

Evaluación de Throughput en una Red Inalámbrica para ISP Basada en el Estándar IEEE 802.11 Mediante Diseño Experimental

Miguel Alonso Ardila Osorio, Sergio Andrés Ardila Osorio

*Facultad de Ingeniería de Sistemas, Universidad Autónoma de Bucaramanga
Bucaramanga, Colombia*

miguel.ardila.osorio@gmail.com, yaco211@gmail.com

Abstract--- El análisis y evaluación sobre el rendimiento de una red de datos es de vital importancia para el administrador, debido a que las conclusiones resultantes en esta actividad conllevan a decisiones que aportan al funcionamiento del sistema y la percepción del usuario final. En redes de datos generalmente se evalúa el rendimiento teniendo en cuenta parámetros como el throughput y diferentes medidas de retardo. Este artículo muestra un análisis del rendimiento de una red inalámbrica que opera bajo el estándar IEEE 802.11n, evaluada mediante throughput. El estudio es un diseño experimental que utiliza el análisis de varianza “ANOVA” como herramienta estadística-matemática en el desarrollo de la propuesta.

I. INTRODUCCIÓN

Las redes inalámbricas locales han sido desarrolladas y empleadas como una solución móvil y fija de última milla a aplicaciones punto-punto, punto-multipunto y backbones, entre otros. Los estándares IEEE 802.11 pueden alcanzar velocidades de transmisión de hasta 540Mbps teóricos en 802.11n y 1Gbps en 802.11ac (IEEE, 2013).

Para los administradores de redes y específicamente en este caso (IEEE 802.11n), es importante contar con un modelo que realice la medición del rendimiento y facilite así la planeación y manejo de la infraestructura. Comúnmente, para obtener datos sobre el comportamiento de redes se utilizan parámetros: throughput, jitter y round-trip delay time.

Nosotros presentamos un modelo empírico que permite evaluar el rendimiento de una red inalámbrica a través del throughput en función de factores como la frecuencia de operación, número de CPE's que comparten un punto de acceso “AP”, la distancia entre CPE's y el punto de acceso.

El throughput es interpretado como la capacidad de transferir de datos efectivamente sobre un medio de comunicación, es decir, sin tener en cuenta datos de negociación, control del enlace y mantenimiento. Para realizar este tipo mediciones en una red, es necesario saturar el enlace generando tráfico; ya sea mediante un generador de tráfico (iperf, jperf, TrGen, entre otros)

o con un dispositivo existente en la red (para este caso un servidor de archivos).

El diseño estadístico de experimentos es precisamente la forma más eficaz de hacer pruebas. El diseño de experimentos consiste en determinar cuáles pruebas se deben realizar y de qué manera, para obtener datos que, al ser analizados estadísticamente, proporcionen evidencias objetivas que permitan responder las interrogantes planteadas, y de esa manera clarificar los aspectos inciertos de un proceso, resolver un problema o lograr mejoras.

En la elección del tipo de diseño experimental se debe ser muy cuidadoso y tener en cuenta las características y objetivos de la investigación. Para la presente, se optó por un diseño factorial, pues se pretende estudiar el efecto de varios factores sobre una variable de salida o respuesta, ver [1].

Es decir, se busca estudiar la relación entre los factores y la respuesta, para comprender mejor esta relación y generar conocimiento que permita tomar acciones y decisiones que mejoren el desempeño del proceso, ver [4].

El diseño factorial consiste en realizar todas las combinaciones posibles de los niveles de varios factores. Con frecuencia, los experimentos con diseños factoriales les se conocen como factoriales o experimentos factoriales. Los niveles de un factor cuantitativo toman valores métricos, mientras que los niveles de un factor cualitativo son las categorías del factor, ver [3].

Con el diseño factorial completo se corren aleatoriamente todas las posibles combinaciones que pueden formarse con los niveles de los factores a investigar. Así, la matriz de diseño o arreglo factorial es el conjunto de puntos experimentales o tratamientos que pueden formarse considerando todas las posibles combinaciones de los niveles de los factores.

Por ejemplo si se tienen dos (2) factores; el primero tiene dos (2) niveles, el segundo tres (3) niveles y el último cuatro (4) niveles, finalmente se contarán con $2 \times 3 \times 4 = 24$ combinaciones. A este tipo de diseño factorial se le conoce como mixto, ya que la cantidad de niveles de los factores son diferentes, ver [1].

En el desarrollo del experimento se contó con parte de la infraestructura de la red de la empresa AROS COMUNICACIONES LTDA con el objetivo de obtener información acerca del comportamiento del

throughput, teniendo como factores incidentes posibles la frecuencia de operación de los puntos de acceso “AP”, cantidad de CPE’s compartiendo un punto de acceso y la distancia entre CPE’s y puntos de acceso. Se presenta información detallada en la tabla 1.

FACTOR	CANTIDAD DE NIVELES
Frecuencia	2
Cantidad de CPE’s	3
Distancia entre CPE’s y Puntos de Acceso	3

Tabla I. FACTORES Y CANTIDAD DE NIVELES DE FACTOR

La tabla I corresponde a un diseño factorial mixto de 2 x 3 x 3 equivalente a 18 combinaciones experimentales. Para la investigación se decidió realizar cinco (5) repeticiones a cada combinación dando como resultado un total de noventa (90) muestras, las cuales se consideran apropiadas para la medición de interacciones primarias y secundarias. Existen diversas herramientas para el análisis e interpretación de un diseño experimental, siendo más utilizado y recomendado por su simplicidad, el análisis de varianza. El análisis de varianza (ANOVA) es la técnica central en el análisis de datos experimentales. La idea general de esta técnica es separar la variación total en las partes con las que contribuye cada fuente de variación en el experimento, ver [1].

El nombre análisis de varianza viene del hecho de que se utilizan coeficientes de varianzas para probar la hipótesis de igualdad de medias. La idea general de esta técnica es separar la variación total en las partes con las que contribuye cada fuente de variación en el experimento, ver [3].

El análisis de varianza permite identificar si las muestras, tomadas en diferentes situaciones, denominadas factores” o “tratamientos” influyen significativamente, desde un punto de vista estadístico, sobre la variable de respuesta. Se establecen entonces hipótesis sobre el comportamiento de los factores y al final se aceptan o rechazan según los resultados arrojados por el análisis de varianza, ver [1].

Por lo general, el interés del experimentador está centrado en comparar los tratamientos en cuanto a sus medias poblacionales, sin olvidar que también es importante compararlos con respecto a sus varianzas. La estrategia natural para resolver este problema es obtener una muestra representativa de mediciones en cada uno de los tratamientos, y construir un estadístico de prueba para decidir el resultado de dicha comparación.

El modelo estadístico da cuenta del comportamiento de la variables observada y en cada diseño incorpora un término adicional para cada factor. Así, el modelo es una manera de expresar matemáticamente todo lo que se supone que debe influir sobre la variable de respuesta en un diseño dado, ver [4].

Teniendo como base la teoría de análisis de varianza y la flexibilidad que brinda en cualquier campo de investigación científico, el presente estudio tuvo como objetivo principal la evaluación de una red a través de la posible influencia presentada por uno o varios factores en la respuesta de salida y el cálculo de parámetros que sirvan como origen a un modelo matemático que caracterice este tipo de infraestructuras de red.

II. METODOLOGÍA y DESCRIPCIÓN del EXPERIMENTO

La experimentación es desplegada en una red inalámbrica que opera bajo el estándar IEEE 802.11n existente y operativa, de la cual se utilizan tres puntos de acceso “AP”; dos de estos, trabajan en la frecuencia de 5.8Ghz y uno en la frecuencia de 2.4Ghz. Dentro de los parámetros más relevantes en la configuración de los puntos de acceso podemos especificar:

- Modo AP: AP Bridge/WDS
- Ancho de Canal: 30MHz
- Máxima Rata de Transmisión: 78Mbps

Los dispositivos tipo cliente o CPE’s operan con configuración compatible a lo referenciado anteriormente para los puntos de acceso.

Cada muestra experimental consiste en conectar un equipo CPE de prueba al punto de acceso correspondiente en ubicaciones definidas estratégicamente teniendo en cuenta la cobertura de la red; ya realizada la conexión se procede a iniciar la descarga un archivo alojado en el servidor, se toma la medida del tiempo desde que se inicia la descarga hasta que finaliza. Cada medición se toma del promedio de cinco repeticiones buscando una mayor confiabilidad en los datos obtenidos. Para la medición del throughput se tomó como referencia la medición del tiempo total de la descarga del archivo y el tamaño del mismo; utilizando simplemente la ecuación tradicional para obtener el valor del parámetro deseado. En la figura 1 se muestra el esquema de conexión de red utilizado para la experimentación.

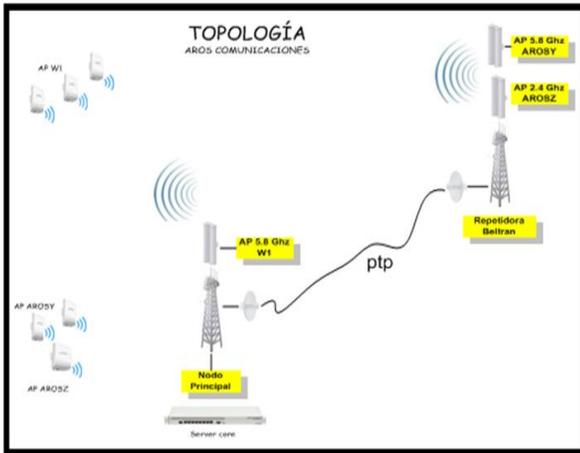


Fig. 1 Topología de la red experimental

Características de Puntos de Acceso		
Modelo	Rocket M5	Rocket M2
Dimensiones	160x80x30 mm	160x80x30 mm
Peso	1.1Lb	1.1Lb
Interfaz de Red	10/100Mbit	10/100Mbit
Conector RF	2 RP-SMA	2 RP-SMA
Max Power Consumo	8W	8W
Modulación	MSC0-MSC15, OFDM, TDMA, AIRMAX	MSC0-MSC15, OFDM, TDMA, AIRMAX
Max Potencia Tx	27dbm	28dbm
Modo de Operación	A/N	b/g/n
Wireless	5.8Ghz	2.4Ghz
Alimentación	24V, 1A POE	24V, 1A POE
Memoria SDRAM	64MB	64MB
Speed	150Mbps realTCP/IP	150Mbps realTCP/IP
MIMO 2X2	SI	SI
Procesador	400MHz	400MHz
Frecuencia de Operación	5170-5875Mhz	2412-2462
Enclosure (Protector)	SI	SI

TABLA II. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PUNTOS DE ACCESO UTILIZADOS

CARACTERÍSTICAS CPE CLIENTE		
Modelo	Ns M5	Ns M2
Procesador	Atheros MIPS 24KC, 400Mhz	Atheros MIPS 24KC, 400Mhz
Memoria	32MB SDRAM, 8MB FLASH	32MB SDRAM, 8MB FLASH
Interface	2X10/100 BASE TX	2X10/100 BASE TX
Inalámbrica Certificada	FCC Part 15,247, IC RS210,CE	FCC Part 15,247, IC RS210,CE
Frecuencia Operación	5470-5825 MHz	2412-2462MHz
Tx Power	23dbm	28dbm
Data Rate	MCS0	MCS0
Rx Sensibilidad	MCS11-87dbm	MCS11-87dbm
Tamaño	29.4x8x3cm	29.4x8x3cm
Peso	0.4kg	0.4kg
Máximo Consumo	8W	8W
Alimentación	15V, 0.8A	25V, 0.8A
Rango Frecuencia	4.9-5.9GHz	2.32-2.55GHz
Ganancia	14.6-16.1dbi	10.4-11.2dbi
Polarización	Doble	Doble
Hpol	43deg	55deg
Vpol	41deg	53deg
Elevación	15deg	27deg

TABLA III. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS EQUIPOS CPE

Los factores establecidos y sus diferentes niveles en la experimentación son:

- Frecuencia: 2.4GHz, 5.8GHz
- Distancia: 40m, 1000m, 2500m
- Número de CPE's: 13, 16, 37

	13 CPE			16 CPE			37 CPE		
	40m	1000m	2500m	40m	1000m	2500m	40m	1000m	2500m
2.4GHz	0	0	0	19,3886083	14,7258185	17,900051	0	0	0
	0	0	0	18,9504419	14,7531363	15,4265082	0	0	0
	0	0	0	17,2093799	18,9862311	17,1800922	0	0	0
	0	0	0	17,7902846	12,833745	19,0496623	0	0	0
	0	0	0	22,7329293	14,3882666	18,3460575	0	0	0
	28,1833399	29,3065668	28,9574432	0	0	0	17,4963214	17,0972464	16,1999496
5.8GHz	31,0946389	32,2625897	30,5261002	0	0	0	16,5560699	19,2276376	14,6092823
	32,1698134	27,6307	34,0627751	0	0	0	21,2689441	18,0281355	18,2929661
	25,601372	26,5597879	25,0674378	0	0	0	20,419847	21,694124	14,0498217
25,9727362	29,649216	29,2177219	0	0	0	15,9178714	12,2091476	21,2772907	

TABLA IV. DATOS OBTENIDOS EN MEDICIÓN Mbps

III. RESULTADOS

El presente modelo es representado por un diseño factorial de tres (3) factores abc que modela el comportamiento de una respuesta o variable de salida Y que puede expresarse mediante:

$$Y_{ijkl} = \mu + A_i + B_j + C_k + (AB)_{ij} + (AC)_{ik} + (BC)_{jk} + (ABC)_{ijk} + \epsilon_{ijkl} \quad (1)$$

a = frecuencia de operación
 b = distancia
 c = cantidad de CPE's
 N = Número de réplicas del experimento

Y_{ijkl} = Throughput para frecuencia de operación (i), a una distancia entre CPE y AP (j), con un número de estaciones (k), para la replicación l.

μ = media general sin efectos de interacciones

A_i = efecto del i-ésimo nivel del factor A

B_j = efecto del j-ésimo nivel del factor B

C_k = efecto del k-ésimo nivel el factor C

$(AB)_{ij}$ = efecto de la interacción entre los factores frecuencia y distancia

$(AC)_{ik}$ = efecto de la interacción entre los factores frecuencia y cantidad de CPE's

$(BC)_{jk}$ = efecto de la interacción entre los factores distancia y cantidad de CPE's

$(ABC)_{ijk}$ = efecto de la interacción de los tres factores

ϵ_{ijkl} = error aleatorio

El estudio factorial de tres factores (A, B y C) permite investigar los efectos: A, B, C, AB, AC, BC y ABC, donde el nivel de desglose o detalle con el que pueden estudiarse depende del número de niveles utilizado en cada factor.

En resumen, se tienen siete efectos de interés sin considerar desglose, y con ellos se pueden plantear las siete hipótesis nulas H_0 : Efecto A = 0, H_0 : Efecto B = 0, . . . , H_0 : Efecto ABC = 0, cada una aparejada con su correspondiente hipótesis alternativa.

Para probar las hipótesis se utiliza la herramienta estadística-matemática ANOVA. Al efecto cuyo p-valor menor al valor especificado para alfa, se declara estadísticamente significativo o se dice que está activo, ver [1].

IV. VERIFICACION DE RESULTADOS

Antes de adoptar las conclusiones del ANOVA, deberá verificarse la adecuación del modelo fundamental mediante un análisis residual. En este análisis se tendrán que ver cumplidos los supuestos del modelo: normalidad, varianza constante e independencia, ver [4].

Para el presente caso de estudio, se realizan los gráficos residuales de los datos obtenidos en el experimento y se comprueban satisfactoriamente los supuestos mencionados anteriormente, garantizando que los resultados del experimento obedecen a una muestra aleatoria de distribución normal con media 0 y varianza constante, ver [4].

A. ANOVA y Efectos Activos en la Experimentación

El análisis de varianza para Throughput de los tres factores existentes en la experimentación se desarrolla mediante un software conocido como Minitab, el cual realiza pruebas y gráficas que muestra resultados del factor o factores que tienen un efecto significativamente estadístico en la variable de salida o respuesta. La siguiente tabla muestra el resultado ANOVA para throughput.

FUENTE DE VARIACION	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO	Fo	Valor P
Frecuencia (A)	346,4971257	1	346,497126	623,29	0
Distancia (B)	4872,084635	2	2436,04232	1,1	0,338
#CPE (C)	5539,548749	2	2769,77437	97,39	0
AB	1820,369284	2	910,184642	0,95	0,391
AC	10574,12857	2	5287,06429	1263,78	0
BC	-4847,262281	4	-1211,81557	1,24	0,302
ABC	-1795,546929	4	-448,886732	1,32	0,273
Error	-4614,897335	72	-64,0957963		
Total	11894,92182	89			

TABLA V. ANOVA PARA THROUGHPUT

El efecto es significativamente estadístico cuando su p-value es menor al especificado para α , por lo que se sugiere tomar como estadísticamente significativos los valores cuyo p-Valor menos a 0,05. El ANOVA se fundamenta en la descomposición de la variación completa de los datos de la variable en cuestión (Throughput) con respecto a la media global, debido a los factores que intervienen en el proceso o experimento.

Ya que se ha elegido la suma de cuadrados Tipo III (valor por defecto), se ha medido la contribución de cada factor eliminando los efectos del resto de los factores. Los p-value comprueban la importancia estadística de cada uno de los factores. Teniendo en cuenta el análisis de varianza presentado anteriormente se identifican tres efectos con P-Valor menos a 0,05 (A, C, AC). Estos factores muestran un efecto significativamente estadístico para throughput con un 95% de confianza, y que rechaza la hipótesis H_0 .

En la figura 2 se puede observar una baja relevancia entre el factor distancia y frecuencia de operación, ya que las líneas describen una forma paralela entre sí. Por otra parte, se evidencia que la pendiente de las rectas es prácticamente cero, demostrando la falta influencia entre el valor distancia y el throughput para las condiciones planteadas en el caso de estudio.

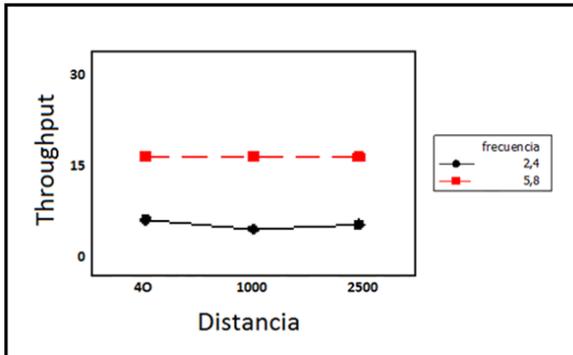


Fig.2 Interacción entre distancia y frecuencia

Observando la figura 3 y teniendo en cuenta las mediciones registradas se puede analizar una interacción bastante marcada pues las curvas mostradas presentan formas totalmente diferentes.

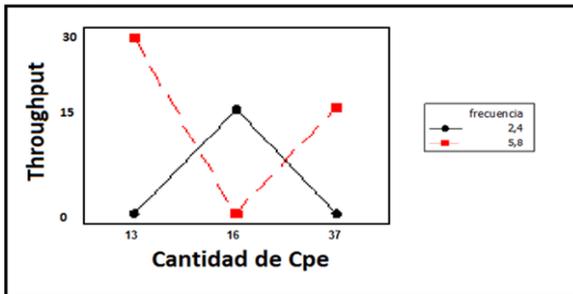


Fig.3. Interacción entre cantidad de cpe's y frecuencia

En la figura 4 se evidencia de manera visual una muy poca importancia de la interacción entre la cantidad de CPE y la distancia existente en la red, debido a que las líneas se encuentran casi paralelas entre sí. Por otro lado se observa una disminución considerable del throughput cuando aumenta la cantidad de CPE de 13 a 16 unidades en todas las distancias; además se observa que la disminución del throughput después de 16 CPE continúa pero de forma menos abrupta.

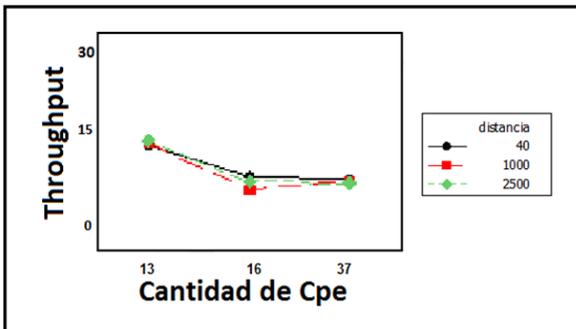


Fig. 4 Interacción entre cantidad de cpe's y distancia

V. CONCLUSIONES

IEEE 802.11 es un estándar de comunicaciones inalámbricas con una penetración alta en el

mercado nacional e internacional en constante evolución, lo que ha permitido que sea una solución competitiva con respecto a otras tecnologías alámbricas e inalámbricas en diferentes tipos de aplicación, ya sean hogareñas o empresariales.

Después de observar el estado del arte de la investigación realizada, se encuentra que en Colombia hay pocos estudios profundos que aporten información enfocada al estándar 802.11. Los estudios existentes se centran en temáticas relacionadas con algoritmos de seguridad en el acceso de las redes. Mundialmente se presenta una gama más amplia de aportes que abordan características inherentes al comportamiento del tipo de comunicación, como son la interferencia, atenuación, desvanecimiento, frecuencia, acceso al medio, etc.

Una de las principales características importantes del estándar IEEE 802.11 en su implementación, son las condiciones propias del medio, dependiendo de qué penetración o congestión se encuentre el sistema de transmisión inalámbrico puede presentar un ambiente hostil, debido a la gran cantidad de ruido o interferencia que se puede tener en el sistema. Esto se debe a que se trata de un medio compartido con acceso libre para determinados rangos de frecuencia; por estos motivos es importante hacer un estudio claro de las condiciones del medio y elegir correctamente entre las familias del estándar 802.11 la más adecuada y viable.

El estándar IEEE 802.11 ha crecido de forma exponencial a pesar de las bajas tasas de transmisión que manejaban los estándares iniciales. Debido a la gran acogida que fue tomando, se convirtió en foco de atención y muchas empresas apostaron en su desarrollo llegando a convertirse en una solución alternativa para diferentes ambientes y aplicaciones. Entre los estándares IEEE 802.11 es importante resaltar el estándar IEEE 802.11ac en actual auge, generando gran expectativa entre las diferentes tecnologías actuales en el mercado posicionando fuertemente al estándar cada vez más competitivo.

El estándar 802.11ac se basa en OFDM como mecanismo de modulación y trabaja sobre la frecuencia de 5.8 GHz, este aspecto es de gran relevancia ya que a pesar de estar masificado en el mercado, los dispositivos disponibles por los usuarios en su mayoría trabajan sobre la frecuencia de 2.4 GHz, siendo claro que la transición a este tipo de tecnologías puede tomarse su tiempo, sin embargo para aplicaciones de mayor envergadura se muestra muy fuerte, destacando una relación costo beneficio alta en comparación con otras tecnologías alámbricas e inalámbricas, con un muy pequeño incremento en sus costos, relativamente bajo en relación a sus antecesores 802.11.

El trabajo de investigación presente, se centra en la búsqueda de un modelo que evalúe el rendimiento de redes con estándar 802.11n, convirtiéndose en el primer estudio en Colombia donde se usa la evolución 802.11 para un escenario de red de área local existente y operativo del cual se hicieron todas las pruebas experimentales que dieron los datos necesarios para el soporte del trabajo desarrollado.

El presente trabajo de investigación desarrolla un modelo empírico a partir de un método estadístico matemático enfocado a la transmisión de datos en una red inalámbrica operada con estándar 802.11n, caracterizada en su análisis de rendimiento por el Throughput; esto logrado con escenarios reales que hacen de esta experimentación mucho más significativa.

La velocidad de transmisión del estándar 802.11n teórica alcanza 450Mbps aproximados gracias a la incorporación de los sistemas MIMO, haciendo una analogía con la infraestructura utilizada para la experimentación trabajando bajo el estándar 802.11n con antenas MIMO de doble polaridad vertical y horizontal, teóricamente según su ficha técnica alcanza 300 Mbps trabajando a máxima modulación con MCS15 y utilizando todo el ancho de canal que soportan los dispositivos equivalente a 40Mhz; el fabricante habla de alcanzar en su parte inalámbrica tasas de hasta 150 Mbps reales. Los resultados obtenidos en la experimentación demuestran alcanzar una tasa de transferencia de 34,0627751 Mbps trabajando con un ancho de canal de 30 MHz y utilizando MCS11; la deducción es bastante obvia, la velocidad de transmisión real alcanzada en el mejor de los casos se reduce significativamente en el escenario en cuestión. Cabe aclarar el hecho de que no se usen los dispositivos a máxima capacidad obedece a reducir la interferencia, ahorrar espacio espectral y también alargar la vida útil de los dispositivos.

Esta investigación demuestra que para el estudio-análisis del comportamiento de una red de datos y más específicamente del rendimiento a través de sus diferentes variables, es posible generar datos a través de los mismos dispositivos existentes como una alternativa a los generadores de tráfico, ya que en ocasiones por las características de la experimentación los datos obtenidos no son fiables y/o coherentes.

En el presente trabajo, bajo el criterio de los experimentadores y según la experiencia empírica adquirida en la administración de la red investigada, se decidieron tres (3) factores de investigación (frecuencia, distancia y cantidad de CPEs) que potencialmente se pensó interperian en la variable de salida (throughput). De esto, se obtuvieron resultados que sirvieron para sacar algunas conclusiones. Por otro lado se puede afirmar que para otro caso de estudio, el contexto será total- mente

diferente y que existirán múltiples variables a considerar según los objetivos.

Se reconoce el uso del Análisis de Varianza “ANOVA” en diferentes campos de aplicación y conocimiento como herramienta para diferentes tipos de investigación. Para la presente investigación se tomó el Throughput y el Retardo de Transmisión como variables de salida; siendo estos resultado de los efectos de factores individuales (frecuencia, distancia, número de CPEs) y sus respectivas interacciones.

La presente investigación presenta diferente número de niveles en sus factores (2,3,3) lo que la categoriza en un diseño factorial mixto con $2 \times 3 \times 3 = 18$ combinaciones experimentales. La cantidad de repeticiones o réplicas que se decidieron fue de cinco (5), lo cual presenta un total de 90 mediciones (18x5) para cada variable de salida o respuesta, considerando esta cantidad con el respaldo necesario para la veracidad de las respuestas obtenidas. En el desarrollo de diseños experimentales en los cuales se utilice el análisis de varianza AVOVA como herramienta, se tendrán que utilizar los supuestos de normalidad, varianza constante e independencia para comprobar la veracidad de los resultados obtenidos. En la presente investigación de rendimiento para una red inalámbrica operando bajo el estándar 802.11 se comprobaron los supuestos del modelo para Throughput, garantizando con el análisis de sus residuales una muestra aleatoria de distribución normal con media cero y varianza constante.

Con respecto a la variable de salida Throughput y tomando como referencia los cálculos ANOVA se observa que la frecuencia utilizada (A), la cantidad de CPEs (C) y la interacción existente entre ellas (AC), presentan efecto estadísticamente significativo para un porcentaje mínimo equivalente al 95 % de confianza.

REFERENCIAS

- [1] H. Gutierrez, *Análisis y Diseño de Experimentos*. McGraw Hill, 2nd ed., 2008.
- [2] (2013) The IEEE Website, [Online]. Available: <http://standards.ieee.org/news/2014/ieee802.11ac7allot.html>
- [3] R. kuehl, *Principios Estadísticos para el Diseño y Análisis de Investigaciones*. : Thomson.
- [4] D. Montgomery, *Diseño y Análisis de Experimentos*. Limusa Wiley. 3rd ed., 2002
- [5] W. Moreno, *Aplicaciones al Diseño y Análisis de Experimentos*. Ediciones UIS. 1st ed, 2002.

[6] A. Tanenbaum, *Redes de computadoras*. Prentice Hall. 4th ed., 2003

[7] (2015) The UBNT Company, [online]. Available: <https://www.ubnt.com/airmax/nanostationm/>