

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR



FACULTAD DE INGENIERÍA

MAESTRÍA EN REDES DE COMUNICACIONES

TESIS DE GRADO

TEMA:

**“ANÁLISIS DE RENDIMIENTO-EFICIENCIA PARA
DISPOSITIVOS INALÁMBRICOS POR MEDIO DE UN
ARREGLO DE ANTENAS EN LAS FRECUENCIAS DE 2.4 GHZ”**

DEYSI VILMA INCA BALSECA

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
MÁSTER EN REDES DE COMUNICACIONES**

Quito, agosto 2015

DECLARACIÓN

Yo, Deysi Vilma Inca Balseca, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador – PUCE, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Deysi Vilma Inca Balseca
C.C. 0603810482

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a Dios por haber obrado en mi vida en formas misteriosas que a veces no me doy cuenta.

A mis padres, hermanos y amigos que me apoyan con su incondicional cariño.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|------------------------|---|
| ÍNDICE GENERAL | 4 |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | 7 |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | 7 |
| INTRODUCCIÓN..... | 9 |

CAPÍTULO I:

MARCO REFERENCIAL

| | |
|---------------------------------------------|----|
| 1.1. TEMA | 11 |
| 1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 11 |
| 1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN..... | 13 |
| 1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN | 15 |
| 1.4.1. Objetivo General | 15 |
| 1.4.2. Objetivos Específicos..... | 15 |

CAPÍTULO II:

MARCO TEÓRICO

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1. REDES INALÁMBRICAS..... | 16 |
| 2.2. DESCRIPCIÓN DEL ESTÁNDAR IEEE 802.11..... | 16 |
| 2.3. TECNOLOGÍA MICROSTRIP | 19 |
| 2.3.1. Técnicas de Alimentación..... | 20 |
| 2.3.2. Principios de Funcionamiento..... | 21 |
| 2.3.3. Análisis de la Constante Dieléctrica Efectiva e Impedancia Característica: | 22 |
| 2.3.4. Longitud de Onda y Longitud Dieléctrica | 23 |
| 2.4. FILTROS MICROSTRIP | 23 |
| 2.4.1. Características del Substrato..... | 24 |
| 2.4.2. Filtro de Chebyshev(Equal Ripple) | 24 |
| 2.4.3. Diseño..... | 25 |
| 2.5. ANTENA MICROSTRIP..... | 31 |

CAPÍTULO III:

MARCO METODOLÓGICO

| | |
|----------------------------------------------------------|----|
| 3.1. TIPO DE ESTUDIO..... | 36 |
| 3.2. MÉTODOS..... | 36 |
| 3.2.1. Método Empírico Técnico | 36 |
| 3.2.2. Observación..... | 37 |
| 3.2.3. Medición..... | 37 |
| 3.3.1. Variable independiente..... | 37 |
| 3.3.2. Variable dependiente..... | 37 |
| 3.4. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES | 37 |
| 3.5. COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN | 38 |
| 3.6. ANÁLISIS DEL EXPERIMENTO..... | 39 |

CAPÍTULO IV:

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

| | |
|--------------------------------------------------------|----|
| 4.1. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN..... | 41 |
| 4.2. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS..... | 42 |
| 4.2.1. Paquetes Intercambiados en la Transmisión | 42 |
| 4.2.2. Velocidad en la transmisión | 43 |
| 4.2.3. Tiempo de transmisión..... | 43 |
| 4.2.4. Análisis de Potencia..... | 44 |
| 4.2.5. Presupuesto de Potencia..... | 45 |

CAPÍTULO V:

MARCO PROPOSITIVO

| | |
|------------------------------------------------------------|----|
| 5.1. VALIDAR CADA UNO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS. | 47 |
| 5.2. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS..... | 48 |
| 5.2.1. Interpretación de los Paquetes Intercambiados..... | 48 |
| 5.2.2. Interpretación de la Velocidad de Transmisión | 49 |
| 5.2.3. Interpretación del Tiempo de Transmisión. | 49 |
| 5.2.4. Interpretación de la Potencia Recibida | 49 |
| CONCLUSIONES | 51 |
| RECOMENDACIONES | 52 |
| ANEXOS..... | 54 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ANEXO A: Linksys E2500 | 55 |
| ANEXO B: Adaptador USB inalámbrico de alta potencia de 150Mbps TL-WN7200ND.. | 58 |
| ANEXO C: Analizador de Red - Colasoft Capsa 7..... | 62 |
| ANEXO D: Análisis del tráfico de Datos en Capa de Enlace | 65 |
| ANEXO E: Análisis del tráfico de Datos en Capa de Enlace con la solución propuesta | 67 |

ÍNDICE DE FIGURAS:

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Esquema del Sistema Radiante..... | 14 |
| Figura 2. Canales de la banda WIFI (Cisco Press, 2008) | 17 |
| Figura 3. Espectro de OFDM (Cisco Press, 2008)..... | 18 |
| Figura 4. Estructura de una Línea Microstrip (Pozar D. , 2009)..... | 20 |
| Figura 5. Alimentación por línea microstrip (Pozar D. M., 2012) | 21 |
| Figura 6. Campos eléctricos y magnéticos en una línea microstrip (Pozar D. , 2009)..... | 21 |
| Figura 7. Filtro Chebyshev con Líneas de Transmisión de orden 5 | 26 |
| Figura 8. Parámetros S DEL Filtro Chebyshev con Líneas de Transmisión de orden 5..... | 27 |
| Figura 9. Parámetros S del Filtro Chebyshev Optimizado con Líneas de Transmisión | 27 |
| Figura 10. Herramienta para pasar a Líneas Microstrip | 28 |
| Figura 11. Filtro Chebyshev con Líneas de Microstrip de orden 5 | 28 |
| Figura 12. Filtro Chebyshev Optimizado con Líneas de Microstrip de orden 5..... | 29 |
| Figura 13. Filtro Chebyshev Optimizado con Líneas de Microstrip de orden 5..... | 29 |
| Figura 14. Filtro Chebyshev Optimizado con Líneas de Microstrip en 2D..... | 30 |
| Figura 15. Filtro impreso desde el Autocad..... | 30 |
| Figura 16. Diseño del Filtro sobre la Placa de Cobre a través de transferencia térmica..... | 30 |
| Figura 17. Placa de cobre dentro del ácido | 31 |
| Figura 18. Fabricación del Filtro Chebyshev Optimizado con Líneas de Microstrip..... | 31 |
| Figura 19. Antena Parche | 32 |
| Figura 20. Acoplador Microstrip en T..... | 33 |
| Figura 21. Parámetros S del Adaptador de 4 Antenas | 34 |
| Figura 22. Arreglo de 4 Antenas | 34 |
| Figura 23. Frecuencia de Operación Antena | 35 |
| Figura 24. Fabricación del Arreglo Microstrip | 35 |
| Figura 25. Ambiente de simulación para comprobar el rendimiento del sistema radiante | 40 |
| Figura 26. Paquetes Perdidos en la Transmisión..... | 42 |
| Figura 27. Velocidad de Transmisión..... | 43 |
| Figura 28. Tiempo de Transmisión en Segundos..... | 44 |
| Figura 29. Niveles de Potencia | 45 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Resumen del estándar 802.11 | 19 |
| Tabla 2. Características del Substrato | 24 |
| Tabla 3. Características del Filtro Microonda..... | 24 |
| Tabla 4. Valores de los elementos para filtros Chebyshev 0.5 db..... | 25 |
| Tabla 5. Fórmulas para Calcular un filtro con Líneas Acopladas | 25 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 6. Valores del Filtro de Líneas Acopladas | 26 |
| Tabla 7. Operacionalización de Variables..... | 38 |
| Tabla 8. Características de la Access Point | 38 |
| Tabla 9. Características de la Tarjeta de Red..... | 39 |
| Tabla 10. Paquetes Capturados durante la Transmisión..... | 42 |
| Tabla 11. Velocidad de Transmisión..... | 43 |
| Tabla 12. Tiempo de Transmisión..... | 44 |
| Tabla 13. Potencia de Recepción..... | 44 |
| Tabla 14. Pérdidas en el Espacio Libre | 45 |
| Tabla 15. Presupuesto de Potencia desde el Transmisor al Receptor | 46 |
| Tabla 16. Presupuesto de Potencia desde el Receptor al Transmisor | 46 |
| Tabla 17. Resumen de los Pesos..... | 47 |
| Tabla 18. Resumen de los Peso del 100%..... | 47 |
| Tabla 19. Variabilidad | 48 |
| Tabla 20. Resumen de las Variables Obtenidas..... | 50 |
| Tabla 21. Variables de los Datos Esperados | 50 |
| Tabla 22. Comprobación de Hipótesis..... | 50 |

INTRODUCCIÓN

La red inalámbrica es un sistema de comunicación de datos que proporciona conexión inalámbrica entre equipos (Cisco Press, 2008) situados dentro del área de cobertura. Las redes inalámbricas transmiten y reciben datos a través de ondas electromagnéticas, además siguen experimentando un gran crecimiento, porque permite a los usuarios varias facilidades y posibilidades para acceder a la red, desde lugares inhóspitos.

El sistema es una parte muy importante, porque permite proporcionar una mejor cobertura y capacidad de acceso a la red WiFi¹. Hoy en día, los puntos comunes de acceso Wifi utilizan antenas tipo látigo con un patrón de radiación omnidireccional (Kaswiati, 2012), con una sola polarización.

Una parte fundamental del sistema radiante es la antena ya que facilita que las señales electromagnéticas que viaja dentro de la guía de onda y salgan al espacio libre, se podría decir que la antena es un acoplador entre el espacio libre y el sistema de comunicaciones. El arreglo de antenas se considera como un conjunto de varias antenas idénticas distribuidas (Xu, Dept. of Electron. Sci., Zhao, Yu, & Zhang, 2014), se comporta como una única antena con un diagrama de radiación compacto.

Los filtros son usados para separar o combinar diferentes frecuencias (Pozar, 2009), el objetivo principal es dejar pasar las señales deseadas y atenuar las señales no deseadas. Por las características del espectro electromagnético, es que los filtros son imprescindibles, ya que nos permiten seleccionar las señales de microondas dentro de los límites espectrales designados. Considerando un

¹ *Wireless Fidelity*

mejor comportamiento, disminución de las medidas, menor peso y bajo costo, tomando en cuenta los requisitos y las especificaciones dadas, en la teoría de las líneas de transmisión o guías de onda. Las líneas de transmisión usadas frecuentemente para la fabricación de estos filtros son: stripline, línea microstrip, línea coaxial, guía de onda circular, guía de onda rectangular, guía de onda con ridge y guía de onda con dieléctrico (Pozar, 2009).

1. CAPÍTULO I:

MARCO REFERENCIAL

1.1. TEMA

Análisis de rendimiento-eficiencia para dispositivos inalámbricos por medio de un arreglo de antenas en las frecuencias de 2.4 GHz

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los sistemas inalámbricos, usan la radiación electromagnética para la comunicación, pero se ve afectada por algunos aspectos de la propagación de las ondas de radio:

- Reflexión
- Refracción
- Difracción
- Absorción (Sadiku, 2003)

Estos fenómenos hacen que las señales se degraden, desfasen, atenúen. Las señales al chocar con un obstáculo, hace que éstas se atenúen, depende del tipo

de material al que incide, además la atenuación es mucho mayor cuando la frecuencia aumenta (Bará, 1994). Por esta razón a frecuencias altas existe mayor atenuación.

La reflexión de la onda al incidir con un obstáculo hace que la onda tenga retrasos de propagación y toma varias rutas al llegar al receptor, produciendo interferencia (Sadiku, 2003). La interferencia multitrayectoria es considerable al aumentar la velocidad de transmisión, bajando el rendimiento de la comunicación.

Las redes WLAN² están sujetas a un escenario con diversos obstáculos en espacio como las paredes, electrodomésticos, etc., ya que el modelo de propagación que utiliza para recibir la señal se encuentra basado en la propagación multitrayecto.

Otro aspecto negativo muy importante es que utiliza la banda ISM³ sin licencia que provoca que varias tecnologías compartan el espectro, a pesar de que el espectro y las normas de potencia son bastante eficaces para que múltiples usuarios usen las mismas frecuencias, esto no es suficiente. Al tener múltiples usuarios se produce auto-interferencia (múltiples usuarios de la misma aplicación), tiene por efecto elevar el ruido en la banda de transmisión, resultando una gran degradación del rendimiento de la red. La interferencia es un fenómeno muy grave, debido a que los dispositivos (puntos de acceso) de diferentes aplicaciones utilizan la misma banda del espectro electromagnético, todos al mismo tiempo y situados uno cerca del otro.

Las consecuencias producidas por los niveles de interferencia, en las redes WLAN son:

- Al existir altos niveles de interferencia hace que aumente el número de paquetes perdidos.

² *Wireless Local Area Network*

³ Industrial, Scientific and Medical

- Disminución en la tasa de transmisión (Bagué, 2014), ya que se tienen que retransmitir los paquetes de datos, erróneos o perdidos.
- Retrasos en la transmisión de datos, debido a colisiones que se producen en tiempo y frecuencia.
- Interrupciones en la conexión.
- Pausas o interrupciones en datos de transmisión.
- Erráticas conductas mientras existe la conexión.
- Además, los usuarios no pueden acceder a la red WLAN (Bagué, 2014), durante un periodo de tiempo indefinido, debido a que la señal interferente es más intensa.

Al trabajar con equipos de redes inalámbricos que operan a las mismas frecuencias y se encuentran dentro de la misma planta de un edificio, esto provoca que el sistema de comunicaciones presente en el receptor una probabilidad de error que sea menor a 10^{-6} (Bagué, 2014). El modelo de propagación para la red WLAN incluye dentro de su ambiente muebles, estructuras de las oficinas, la separación entre APs⁴, provocando mayores niveles de interferencia en el receptor, de tal manera que se reduce la calidad de servicio esperado.

1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Para resolver los problemas existentes en las redes WLAN, se considera obtener un mejor rendimiento en el sistema radiante.

Uno de los componentes del sistema radiante es la antena microstrip formada por una matriz, utilizando un phased-array (Kaswiati, 2012), que proporcionará un diseño de tamaño pequeño, peso ligero, de bajo costo, alta eficiencia, y sencillos métodos de fabricación e instalación. Para adaptar cada una de las antenas a una señal única se utilizarán divisores de potencia (Pozar, 2009)

⁴ Access Points

aplicando la teoría de las líneas de transmisión para adaptar cada una de estas señales. Las líneas de transmisión se basan en la transferencia máxima de energía a través de las ondas electromagnéticas de un punto a otro. Se utilizan dos conductores y un dieléctrico para propagar tensiones, corrientes campos electromagnéticos en el sustrato.

Otra componente fundamental para el sistema es un filtro microstrip con líneas acopladas (Bara & Bará, 1994) que permitirá eliminar la interferencia de otros canales, de esta manera será más selectivo.

El incremento del número de usuarios y dispositivos que se conectan a la red inalámbrica provoca descargas lentas y la disminución en general del rendimiento. Al mejorar el sistema radiante, se conseguirá aumentar la velocidad de transmisión, ya que disminuirá la retransmisión de paquetes, se eliminará las interrupciones o pausas, el cliente inalámbrico puede acceder a la red WLAN por tiempo indefinido.

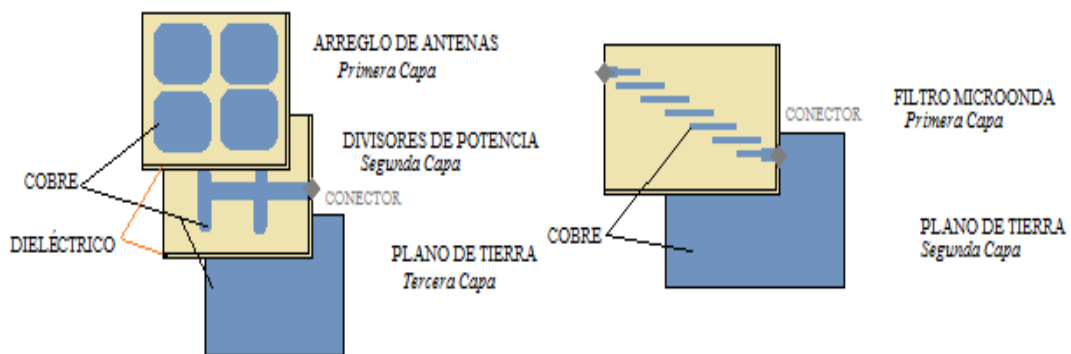


Figura 1. Esquema del Sistema Radiante
Fuente: Autor

En la figura 1, se observa el diagrama del sistema radiante considerando la tecnología microstrip, conformado por un arreglo de antenas y divisores de potencia que adaptan la señal al conector de 50Ω . En la segunda parte se observa un filtro microonda microstrip, que filtran la señal de entrada y que está formado por dos conectores de 50Ω .

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo General

- ✓ Diseñar e implementar un sistema radiante que permita mejorar el alcance de la red, a través del uso de herramientas de simulación

1.4.2. Objetivos Específicos

- ✓ Diseñar el sistema radiante en la frecuencia seleccionada, utilizando los principios de la teoría electromagnética.
- ✓ Optimizar el sistema de radiación a través del uso de herramientas de simulación para conseguir que la frecuencia de oscilación sea la adecuada.
- ✓ Análisis de las pruebas y resultados obtenidos del sistema radiante diseñado para medir los índices planteados

2. CAPÍTULO II:

MARCO TEÓRICO

2.1. REDES INALÁMBRICAS

Los sistemas inalámbricos están formados por transmisores y receptores y el canal de comunicación es el espacio libre. Son tecnologías que tienen un gran crecimiento a nivel mundial, por la facilidad de conexión.

2.2. DESCRIPCIÓN DEL ESTÁNDAR IEEE 802.11

El inicio del estándar comenzó con la IEEE⁵ que designa una comisión de trabajo para desplegar una tecnología en las bandas de 2.4 y 5 GHz (Cisco Press, 2008), dando lugar al estándar 802.11. Fue la iniciación del desarrollo de varios estándares inalámbricos. Las ventajas que presentan al trabajar con estas frecuencias son: al trabajar en la banda ISM⁶, no requiere licencias, fáciles de ser implementadas. Pero al trabajar en esta banda presenta interferencia por proximidad, otras aplicaciones como bluetooth, zigbee, hornos microonda. La potencia de emisión es limitada por

⁵ Institute of Electrical and Electronics Engineers

⁶ Industrial Scientific and Medical

la cobertura y el ancho banda estrecho hace que se determine canales como se observa en la figura 2.

La tecnología inalámbrica por las novedades, prestaciones que presentan gran crecimiento adquiriendo éxito sin precedentes. Los factores que llevaron a tener gran incidencia son: el uso del espectro debe ser eficaz, despliegue a cortas distancias, es de fácil integral, bajo coste. El gran reto es conseguir una amplia cobertura con potencias de emisión aceptables.

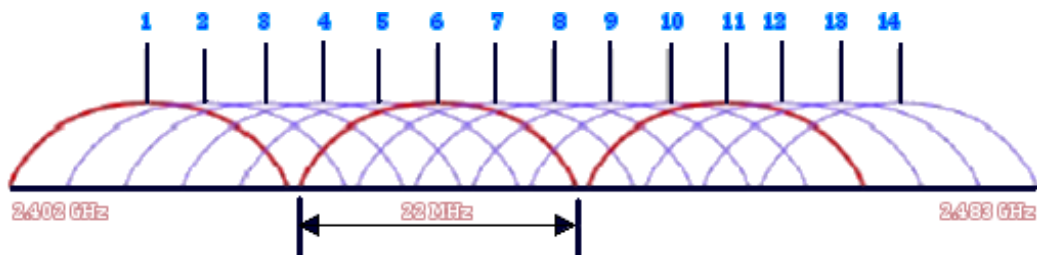


Figura 2. Canales de la banda WIFI (Cisco Press, 2008)

El estándar 802.11 establece las capas inferiores del modelo OSI para la conexión de las redes inalámbricas que utilizan el espacio libre como medio de comunicación y se define:

- La capa física que ofrece distintos tipos de codificación de información
- La capa de enlace de datos que se divide en: la capa de control de enlace lógico (LLC) y control de acceso al medio (MAC).

En la capa física se define la modulación utilizada por las señales de radio y la codificación de los datos. En la capa de enlace de datos se encarga de la interfaz entre el equipo y la capa física, es decir el método, reglas para el acceso al medio muy parecido al uso del estándar Ethernet.

El estándar 802.11 define las normas de funcionamiento de las redes inalámbricas WLAN⁷, así como la arquitectura con el criterio del modelo OSI⁸. Las redes WLAN son redes que cubren distancias aproximadas de 10 a 100 metros. Esta tecnología

⁷ Wireless Local Area Network

⁸ Open System Interconnection

alcanza velocidades de transmisión d hasta 11Mbps, los dispositivos tienen mayor eficiencia para brindar un abastecimiento de potencia a las computadoras personales.

La primer estándar 802.11a la frecuencia de operación se encuentra a 5GHz con las ventajas de que existe menos congestión, interferencia y alcance de 50 metros, 12 canales separados. Utiliza OFDM⁹, separada por 48 portadoras de 20MHz de ancho de banda por canal, y alcanzar velocidades de transmisión en los rangos de 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 o 54 Mbps.

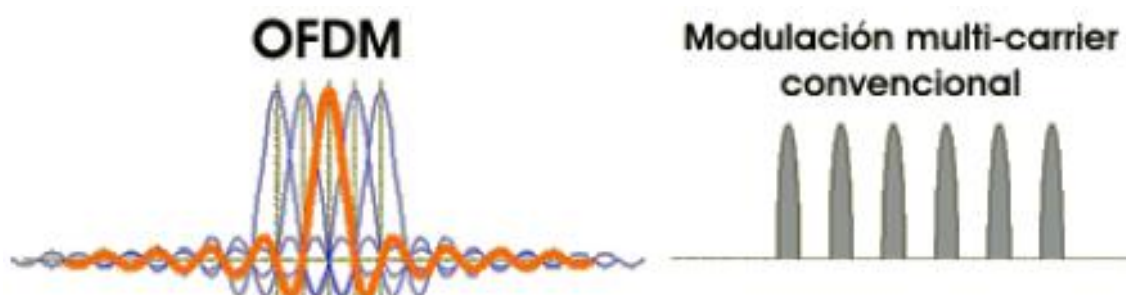


Figura 3. Espectro de OFDM (Cisco Press, 2008)

El estándar 802.11b es la base para la mayoría de las redes WLAN que existen en la actualidad, y la frecuencia de operación es 2.4GHz. Utiliza la modulación DSSS¹⁰ junto con la codificación CCK¹¹ con un ancho de banda de 30MHz.

Es bastante utilizado según la zona geográfica, y distribuido en los diferentes canales. El ancho de banda de la señal 22MHz (Cisco Press, 2008), la banda de separación es de 5MHz por esta razón se debe considerar una separación de 5 canales por lo menos para evitar la interferencias entre canales adyacentes. Generalmente se recomienda los canales 1, 6 y 11 o también los canales 1, 5, 9 y 13, ver figura 2.

El estándar 802.11g opera en la banda 2.4GHz, el ancho de banda es de 30MHz, velocidades de transmisión de del doble que los estándares anteriores.

⁹ Orthogonal Frequency Division Multiplexing

¹⁰ Direct Sequence Spread Spectrum

¹¹ Complementary Code Keying

Además el estándar IEEE 802.11 define los protocolos que utilizan: la capa MAC¹² mediante el proceso de escuchar sin detectar la de colisión CSMA/CA¹³ y la capa física para la conectividad de la red WLAN.

En la tabla 1 se observa un resumen del estándar 802.11 con sus variaciones y sus principales características.

Tabla 1. Resumen del estándar 802.11

| ESTÁNDAR | FRECUENCIA DE OPERACIÓN | MODULACIÓN | VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN | DESCRIPCIÓN |
|----------|-------------------------|-----------------|--------------------------|----------------------------------------------------------|
| 802.11a | 5GHz | OFDM | 54 Mbps | 8 Canales no solapados |
| 802.11b | 2.4 GHz | DSSS, CCK | 11Mbps | 14 Canales solapados |
| 802.11g | 2.4 GHz | OFDM, DSSS, CCK | 54 Mbps | 14 Canales solapados, compatible con el estándar 802.11b |
| 802.11n | 2.4 GHz | OFDM | 360/ 540 Mbps | Se agrega MIMO ¹⁴ |

Fuente: (Cisco Press, 2008)

2.3. TECNOLOGÍA MICROSTRIP

La tecnología microstrip tiene un gran auge por el tamaño reducido que presenta, esto permite que tenga varias aplicaciones como: aviación, aeronáutica, dispositivos móviles, comunicaciones inalámbricas, microondas. Las ventajas de esta tecnología se centran en miniaturizar los dispositivos, tanto en tamaño y peso, fáciles de integrar por su forma planar, fácil de ser adaptadas. Las desventajas que se presenta en una microstrip en relación con la guía de onda se puede definir: baja capacidad de manejo de energía y que existe mayor pérdida.

En la actualidad se usan bastante en los dispositivos de microondas como: antenas, acopladores, filtros, divisores (Bará, 1994), que pueden ser implementados por componentes metalizados sobre el sustrato.

¹² Media Access Control

¹³ Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance

¹⁴ Multiple-Input and Multiple-Output

La estructura de una microstrip se compone por una línea conductora con un ancho W , largo L y un grosor t (Liao, 2000), que se encuentra sobre un sustrato dieléctrico con constante dieléctrica ϵ_r y un grosor h (Pozar D. , 2009), en la parte inferior se encuentra el conductor, que define como el plano de tierra. En la figura 4 se puede apreciar la configuración de la estructura de una microstrip.

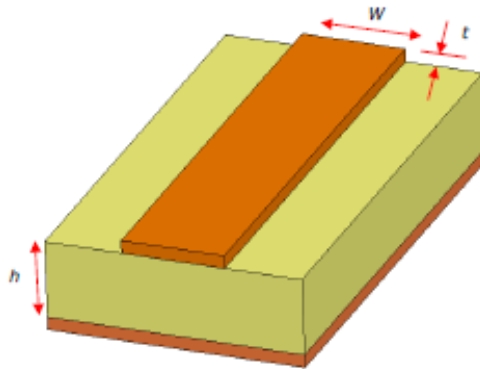


Figura 4. Estructura de una Línea Microstrip (Pozar D. , 2009)

Una línea microstrip se compone de los siguientes parámetros: velocidad de propagación y cabe destacar que no depende de las propiedades del material, la permitividad o constante dieléctrica ϵ_r y la permeabilidad μ . Todos estos factores hacen que dependan las dimensiones de la estructura.

2.3.1. Técnicas de Alimentación

La parte de la alimentación de transferencia de energía una de las técnicas es la de con contacto físico denominada 'line feed'

Alimentación por línea microstrip (Pozar D. , 2009)

Esta técnica consiste en conectar la alimentación de la línea microstrip a una impedancia de 50Ω sobre el sustrato. Realizando una adaptación de $\lambda/4$, esta técnica es fácil de calcular, fabricar y se añade dentro del mismo sustrato. En el diseño de las antenas microstrip es conveniente tener un sustrato más grueso de lo común para conseguir mayores anchos de banda. Cabe destacar que al usar el acople sobre la misma capa provoca radiaciones espurias y se comporta como una

antena. Es por esta razón que se diseñaron los acoples en la capa intermedia de cobre.

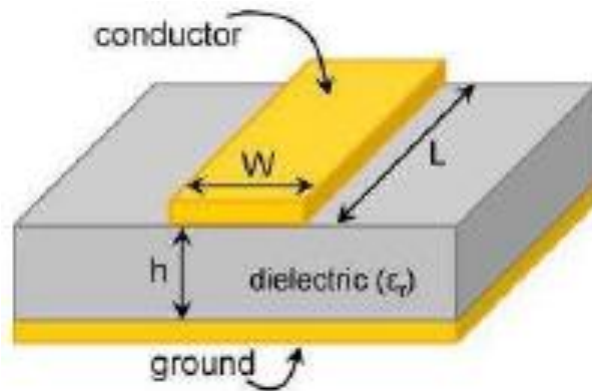


Figura 5. Alimentación por línea microstrip (Pozar D. M., 2012)

2.3.2. Principios de Funcionamiento

Una línea de transmisión microstrip se encuentra conformada por un conductor separando por un dieléctrico sobre un plano de masa o tierra. El modo fundamental que trabaja esta tecnología es quasi-TEM¹⁵, estando la mayor parte del campo en el dieléctrico, como se observa en la figura 6. El dieléctrico debe ser delgado la altura debe estar en el rango de $0.003\lambda < h < 0.05\lambda$ para tratar de evitar fugas y ondas superficiales que afecten con la frecuencia de operación. Otro factor que se debe considerar es la constante dieléctrica que se debe encontrar entre $3 < \epsilon_r < 10$ para que las líneas de campo eléctrico y magnético se encuentren dentro del dieléctrico de la microstrip.

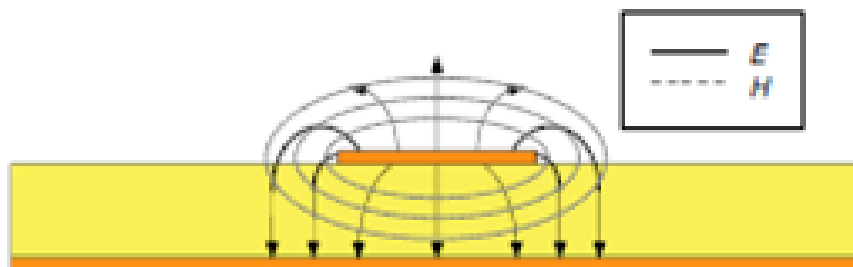


Figura 6. Campos eléctricos y magnéticos en una línea microstrip (Pozar D. , 2009)

¹⁵ Transverse Electromagnetic Mode

2.3.3. Análisis de la Constante Dieléctrica Efectiva, Impedancia Característica

Para determinar las características de una línea de transmisión microstrip se define por dos parámetros: constante dieléctrica efectiva ϵ_r y la impedancia característica Z_0 , estas variables son calculadas en base al análisis casi-estático (Bará, 1994). En el análisis casi-estático se debe considerar una línea de transmisión TEM con conductores muy delgados $t \rightarrow 0$ (Liao, 2000) que tienden a cero, las expresiones que se aproximan son:

✓ **Si $W/h \leq 1$** , se define:

Constante dieléctrica:

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[\left(1 + 12 \frac{h}{W} \right)^{-0.5} + 0.04 \left(1 - \frac{W}{h} \right)^2 \right]$$

Impedancia característica:

$$Z_0 = \frac{\eta}{2\pi\sqrt{\epsilon_{re}}} \ln \left[\frac{8h}{W} + 0.25 \frac{W}{h} \right]$$

Donde la impedancia de onda en el espacio libre, se define por $\eta = 120\pi \Omega$ que es la impedancia en el vacío.

✓ **Si $W/h \geq 1$** se define:

Constante dieléctrica:

$$\epsilon_{re} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{h}{W} \right)^{-0.5}$$

Impedancia característica:

$$Z_0 = \frac{\eta}{\sqrt{\epsilon_{re}}} \left[\frac{W}{h} + 1.393 + 0.677 \ln \left(\frac{W}{h} + 1.444 \right) \right]^{-1}$$

Donde la constante efectiva del dieléctrico ϵ_r

2.3.4. Longitud de Onda y Longitud Dieléctrica

En base a la constante dieléctrica calculada en base a las características del substrato se procede a calcular la longitud de onda de la microstrip en base al modo cuasi-TEM, y determinado por la siguiente ecuación:

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{re}}}$$

La velocidad de propagación en la línea microstrip está dada por λ_0 es la longitud de onda en el espacio libre, f es la frecuencia de operación.

$$v_p = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_{re}}}$$

La constante dieléctrica ϵ_r , el ancho de la línea W y la altura del dieléctrico h (**Bará, 1994**), definen la frecuencia de corte en una línea microstrip se observa en la siguiente ecuación:

$$f_c = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}(2W + 0.8h)}$$

2.4. FILTROS MICROSTRIP

Una microstrip se considera como una línea de transmisión eléctrica que usa una placa de circuito impreso.

Un resonador a altas frecuencias toma el lugar del conjunto de inductancias y capacitancias empleadas a frecuencias más bajas en circuitos resonante o sincronizados (Rodolfo, 2014). El modelo de una línea de transmisión se representa por ranuras. Los filtros se usan para seleccionar o rechazar señales a diferentes frecuencias, en este caso a microondas, dependiendo de la banda de paso, el filtro se puede clasificar en paso bajo, paso alto, paso banda y banda eliminada (Bará, 1994).

Según los tipos de respuesta generan la función de su orden, es decir a mayor orden, tiene mayor selectividad, con el inconveniente de que presenta mayor tamaño. El orden del filtro está directamente relacionado con el número de elementos reactivos presentes en el circuito, generalmente en un filtro paso bajo puede considerarse que coincide con el número de elementos reactivos en el filtro (Hong, 2011).

2.4.1. Características del Substrato

Las características del substrato que se consideraron para el diseño de estas estructuras se encuentran en la tabla 2.

Tabla 2. Características del Substrato

| CARACTERÍSTICAS | VALOR |
|---------------------------------------|----------------------|
| Substrato: | FR-104 /G10 |
| Dieléctrico: | Fibra de Vidrio |
| Constante dieléctrica (ϵ): | 5.2 |
| Tangente de pérdidas (γ): | 0.015 |
| Espesor | 0.8128mm |
| Altura del dieléctrico(h): | 0.77724 mm |
| Conductor: | Cobre |
| Altura Conductor(t): | 0.01778 mm (1/2oz) |
| Frecuencias de resonancia: | 1 MHz |
| Longitud eléctrica: | $\lambda/4=90^\circ$ |

Fuente: Autor

2.4.2. Filtro de Chebyshev (Equal Ripple)

Este tipo de filtros (Equal Ripple), se obtiene a partir del polinomio para especificar las pérdidas de inserción, presenta un corte más marcado o definido, es decir presenta mayor selectividad. El filtro que se va a diseñar se presenta en la tabla 3. También se calcula la constante c.

Tabla 3. Características del Filtro Microonda

| CARACTERÍSTICAS | VALOR |
|---------------------------------------------|-------------|
| Frecuencia Central de Corte (ω_0) | 2.437 GHz |
| Frecuencia Inferior de Corte (ω_1) | 2.426 GHz |
| Frecuencia Superior de Corte (ω_2) | 2.448GHz |
| Ancho de Banda: | 22 MHz |
| Impedancia Característica de Entrada/Salida | 50 Ω |
| Tipo del Filtro: | Chebyshev |
| Orden del Filtro | 5 |
| Rizado en la Banda de Paso | 0.25dB |

Fuente: Autor

2.4.3. Diseño

Una vez determinada las especificaciones del PBC y de las características del filtro se procede a calcular el valor de Delta que sirve para normalizar el filtro. También se calcula \bar{C} .

$$\Delta = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\omega_0}$$

$$\Delta = \frac{2.448 \text{ GHz} - 2.426 \text{ GHz}}{2.437 \text{ GHz}}$$

$$\Delta = 0.0090$$

$$\bar{C} = \frac{\Delta\pi}{2}$$

$$\bar{C} = \frac{0.0090\pi}{2}$$

$$\bar{C} = 0.014137$$

En la tabla 4, se muestra los valores de los coeficientes normalizados según el orden del filtro y el ancho de banda deseado.

Tabla 4. Valores de los elementos para filtros Chebyshev 0.5 db

| n | g ₁ | g ₂ | g ₃ | g ₄ | g ₅ | g ₆ | g ₇ |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 1 | 0,0063249 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0,11265 | 0,11194 | 1,0063 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 0,23621 | 0,45344 | 0,23621 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0,31789 | 0,7065 | 0,71099 | 0,31588 | 1,0063 | 0 | 0 |
| 5 | 0,36819 | 0,85864 | 1,0125 | 0,85864 | 0,36819 | 1 | 0 |
| 6 | 0,39996 | 0,9508 | 1,1849 | 1,1774 | 0,95683 | 0,39744 | 1,0063 |
| 7 | 0,42086 | 1,0094 | 1,2873 | 1,3534 | 1,2873 | 1,0094 | 0,42089 |
| 8 | 0,43527 | 1,0485 | 1,352 | 1,456 | 1,4653 | 1,3434 | 1,0551 |
| 9 | 0,44551 | 1,0757 | 1,3951 | 1,5201 | 1,5674 | 1,5201 | 1,3951 |

Fuente: (Hong, 2011)

Bajo el orden del filtro 5, se selecciona 6 coeficientes, y se aplican las formulas de la tabla 5, según la posición del valor.

Tabla 5. Fórmulas para Calcular un filtro con Líneas Acopladas

| | Fórmula |
|---------------------|--------------------------------------------------------|
| Primer Valor | $\bar{J}_{01} = \sqrt{\frac{\bar{C}}{g_1}}$ |
| Valores Intermedios | $\bar{J}_{i,j+1} = \frac{\bar{C}}{\sqrt{g_i g_{i+1}}}$ |

| | |
|-------------|------------------------------------------------------------------|
| Valor Final | $\overline{J_{N,N+1}} = \sqrt{\frac{\overline{C}}{g_N g_{N+1}}}$ |
|-------------|------------------------------------------------------------------|

Fuente: (Hong, 2011).

Después de calcular los valores anteriores, se procede a calcular las impedancias pares e impares que contiene cada una de las líneas acopladas, usando las siguientes fórmulas:

$$\overline{Z}_0^e = \sqrt{1 + \overline{J}^2} + \overline{J} \quad \text{Impedancia Impar}$$

$$\overline{Z}_0^o = \sqrt{1 + \overline{J}^2} - \overline{J} \quad \text{Impedancia Par}$$

Se debe considerar que estas impedancias deben estar a una impedancia característica, es recomendable a 50Ω, ya que la mayoría de dispositivos se usa a esta impedancia. Además al usar este valor las medidas de las líneas microstrip son adecuadas. En la tabla 6 se puede observar un resumen de los cálculos obtenidos para el filtro con líneas acopladas.

Tabla 6. Valores del Filtro de Líneas Acopladas

| n | g _n | J _n | Z _{en} | Z _{on} | Z _{en} 50Ω | Z _{on} 50Ω |
|---|----------------|----------------|-----------------|-----------------|---------------------|---------------------|
| 1 | 0,368 | 0,196 | 1,215 | 0,823 | 60,766 | 41,141 |
| 2 | 0,859 | 0,025 | 1,026 | 0,975 | 51,277 | 48,755 |
| 3 | 1,013 | 0,015 | 1,015 | 0,985 | 50,766 | 49,245 |
| 4 | 0,859 | 0,015 | 1,015 | 0,985 | 50,766 | 49,245 |
| 5 | 0,368 | 0,025 | 1,026 | 0,975 | 51,277 | 48,755 |
| 6 | 1,000 | 0,196 | 1,215 | 0,823 | 60,766 | 41,141 |

Fuente: Autor

Con el uso de AWR, se procede a simular el filtro con líneas de transmisión, utilizando los componentes de los puertos (Port), líneas acopladas (CLIN), ver figura 8.

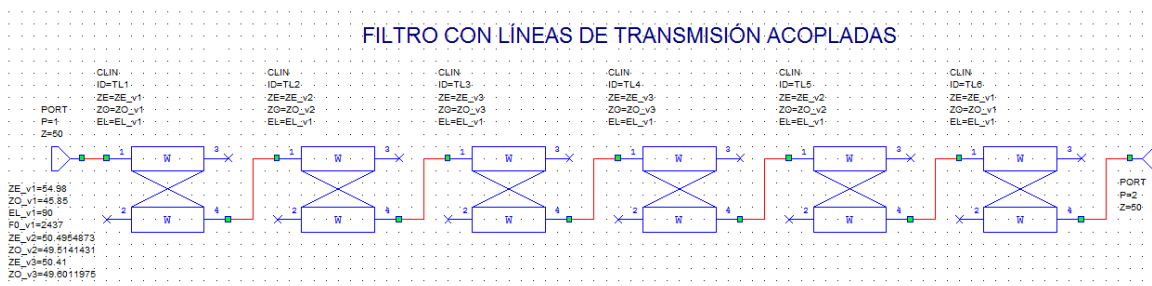


Figura 7. Filtro Chebyshev con Líneas de Transmisión de orden 5
Fuente: Autor

Al graficar los parámetros de transmisión y recepción se observa que el filtro no se encuentra a la frecuencia de corte y con el ancho de banda seleccionado, ver figura 9.

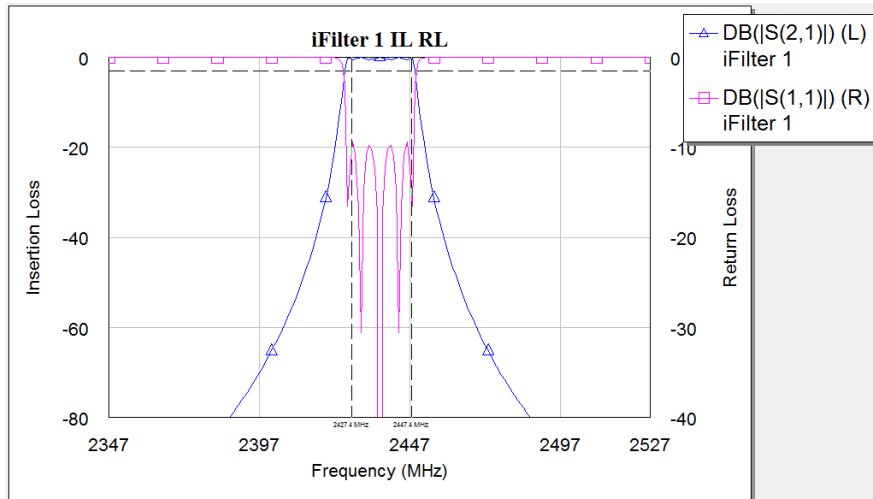


Figura 8. Parámetros S DEL Filtro Chebyshev con Líneas de Transmisión de orden 5
Fuente: Autor

En la figura 10, se observa el filtro optimizado, ya con las frecuencias de corte y ancho de banda deseado.

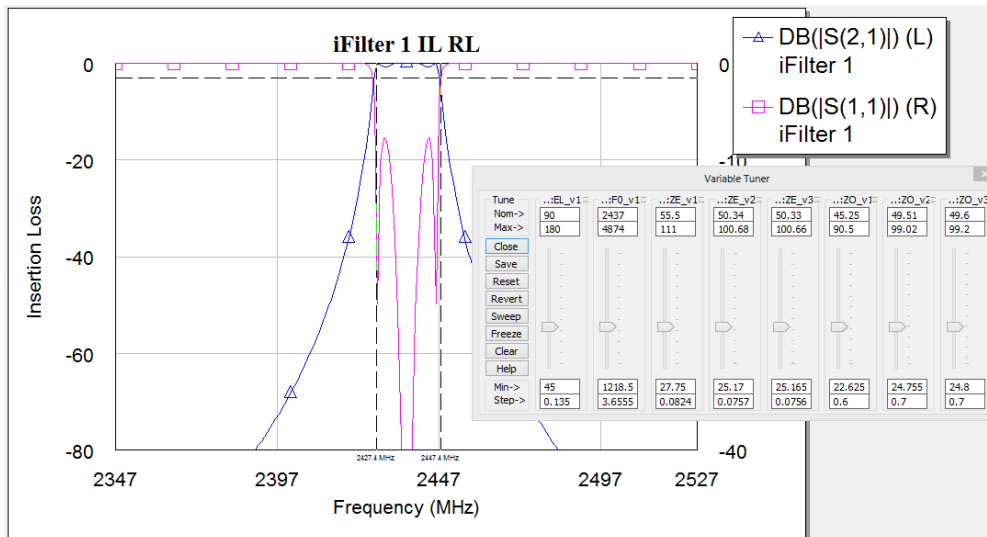


Figura 9. Parámetros S del Filtro Chebyshev Optimizado con Líneas de Transmisión
Fuente: Autor

Se procede a simular el filtro con líneas microstrip, pero se debe estimar que los efectos del substrato y las pérdidas que se introduce, y es necesario optimizar para alcanzar las

especificaciones requeridas anteriormente. Se usa la herramienta TXL líneas acopladas de propietario Ansoft Designer, se introduce los siguientes datos: frecuencia central de operación, características del sustrato, las impedancias pares e impares anteriormente calculadas. Entonces se obtiene cada una de las líneas microstrip que se determina por los valores de ancho (w), largo (p) y separación (s), ver figura 11.

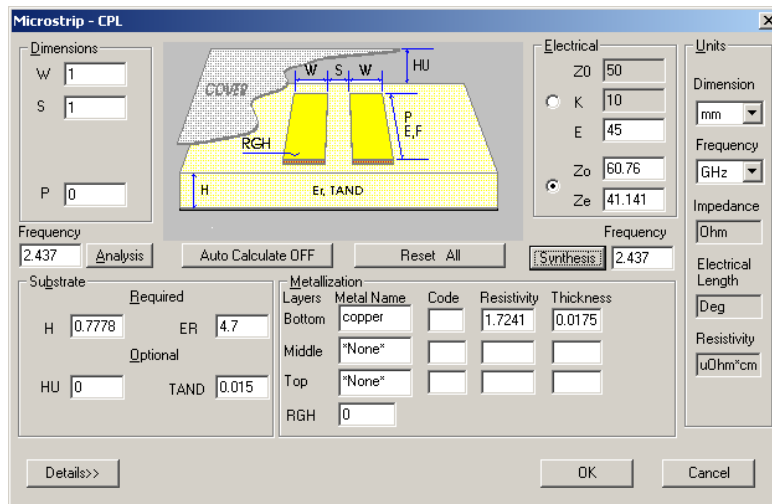


Figura 10. Herramienta para pasar a Líneas Microstrip
Fuente: Programa Ansoft Designer

En un nuevo diagrama se coloca el sustrato con las características deseadas. Se usa los siguiente elementos: sustrato (MSUB), puertos (port), línea microstrip (MLIN), líneas microstrip acopladas (MCLIN), codos (MBENDA), ver figura 12.

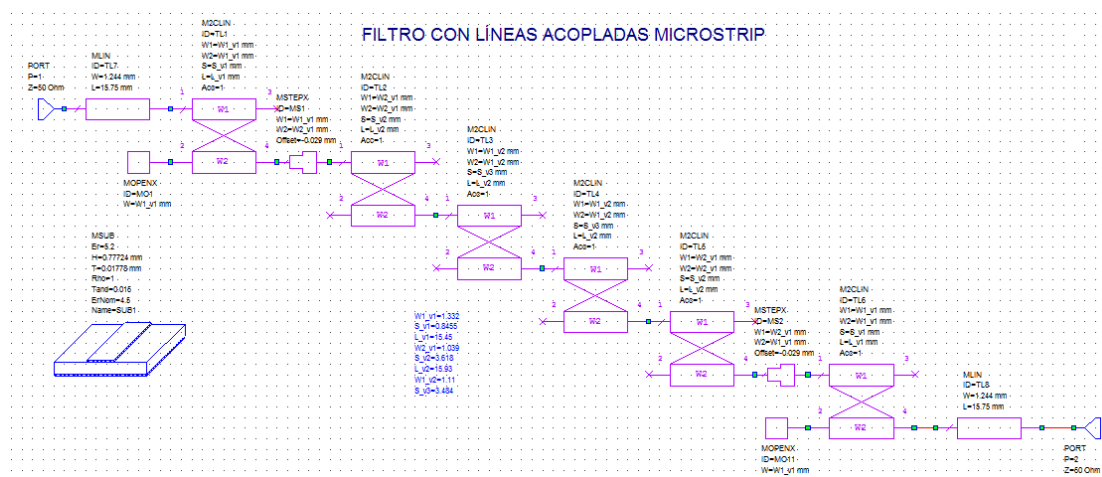


Figura 11. Filtro Chebyshev con Líneas de Microstrip de orden 5
Fuente: Autor

Al graficar los parámetros de transmisión y recepción que se observa en la figura 13, muestran que el sustrato utilizado presenta muchas pérdidas provocando un desplazamiento en la frecuencia. Nuevamente se optimiza hasta que cumpla con los parámetros requeridos.

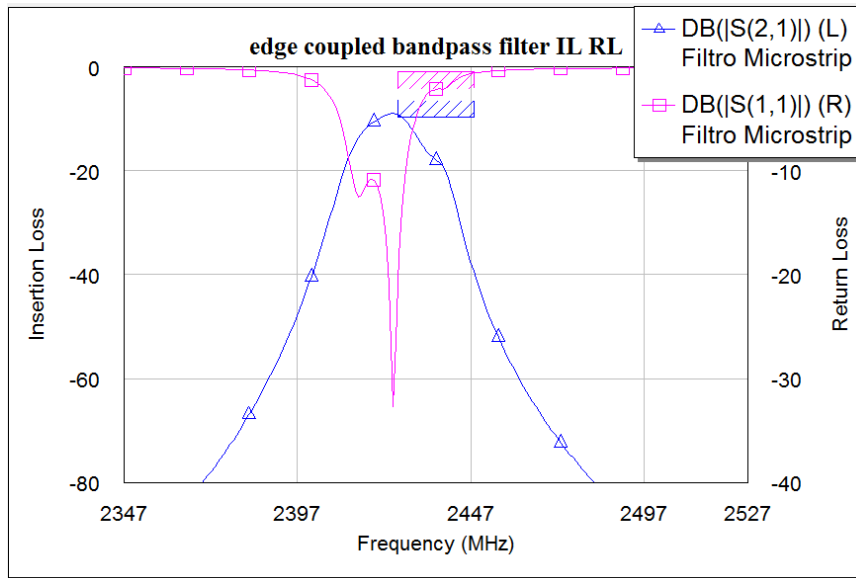


Figura 12. Filtro Chebyshev Optimizado con Líneas de Microstrip de orden 5
Fuente: Autor

La figura 14 muestra los parámetros S, una vez optimizado el filtro, además se consideran las medidas que van a tener cada una de las líneas microstrip.

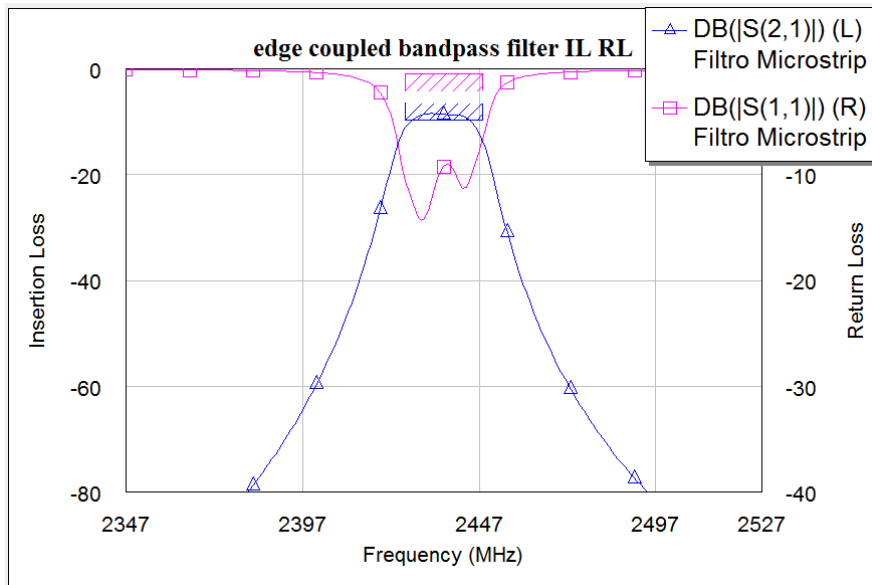
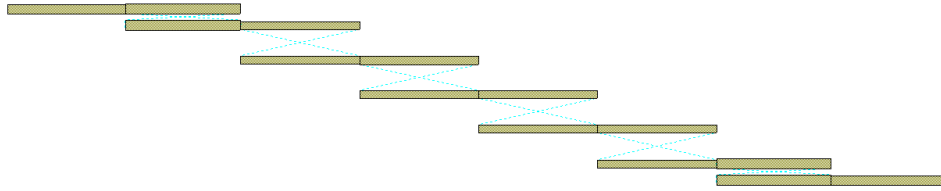


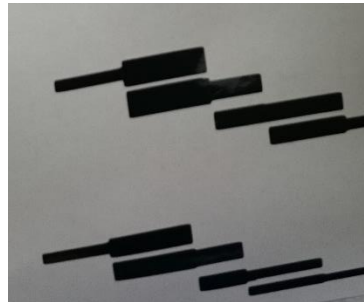
Figura 13. Filtro Chebyshev Optimizado con Líneas de Microstrip de orden 5
Fuente: Autor

Se añade acoples al inicio y final para los conectores de 50 Ω . El diagrama del filtro se puede observar en la figura 15.



*Figura 14. Filtro Chebyshev Optimizado con Líneas de Microstrip en 2D.
Fuente: Autor*

Para el proceso de impresión de la placa, primero se procede a graficar y pintar cada una de las líneas del diseño de la microstrip, en el programa AUTOCAD, ver figura 15.



*Figura 15. Filtro impreso desde el Autocad
Fuente: Autor*

Se imprime sobre el papel térmico el diseño del arreglo microstrip. Se procede a planchar el papel térmico sobre la placa de cobre, de tal manera que se vean cubiertas todas las líneas de negro, ver figura 16.



*Figura 16. Diseño del Filtro sobre la Placa de Cobre a través de transferencia térmica
Fuente: Autor*

Se prepara el ácido utilizando agua caliente y el percloruro de hierro, que se encarga de corroer el cobre de la placa que no se encuentra cubierto. Se procede a colocar la placa dentro de la solución por una hora, ver figura 17.



*Figura 17. Placa de cobre dentro del ácido
Fuente: Autor*

Se implementa el filtro según las características deseadas, se suelda un conector SMA hembra a la entrada y salida, se coloca dentro de una caja de acrílico para evitar para que los factores como la humedad, el polvo, modifiquen el comportamiento o se produzcan radiaciones e interferencias EM. Se puede observar en la figura 18.



*Figura 18. Fabricación del Filtro Chebyshev Optimizado con Líneas de Microstrip
Fuente: Autor*

2.5. ANTENA MICROSTRIP

Las antenas microstrip se diseñan usando el criterio de las líneas de transmisión o de los resonadores dependiendo de las características del sustrato dieléctrico (Collin, 2001). Consiste de un parche radiador que se encuentra en la parte superior fabricada con un conductor, un sustrato dieléctrico y por bajo del dieléctrico el plano a tierra que es un conductor. La forma del parche puede tomar cualquier figura. Generalmente es rectangular ya que presenta mayor ganancia aunque puede tener diseños más complejos. Este tipo de antenas son muy populares ya que se usa en aplicaciones como dispositivos inalámbricos, teléfonos celulares, GPS, comunicación satelital, etc. Algunas de las ventajas principales son: livianas, pequeño tamaño, perfil plano, bajo costo de fabricación, diseñadas a diferente frecuencia. Ver figura 19.

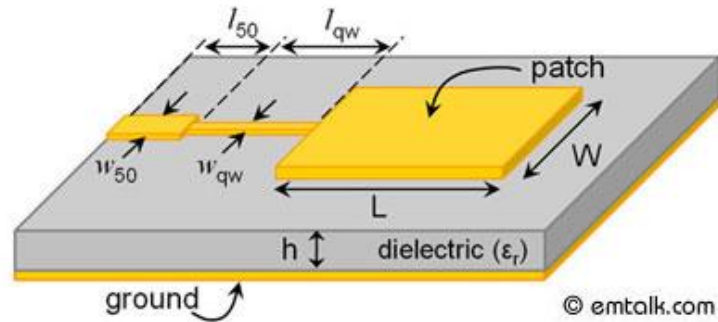


Figura 19. Antena Parche ¹⁶

Entre las desventajas principales desventajas que presentan son: ancho de banda limitado, baja ganancia, limitada potencia. Se diseña un arreglo de antenas para sobrepasar los límites expuestos anteriormente.

Se usan las mismas características del sustrato del el filtro microstrip, considerando como frecuencia central 2,437Ghz, se calcula el ancho (W) y largo (L) del parte rectangular aplicando las siguientes fórmulas:

$$W = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}}$$

$$W = 40.72mm$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \frac{h}{W}}} \right]$$

$$L = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\epsilon_{eff}}} - 0.824h \left[\frac{(\epsilon_{eff} + 0.3) \left(\frac{h}{W} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{eff} - 0.258) \left(\frac{h}{W} + 0.8 \right)} \right]$$

$$L = 48.66 mm$$

Se calcula la impedancia de la antena en un punto, los valores de R₁ (impedancia del conector 50Ω), R₂ (impedancia en el punto x del Parche).

¹⁶ <http://www.raymaps.com/index.php/e-field-of-a-patch-antenna/e-field-patch-antenna/>

$$x = \frac{L}{\pi} \sin^{-1} \sqrt{\frac{R_1}{R_2}}$$

$$x = 7.7525 \text{ mm}$$

Se procede a diseñar el acoplador en T en el programa AWR, que va a servir para alimentar cada una de las antenas con la misma corriente el arreglo de 4, ver figura 20.

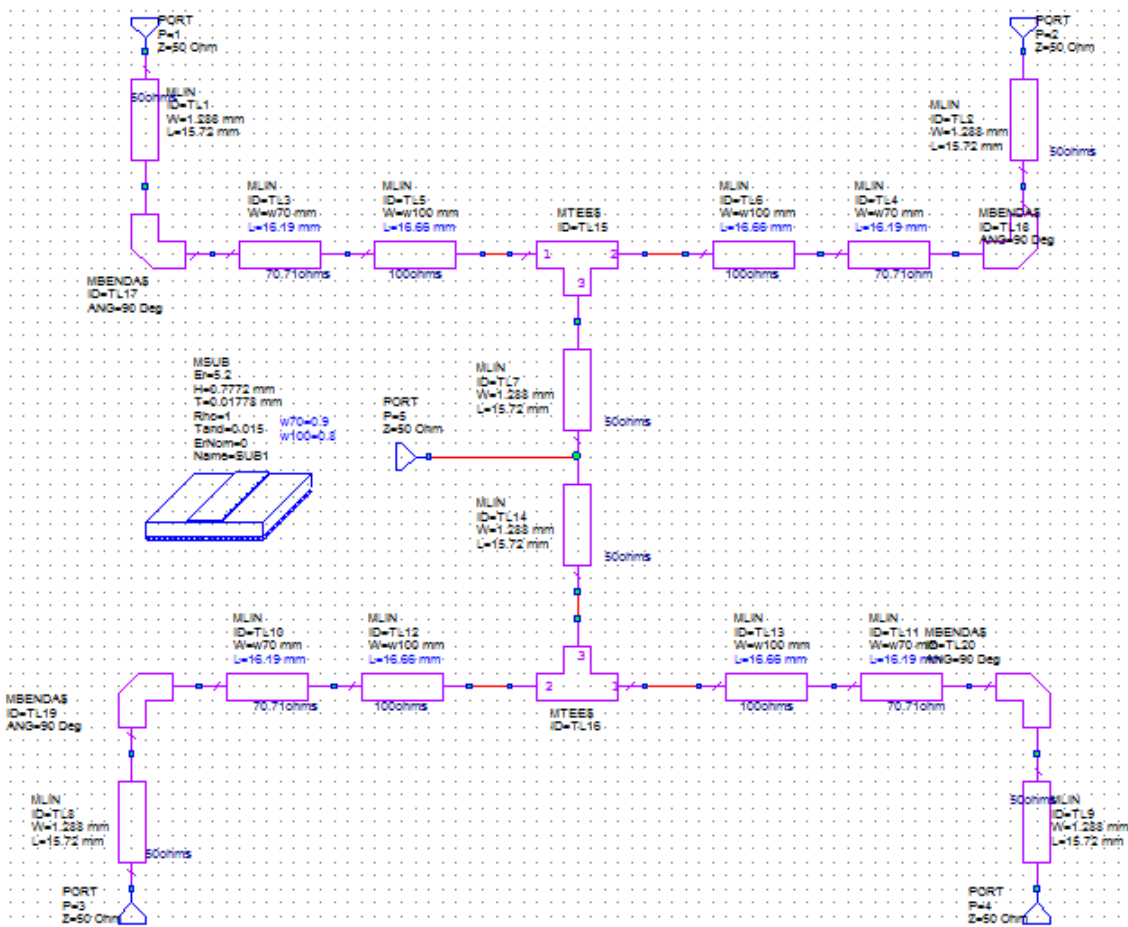


Figura 20. Acoplador Microstrip en T
Fuente: Autor

En la figura 21, se observa los parámetros de dispersión para el acople de las 4 antenas parche. Además todos estos valores se encuentran en esta frecuencia de operación.

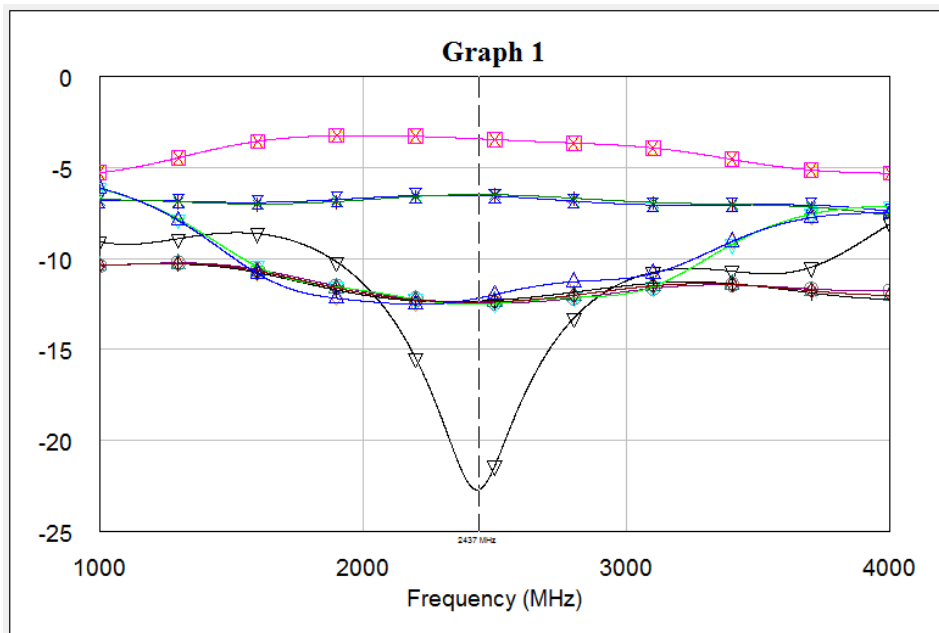


Figura 21. Parámetros S del Adaptador de 4 Antenas
Fuente: Autor

Se procede a realizar un modelo de 3 capas de cobre y dos de dieléctrico. El diagrama en tres dimensiones del arreglo de 4, se observa en la figura 22.

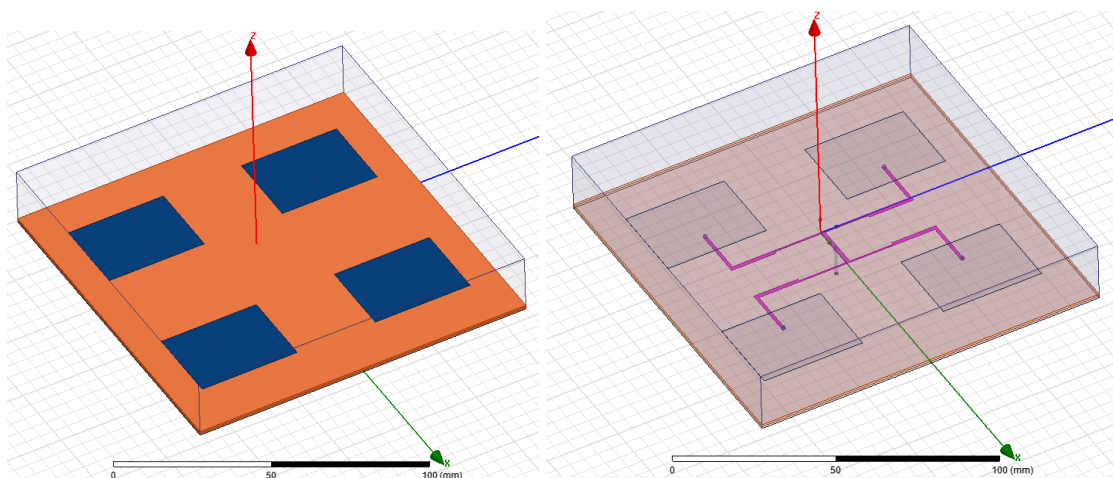


Figura 22. Arreglo de 4 Antenas
Fuente: Autor

En la figura 23, se observa la frecuencia de operación y el lóbulo de radiación del arreglo de 4 antenas microstrip.

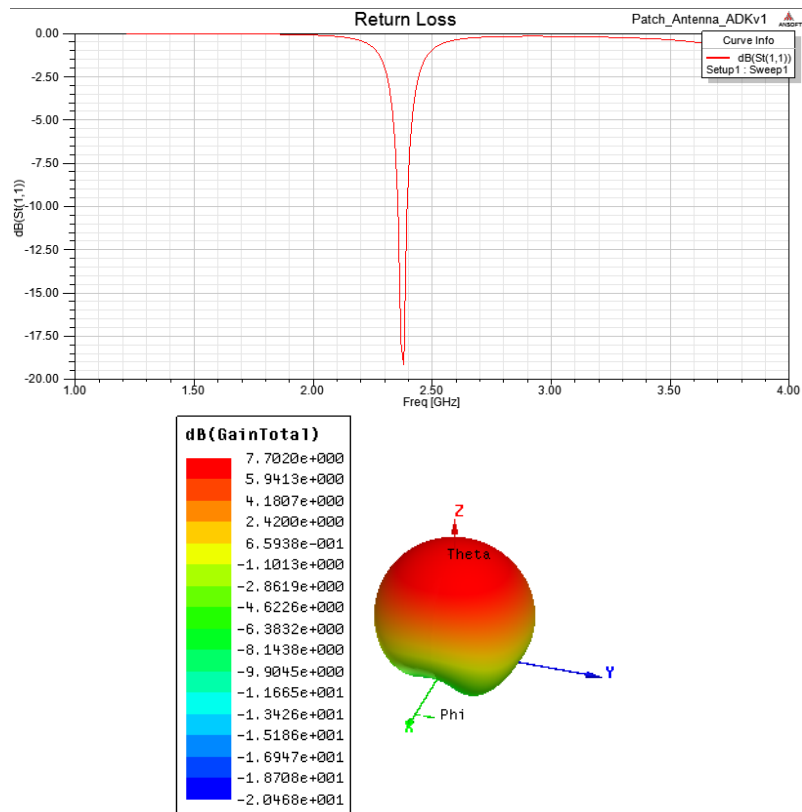


Figura 23. Frecuencia de Operación Antena
Fuente: Autor

Se fabrica la antena con las especificaciones determinadas, ver figura 24. Se suelda un conector SMA de 50Ω en la antena.



Figura 24. Fabricación del Arreglo Microstrip
Fuente: Autor

3. CAPÍTULO III:

MARCO METODOLÓGICO

3.1. TIPO DE ESTUDIO

En este estudio se utiliza un estudio descriptivo-explicativo, ya que se usa el análisis y mediciones de algunas variables con el fin de precisar el comportamiento del sistema radiante. Además se comprueba y explica el rendimiento de los sistemas móviles a la frecuencia de 2.4GHz.

3.2. MÉTODOS

3.2.1. Método Empírico Técnico

Se basa en la lógica empírica y que junto al método fenomenológico (Kaswiati, 2012), es un método para edificar el conocimiento en base a las experiencias. Las pruebas realizadas dan como lugar a datos empíricos que pueden ser resultados acertados y también los errores. Cabe destacar que en una investigación el producto final está sujeto a las experiencias, y se encuentran sujetos a procedimientos prácticos.

3.2.2. Observación

El método de la observación consiste en la utilización de los sentidos, de tal manera que se obtiene datos para la investigación. Se emplea en todas las fases de la investigación.

3.2.3. Medición

El método de medición es un proceso básico que permite comparar las magnitudes medidas varias veces, permitiendo encontrar un patrón. Además es un método de valoración directa ya que al realizar mediciones con los dispositivos el instrumento da la lectura. En este método se usa un analizador de red WIFI para medir tiempos, velocidades de transmisión.

3.3. Sistema de Hipótesis

El análisis de rendimiento-eficiencia para dispositivos inalámbricos por medio de un arreglo de antenas en las frecuencias de 2.4 GHz permitirá obtener una propuesta de mejora en el sistema radiante.

3.3.1. Variable independiente

El análisis de rendimiento-eficiencia para dispositivos inalámbricos por medio de un arreglo de antenas en las frecuencias de 2.4 GHz.

3.3.2. Variable dependiente

Permitirá obtener una propuesta de mejora en el sistema radiante.

3.4. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

En la tabla 7, se puede observar la operacionalización de variables y el instrumento para medir el rendimiento del sistema radiante.

Tabla 7. Operacionalización de Variables

| INSTRUMENTOS | CONCEPTO | INDICADORES | VARIABLES |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| El análisis de rendimiento - eficiencia para dispositivos inalámbricos por medio de un arreglo de antenas en las frecuencias de 2.4 GHz | Analizar el rendimiento de APs por medio de un conjunto de antenas simples unidas bajo ciertas condiciones, orientadas en una misma dirección. | Ancho de Banda | Sniffer Analizador de Espectros |
| | | Velocidad de transmisión | Sniffer |
| | | Paquetes transmitidos | Sniffer |
| | | Paquetes Perdidos | Sniffer |
| | | Jitter | Sniffer |
| Permitirá obtener una propuesta de mejora en el sistema radiante. | Mejorar la conectividad y la cobertura de los dispositivos inalámbricos. | Presupuesto de potencia | Cálculos |
| | | Características de los materiales | Datatsheets de los materiales |

Fuente: Autor

3.5. COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

El proceso de comprobación de la hipótesis en la investigación permite corroborar los hechos obtenidos concuerden con la hipótesis expuesta. Las hipótesis se verifican con la realidad y pueden ser aprobadas o rechazadas, y para esto se usa modelos de simulación, diseños experimentales y procedimientos estadísticos.

Para realizar este experimento se utilizan los equipos que se detallan en la tabla 8 y 9 para comprobar el rendimiento de la red.

- Access Point
-

Tabla 8. Características de la Access Point

| DATOS | VALORES |
|------------------------------------|----------------------------------|
| Marca: | Cisco |
| Modelo: | Linksys E2500 |
| Banda de frecuencias de operación: | 2.4 and 5 GHz |
| Especificaciones de equipo: | |
| Interfaces: | 1 x 10/100M WAN; 4 x 10/100M LAN |
| Potencia del Transmisor: | 1 a 256 mW (55mW por defecto) |
| Sensibilidad: | -77 dBm (54Mbps) |
| Antenas Internas: | 2 de 4 dBi |
| Potencia Consumo: | 12V, 1A |
| Interfaces: | 32 PORT e1, 16 Port E2 |
| Otras características: | Anexo A |

Fuente: <http://www.linksysinfo.org/index.php>

- Tarjeta de Red

Tabla 9. Características de la Tarjeta de Red

| EQUIPO | CARACTERÍSTICAS |
|------------------------------------|-----------------|
| Marca: | TP-LINK |
| Modelo: | TL-WN7200ND |
| Banda de frecuencias de operación: | 2.400-2.4835GHz |
| Especificaciones de equipo: | |
| Interfaces: | Mini USB |
| Potencia del Transmisor: | 16.5dBm |
| Sensibilidad: | -68dBm |
| Antena Interna | 5dBi |
| Impedancia de salida: | 50 Ω |
| Otras características: | Anexo B |

Fuente: www.tp-link.es

3.6. ANÁLISIS DEL EXPERIMENTO

Para comprobar el funcionamiento del sistema radiante se utilizará un analizador de red inalámbrica que se encargan de medir los parámetros: tiempo de transmisión, velocidad de transmisión, paquetes enviados. El analizador de red utilizado es el Colasoft Capsa 7, se configura de tal manera que capture solo tráfico TCP y UDP para intercambiar archivos con FTP. Para la conexión se usa TCP y para enviar los paquetes usa UDP sin confirmación. En el Anexo C consta una guía rápida de configuración del analizador de red.

Para medir el rendimiento del sistema WLAN (802.11 Wifi), se implementa un ambiente de simulación ideal. Consta de un Access Point, se ubica el servidor de FTP a 4 metros, el cliente se ubica a 15 metros. Se intercambia un archivo de **98.6 MB**. Los parámetros a ser evaluados con el analizador de red son: tiempo de duración, velocidad de transmisión, niveles de potencia. En la figura 25 se observa la ubicación de los equipos.

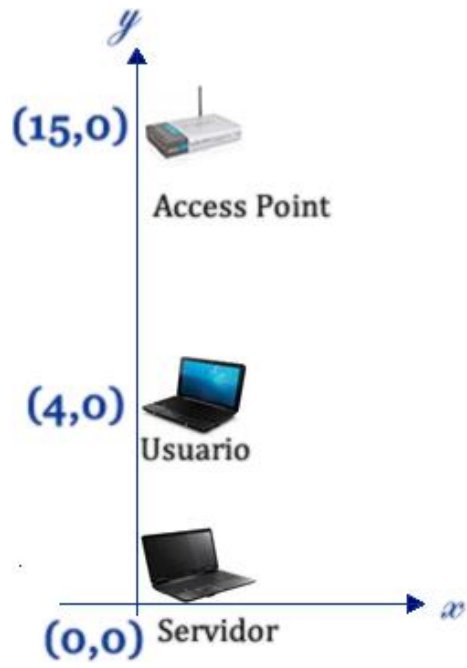


Figura 25. Ambiente de simulación para comprobar el rendimiento del sistema radiante
Fuente: Autor

4. CAPÍTULO IV:

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Para realizar el procesamiento de la información, se utiliza un analizador de redes que captura el tráfico de la red inalámbrica. Se analizó el rendimiento de la red considerando los siguientes es parámetros:

- Velocidad de transmisión
- Paquetes enviados, transmitidos, perdidos.
- Tiempo de transmisión

Los parámetros expuestos anteriormente son adquiridos por el analizador de red, observa una breve guía de la utilización, ver Anexo C.

Se define los escenarios siguientes:

- Ambiente A. Se utiliza el sistema radiante convencional de la red wifi, en este caso la tarjeta de red TP-Link. Este sistema tiene una ganancia de 5dBi.
- Ambiente B. Se utiliza un arreglo de antenas antes de ingresar la señal a la tarjeta de red.

- Ambiente C. En este experimento se añade un filtro microstrip para el canal 6 a parte del arreglo de antenas, y un ancho de banda de 22 MHz.

4.2. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Las pruebas se realizan con el analizador de red y el análisis de potencia; se van detallando cada uno de los valores obtenidos de los experimentos de acuerdo a las especificaciones anteriores.

4.2.1. Paquetes Intercambiados en la Transmisión

El sniffer utilizado muestra el tráfico total generado al copiar un archivo de 98.6 MB. Se obtienen los paquetes perdidos del tráfico capturado TCP estimado por el tamaño del archivo, ver Anexo D, E.

Tabla 10. Paquetes Capturados durante la Transmisión

| | Paq. Tx | Paq. Rx | Paq. Loss |
|------------|---------|---------|-----------|
| Ambiente A | 477 | 900 | 423 |
| Ambiente B | 677 | 743 | 66 |
| Ambiente C | 706 | 773 | 67 |

Fuente: Autor

En la tabla 10 y figura 26, se observa un resumen de los paquetes el momento de la transmisión del archivo.

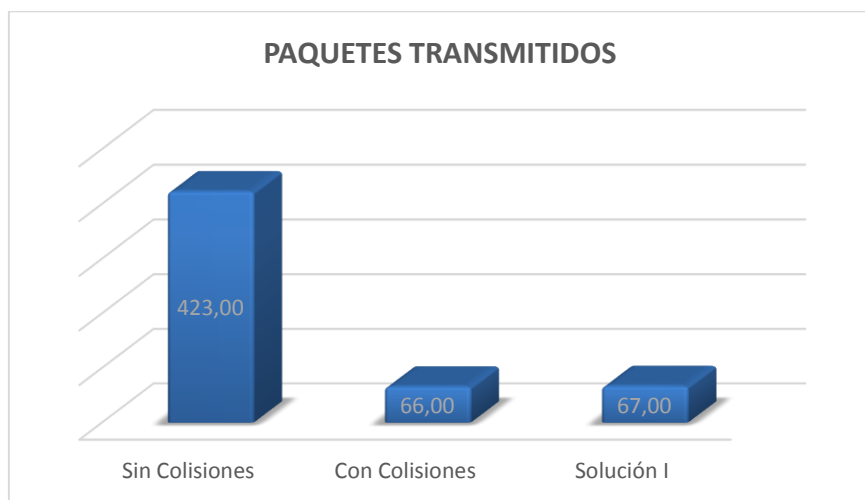


Figura 26. Paquetes Perdidos en la Transmisión

Fuente: Autor

4.2.2. Velocidad en la transmisión

En la figura 27, se muestra las velocidades transmitidas para cada uno de los experimentos realizados, estos valores son capturados por el analizador de red inalámbrica y consta en el anexo D y E.

Tabla 11. Velocidad de Transmisión

| | Rate(Kbps) | % |
|------------|------------|--------|
| Ambiente A | 3145 | 54,89 |
| Ambiente B | 3305 | 57,68 |
| Ambiente C | 5730 | 100,00 |

Fuente: Autor

En la tabla 11 muestra la velocidad de transmisión en paquetes por segundo y rate en porcentaje, considerando a la más alta velocidad con el peso de 100%, ya que se supone que es el nivel óptimo o máximo que va alcanzar el sistema.

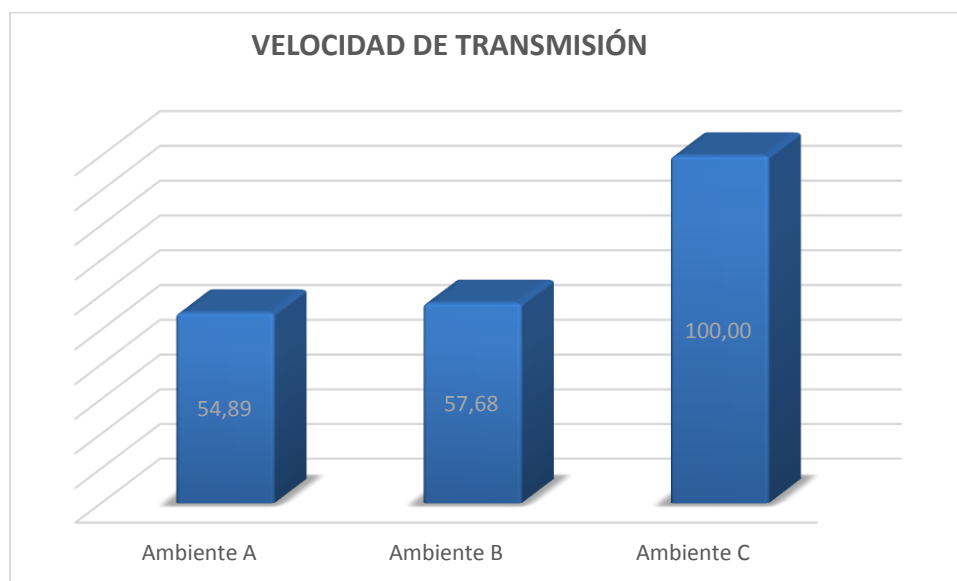


Figura 27. Velocidad de Transmisión

Fuente: Autor

4.2.3. Tiempo de transmisión

Otro factor importante es el tiempo que se demora en copiar un archivo de desde el servidor FTP. En la tabla 13 y figura 28, se muestra los tiempos en segundos de cada experimento, además se añade el mayor peso al experimento que duró menos tiempo en transmitir el archivo.

Tabla 12. Tiempo de Transmisión

| | Duración | s | % |
|------------|----------|----|---------|
| Ambiente A | 1:24:41 | 84 | 83,333 |
| Ambiente B | 1:20:01 | 80 | 87,500 |
| Ambiente C | 1:10:23 | 70 | 100,000 |

Fuente: Autor

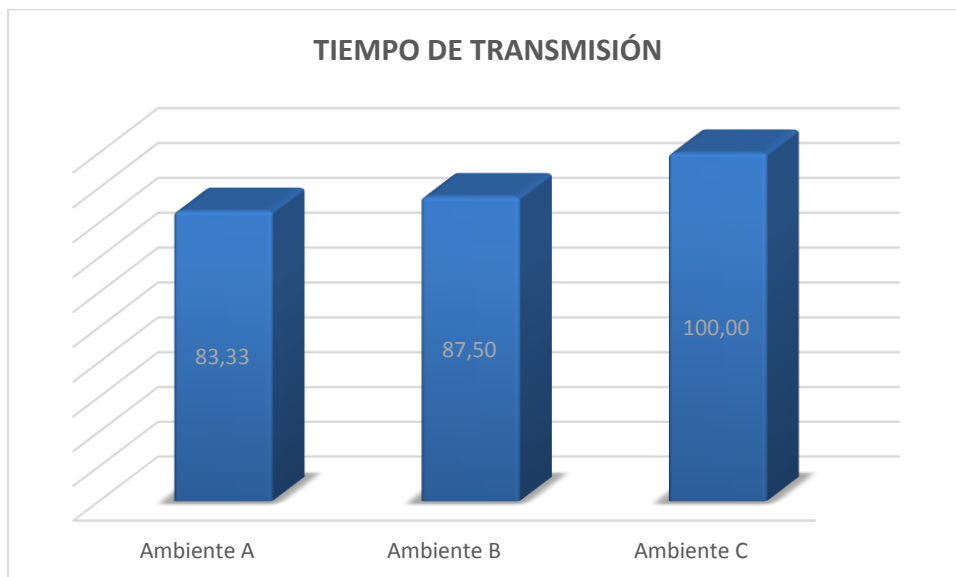


Figura 28. Tiempo de Transmisión en Segundos

Fuente: Autor

4.2.4. Análisis de Potencia

Para realizar el análisis de potencia recibida se utiliza el programa TP-LINK Utility, que permite conocer los niveles de potencia recibida en dBm. En la tabla 14 y figura 29, se observa el porcentaje de nivel de recepción, entendiendo que el mayor peso va a tener el experimento que con mejor nivel de recepción.

Tabla 13. Potencia de Recepción

| | dBm | % |
|------------|-----|--------|
| Ambiente A | -73 | 91,78 |
| Ambiente B | -71 | 94,37 |
| Ambiente C | -67 | 100,00 |

Fuente: Autor

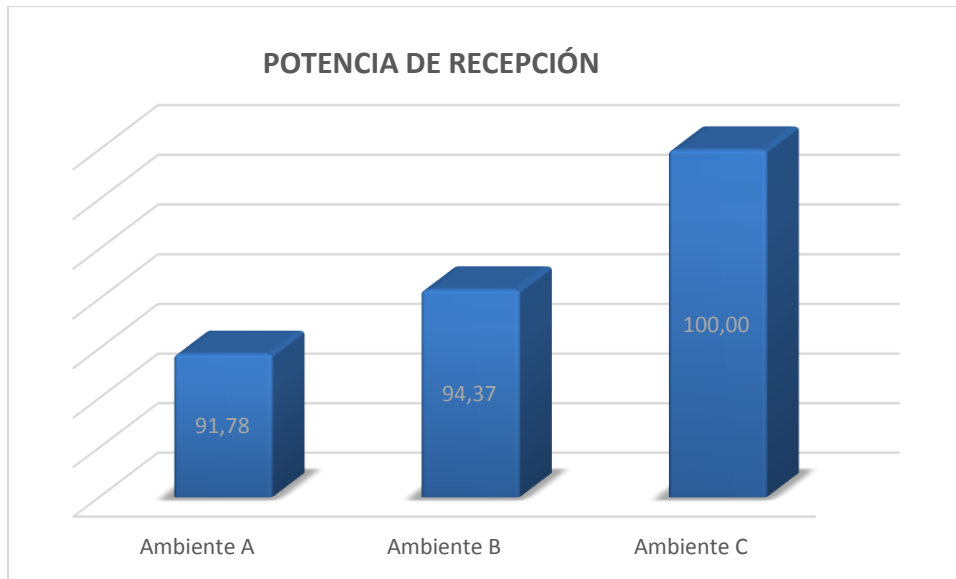


Figura 29. Niveles de Potencia
Fuente: Autor

4.2.5. Presupuesto de Potencia

El presupuesto de potencia permite establecer las pérdidas de un enlace punto a punto, para determinar el margen de sensibilidad que puede alcanzar el enlace. En este análisis se estiman las pérdidas en el espacio, utilizando los parámetros de la frecuencia, distancia. En la tabla 17 se observa las pérdidas producidas por multitrayecto.

Tabla 14. Pérdidas en el Espacio Libre

| | | |
|------------|------------|-----|
| FSL | | |
| Distancia | 0,015 | Km |
| Frecuencia | 2437 | MHz |
| FSL | 63,7589358 | |

Fuente: Autor

En la tabla 14 se observa el presupuesto de potencia desde el transmisor (Linksys Cisco) al receptor (Tarjeta TP-LINK) estos datos son obtenidos de los data Sheets de equipos de los Anexos A, B. El margen de sensibilidad es positivo y es del 88.64 que determinan que bajo el parámetro de potencia existe enlace, además es un porcentaje bastante alto que permite una mejor cobertura para el equipo receptor.

Tabla 15. Presupuesto de Potencia desde el Transmisor al Receptor

| TRANSMISOR RECEPTOR | | | |
|---------------------------|------------------------------|--------------|-----|
| + | Potencia del transmisor: | 17,40362689 | dBm |
| - | Pérdida del cable Tx | 0 | dB |
| - | Pérdida de los conectores Tx | 0,5 | dB |
| + | Ganancia de la Antena Tx | 8 | dB |
| - | Perdida en el Espacio Libre | 67,75893576 | dB |
| + | Ganancia de la Antena Rx | 10 | dB |
| - | Pérdida en el cable Rx | 0 | dB |
| - | Pérdida de los conectores Tx | 0,5 | dB |
| = | Potencia de Recibida | -33,35530887 | dB |
| Sensibilidad del Receptor | | -115 | dBm |
| Margen | | 81,64469113 | |

Fuente: Autor

En la tabla 16 se observa el presupuesto de potencia desde el receptor (Tarjeta TP-LINK) al transmisor (Linksys Cisco). El margen de sensibilidad es positivo por lo tanto desde el punto de vista de potencia existe enlace.

Tabla 16. Presupuesto de Potencia desde el Receptor al Transmisor

| RECEPTOR TRANSMISOR | | | |
|---------------------------|------------------------------|--------------|-----|
| + | Potencia del transmisor: | 16,5 | dBm |
| - | Pérdida del cable Tx | 0 | dB |
| - | Pérdida de los conectores Tx | 0,5 | dB |
| + | Ganancia de la Antena Tx | 10 | dB |
| - | Perdida en el Espacio Libre | 67,75893576 | dB |
| + | Ganancia de la Antena Rx | 8 | dB |
| - | Pérdida en el cable Rx | 0 | dB |
| - | Pérdida de los conectores Tx | 0,5 | dB |
| = | Potencia de Recibida | -34,25893576 | dBm |
| Sensibilidad del Receptor | | -98 | |
| Margen | | 63,74106424 | |

Fuente: Autor

5. CAPÍTULO V:

MARCO PROPOSITIVO

5.1. VALIDAR CADA UNO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.

Se realiza un análisis de variabilidad para comprobar que los experimentos se tengan una distribución cercana y por tanto se llega a determinar un grado de confiabilidad de los mismos.

Tabla 17. Resumen de los Pesos

| | Tiempo | | | Potencia | | | Velocidad | | |
|-------------------|--------|-------|-------|----------|-------|-------|-----------|-------|-------|
| | 60% | 40% | 100% | 60% | 40% | 100% | 60% | 40% | 100% |
| Ambiente A | 30,00 | 20,00 | 50,00 | 20,00 | 13,33 | 33,33 | 19,76 | 8,78 | 28,54 |
| Ambiente B | 31,50 | 21,00 | 52,50 | 21,00 | 14,00 | 35,00 | 20,76 | 9,23 | 29,99 |
| Ambiente C | 36,00 | 24,00 | 60,00 | 24,00 | 16,00 | 40,00 | 36,00 | 16,00 | 52,00 |

Fuente: Autor

Tabla 18. Resumen de los Peso del 100%

| | Tiempo (100%) | Potencia (100%) | Velocidad (100%) |
|-------------------|---------------|-----------------|------------------|
| Ambiente A | 83,33 | 91,78 | 54,89 |
| Ambiente B | 87,50 | 94,37 | 57,68 |
| Ambiente C | 100,00 | 100,00 | 100,00 |

Fuente: Autor

Para encontrar la variabilidad se usan la tabla 17 y 18 aplicando la fórmula descrita a continuación:

$$V.D. = 0.30(\text{Tiempo } 100\%) + 0.40(\text{Potencia } 100\%) + 0.30(\text{Velocidad } 100\%)$$

En la tabla 19 se observa la variabilidad encontrada para los experimentos del Ambiente B y C.

Tabla 19. Variabilidad

| INDICADORES | | VARIABILIDAD |
|----------------|--------|--------------|
| VD(Ambiente A) | 78,18 | |
| VD(Ambiente B) | 81,30 | 3,12 |
| VD(Ambiente C) | 100,00 | 21,82 |

Fuente: Autor

Los datos obtenidos de la variabilidad muestran que el experimento del ambiente C tiene un margen de fiabilidad del 21,82%. Se concluye que el sistema radiante diseñado tiene mejores prestaciones.

Otro factor a ser considerado es la fabricación del sistema radiante, ya que resulta bastante complicado que cumpla con las medidas calculadas. Al existir una variación en el tamaño simulado perjudica en el rendimiento del ancho de banda y frecuencia de operación en el sistema.

5.2. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Una vez validado los datos se procede a interpretar los valores obtenidos y a establecer las condiciones que se dieron lugar a mejora el rendimiento del sistema radiante WIFI.

5.2.1. Interpretación de los Paquetes Intercambiados

Al realizar el experimento con el ambiente A, se observa que existe una gran cantidad de paquetes perdidos en la red. Por esta razón aumenta el número de paquetes que se tienen que enviar por la interferencia y el nivel de potencia bajo, en estas circunstancias se deben realizar retransmisiones de los paquetes. Bajo estas consideraciones al transmitir en el canal 6 que fue diseñado el sistema radiante existe colisión de paquetes.

Se destaca que en el Ambiente C, existe menor retransmisión de los paquetes, ya que presenta mejores condiciones de potencia. Esto quiere decir que el sistema radiante diseñado permite mejorar el nivel de interferencia por tanto existen menos paquetes transmitidos.

En el Ambiente 3, existe también un porcentaje considerable de la disminución de paquetes perdidos, lo que hace pensar que el filtro diseñado para este cañal funciona adecuadamente.

5.2.2. Interpretación de la Velocidad de Transmisión

Igualmente en lo que respecta a la Tasa de transferencia, al utilizar el sistema radiante la velocidad de transmisión aumenta considerablemente. En el primer experimento se observa una disminución de la velocidad por causa de interferencia.

Para el experimento C, se observa un notable aumento de la velocidad de transmisión con respecto al ambiente A, debido a que los niveles de potencia son muchos mayores dando como resultado mejores condiciones de transmisión.

5.2.3. Interpretación del Tiempo de Transmisión.

Al realizar el análisis de los datos obtenidos, se considera que el experimento del ambiente C, presenta mejor latencia, el tiempo de envío se recortó aproximadamente en un 30 por ciento. Con respecto al experimento del ambiente A, se observó que tiene menor tiempo de respuesta por las condiciones anteriormente analizadas

5.2.4. Interpretación de la Potencia Recibida

Los niveles de potencia para el Ambiente A son bajos por tanto si el receptor se encuentra a mayor distancia, muy difícilmente será reconstruida.

Las propuestas planteadas en el Ambiente B y C, muestran niveles de potencia mayor permitiendo que exista un aumento sustancial de las velocidades de transmisión. Al mejorar el sistema radiante permite que exista mayor flexibilidad en cuanto a cobertura del estándar 802.11.

5.3. DEMOSTRACIÓN DE LA HIPÓTESIS

En esta investigación se utiliza para la comprobación de la hipótesis el método de la prueba del Chi- Cuadrado. Para realizar la comprobación se utiliza los datos obtenidos durante los experimentos y los datos esperados.

En la tabla 22 se observa un resumen de las variables obtenidas en los experimentos realizados, que sirven para comprar con los datos esperados de la tabla 21.

Tabla 20. Resumen de las Variables Obtenidas

| | Tiempo | Potencia | Velocidad | Proporción Muestral |
|------------|--------|----------|-----------|---------------------|
| Ambiente A | 83,33 | 91,78 | 54,89 | 0,30 |
| Ambiente B | 87,50 | 94,37 | 57,68 | 0,31 |
| Ambiente C | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 0,39 |
| Total | 270,83 | 286,15 | 212,57 | |

Fuente: Autor

Tabla 21. Variables de los Datos Esperados

| | Tiempo | Potencia | Velocidad |
|------------|--------|----------|-----------|
| Ambiente A | 80,95 | 85,52 | 63,53 |
| Ambiente B | 84,31 | 89,07 | 66,17 |
| Ambiente C | 105,58 | 111,55 | 82,87 |

Fuente: Autor

Para comprobar la hipótesis se calcula los grados de libertad, y el nivel de significación que se observan en la tabla 22.

Ho: El análisis de rendimiento-eficiencia para dispositivos inalámbricos por medio de un arreglo de antenas en las frecuencias de 2.4 GHz permitirá obtener una propuesta de mejora en el sistema radiante.

Tabla 22. Comprobación de Hipótesis

| | | |
|------------------------|--------------|-------------|
| | r | 3 |
| | k | 3 |
| Grados de Libertad | $(r-1)(k-1)$ | 4 |
| Nivel de significación | α | 0,005 |
| X^2_{Tabla} | X2 | 14,860259 |
| Probabilidad | P | 0,082402954 |
| X^2_{Prueba} | | 8,263079505 |

Fuente: Autor

Para dar por aceptada la hipótesis el valor de la Prueba del Chi cuadrado X^2_{Prueba} debe ser menor a la X^2_{Tabla} . Por tanto la propuesta presentada permite mejorar la eficiencia del sistema radiante en dispositivos inalámbricos.

CONCLUSIONES

- El diseño e implementación del sistema radiante, permite una mejora del 21.82%, esto se debe a la optimización de la frecuencia de corte y ganancia del sistema utilizando AWR¹⁷.
- Para estimar la frecuencia de operación del sistema radiante, se utilizó el cálculo matemático y las características del sustrato. Al utilizar un sustrato con constante dieléctrica mayor hace que las impedancias bajas tengan dimensiones pequeñas al momento de implementar las líneas microstrip, impidiendo la fabricación de líneas micrométricas.
- Al realizar los cálculos del filtro pasabanda, se estima el ancho de banda y frecuencia de operación, que varían por las características del sustrato el momento de simular estos elementos. El programa AWR es un programa que permite la simulación y optimización de los circuitos microonda. De esta manera se ajusta las condiciones de funcionamiento del sistema como frecuencia de oscilación, ancho de banda, frecuencias de corte y ganancia de la banda de paso.
- Al realizar los experimentos con los ambientes propuestos, se observa que el sistema radiante tiene una mejora significativa en la pérdida de los paquetes, la velocidad de transmisión se mejora en un 45.11% con respecto al sistema normal, el tiempo de transmisión disminuye en un 16.67, los niveles de potencia mejoran permitiendo una mayor cobertura. El ambiente C permite una mayor eficiencia de los dispositivos inalámbricos y por tanto presentan condiciones de transmisión eficientes en los factores de: nivel de potencia, frecuencia de operación, permitiendo disminuir la colisión de los paquetes.

¹⁷ Microwave Office

RECOMENDACIONES

- A pesar de la exactitud de los cálculos se debe estimar errores de diseño por las características del sustrato.
- Además se debe precisar el momento de optimización del dispositivo con medidas reales para la fabricación de mismo.
- Se debe considerar todos los parámetros de funcionamiento en el momento de la simulación, de tal manera que se ajusten a las condiciones requeridas del diseño.
- El analizador de red utilizado permite realizar pruebas confiables y detalladas ya que permite medir el número de paquetes transmitido y recibido, latencia, velocidades de transmisión.
- La investigación permitirá el diseño y desarrollo de dispositivos microonda (divisores de potencia, circuladores, amplificadores) a mayores frecuencias obteniendo diseños que por su miniaturización, mayores anchos banda, ganancias superiores y facilidad de la fabricación; por lo tanto facilitan la portabilidad y movilidad de los dispositivos.

BIBLIOGRAFÍA

- Bagué, U. d. (10 de 12 de 2014). *Comparación redes WLAN WPAN*. Obtenido de http://www.unibague.edu.co/portal/programas/ingenieria_electronica/el_oraculo_wlan_wpan/cap2wlan.htm
- Bara, & Bará, J. (1994). *Circuitos de Microonda con Líneas de Transmisión*. Barcelona: UPC.
- CISCO PRESS. (2008). *Fundamentals of Wireless LANs*. New York: MicroCisco-Staky.
- Jusoh, M. (2012). A reconfigurable beam shape patch array antenna (RBS-PA) for WiMAX and WiFi applications. *Electromagnetic Compatibility (APEMC), 2012 Asia-Pacific Symposium on*, 237-240.
- Kaswiati, W. (2012). Design and realization of planar bow-tie dipole array antenna with dual-polarization at 2.4 GHz frequency for Wi-Fi access point application. *Telecommunication Systems, Services, and Applications (TSSA), 2012 7th International Conference on*, 218-222.
- Pozar, D. (2009). *Microwave and RF Design of Wireless Systems*. New York: Wiley.
- Sadiku, M. (2003). *Elementos de electromagnetismo*. UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA.
- Tohme, N., Paillot, J.-M., Cordeau, D., Cauet, S., Mahe, Y., & Ribardiere, P. (2008). A 2.4 GHz 1-dimensional array antenna driven by vector modulators. *Microwave Symposium Digest, 2008 IEEE MTT-S International*, 803-806.
- Vera, J., & Tecpoyotl, M. (2011). Comparación de Arreglos de Antenas de Parche para. *CICOs*, 94-106.
- Xu, X., Dept. of Electron. Sci., X. U., Zhao, Y., Yu, F., & Zhang, L. (2014). A novel horizontal polarization sensitive Active Frequency Selective Surface without biasing network at 2.4GHz WiFi band. *Antennas and Propagation (APCAP), 2014 3rd Asia-Pacific Conference on*, 277-279.

ANEXOS

ANEXO A

Linksys E2500

LINKSYS E2500



Specifications

- **# of Antennas:** 4 total, 4 internal antennas per each 2.4 GHz & 5 GHz radio band
- **Detachable:** (y/n) No
- **Switch Port Speed:** 10/100/1000 Mbps
- **Ports:** Internet, Ethernet (1-4), USB, Power Buttons Reset, Wi-Fi Protected Setup
- **LEDs:** Power, Ethernet (1-4)
- **Modulation:**
 - o **802.11b:** CCK, QPSK, BPSK
 - o **802.11g:** OFDM
 - o **802.11a:** OFDM
 - o **802.11n:** BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM
- **Receive Sensitivity:**
 - o **2.4 GHz:**
 - 802.11b: -87 dBm @ 11 Mbps (Typical)
 - 802.11g: -77 dBm @ 54 Mbps (Typical)
 - 802.11n (20 MHz): -71 dBm @ MCS15 (Typical)
 - 802.11n (40 MHz): -68 dBm @ MCS15 (Typical)
 - o **5 GHz:**
 - 802.11a: -75 dBm @ 54 Mbps (Typical)
 - 802.11n 20 MHz: -70 dBm @ MCS15 (Typical)
 - 802.11n 40 MHz: -67 dBm @ MCS15 (Typical)
- **Antenna Gain**
 - o **2.4 GHz:** (Dipole Antennas)
 - Antenna 1 \hat{U} 3 dBi
 - Antenna 2 \hat{U} 4 dBi
 - Antenna 3 \hat{U} 4 dBi
 - o **5 GHz:** (Dipole Antennas)
 - Antenna 1 \hat{U} 4.5 dBi
 - Antenna 2 \hat{U} 4.5 dBi
 - Antenna 3 \hat{U} 4.5 dBi
- **UPnP:** Supported
- **Security features:** WEP, WPA, WPA2
- **Security key bits:** Up to 128-bit encryption
- **Storage File System Support:** FAT, and NTFS, and HFS+

- **Power:** 12V, 2A
- **Certifications:** FCC, IC, CE, Wi-Fi A/B/G/N
- **Operating Temp:** 32 to 95°F (0 to 35°C)
- **Storage Temp:** -4 to 140°F (-20 to 60°C)
- **Operating Humidity:** 10 to 80% relative humidity, non-condensing
- **Storage Humidity:** 5 to 90% non-condensing

What's In The Box:

- Network (Ethernet) cable
- AC power adapter
- Setup CD containing router setup software and documentation

Approximate Dimensions:

- **Length:** 7.48± (190mm)
- **Width:** 6.69± (170mm)
- **Height:** 0.98± (25mm)

Approximate Weight:

- **Unit:** 7.62 oz (216 g)

ANEXO B

Adaptador USB inalámbrico de alta potencia de 150Mbps TL-WN7200ND

Adaptador USB inalámbrico de alta potencia de 150Mbps TL-WN7200ND



TL-WN7200ND de TP-LINK es un adaptador de 150 Mbps inalámbrico de alta potencia que permite a los usuarios para permitir a sus PCs o portátiles con capacidad inalámbrica muy potente para ofrecer mejoras de rendimiento. El adaptador adopta un diseño de alta potencia con transmisión de potencia de salida de hasta 1000 MW, que ofrece hasta 8 veces la gama de adaptadores convencionales. Una de las mejores características del TL-WN7200ND es su penetrabilidad fuerte, que puede asegurar efectivamente que la señal no pierda la intensidad de la señal y se mantiene la fiabilidad cuando se pasa a través de varias paredes o pisos.

De alta potencia para una fuerte penetrabilidad

Con el poder de transmisión de hasta 1000 MW, de alta potencia adaptador USB TL-WN7200ND ofrece hasta 8 veces el rango de potencia normal adaptador USB. Por otra parte, el TL-WN7200ND se presenta con su penetrabilidad increíble y fuerte, por lo que no tiene que estar físicamente atado a las paredes o pisos para acceder a Internet.



Alta sensibilidad de recepción de señal fiable

Las características del TL-WN7200ND de alta sensibilidad de recepción, pueden permitirle que se mueva más lejos del punto de acceso, manteniendo la misma señal inalámbrica. En este caso, con TL-WN7200ND significa que usted no tiene que mover el portátil como una varita mágica, y usted puede tomar fácilmente la red con su gran sensibilidad.

Antena Externa desmontable de 5 dBi

La antena externa se puede girar y ajustar en direcciones diferentes para adaptarse a diferentes entornos funcionamiento, trae la mejora del rendimiento de la antena interna con un uso normal en interiores. Incluso para las aplicaciones más exigentes, la antena puede ser reemplazada con una antena de interior o de diversas antenas direccionales (estándar con conector RP-SMA) para mostrar una mayor flexibilidad y mayor cobertura inalámbrica.

CARACTERÍSTICAS DEL HARDWARE

| | |
|-------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Interface | Mini USB |
| Botón | Botón QSS / Software |
| Dimensiones (Largo x Ancho x Alto) | 3.6 x 2.4 x 1.0 in. (90.8 x 60.8 x 24.5mm) |
| Tipo de Antena | antena desmontable, Omnidireccional |
| Rendimiento de la Antena | 5dBi |

CARACTERÍSTICAS INALÁMBRICAS

| | |
|-------------------|-----------------|
| Frecuencia | 2.400-2.4835GHz |
|-------------------|-----------------|

CARACTERÍSTICAS INALÁMBRICAS

| | |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Estándares Inalámbricos | IEEE 802.11n, IEEE 802.11g, IEEE 802.11b |
| Velocidad de Señal | 11n: Hasta 150Mbps (dinámico) 11g: hasta 54Mbps (dinámico) 11b: hasta 11Mbps (dinámico) |
| Sensibilidad de Recepción | 130M:-68dBm @ 10% PER 108M:-68dBm @ 10% PER 54M:-68dBm @ 10% PER 11M:-85dBm @ 8% PER 6M:-88dBm @ 10% PER 1M:-90dBm @ 8% PER |
| EIRP | <20dBm (EIRP, los países con normas CE) <27dBm (EIRP, los países con normas de la FCC) |
| Modos Inalámbricos | Modo Ad-Hoc/infraestructura |
| Seguridad Inalámbrica | Compatible con 64/128 bit WEP, WPA-PSK/WPA2-PSK |
| Tecnología de Modulación | DBPSK, DQPSK, CCK, OFDM, 16-QAM, 64-QAM |
| Funciones de Servicio | WMM, Soft AP (para Windows XP / Vista), PSP X-LINK (sólo para Windows XP), Roaming |
| OTROS | |
| Certificación | CE, FCC, RoHS |
| Contenido del Paquete | Adaptador Inalámbrico TL-WN7200ND 5dBi desmontable antena omnidireccional CD de recursos Guía de instalación rápida 1,5 m cable de extensión USB |
| Requisitos del Sistema | Windows 7(32/64bits), Windows Vista(32/64bits), Windows XP(32/64bits), Windows 2000 Temperatura de funcionamiento: 0°C ~ 40°C (32°F ~ 104°F) Temperatura de almacenamiento: -40°C ~ 70°C (-40°F ~ 158°F) |
| Ambiente | Humedad de funcionamiento: 10% ~ 90% sin condensación Humedad de almacenamiento: 5% ~ 90% sin condensación |

ANEXO C

Analizador de Red - Colasoft Capsa 7

ANALIZADOR DE RED - COLASOFT CAPSA 7

1. Al abrir el programa, muestra una pantalla como la figura 1. Seleccionar la captura de paquetes, además se debe seleccionar la tarjeta de red inalámbrica para proceder a capturar el tráfico.

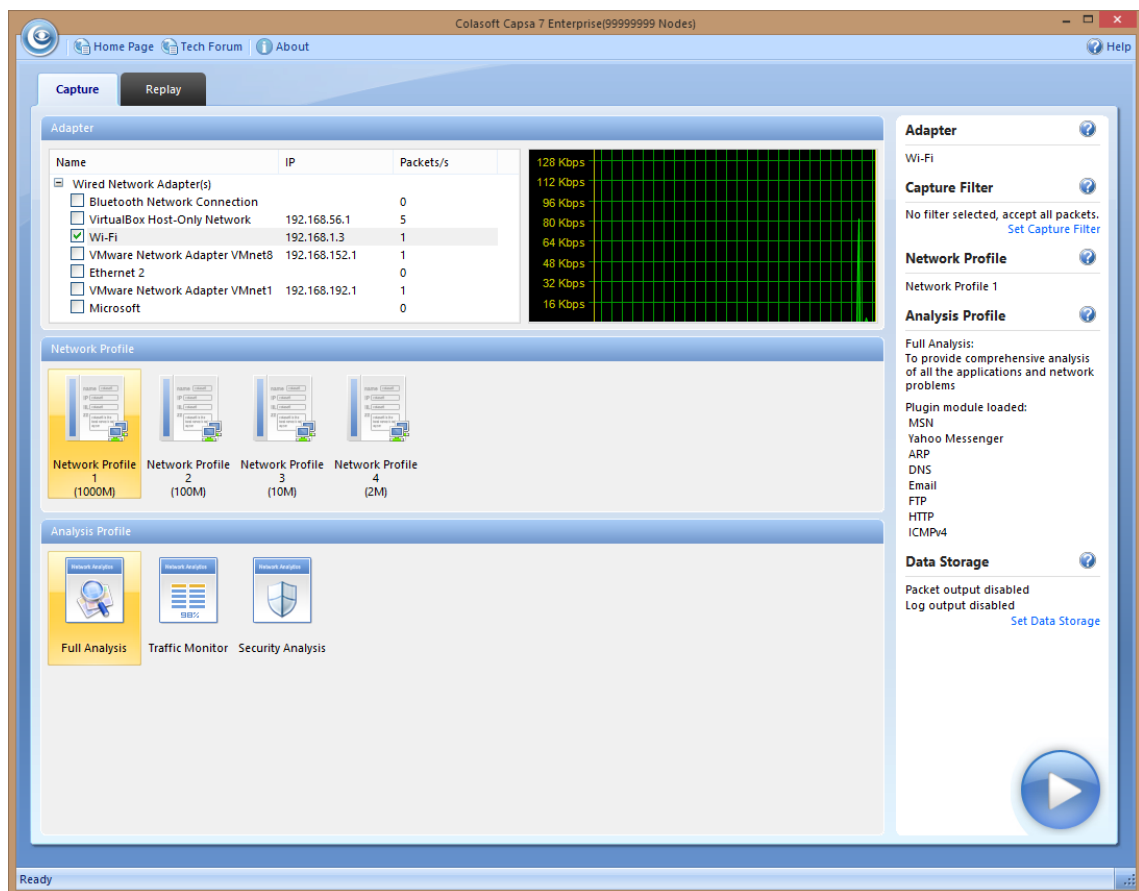


Figura 1. Pantalla de inicio del Analizador de Red Colasoft Capsa

2. En la figura 2 se muestra el entorno gráfico de este analizador de red. Se puede observar que existen filtros para poder observar el tráfico de un protocolo en específico.

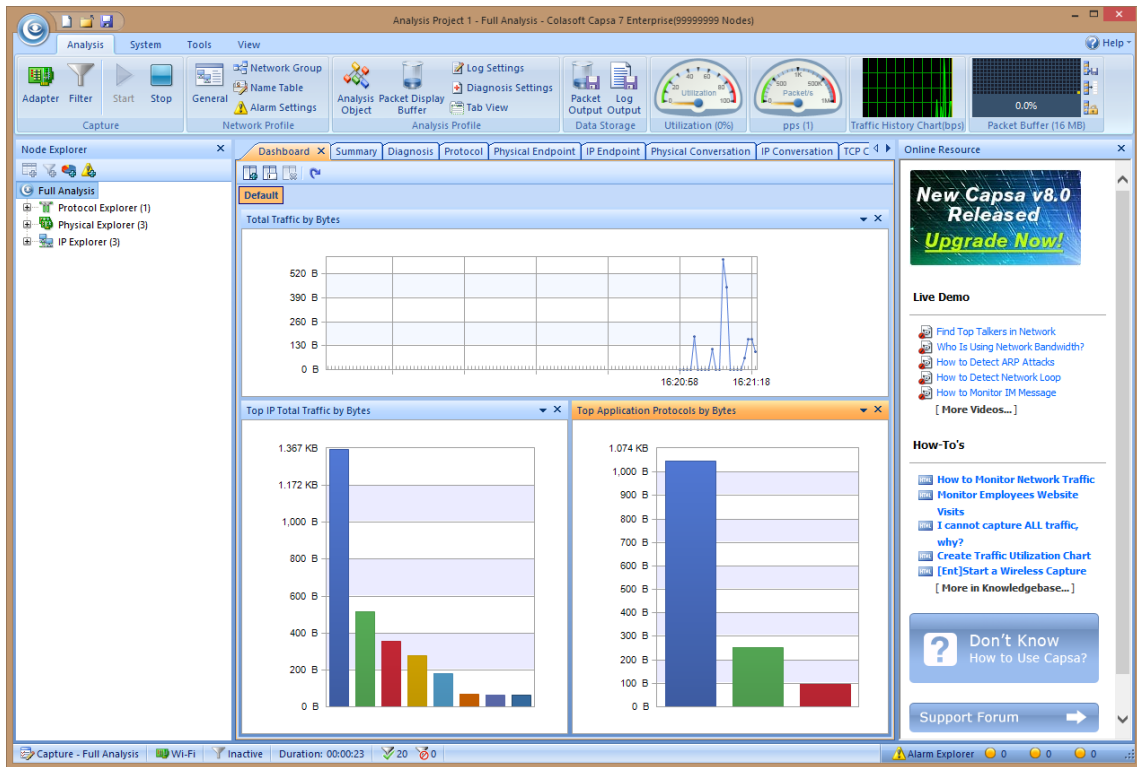


Figura 2. Entorno del Analizador de Red Colasoft Capsa

3. En la figura 3, bajo el componente Physical Endpoint se observa la captura de los paquetes transmitidos, recibidos. Otro componente importante es el tiempo de duración de la trama, y la velocidad de transferencia.

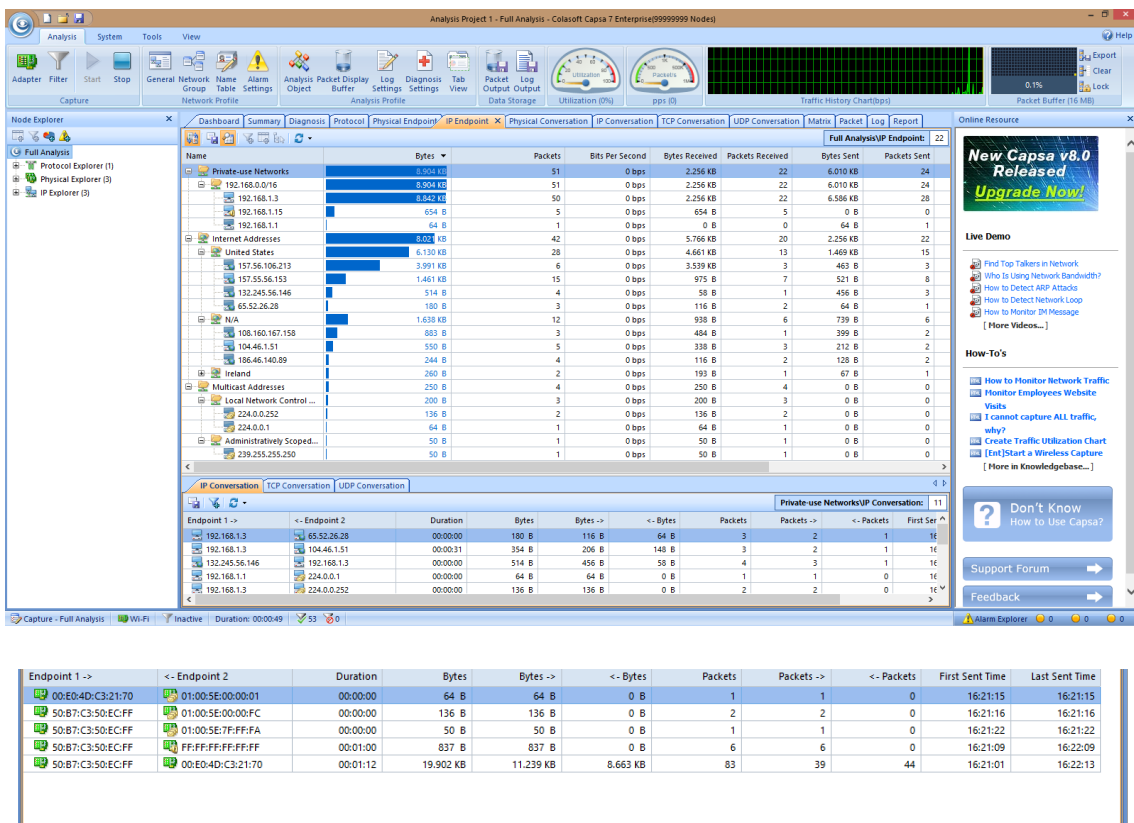


Figura 3. Entorno del Analizador de Red Colasoft Capsa componente Physical Endpoint

ANEXO D

Análisis del tráfico de Datos en Capa de Enlace

EXPERIMENTO 1:

SISTEMA RADIANTE WIFI

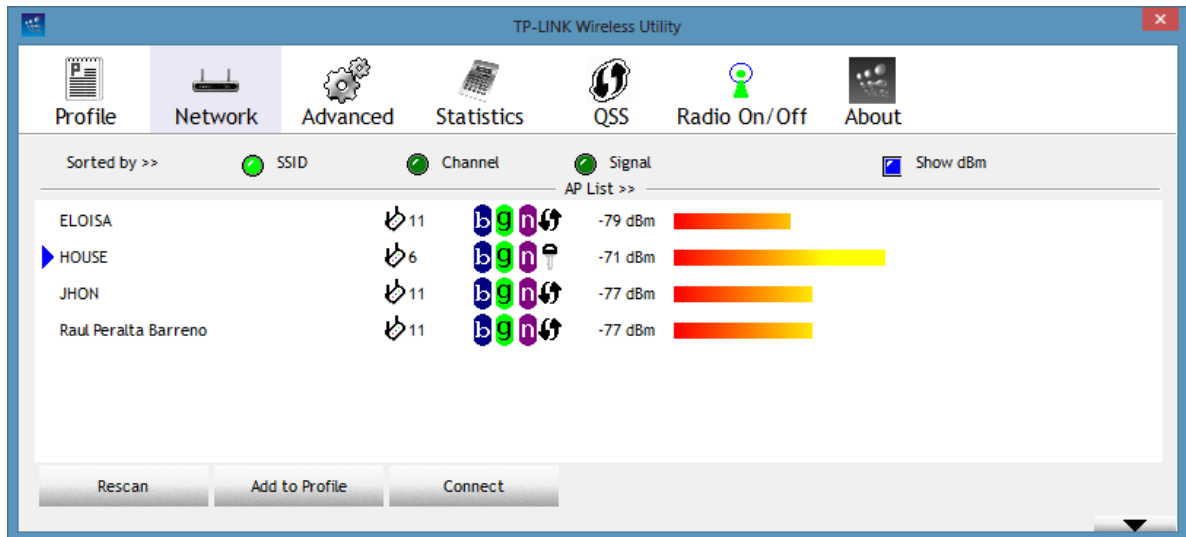


Figura 1 Nivel de potencia usando el sistema radiante WIFI, Tp-link Utility

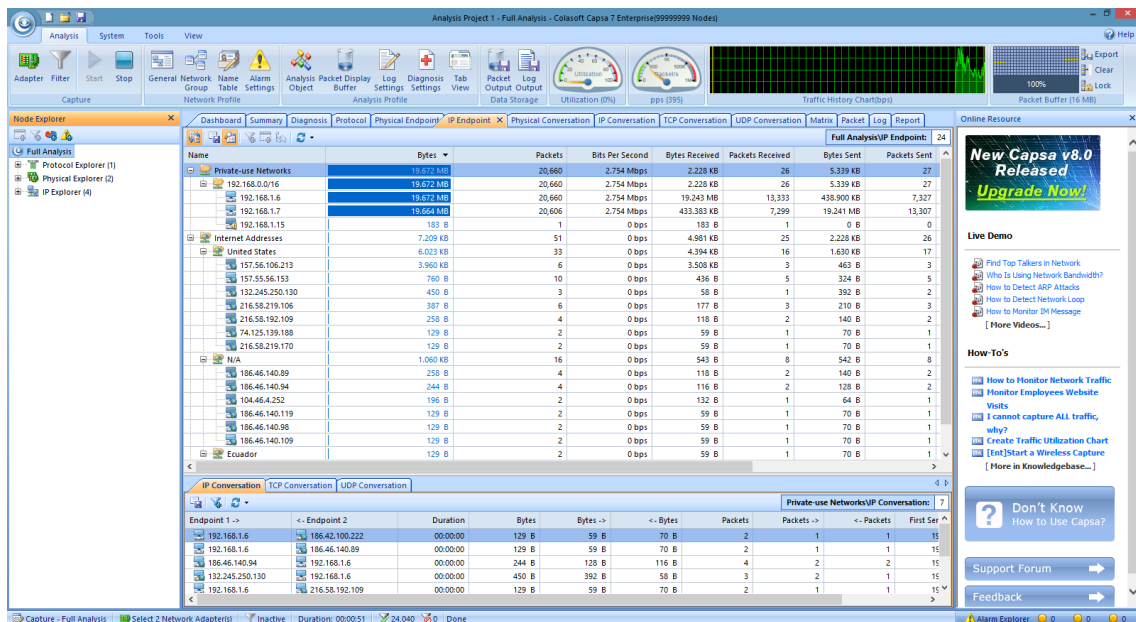


Figura 2. Captura de Protocolos en un Tráfico usando el sistema radiante WIFI, Tp-link Utility

ANEXO E

Análisis del tráfico de Datos en Capa de Enlace con la solución propuesta

EXPERIMENTO 2:

SISTEM RADIANTE WIFI USANDO UN FILTRO MICROSTRIP

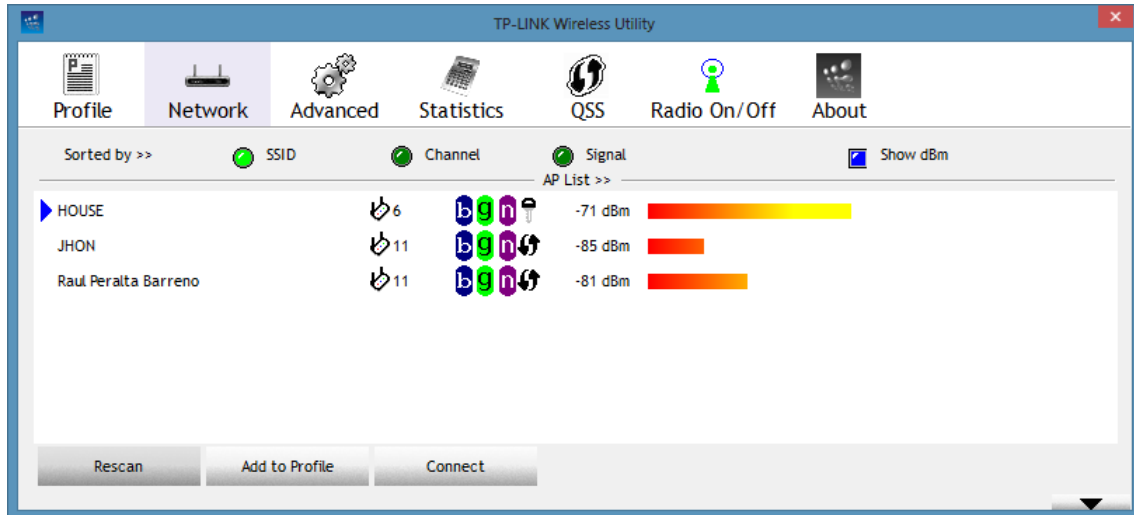


Figura 1. Nivel de potencia usando el sistema radiante con un filtro WIFI, Tp-link Utility

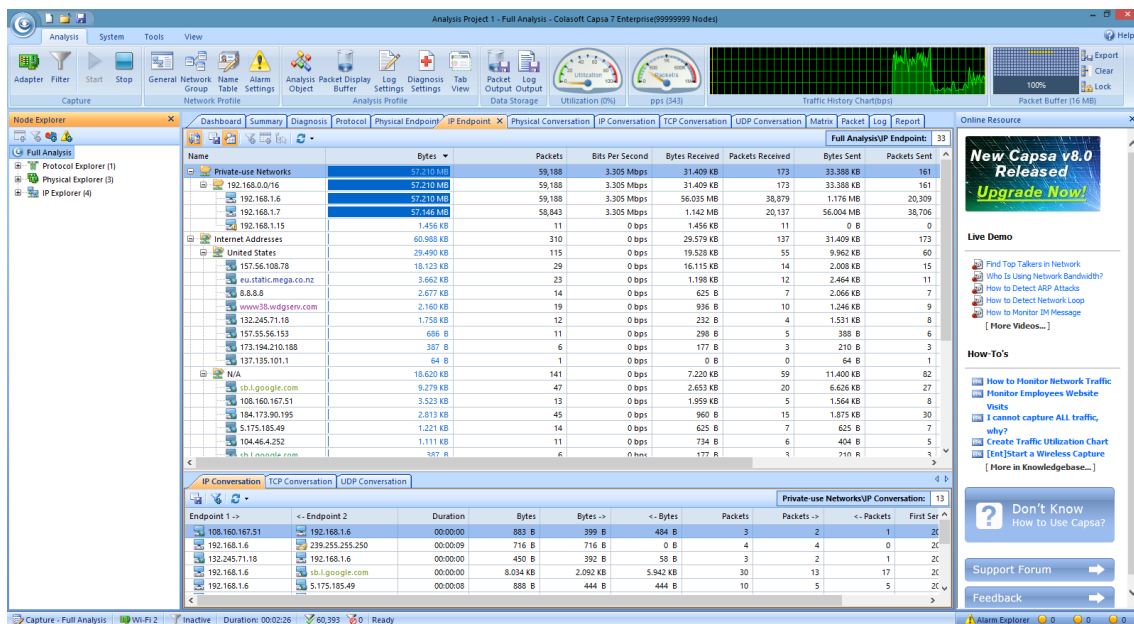


Figura 2. Captura de Protocolos en un Tráfico usando el sistema radiante con un filtro WIFI, Tp-link Utility

EXPERIMENTO 3:

SISTEMA RADIANTE WIFI USANDO UN ARREGLO DE ANTENAS

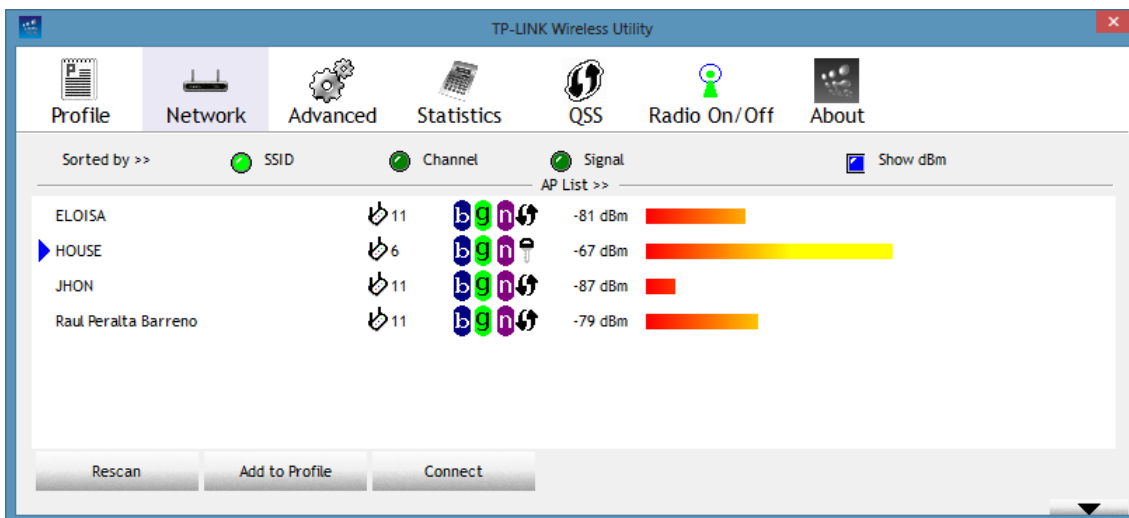


Figura 3. Captura de Protocolos en un Tráfico usando el sistema radiante con un filtro WIFI, Tp-link Utility

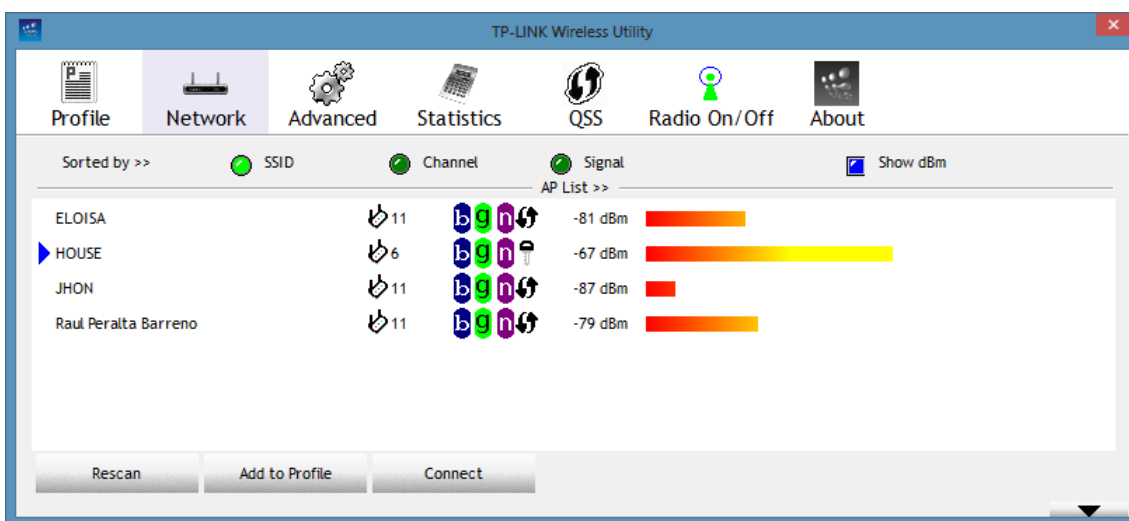


Figura 4. Nivel de potencia usando el sistema radiante WIFI con un filtro y arreglo de antenas, Tp-link Utility