sobre las cuales se fundamenta la investigación. En la tercera sección se describen los equipos y herramientas (HW y SW) utilizados para la realización de las pruebas y mediciones. En la cuarta se informa sobre la metodología aplicada y en la quinta se discuten los resultados obtenidos. Se finaliza con una sexta sección de conclusiones seguida de las referencias.

## **BASES TEÓRICAS**

### **El Estándar IEEE 802.11a**

Esta especificación se diseñó para funcionar en la banda de 5 Ghz de la Infraestructura sin licencias para la información nacional (UNII). A diferencia de 802.11b, el estándar 802.11a surge de la tecnología tradicional de espectro ensanchado y en su lugar utiliza un esquema de multiplexación por división de frecuencia que se pretenda sea más amigable en los entornos de oficina.

Bates (2003) considera que el estándar 802.11a, que soporta velocidades de hasta 54 Mbps, es el Fast-Ethernet análogo para 802.11b, que soporta tasa de datos de hasta 11 Mbps. 802.11a y 802.11b usan un control de acceso al medio idéntico. Sin embargo, 802.11a utiliza un esquema de codificación en la capa física completamente diferente, se trata de la Multiplexación Ortogonal por División de Frecuencia (OFDM).

El estándar 802.11a se diseña para funcionar el rango de frecuencias de 5 GHz. La FCC adjudicó 300 MHz del espectro para operar sin licencia en el bloque de 5 GHz, asignando 200 MHz para la banda 5,15 – 5,35 GHz, y 300 MHz para la banda 5,725 – 5,825 GHz



## Configuraciones de una Red Wi-Fi

La topología de una red es la estructura jerárquica que hace posible la interconexión de los equipos. Wi-Fi contempla tres topologías:

**IBSS (Independent Basic Service Set):** Conjunto de Servicios Básicos Independientes. Esta modalidad permite exclusivamente comunicaciones directas entre los distintos terminales que forman la red.

En este caso, no existe un punto de acceso, ya que todas las comunicaciones entre terminales se hacen de manera directa. A esta modalidad se le conoce también como *ad hoc*, o *peer-to-peer*.

**BSS (Basic Service Set):** Conjunto de servicios básicos. En este modo, se añade el punto de acceso que realiza funciones de coordinación centralizada en la comunicación entre los distintos terminales de la red.

Los puntos de acceso tienen funciones de buffer y de gateway con otras redes. A esta modalidad BSS se le denomina también modo *infraestructura*.

**ESS (Extended Service Set):** Conjunto de servicios extendido. En esta configuración se puede construir una red inalámbrica formada por más de un punto de acceso.

De esta manera, se extiende el área de cobertura de la red, quedando constituida por un conjunto de celdas contiguas. Una red ESS está formada por múltiples BSS.

## Desempeño de una Red

El desempeño de una de red, o *network performance*, se refiere al nivel de calidad de servicio de un producto de telecomunicaciones desde el punto de vista del cliente de la misma.

Al igual que cualquier otro sistema basado en computador, las redes de ordenadores deben tener un alto desempeño. Los procesos distribuidos que se realizan sobre múltiples máquinas utilizan redes para intercambiar mensajes y datos, y la efectividad de estos procesos dependen en gran medida de la eficiencia con la cual la red entrega dichos mensajes y datos.

El desempeño de una red se mide mediante tres parámetros:

El *throughput*,



La *latencia* (también llamada *delay*) y  
El *porcentaje de paquetes perdidos*.

El *throughput* o *rendimiento* de una red de datos está dado por el número de bits que pueden ser transmitidos sobre la red en cierto periodo de tiempo.

El *throughput* es un término comúnmente utilizado en ámbitos de telecomunicaciones aunque recibe múltiples definiciones según el entorno o aplicación. Típicamente se define como *medida de la tasa de transferencia de datos a través de un sistema de comunicaciones*. Por lo tanto, las unidades del *throughput* son bits/s o bytes/s.

En sistemas de comunicaciones donde el canal debe ser compartido por diversos usuarios, el *throughput* es uno de los parámetros más relevantes en la medida de la eficiencia de un sistema. En un entorno WLAN con, la eficiencia global del sistema en términos de *throughput* dependerá de la relación entre los intervalos destinados a la transmisión de datos (slot de datos) y los destinados a tráfico de control (principalmente, períodos de contención y paquete de *downlink*). Por lo tanto, cuanto mayor sean los paquetes transmitidos en el slot de datos y menor sean los intervalos destinados a tráfico de control, mayor será el *throughput*.

La segunda métrica de desempeño, *la latencia*, corresponde al tiempo que le toma a un mensaje viajar de un extremo de la red al otro. La latencia es medida estrictamente en términos de tiempo. Existen muchas situaciones donde es más importante saber cuánto tiempo se gasta enviando un mensaje desde un extremo de la red al otro y que regrese (tiempo del viaje de ida y vuelta), antes que sólo conocer la latencia de ida. Este tiempo se denomina RTT (round-trip time) de la red.

Se define entonces la latencia, o el retardo de un mensaje, como el intervalo de tiempo transcurrido desde que un mensaje es generado por un nodo hasta que es recibido correctamente por el otro.

El *porcentaje de paquetes perdidos* o pérdida de paquetes, es la cantidad (porcentaje) de paquetes que se pierden en la transmisión de los mismos, desde una estación origen hasta la estación destino.

### **Radiación Solar**

Se conoce por *radiación solar* al conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol que alcanzan la superficie de la Tierra.



Éstas van desde el infrarrojo hasta el ultravioleta. La unidad práctica que describe la radiación solar que llega a la Tierra es la *irradiancia*, o unidad de potencia por metro cuadrado [ $\text{w/m}^2$ ].

La radiación es aprovechable en sus componentes directa y difusa, o en la suma de ambas. La *radiación directa* es la que llega directamente del foco solar, sin reflexiones o refracciones intermedias. La *difusa* es la emitida por la bóveda celeste diurna gracias a los múltiples fenómenos de reflexión y refracción solar en la atmósfera, en las nubes, y el resto de elementos atmosféricos y terrestres. La radiación directa puede reflejarse y concentrarse para su utilización, mientras que no es posible concentrar la luz difusa que proviene de todas direcciones.

El instrumento que mide la radiación solar (radiación global) recibida desde todo el hemisferio celeste sobre una superficie horizontal terrestre, se llama *Piranómetro*. El principio de funcionamiento de este instrumento es a través de termocuplas, las cuales al calentarse producto de la radiación del Sol, emiten una pequeña fuerza electromotriz (fem, tensión o milivoltaje) pudiendo ser medidas por algún otro instrumento (integrador o datalogger). Para obtener la potencia en  $\text{Watt/m}^2$ , se multiplica la tensión entregada por el piranómetro por una constante del instrumento.

### Sistema de Variables

Las variables para este trabajo son: Radiación Solar y el Desempeño de Redes Wi-Fi 5 GHz (802.11a).

Para el propósito de esta investigación, la Radiación Solar se define como el nivel de intensidad de la radiación global incidente sobre la red Wi-Fi que opera en la banda de 5 GHz, y que puede representar una fuente interferente que afecte el desempeño de la misma.

Las métricas de desempeño de la red Wi-Fi 5 Ghz consideradas en esta investigación se establecen en función del throughput, o tasa de transferencia de datos en bits por segundo, y el porcentaje de paquetes perdidos en la transmisión. Para ello se crea en esta investigación un indicador de desempeño D que sea directamente proporcional al throughput e inversamente a la pérdida de paquetes, o expresado de otra forma en la siguiente ecuación:

$$D = \frac{\text{Throughput}}{\% \text{ Paquetes Perdidos}}$$



## INSTRUMENTOS Y EQUIPOS DE LA INVESTIGACIÓN

En esta investigación se recolectaron datos experimentales con la finalidad de medir los parámetros de desempeño, throughput y porcentaje de paquetes perdidos, en la red Wi-Fi operando en la banda de 5 GHz bajo la influencia de radiación solar, para la cual se utilizaron las siguientes herramientas y equipos:

1) Computador HP (Terminal A): utilizada para el envío de las tramas de datos hacia el computador B. Este computador cuenta con las siguientes características:

Tabla 1. Características del Computador A

Característica	Especificación
Procesador:	Intel Pentium R (4) 3.0 GHz
Memoria RAM:	512
Disco Duro:	40 Gb
Video:	118 PCI Series, N-Vidia
Unidad de CD-ROM:	CD-ROM
Sistema Operativo:	Windows XP. Service Pack 2
Puertos USB:	2
Puertos Seriales:	2
Puertos Paralelos:	1

2) Computador HP (Terminal B): utilizada para recibir las tramas de datos procedentes del computador A. Este computador cuenta con las siguientes características que se indican en la Tabla 2.

3) Computador Clone (Terminal Sniffer): utilizado en modo *escucha* para analizar el intercambio de paquetes en la interfaz de aire, y para tomar las mediciones del throughput o rendimiento, los paquetes enviados, recibidos y perdidos, a partir de los cuales se calculará el porcentaje de paquetes perdidos. Las características con que cuenta este computador se muestran en la Tabla 3.

Tabla 2. Características del Computador B.

Característica	Especificación
Procesador:	Intel Pentium R (4) CPU 1,8 GHz
Memoria RAM:	120
Disco Duro:	18 Gb.
Video:	ATI RAGE
Unidad de CD-ROM:	CD ROM
Sistema Operativo:	Windows XP
Puertos USB:	1
Puertos Seriales:	1
Puertos Paralelos:	1

Tabla 3. Características del Hardware Terminal Sniffer.

Característica	Especificación
Procesador:	Intel Pentium III (700 Mhz)
Memoria RAM:	192
Disco Duro:	12 Gb.
Video:	Matrox Graphics MGA-G200
Unidad de CD-ROM:	CD ROM
Sistema Operativo:	Windows XP. Service Pack 2
Puertos USB:	2
Puertos Seriales:	2
Puertos Paralelos:	1

En el computador sniffer, para el analizar el intercambio de paquetes en la interfaz de aire, se utilizó el programa CommView® para Wi-Fi , el cual es un poderoso monitor y analizador de redes inalámbricas 802.11 a/b/g. CommView® para WiFi captura cada paquete en el aire mostrando información importante como la lista de puntos de acceso y estaciones, la estadística por nodo y por canal, la fuerza de señal, una lista de paquetes y conexiones de red, la distribución de protocolo traza, etc. Permitiendo examinar paquetes, señalar problemas de red, realizar revisiones de sitio, y solucionar el software y el hardware.

Otra herramienta informática necesaria, es un software que permita establecer el tráfico continuo de datos entre los computadores A y B. Esto se logra con la ayuda de un software generador de tráfico de paquetes denominado *WildPackets iNet Tools*.iNetTools, que es una colección de



instrumentos de pruebas conducidos por menú para redes basadas en IP e Internet. iNetTools puede ser añadido a los software's sniffer para proporcionar el acceso a varias herramientas de prueba desde dentro del programa mismo.

Para establecer la conexión inalámbrica en estos tres computadores se utilizaron tarjetas D-Link Adaptadoras PCI 802.11a/11g, 54/108 Mbps, Modelo DWL AG-530. Las características básicas de estas tarjetas de red inalámbricas son las siguientes:

- Adaptador Wireless PCI de 32bits, 11a/11g
- Velocidad de transmisión de 54Mbps en 2,4GHz y 5GHz,
- Velocidad de transmisión de hasta 108Mbps en 2,4GHz,
- Compatible con productos que operen bajo los estándares 802.11a, 802.11b y 802.11g,
- Seguridad avanzada, WPA, AES y 802.1x,
- Alto Rendimiento,
- Soporte Microsoft Windows, (Windows 98SE, ME, 2000, XP), y
- Antena Omnidireccional dipolo Ganancia: 2.0dBi a 4.0 dB

## PROCEDIMIENTO

Para la presente investigación se tomó en cuenta una metodología propia la cual constó de cuatro fases descritas a continuación:

### **FASE I: Determinación de Requerimientos**

En esta fase se evaluaron los requerimientos técnicos y tecnológicos de la Red WI-FI experimental a diseñar (hardware, software, características, entre otros). Fue posible determinar los requerimientos mínimos necesarios para la implementación de la red WIFI con la finalidad de cumplir los objetivos planteados, los cuales se indican en la Tabla 4.



Tabla 4. Requerimientos de la red.

REQUERIMIENTOS	CARACTERÍSTICAS
Dos (02) estaciones de trabajo para establecer un enlace inalámbrico en modo punto a punto o Ad-Hoc, equipadas con tarjetas inalámbricas Wi-Fi compatibles con la norma 802.11a para la banda de 5 GHZ.	Hardware Dos computadores con las siguientes características: - Procesador Pentium IV 256 Mb de memoria RAM Disco duro 40 Mb Software Windows XP Software incluido en los adaptadores de red para instalación y funcionamiento de la red inalámbrica (controladores o "drivers"). Software de análisis y gestión de redes inalámbricas.
Tarjetas inalámbricas Wi-Fi 5 Ghz	Marca: D-Link Modelo: DWL-AG530 Conectividad inalámbrica 802.11a /g Hasta 180 Mbps con otros productos inalámbricos. Conexión a redes 802.11a o 802.11b/g. Compatible hacia atrás con 802.11b Utilidad de configuración D-Link para la gestión y la configuración de la red. Amplias características de seguridad que incluyen WPA-Personal y WPA-Enterprise Interfaz PCI 32-bit.
Selección de áreas para darles cobertura inalámbrica e interconectarlas mediante un enlace inalámbrico punto a punto.	Se tomó una distancia entre computadores de 25 mts para asegurar una distancia que esté dentro del rango óptimo de operación que establece la norma 802.11 <sup>a</sup>
Las frecuencias que se utilicen para la red inalámbrica deben estar dentro del grupo de bandas ISM, ya que no requieren autorización de CONATEL.	Se trabajó en la banda ISM de frecuencias de los 5 GHZ (802.11a), que es la banda de operación de la norma 802.11a.
Este sistema debe ser expandible y abierto, de acuerdo a tendencias actuales en los sistemas telemáticos, lo cual permite el crecimiento y compatibilidad entre las redes.	Nuevas tecnologías Nuevas estaciones de trabajo Convergencia entre tecnologías
Debe soportar transferencia de distintos archivos y servicios de la LAN.	Video, Voz, Datos, Videoconferencias, Acceso a páginas Web, Multimedia



Asimismo, la red en estudio se debe configurar en Modo ad hoc o IBSS, ya que es una configuración en la cual sólo se necesita de una tarjeta o dispositivos inalámbrico Wi-Fi en cada computador. Los computadores se comunican unos con otros directamente, sin necesidad de que existan puntos de acceso intermedio.

## FASE II: Diseño

Para esta fase se tomaron en cuenta los requerimientos obtenidos en la fase I; al mismo tiempo, se determinó la topología y tipo de red, cantidad de computadores, adaptadores de red, canales de prueba, seguridad, direcciones IP, distancia entre computadores y tipos de antenas.

Después de haber estudiado la tecnología de hardware y los diversos elementos necesarios para la elaboración de la red Wi-Fi, así como los requerimientos necesarios se pudo determinar lo siguiente:

Tabla 5. Diseño de la Red

ELEMENTOS	CARACTERÍSTICAS
Topología	Estrella
Tipo de Red	Ad Hoc o punto a punto
Número de Computadores a instalar en la red	Dos
Adaptadores de Red	Instalación de tarjetas D-Link DWL-AG530
Canal para pruebas	149 (5745 MHz)
Seguridad	Conexión con seguridad WPA
Direcciones IP y Mascara de Red	Comp1 192.168.1.20 Comp2 192.168.1.27 Máscara 255.255.255.0
Distancia para la realización de pruebas	25 mts.
Antenas	Las tarjetas D-Link utilizadas están provistas de Antenas Omnidireccionales dipolo, con una Ganancia entre los 2.0 dBi y los 4.0 dBi

Una vez ubicados los dos computadores que conforman la red Wi-Fi en modo Ad-Hoc, se estableció el tráfico continuo de datos entre éstos con la ayuda de un software generador de tráfico de paquetes denominado *WildPackets iNet Tools*. Este software cuenta con una herramienta llamada *PingTool*, que envía paquetes con solicitud de eco ICMP a un host específico, creando el flujo de datos a ser analizado. Para utilizar esta

herramienta se ajustaron los parámetros de generación de tráfico de la siguiente manera:

- *Dirección IP destino*: La dirección del Computador o Host B: 192.168.0.27
- *Timeout*: Tiempo de expiración del paquete para considerarlo perdido: 300 ms
- *Tamaño en Bytes*: Tamaño máximo de carga útil o payload permitido por el software: 65535 bytes.
- *Número de pings*: Se ajustó un envío continuo de paquetes de eco ICMP o pings con los parámetros establecidos.

Ahora bien, para analizar el intercambio de paquetes en la interfaz aire y la ocupación del canal inalámbrico de prueba, y para tomar las mediciones de la tasa de transmisión, los paquetes enviados, recibidos y perdidos, a partir de los cuales se calculó el porcentaje de paquetes perdidos; se utilizó un computador, también equipado con una tarjeta inalámbrica Wi-Fi D-Link DWL-AG530, que le permite trabajar en modo de escucha.

Sobre este computador se instaló el software sniffer inalámbrico *CommView for WiFi*, que es un programa que monitorea la actividad de la red, y es capaz de capturar y analizar paquetes de información en cualquier red Ethernet inalámbrica. Con Commview se puede ver la lista de conexiones a la red, estadísticas IP esenciales, y examinar los paquetes individuales. Los paquetes capturados se almacenan en un archivo de reporte para el análisis posterior. Es a partir de estos archivos de reporte de donde se tomaron los datos de interés.

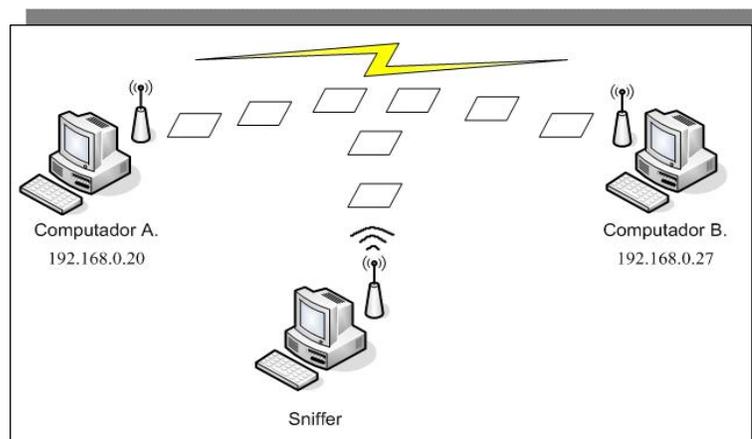


Figura 1: Red Wi-Fi de Prueba



A través de esta información los requerimientos del sistema fueron claramente especificados, permitiendo conocer con transparencia la red en estudio. En lo que respecta al diseño resultante, el mismo se muestra en la Figura 1.

### **FASE III. Verificación**

Para realizar dicha fase inicialmente se debió configurar los recursos a compartir entre los computadores: carpetas y unidades de disco. Posteriormente se verificó que los recursos que se han configurado para compartir, realmente pudieron ser accedidos por el computador remoto.

Una vez configuradas las estaciones, se le asignó las direcciones IP obtenidas en la fase de diseño y se procedió a realizar pruebas de ECO a través de mensajes ping ICMP. Al lograr tener conectadas en red ambas estaciones, se procedió a enviar un archivo de video de 407 Mb desde el Computador A al Computador B, y en este último se pudo reproducir perfectamente una vez transferido el archivo.

Asimismo, se tomó en cuenta la información proporcionada por el Instituto de Investigación de la Facultad de Arquitectura y Diseño de la Universidad del Zulia (IFAD-LUZ), la cual contiene los datos relacionados con el comportamiento de la radiación solar, la misma es medida por este instituto las 24 horas del día, donde se observa como varía la radiación solar en la Ciudad de Maracaibo.

### **FASE IV: Comparación**

En esta fase se comparó el índice de desempeño de la red Wi-Fi operando en la banda de los 5 Ghz, calculado en términos del throughput y el porcentaje de paquetes perdidos, con las variaciones en la intensidad de radiación solar incidente. Para ello fue necesario recolectar la data de la red mediante el instrumento de observación directa y la data de radiación solar de la ciudad de Maracaibo proporcionada por el Instituto de Investigación de la Facultad de Arquitectura y Diseño de la Universidad del Zulia (IFAD-LUZ).

Estos datos fueron introducidos en la herramienta estadística SPSS, para realizar desde allí el análisis estadístico que permita determinar en qué medida la radiación solar influye sobre el desempeño de la red a través del análisis de correlación bivariante que permite conocer el índice de correlación de Pearson, el cual determina el grado de asociación entre las variables en estudio. Además se realizó un Análisis de Regresión Simple con

el fin de obtener un modelo estadístico para predecir el comportamiento del desempeño de la red en función de la radiación solar.

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Al aplicar el análisis de correlación bivalente de Pearson a los datos recolectados se evidencia que existe una asociación altamente significativa, pero inversa, entre la variable radiación solar y el índice de desempeño, reflejado por un coeficiente de Pearson igual a  $-0,125$ . Esta asociación es generada debido a la alta correlación inversa de la radiación solar en relación al throughput, determinada por un coeficiente de Pearson de  $-0,135$ ; además del porcentaje de paquetes perdidos que presenta un índice de Pearson de  $0,084$  lo que refleja una moderada intensidad de asociación directa en relación a la radiación.

Sin embargo, a pesar de la significativa asociación, el resultado del Análisis de Regresión aplicado los datos, indica que no es posible establecer un modelo estadístico que sea capaz de predecir los valores de desempeño que pueden alcanzarse para la red Wi-Fi estudiada, en función de la intensidad de la radiación solar incidente sobre la misma. Esto se nota al observar valores muy bajos y similares del coeficiente de determinación  $r^2$  para todos los modelos – lineal, inverso, cuadrático, cúbico, exponencial, etc. – analizados por el SPSS.

En atención a lo expuesto, se realizó un análisis exploratorio de los datos a fin de estudiar la normalidad de la data recolectada para cada variable e identificar los valores extremos que estén generando sesgos en este análisis estadístico. Para ello se hizo uso de la herramienta exploratoria de estadística descriptiva del SPSS, obteniendo los diagramas de caja y sesgo mostrados en las figuras 2 y 3:

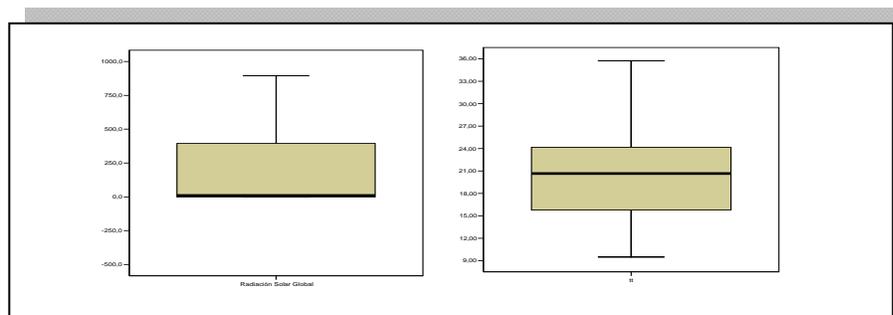


Figura 2: Diagrama de Caja y Sesgo de la Radiación Solar y del Throughput

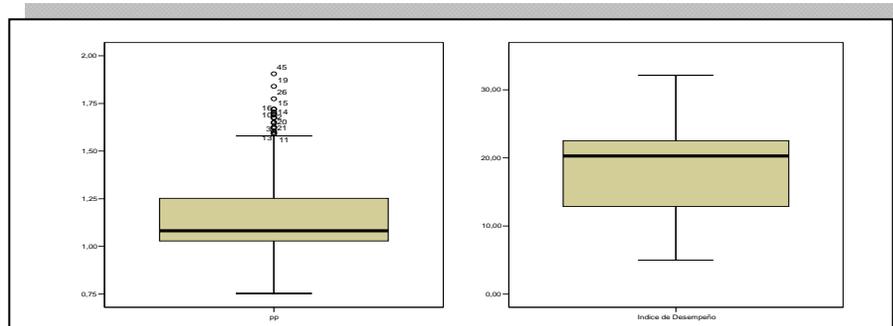


Figura 3: Diagrama de Caja y Sesgo de la Pérdida de Paquetes y Desempeño

La observación de estos diagramas evidencia la falta de normalidad de los datos medidos, especialmente los recolectados para las variables radiación solar y el porcentaje de paquetes perdidos. En vista de lo obtenido, se hace una depuración de la data considerando los siguientes aspectos: a) Tomar en cuenta sólo las horas del día, entre las 7 a.m. y 6 p.m.; en que hay presencia de radiación solar y, b) Eliminar la gran cantidad de valores extremos hallados para las métricas del porcentaje de paquetes perdidos.

Con los datos ya depurados, se procedió a calcular las transformaciones matemáticas necesarias a cada una de las variables, en este caso se calculó su valor inverso, logarítmico y raíz cuadrada; para luego repetir el análisis de correlación bivalente de Pearson y de Regresión Simple a todas estas variables y sus valores transformados, utilizando las herramientas del software SPSS. Los resultados mostraron que se mantiene el mismo comportamiento observado para el análisis realizado previamente a la totalidad de los datos: Existe una asociación altamente significativa e incapacidad de predicción debido a un bajo valor de  $r^2$ , tanto entre las variables, como entre éstas y sus valores transformados.

El análisis precedente conllevó a seguir evaluando los datos para tratar de establecer un modelo estadístico que permita obtener una ecuación que refleje el comportamiento del desempeño en función de la radiación solar. En la búsqueda de este objetivo, se tomó el promedio diario de todas las variables, considerando sólo las horas del día cuando la radiación solar es significativa.

A continuación, en las Tablas 6 y 7, se presentan los resultados obtenidos al aplicar el análisis de Correlación Bivalente de Pearson y de Regresión Simple a los datos promediados diariamente:



Tabla 6: Análisis de Correlación Bivariante de Pearson

		Radiación Solar	Throughput	% Paq. Perdidos	Índice de Desempeño
Radiación Solar	Pearson Correlation	1	-,325	,226	-,270
	Sig. (2-tailed)	.	,150	,324	,237
	N	21	21	21	21
Throughput	Pearson Correlation	-,325	1	-,816(**)	,965(**)
	Sig. (2-tailed)	,150	.	,000	,000
	N	21	21	21	21
%Paq Perdidos	Pearson Correlation	,226	-,816(**)	1	-,659(**)
	Sig. (2-tailed)	,324	,000	.	,001
	N	21	21	21	21
Índice de Desempeño	Pearson Correlation	-,270	,965(**)	-,659(**)	1
	Sig. (2-tailed)	,237	,000	,001	.
	N	21	21	21	21

Esta vez, los resultados obtenidos del análisis de correlación (Tabla 6) y regresión (Tabla 7), muestran con mayor claridad el comportamiento de las variables estudiadas.

Se evidencia en el análisis de correlación, con un coeficiente de Pearson de -0,325, que la radiación solar diaria influye de manera significativa e inversamente proporcional sobre el comportamiento del throughput registrado diariamente. Asimismo, se observa que existe una asociación, también significativa con un coeficiente de Pearson de 0,226, y que es directamente proporcional entre el porcentaje de paquetes perdidos diarios y el valor de la radiación solar registrada diariamente.

Se observa además en la Tabla 6, que nuestra variable de interés, el indicador del desempeño de la red WI-FI 5 bajo estudio, registró un índice de correlación de Pearson de -0,270 respecto a la Radiación Solar, lo cual nos indica una clara influencia de la radiación solar esta, así como también, el signo negativo sugiere que dicha asociación es inversamente proporcional entre las dos variables.



Tabla 7: Análisis de Regresión Simple para los datos promediados diariamente.

	Dependent	Mth	Rsq	d.f.	F	Sigf	b0	b1	b2	b3
tt	LIN	,106	19	2,25	,150	25,2876	-,0178			
tt	LOG	,059	19	1,20	,287	47,8412	-5,0027			
tt	INV	,025	19	,50	,490	14,8119	1153,05			
tt	QUA	,500	18	8,99	,002	-27,990	,2709	-,0004		
9 tt	CUB	,482	18	8,37	,003	-10,010	,1268		-3,E-07	
tt	COM	,068	19	1,38	,255	24,7330	,9991			
tt	POW	,031	19	,61	,443	67,7251	-,2314			
tt	S	,009	19	,17	,686	2,7133	43,2305			
tt	GRO	,068	19	1,38	,255	3,2081	-,0009			
tt	EXP	,068	19	1,38	,255	24,7330	-,0009			
pp	LIN	,051	19	1,03	,324	,9727	,0004			
pp	LOG	,023	19	,44	,513	,5104	,1069			
pp	INV	,006	19	,12	,730	1,2044	-19,975			
pp	QUA	,447	18	7,28	,005	2,8110	-,0095	1,3E-05		
9 pp	CUB	,467	18	7,89	,003	1,6618		-1,E-05	2,1E-08	
pp	COM	,070	19	1,43	,247	,9632	1,0004			
pp	POW	,036	19	,72	,408	,5967	,1077			
pp	S	,014	19	,28	,606	,1920	-23,794			
pp	GRO	,070	19	1,43	,247	-,0375	,0004			
pp	EXP	,070	19	1,43	,247	,9632	,0004			
d	LIN	,073	19	1,49	,237	24,5572	-,0119			
d	LOG	,037	19	,73	,403	38,6919	-3,1878			
d	INV	,013	19	,24	,628	17,8457	654,826			
d	QUA	,415	18	6,38	,008	-15,434	,2048	-,0003		
9 d	CUB	,393	18	5,83	,011	-1,6765	,0956		-2,E-07	
d	COM	,058	19	1,18	,291	24,1125	,9994			
d	POW	,027	19	,52	,479	44,6103	-,1415			
d	S	,007	19	,13	,719	2,8814	25,4764			
d	GRO	,058	19	1,18	,291	3,1827	-,0006			
d	EXP	,058	19	1,18	,291	24,1125	-,0006			

Por otra parte, el resultado del análisis de regresión que se observa en la Tabla 7, muestra que el modelo matemático predominante por tener un mayor valor de  $r^2$ , aproximadamente de 0.5, y que mejor describe el comportamiento del throughput, la pérdida de paquetes y el índice de desempeño diarios, en función de la radiación solar; es el modelo cuadrático.

En las siguientes figuras se muestran las gráficas generadas por la estimación curvilínea cuadrática al aplicar el análisis de regresión en el SPSS. Puede observarse en la Figura 4, una aproximación curvilínea cuadrática negativa entre la Radiación Solar diaria y el Throughput, mientras

que; para el porcentaje de paquetes perdidos, la gráfica muestra una relación curvilínea positiva de tipo parabólico entre la Radiación Solar diaria y la pérdida de paquetes promedio por día.

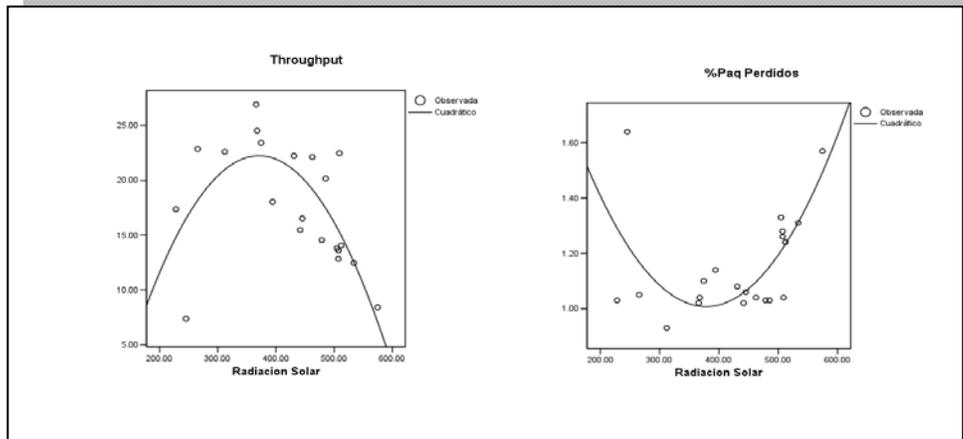


Figura 4: Gráficas de Estimación Curvilínea para el Throughput y el Porcentaje de Paquetes Perdidos, en función de la Radiación Solar diaria.

La Figura 5, muestra como para el Índice de Desempeño calculado de la Red Wi-Fi 5 GHz, la gráfica de estimación curvilínea evidencia que existe una relación parabólica negativa en función de la Radiación Solar promediada diariamente:

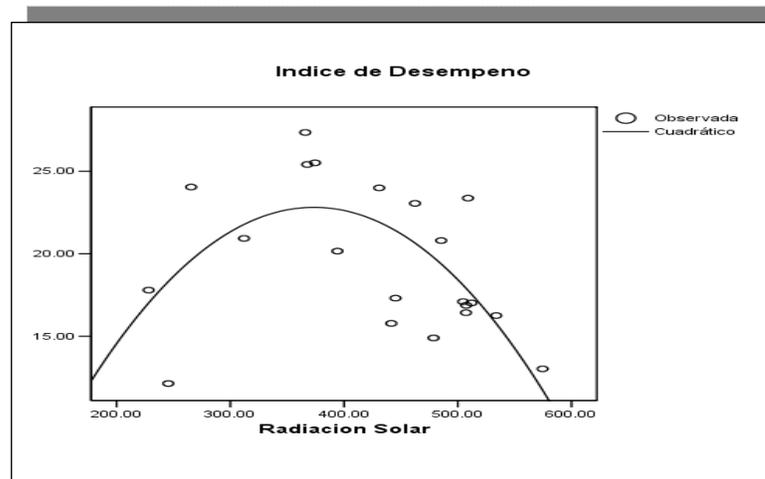


Figura 5: Gráficas de Estimación Curvilínea para el Índice de Desempeño, en función de la Radiación Solar diaria.



Ahora bien, a partir de los resultados que arrojó la aplicación del análisis de regresión a la data promediada diariamente, y que se han representado en la Tabla 7; se procedió a establecer la ecuación de predicción del Índice de desempeño de la red, D, en función de la radiación solar global  $I_g$ , a partir de los coeficientes de regresión obtenidos, o sea:

$$\begin{aligned}b_0 &= -15,434 \\b_1 &= 0,2048 \\b_2 &= -0,0003\end{aligned}$$

Obteniendo la siguiente ecuación:

$$D = -15,434 I_g + 0,2048 I_g - 0,0003 I_g^2$$

En resumen, si se observa el valor del coeficiente de determinación  $r^2$  de 0,415 tomado de la tabla 7, por ser el que más se acerca a 1, se puede concluir que el 41,5 % de la variación en el Índice de desempeño de la Red Wi-Fi bajo estudio, puede explicarse mediante la variabilidad de la Radiación Solar, y que existe además una relación de tipo cuadrática entre ambas variables, que se rige por el comportamiento de la ecuación (3), para valores de ambas variables promediados diariamente.

En líneas generales, se puede concluir que la Radiación Solar ejerce una significativa influencia sobre el desempeño de las Redes Wi-Fi 802.11a y que, al ser evaluada diariamente, se vuelve un parámetro predictor del desempeño diario de la misma bajo las condiciones del montaje de prueba.

## CONCLUSIONES

A continuación se presentan las principales conclusiones de la investigación que constituyen una visión global en torno a los principales hallazgos y resultados de la investigación, así como de los objetivos que fueron planteados.

En relación a los requerimientos técnicos necesarios para implementar una red Wi-Fi que opere en la banda de frecuencias de los 5 GHz bajo el estándar de la IEEE 802.11a; se determinó, que se requiere un par de estaciones de trabajo, cada una equipada con una tarjeta interfase de red



inalámbrica que cumpla con el estándar 802.11a, y que dispongan de un sistema operativo adecuado que permita configurarlas para trabajar en red.

En cuanto al diseño de la red Wi-Fi, una vez determinados los requerimientos necesarios para implementar la misma; se estableció como red para desarrollar la investigación, la de tipo inalámbrica en modo IBSS o modo Ad-Hoc que conecta directamente dos estaciones, estableciendo un enlace inalámbrico Wi-Fi 802.11a para realizar una transferencia continua de datos entre las mismas; a la vez que una estación sniffer actúa a modo de escucha para analizar el tráfico en la red.

Al comparar el desempeño calculado en base al throughput y la pérdida de paquetes de la red Wi-Fi bajo estudio, con los niveles de radiación solar incidente, y luego de aplicarle las técnicas estadísticas; se encontr , que existe una significativa asociación entre estas dos variables regido por un modelo curvilíneo cuadrático que se expresa en la ecuación de predicción del índice de desempeño en función de la radiación solar generada al aplicar el análisis estadístico de regresión simple a la media diaria de las variables.

Finalmente se concluye que, con los niveles de Radiación Solar que se registran en la Ciudad de Maracaibo y bajo el entorno de prueba, el Desempeño de las Redes Wi-Fi operando en la banda de frecuencias de los 5 GHz (802.11a) se ve afectado por este fenómeno natural, ya que el mismo ejerce una significativa influencia sobre el mismo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRICEÑO (2000). **Redes de Computadoras**. Editorial Prentice.

CARBALLAR (2004). **“Wi-Fi. Cómo construir una red inalámbrica”**. Alfaomega

COMER, D (1997). **Redes de Computadoras, Internet e Interredes**. México. Editorial Prentice Hall.

CASTRON, P (1994). **Redes de Computadoras**. México. Editorial Computec.rama.

TOMAS, J. Ferrando S. Y Piallini, M. (1997). **Redes de Alta Velocidad**. México. Editorial Computec.rama.



GELU M. NITA, DALE E. GARY, LOUIS J. LANZEROTTI “**Statistics of solar microwave radio Bursa spectra with implications for operations of microwave radio systems**”. Space Weather, VOL. 2, S110052004

GONZÁLEZ, N. (1997). **Comunicación y Redes de Procesamiento de Datos**. México. Editorial Mc Graw Hill.

REGIS J. BATES (2003) “**Comunicaciones Inalámbricas de Banda Ancha**”. 1era edición en español. España 2003 McGraw-Hill

ROSH (1996). **Redes**. México. Editorial Prentice Hall. Tercera Edición.

STOLTZ, K. (1995). **Todo Acerca de Redes de Computación**. México. Editorial Prentice Hall.

SHIMMIN, B. Y HARPER, E. (1995). **Guía de Trabajo en Red con Windows 95**. Editorial McGraw Hill. Cuarta Edición.

TANENBAUM, A. (1995). **Redes de Computadora**. Editorial Prentice Hall.

WAYNE, T (1996). “**Sistemas de Comunicaciones Electrónicas**”. 2da Edición, México 1996 Prentice Hall