



ANÁLISIS DE LA INTERFERENCIA PROVOCADA POR CÁMARAS
INALÁMBRICAS DE VIDEO A 2,4 GHZ EN LA COEXISTENCIA CON
REDES WLAN

Marco Vinicio Alvarez Marchán

Tesis presentada ante la Escuela de Postgrado y Educación Continua de la
ESPOCH, como requerimiento parcial para la obtención del título de Magister
en Interconectividad de Redes

RIOBAMBA – ECUADOR
(2013)

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

CERTIFICACIÓN:

EL TRIBUNAL DE TESIS CERTIFICA QUE:

El trabajo de investigación titulado “ANÁLISIS DE LA INTERFERENCIA PROVOCADA POR CÁMARAS INALÁMBRICAS DE VIDEO A 2,4 GHZ EN LA COEXISTENCIA CON REDES WLAN”, de responsabilidad del Sr. Marco Vinicio Alvarez Marchán, ha sido prolijamente revisado y se autoriza su presentación.

Tribunal de Tesis:

Ing. Ms.C Daniel Haro Mendoza
DIRECTOR

FIRMA

Ing. Ms.C Santiago Cisneros
MIEMBRO

FIRMA

Ing. MsC Alex Tacuri
MIEMBRO

FIRMA

Riobamba, Diciembre 2013

ÍNDICE GENERAL

PORTADA	
APROBACIÓN	
ÍNDICE GENERAL.....	3
LISTA DE CUADROS	6
LISTA DE FIGURAS	8
RESUMEN.....	13
ABSTRACT.....	14
INTRODUCCIÓN	15
CAPÍTULO I	17
MARCO REFERENCIAL	17
1.1 IMPORTANCIA DEL TEMA.....	17
1.2 JUSTIFICACIÓN	18
1.3 OBJETIVOS	20
1.3.1 Objetivo General	20
1.3.2 Objetivos Específicos.....	20
1.4 HIPOTESIS.....	21
1.5 DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES	21
1.5.1 Operacionalización Conceptual.....	22
1.5.2 Operacionalización Metodológica.....	23
CAPÍTULO 2	25
REVISIÓN DE LITERATURA.....	25
2.1 INTRODUCCIÓN A LA COMUNICACIÓN INALÁMBRICA.....	25
2.1.1 Tipos De Redes Inalámbricas.....	26
2.2 RED INALÁMBRICA DE ÁREA LOCAL (WLAN).....	29
2.2.1 Otras Definiciones.....	30
2.2.2 Topología	33
2.2.3 Descripción del Estándar IEEE 802.11	35
2.2.4 Arquitectura 802.11.....	39
2.2.4.1 El Nivel MAC Para el 802.11	40
2.2.4.1.1 <i>Formato de las Tramas MAC 802.11</i>	40
2.2.4.1.2 <i>Acceso al Medio 802.11</i>	44
2.2.4.2 El Nivel Físico Para el 802.11.....	57
2.3 CÁMARAS DE VIDEO INALÁMBRICAS	63
2.3.1 Cámara de Video Inalámbrica Lorex Lw2110.....	63

2.3.1.1	Características	64
2.3.1.2	Componentes del Sistema Video Inalámbrico	64
2.3.1.3	Especificaciones Técnicas.....	65
2.3.2	Modulación de Espectro Expandido	65
2.3.2.1	Técnicas principales de espectro expandido	69
2.4	MICROSTRIP (MICROCINTA).....	72
2.4.1	Antenas Microstrip (Microcinta).....	73
2.4.1.1	Tipos de Parche	74
2.4.1.2	Modelo de Línea de Transmisión.....	75
2.4.1.3	Métodos de Alimentación	78
2.4.1.3.1	<i>Alimentación Directa</i>	79
2.4.1.3.2	<i>Alimentación Por Proximidad</i>	81
2.4.1.3.3	<i>Alimentación Por Apertura</i>	81
CAPÍTULO 3		83
MATERIALES Y MÉTODOS		83
3.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	83
3.2	POBLACIÓN Y MUESTRA	85
3.3	PROCEDIMIENTOS GENERALES.....	85
3.4	INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	86
3.5	VALIDACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS	87
3.6	AMBIENTE DE SIMULACIÓN	88
CAPÍTULO 4		97
RESULTADOS Y DISCUSIONES		97
4.1	PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	97
4.2	RESUMEN DE LOS EXPERIMENTOS DE EVALUACIÓN DE LA INTERFERENCIA	98
4.3	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	98
4.3.1	Análisis e Interpretación de Resultados del Experimento 1 y 2.....	98
4.3.2	Análisis e Interpretación de Resultados del Experimento 3.....	110
4.3.3	Análisis e Interpretación de Resultados del Experimento 4.....	113
4.3.4	Análisis e Interpretación de Resultados del Experimento 5 y 6.....	124
4.3.5	Resumen de las equivalencias de los pesos para las técnicas de la variable independiente	128

4.3.6	Resumen de las equivalencias de los pesos para las técnicas de la variable dependiente	131
4.4	Análisis de resultados.....	133
4.4.1	Variable Independiente	133
4.4.2	Variable Dependiente.....	135
4.5	PRUEBA DE LA HIPÓTESIS	137
4.6	PROPUESTA DE LA SOLUCIÓN A LA INTERFERENCIA DE LAS CÁMARAS DE VIDEO INALÁMBRICAS SOBRE WIFI EN LA BANDA 2,4 GHZ.....	139
4.7	DISEÑO PARTE APLICATIVA.....	141
4.7.1	Características de la Placa	141
4.7.2	Características del Filtro Pasa Banda	142
4.7.3	Obtención de los Valores g_n e Impedancias	142
4.7.4	Filtro con Stubs	145
4.7.5	Finalización del Filtro	147
4.8	INSTALACIÓN DEL FILTRO	148
	CONCLUSIONES	151
	RECOMENDACIONES	153
	BIBLIOGRAFÍA.....	154
	ANEXOS.....	157

LISTA DE CUADROS

Tabla I.I: Operacionalización Conceptual de las Variables del Proyecto.	22
Tabla I.II: Operacionalización Metodológica de las Variables del Proyecto.	23
Tabla II.I: Interpretaciones de los campos Address1, 2, 3 y 4 en función de To DS y From DS.	43
Tabla IV.I: Comparación de Paquetes Transmitidos en el Experimento 1 y 2.	99
Tabla IV.II: Comparación de Paquetes por Segundo en el Experimento 1 y 2.	100
Tabla IV.III: Análisis de Resultados Variable Independiente – Indicador 1.	104
Tabla IV.IV: Comparación de Velocidad de Transmisión – Experimento 1 y 2.	105
Tabla IV.V: Comparación de Tiempo de Transmisión – Experimento 1 y 2.	106
Tabla IV.VI: Comparación del Jitter – Experimento 1 y 2.	108
Tabla IV.VII: Análisis de Resultados Variable Independiente – Indicador 2.	110
Tabla IV.VIII: Análisis de Resultados Variable Independiente – Indicador 1.	111
Tabla IV.IX: Comparación de Paquetes Transmitidos con la Solución Propuesta.	114
Tabla IV.X: Comparación de Paquetes Por Segundo con la Solución Propuesta.	115
Tabla IV.XI: Comparación de Resultados Variable Independiente – Indicador 1.	117
Tabla IV.XII: Comparación de la Velocidad de Transmisión con la Solución Propuesta.	118
Tabla IV.XIII: Comparación del Tiempo de Transmisión con la Solución Propuesta.	119
Tabla IV.XIV: Comparación del Jitter con la Solución Propuesta.	121
Tabla IV.XV: Comparación de Resultados Variable Dependiente – Indicador 2.	123
Tabla IV.XVI: Comparación de Resultados Variable Dependiente – Indicador 3.	125
Tabla IV.XVII: Comparación de Resultados Variable Dependiente – Indicador 3.	125
Tabla IV.XVIII: Comparación de Resultados Variable Dependiente – Indicador 3.	126
Tabla IV.XIX: Comparación de Resultados Variable Dependiente – Indicador 3.	127
Tabla IV.XX: Tabla de Pesos – Variable Independiente – Indicador 1.	128
Tabla IV.XXI: Tabla de Pesos – Variable Independiente – Indicador 2.	129
Tabla IV.XXII: Tabla de Pesos – Variable Independiente – Indicador 3.	129
Tabla IV.XXIII: Pesos de los indicadores – Variable Dependiente.	130
Tabla IV.XXIV: Tabla de Pesos – Variable Dependiente – Indicador 1.	131
Tabla IV.XXV: Tabla de Pesos – Variable Dependiente – Indicador 2.	131
Tabla IV.XXVI: Tabla de Pesos – Variable Dependiente – Indicador 3.	131
Tabla IV.XXVII: Pesos de los indicadores – Variable Dependiente.	132
Tabla IV.XXVIII: Análisis Total de Resultados – Variable Independiente – Total Indicadores.	133
Tabla IV.XXIX: Análisis Total de Resultados – Variable Dependiente – Total Indicadores.	135
Tabla IV.XXX: Matriz de Valores Observados.	137
Tabla IV.XXXI: Matriz de Valores Esperados.	137

Tabla IV.XXXII: Prueba de la Hipótesis, valores del Test de Chi-Cuadrado.	138
Tabla IV.XXXIII: Valores de los elementos para filtros Chebyshev 0.5 db.	143
Tabla IV.XXXIV: Cálculos del Filtros Microstrip.	144

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1.1: Ambiente de Simulación	19
Fig. 2.1: Tipos de Redes Inalámbricas	27
Fig. 2.2: Red Inalámbrica de Área Local (WLAN)	30
Fig. 2.3: Canales de la banda 2,4 GHZ	32
Fig. 2.4: Topología Ad-Hoc	34
Fig. 2.5: Topología de Infraestructura	35
Fig. 2.6: Formato General de la Trama MAC 802.11	40
Fig. 2.7: Formato del Campo Frame Control	41
Fig. 2.8: El Campo Sequence Control	43
Fig. 2.9: Fragmentación de una trama	44
Fig. 2.10: Problema de la Atenuación	46
Fig. 2.11: Problema del Terminal Oculto	47
Fig. 2.12: Problema de la Estación Expuesta	47
Fig. 2.13: Relaciones entre IFS	49
Fig. 2.14: Incremento Exponencial de CW	51
Fig. 2.15: Ejemplo de transmisión de una trama DATA y del relativo ACK	53
Fig. 2.16: Ejemplo de aplicación del procedimiento de backoff	54
Fig. 2.17: Formato de las tramas RTS y CTS	55
Fig. 2.18: Ejemplo de utilización de las tramas RTS y CTS	56
Fig. 2.19: Estructura Lógica del Nivel PHY	57
Fig. 2.20: Spread Spectrum (SS)	58
Fig. 2.21: Formato de una PPDU que usa el Long PLCP	60
Fig. 2.22: Formato de una PPDU que usa el Short PLCP	61
Fig. 2.23: Cámara de Video Inalámbrica a 2,4 GHz	63
Fig. 2.24: Componentes del Sistema Video Inalámbrico	64
Fig. 2.25: Representación de la Modulación por Espectro Extendido	68
Fig. 2.26: Generación de Señal DSSS	69
Fig. 2.27: Ejemplo de Salto de Frecuencia	71
Fig. 2.28: Transmisor y Receptor de un sistema FHSS	72
Fig. 2.29: Estructura de la Microcinta	73
Fig. 2.30: Topología de Parches	75
Fig. 2.31: Estructura de una Antena Parche	75
Fig. 2.32: Alimentaciones por Microcinta	80
Fig. 2.33: Alimentación por Sonda Cable Coaxial	80

Fig. 2.34: Alimentación por Proximidad	81
Fig. 2.35: Alimentación por Apertura	82
Fig. 3.1: Ambiente de Simulación	89
Fig. 3.2: Ambiente de Simulación 1	91
Fig. 3.3: Ambiente de Simulación 2	92
Fig. 3.4: Ambiente de Simulación 3	93
Fig. 3.5: Ambiente de Simulación 4	94
Fig. 3.6: Ambiente de Simulación 5	95
Fig. 3.7: Ambiente de Simulación 6	96
Fig. 4.1: Comparación de Paquetes Transmitidos Experimento 1 y 2	99
Fig. 4.2: Porcentaje de Paquetes Transmitidos Experimento 1 y 2	100
Fig. 4.3: Comparación de Paquetes Por Segundo Experimento 1 y 2	101
Fig. 4.4: Porcentaje de Paquetes Por Segundo Experimento 1 y 2	101
Fig. 4.5: Porcentaje de Resultados Variable Independiente – Indicador 1	103
Fig. 4.6: Comparación de Velocidad de Transmisión – Experimento 1 y 2	105
Fig. 4.7: Porcentaje de Velocidad de Transmisión – Experimento 1 y 2	105
Fig. 4.8: Comparación del Tiempo de Transmisión – Experimento 1 y 2	107
Fig. 4.9: Porcentaje del Tiempo de Transmisión – Experimento 1 y 2	107
Fig. 4.10: Comparación del Jitter – Experimento 1 y 2	108
Fig. 4.11: Porcentaje del Jitter – Experimento 1 y 2	109
Fig. 4.12: Porcentaje de Resultados Variable Independiente – Indicador 2	110
Fig. 4.13: Porcentaje de Utilización del canal en WiFi	112
Fig. 4.14: Porcentaje de Amplitud de Espectros en WiFi	112
Fig. 4.15: Comparación de Paquetes Transmitidos Con la Solución Propuesta	114
Fig. 4.16: Porcentaje de Paquetes Transmitidos Con la Solución Propuesta	114
Fig. 4.17: Comparación de Paquetes Por Segundo Con la Solución Propuesta	115
Fig. 4.18: Porcentaje de Comparación de Paquetes Por Segundo Con la Solución Propuesta	116
Fig. 4.19: Porcentaje de Resultados Variable Independiente – Indicador 1	117
Fig. 4.20: Comparación de la Velocidad de Transmisión con la Solución Propuesta	118
Fig. 4.21: % Comparación de la Velocidad de Transmisión con la Solución Propuesta	119
Fig. 4.22: Comparación del Tiempo de Transmisión con la Solución Propuesta	120
Fig. 4.23: Porcentaje de Comparación del Tiempo de Transmisión con la Solución Propuesta	120
Fig. 4.24: Comparación del Jitter con la Solución Propuesta	121
Fig. 4.25: Porcentaje de Comparación del Jitter con la Solución Propuesta	122
Fig. 4.26: Porcentaje de Resultados Variable Dependiente – Indicador 2	123
Fig. 4.27: Utilización del Canal - Comparación de Resultados Variable Dependiente – Indicador 3	127
Fig. 4.28: Amplitud de Espectros - Comparación de Resultados Variable Dependiente – Indicador 3	128

Fig. 4.29: Variable Independiente – Total Indicadores	133
Fig. 4.30: Variable Dependiente – Total Indicadores	136
Fig. 4.31: Diagrama de Fijación del nivel de significación	139
Fig. 4.32: Diseño de un Filtro con Stubs	145
Fig. 4.33: Parámetros S simulados del Filtro con Stubs	145
Fig. 4.34: Filtro en Línea Microstrip con Stubs	146
Fig. 4.35: Parámetros S Optimizados del Filtro con Líneas Acopladas con Stubs	146
Fig. 4.36: Diseño en Autocad del Filtro Microstrip con Stubs	147
Fig. 4.37: Filtro Con los Conectores Soldados y en el Compartimiento de Acrílico	147
Fig. 4.38: Cable Adaptador de Conectores	148
Fig. 4.39: Punto de Acceso sin Antena	149
Fig. 4.40: Punto de Acceso con Cable Adaptador	149
Fig. 4.41: Filtro Instalado en el Punto de Acceso	150

Mi más profundo y sincero agradecimiento a La Virgen Dolorosa quién me acogió en su manto brindándome amparo y protección, a mis padres y hermanos por su amor y apoyo incondicional quienes juntos inculcaron en mi los valores de honestidad, superación y perseverancia.

A Sres. Magísteres que conformaron el tribunal por su valiosa colaboración y conocimientos, quienes le apostaron al éxito de la presente investigación.

A Adry por su aliento, amor y presencia incondicional en mi vida para reconfortarme siempre entre sus brazos.

Y a todas y cada una de las personas que se involucraron directa e indirectamente para la culminación de la tesis.

Fruto del trabajo y esfuerzo realizados se cristalizó esta investigación la cual va dedicada a mis padres, mi familia y a Adry quienes son mi fuente de inspiración y superación en la vida.

RESUMEN

En la presente investigación, se realizó el análisis de la interferencia en la banda de operación libre ISM, específicamente entre las cámaras inalámbricas de video a 2,4 GHz y las redes 802.11b, a fin de proponer una solución que permita mejorar la coexistencia entre estas tecnologías.

Partiendo del método científico y de observación, se estudió, analizó y se detectó aquellos rasgos de las tecnologías implementadas, como su frecuencia de operación, modulación y potencia de transmisión. Se usó un método inductivo en un ambiente de simulación para proponer una solución que permite mitigar los problemas causados por la interferencia. Desglosando mediante el método de análisis los inconvenientes que intervienen en la coexistencia como: cantidad de paquetes transmitidos, paquetes por segundo, velocidad de transmisión, tiempo, jitter y espectros. Complementando la investigación y la demostración de la Hipótesis a través del método comparativo y estadístico.

En el escenario conformado por un sistema de video inalámbrico a 2,4 GHz y una red 802.11b de tipo infraestructura, se realizó varias pruebas ejecutando una transmisión de 100 Mb de un computador a otro, analizando el tráfico que atravesaba la red mediante el sniffer Colasoft Capsa Enterprise y el Hardware Analizador de Espectros Wi-Spy.

La solución que ayuda a mitigar el problema consta de un filtro selectivo microstrip que trabaja con un ancho de banda determinado para WiFi. Por consecuencia, se logró, bajo el ambiente de simulación, una mejora en la comunicación en la red en un promedio de 22.57 % para el Indicador 1, 52.36 % para el Indicador 2 y en un 7.92 % para el Indicador 3.

Se concluye que los niveles de fiabilidad en la red se ven mejorados en un 17.63 %. Y Se recomienda el uso de un analizador de espectros, para la implementación de las tecnologías inalámbricas.

ABSTRACT

In this research, an analysis of the interference in the free ISM band operation, specifically among wireless video cameras to 2.4 GHz and 802.11b networks was done, in order to propose a solution to improve the coexistence between these technologies

Based on the scientific method and observation, it was studied, analyzed and identified those features of the technologies implemented, as its operating frequency, modulation and transmission power. The inductive method in a simulation environment is proposed as a solution that allows mitigating problems caused by interference. Broken down by the method of analysis the drawbacks involved in coexistence as: amount of transmitted packets, packets per second transmission speed, time, jitter and spectra. Complementing the research, the demonstration of the hypothesis through comparative and statistical method was performed.

On stage consists of a wireless video system and a 2.4 GHz 802.11b network infrastructure type, several tests running a 100 Mb transmission from one computer to another was performed. The analysis of traffic going through the network through the sniffer Colasoft Capsa Enterprise and Spectrum Analyzer Hardware Wi-Spy also was found.

The solution that helps mitigate the problem consists of a micro strip selective filter that works with a specific bandwidth for WiFi. For this reason, under the simulation environment the communication in the network was improved by an average of 22.57% for Indicator 1, 52.36% for Indicator 2 and by 7.92% for Indicator 3.

As conclusion, it was found that the levels of network reliability were improved by 17.63%. And the use of a spectrum analyzer for the implementation of wireless technologies is recommended.

INTRODUCCIÓN

Tener siempre la información al alcance de nuestra mano, con integridad y sin retrasos, ayuda a aprovechar de mejor manera el tiempo dando como resultado un aumento en el desempeño ya sea en el ámbito laboral o simplemente en el entorno social, y si a esto se le quita la necesidad de estar sujetos a un cable para acceder a los datos se obtiene la característica de movilidad que brinda la comunicación inalámbrica.

La tecnología de comunicación inalámbrica se encuentra firmemente instaurada y en constante evolución, brindando nuevas aplicaciones y características para su implementación y en últimos años se ha convertido en la mejor opción para el acceso a la información en lugares geográficamente pequeños como hogares, oficinas, edificios, colegios, etc. Y es en este ámbito en el cual se encuentran dos tecnologías inalámbricas de acceso local ampliamente difundidas como son: las cámaras inalámbricas de video y las redes inalámbricas de área local.

En este tipo de comunicación no guiada el principal problema a sobrellevar es la interferencia, la cual puede ser provocada por varios factores tales como: el clima, la infraestructura o la presencia de una señal inalámbrica ajena, que opera bajo el mismo rango de frecuencia. Convirtiéndose esta última en la amenaza de mayor preocupación debido a la gran variedad de dispositivos inalámbricos que utilizan para su comunicación la misma banda y mecanismos de transmisión similares.

Fenómeno que corresponde a la libre operación de estos dispositivos dentro de las tres bandas denominadas ISM (Industrial, Scientific and Medical), en los rangos 902 a 928 MHz, 2.400 a 2.483,5 MHz y 5.725 a 5.850 MHz, reservadas internacionalmente para uso no comercial en áreas de trabajo industriales, científicas y medicas. Que pueden ser utilizadas sin necesidad de licencia siempre que se respeten unos determinados límites de potencia.

En lo que respecta a las tecnologías objeto de estudio en la presente investigación, las cámaras inalámbricas de video operan en la banda de 2,4 GHz y la potencia de salida es de 16 dBm como máximo. Por otro lado el estándar IEEE 802.11b, define la operación en un espectro de frecuencias de entre 2,4 y 2,4835 GHz y soporta tres canales independientes sin interferir el uno con el otro con un ancho de banda de 22 MHz, 5 MHz de separación y con tasas de transferencia de 1, 2, 5,5 y 11 Mbps, en función de la distancia y de la claridad de la señal. No obstante sin importar el canal en el que la red inalámbrica opere, esta se verá afectada con la operación simultánea de las cámaras de video inalámbricas interfiriendo el uno con el otro.

En la presente investigación se presenta un análisis del funcionamiento de la tecnología WLAN, los problemas a causa de sufrir interferencia por la operación simultánea y en un mismo entorno de la cámara de video inalámbrica y así poder implementar una solución que permita una mejora en la fiabilidad y en los niveles de la comunicación en la banda de 2.4 GHz.

CAPÍTULO I

MARCO REFERENCIAL

1.1 IMPORTANCIA DEL TEMA

En la actualidad es innegable la participación de la tecnología inalámbrica en nuestras tareas cotidianas, ya sea en el ámbito laboral, en el hogar o simplemente en el entorno social con las denominadas redes sociales.

Ante esta gran demanda es imperativo que la conexión sea lo más eficiente para el usuario final, característica que se ve desmejorada con la presencia de interferencia en la señal.

La interferencia puede presentarse debido a factores propios del medio ambiente como el clima o la infraestructura, sin embargo la presencia de señales RF (Radio Frecuencia), ajenas a la red inalámbrica, emitidas en un rango cercano, dentro de la misma banda o canal que la transmisión provocan el deterioro de la señal, reflejándose en un molesto retardo o pérdida de datos para el usuario.

Dentro las tecnologías inalámbricas que pueden operar bajo la misma banda libre ISM (Industrial, Scientific & Medical) de 2.4 GHz causando interferencia la una con la otra, encontramos las siguientes tecnologías objeto del estudio:

Cámaras de Video Inalámbricas, utilizadas principalmente para la instalación de un entorno de vigilancia que operan en un rango de cobertura aproximadamente de hasta 100 metros, las cuales están incursionando con gran fuerza en el mercado gracias a su fácil implementación, poco consumo de energía y bajo costo.

Y Redes Inalámbricas de Área Local de sus siglas en inglés WLAN (Wireless Local Area Network), específicamente en su estándar IEEE 802.11b que cubre distancias inferiores a los 100 metros.

Como consecuencia de la operación en el mismo rango de frecuencia y ámbito de desarrollo se puede presentar la pérdida de paquetes y retrasos en la transmisión debido a colisiones ocurridas en tiempo y frecuencia, las mismas que pueden ir en aumento gracias a la gran aceptación e implementación de estas tecnologías.

Se desea implementar una posible solución a este problema de interferencia causado por la proximidad y la operación simultánea de cámaras de video inalámbricas a 2,4 GHz y redes WLAN, para permitir una coexistencia de estas tecnologías.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Las redes inalámbricas lejos de desaparecer se consolidan en el entorno al punto de estar presentes en la mayoría de actividades, facilitando el acceso a la información y el control de ciertos dispositivos.

Esta conexión del tipo inalámbrica ofrece una gran variedad de soluciones para la transferencia de datos que se adaptan a los requerimientos, como ejemplo las cámaras inalámbricas, que se pueden encargar de la seguridad o monitorización del entorno deseado a una frecuencia de 2,4 GHz, que corresponde a la banda de licencia libre, con lo cual existen muchas otras tecnologías ocupándola, como las redes WLAN.

A partir de lo mencionado la convivencia de estas tecnologías es necesaria, pero al trabajar bajo la misma frecuencia surge uno de los problemas más comunes en las redes inalámbricas: la interferencia, la cual afecta directamente al usuario o aplicación final con una mala calidad de servicio.

La presente investigación trata de dar solución al problema, específicamente en la coexistencia entre las cámaras de video inalámbricas a 2,4 GHz y las redes inalámbricas de área local WLAN 802.11b.

Se tratará de utilizar técnicas y métodos a fin de evitar colisiones de paquetes a la hora de la transmisión, y compensar los niveles de interferencia y así lograr una coexistencia entre las tecnologías.

Para esto se tiene un ambiente simulado (*Ver Fig. 1*), en el cual se implementa un entorno de monitoreo mediante la cámara de video inalámbrica en la banda de 2.4 GHz y por otra parte una red inalámbrica utilizando el estándar 802.11b (WiFi), intercambiando información entre los dispositivos que conforman la tecnología.

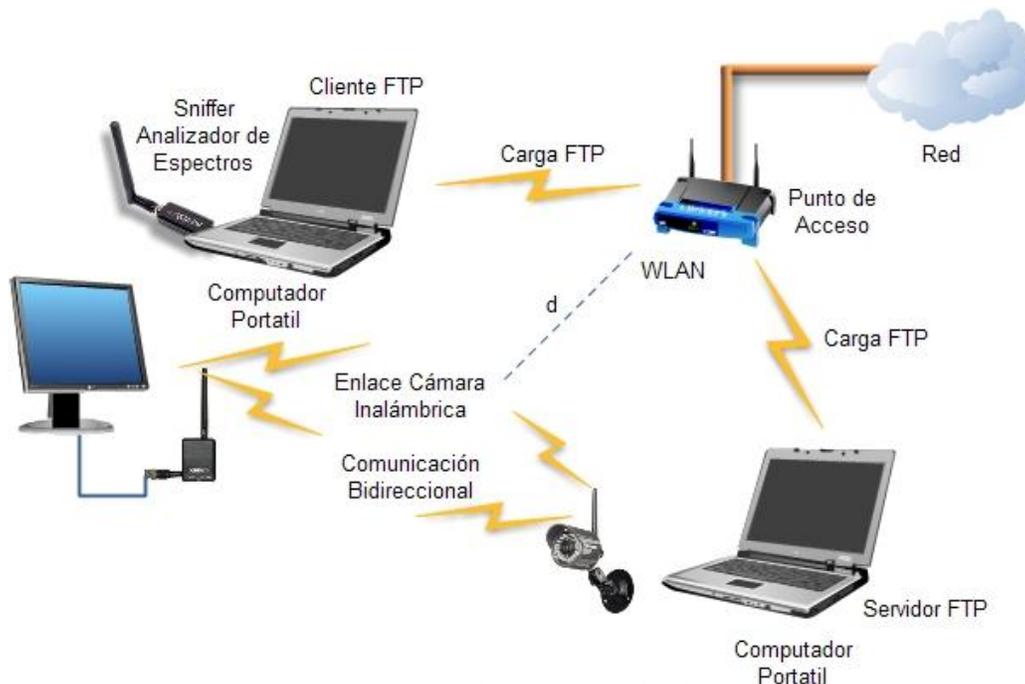


Fig. 1.1: Ambiente de Simulación

Para la evaluación del ambiente se utilizará un sniffer o software analizador de paquetes, obteniendo estadísticas de tramas y paquetes que pueden llegarse a perder al implementar ambas tecnologías en un mismo entorno de trabajo. Por otro lado se obtendrá las señales o espectros generados a nivel de capa física tanto en la comunicación 802.11b como en la transmisión de la cámara inalámbrica, a través de un analizador de espectros.

Una vez obtenido el comportamiento de las señales, se podrá manipular los datos a fin de plantear una solución al problema de interferencia, pudiendo esta ser realizada a nivel de hardware, para lo cual se propondrá la construcción de una antena/filtro, utilizando para este fin la tecnología microstrip, la cual es un tipo de línea de transmisión eléctrica que pueden ser fabricados utilizando placa de circuito impreso [PCB], y se utiliza para transmitir señales de microondas, que consiste en una franja de conducción separada de la franja de masa por una capa de sustrato dieléctrico. Todo esto junto con su guía de implementación para el caso planteado.

Por ultimo cabe indicar que la investigación ayudará a mejorar el rendimiento de la comunicación, cuando estas dos tecnologías son implementadas bajo el mismo entorno.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Analizar los problemas de interferencia causada por las cámaras inalámbricas de video a 2,4 GHz sobre las redes WLAN 802.11b e implementar una solución que permitan asegurar la coexistencia entre las dos tecnologías.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Estudiar el estándar WLAN / 802.11b para entender su funcionamiento.

- Analizar los problemas que se introducen por la interferencia entre las redes WLAN 802.11b y las cámaras de video inalámbricas a 2,4 GHz
- Proponer una solución a los problemas que permitan mejorar la comunicación en redes WLAN / 802.11b cuando se ven afectadas por la interferencia provocada por cámaras de video inalámbricas a 2,4 GHz
- Desarrollar un ambiente de simulación en el cual coexistan con niveles de fiabilidad aceptable una red WLAN 802.11b y cámaras de video inalámbricas a 2,4 GHz.

1.4 HIPOTESIS

EL ESTUDIO DE LA INTERFERENCIA PROVOCADA POR CÁMARAS DE VIDEO INALÁMBRICAS EN LAS REDES WLAN 802.11b PERMITIRÁ PROPONER UNA SOLUCIÓN QUE AYUDE A MEJORAR EL RENDIMIENTO EN LA COMUNICACIÓN DE LA RED.

1.5 DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES

De acuerdo a la hipótesis planteada se han identificado dos variables:

➤ ***Variable Independiente:***

La interferencia provocada por las Cámaras de Video Inalámbricas en las Redes WLAN 802.11b

➤ ***Variable Dependiente:***

Incidencia en la coexistencia entre cámaras de video inalámbricas a 2,4 GHz y Redes Wlan.

La operacionalización conceptual y metodológica de las variables se muestra en la Tabla I.I y Tabla I.II respectivamente.

1.5.1 Operacionalización Conceptual

Tabla I.I: Operacionalización Conceptual de las Variables del Proyecto.

VARIABLE	TIPO	DEFINICION
Interferencia provocada por las Cámaras de Video Inalámbricas en las Redes WLAN 802.11b	Independiente	Problema causado debido a la proximidad y operación simultánea de cámaras de video inalámbricas y redes WLAN 802.11b.
Rendimiento de la comunicación en la coexistencia entre cámaras de video inalámbricas a 2,4 GHz y Redes Wlan 802.11b.	Dependiente	Es la reducción en la capacidad de comunicación, que no permite que la información intercambiada entre usuarios móviles llegue a su destinatario de una manera aceptable.

1.5.2 Operacionalización Metodológica

Tabla I.II: Operacionalización Metodológica de las Variables del Proyecto.

HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
El estudio de la interferencia provocada por Cámaras de Video Inalámbricas en las redes Wlan 802.11b permitirá proponer una solución que ayude a mejorar el rendimiento en la comunicación de la red.	V. Independiente Interferencia provocada por las Cámaras de Video Inalámbricas en las Redes WLAN 802.11b	Paquetes Intercambiados en la Transmisión	<ol style="list-style-type: none"> 1) Captura de paquetes con y sin interferencia. 2) Captura de paquetes por segundo con y sin interferencia. 3) Variación en la distancia de la fuente de interferencia. 	Sniffer Inalámbrico
		Rendimiento	<ol style="list-style-type: none"> 1) Análisis de la velocidad de transmisión. 2) Análisis del tiempo de transmisión. 3) Análisis del Jitter. 	Sniffer Inalámbrico
		Espectros WiFi	<ol style="list-style-type: none"> 1) Análisis del grado de utilización del canal. 2) Análisis de las amplitudes de los espectros WiFi. 	Analizador de Espectros.

	<p>V. Dependiente</p> <p>Incidencia en la coexistencia entre cámaras de video inalámbricas a 2,4 GHz y Redes Wlan.</p>	<p>Paquetes Intercambiados en la Transmisión</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) Captura de paquetes. 2) Captura de paquetes por segundo. 	<p>Sniffer Inalámbrico</p>
		<p>Rendimiento</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) Análisis de la velocidad de transmisión. 2) Análisis del tiempo de transmisión. 3) Análisis del Jitter. 	<p>Sniffer Inalámbrico</p>
		<p>Espectros WiFi</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) Análisis del grado de utilización del canal. 2) Análisis de las amplitudes de los espectros WiFi. 	<p>Analizador de Espectros.</p>

CAPÍTULO 2

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 INTRODUCCIÓN A LA COMUNICACIÓN INALÁMBRICA

La transmisión de datos del tipo inalámbrica, como su nombre lo indica se la lleva a cabo a través de medios no guiados es decir sin cables, lo que le brinda su principal característica: la movilidad.

Para transmitir señales mediante ondas electromagnéticas, estas se modifican mediante un proceso llamado modulación de manera que la señal a enviar se sobreponga sobre la misma. Los esquemas de modulación más conocidos son: modulación de amplitud (AM) y modulación de frecuencia (FM).

La onda pura, sin señal, se llama portadora y su frecuencia define las características de los equipos emisores y receptores, así como de las antenas. La modulación ocasiona que la onda modulada se disperse alrededor de la frecuencia de la portadora, por lo que se requiere que se asigne un ancho de banda (rango de frecuencias alrededor de la frecuencia portadora) para la transmisión. El ancho de banda limita la cantidad de información que puede enviarse.

A frecuencias bajas el ancho de banda disponible es menor, lo cual resulta en velocidades de transmisión de información bajas. Por otra parte las antenas requeridas, que deben tener tamaños similares a la longitud de onda de la portadora, son demasiado grandes para equipos móviles. Las ondas de baja frecuencia son omnidireccionales, pueden rodear o atravesar obstáculos e incluso seguir la curvatura de la tierra, su intensidad disminuye proporcionalmente a la tercera potencia de la distancia.

A frecuencias altas, por otra parte, las ondas viajan en línea recta y pueden transmitirse como un haz coherente, pero no pueden atravesar obstáculos tales como edificios. Algunas frecuencias son reflejadas por la ionosfera y pueden alcanzar grandes distancias.

2.1.1 Tipos De Redes Inalámbricas

Las redes inalámbricas son una solución fácil y rápida de implementar permitiendo diversas áreas de cobertura, gracias a sus diferentes estándares, además tomando en cuenta los servicios que estas pueden brindar al usuario mediante la utilización de las diferentes tecnologías.

Existen diferentes tipos de conexión inalámbrica (*Ver Fig. 2.1*) y que se pueden clasificar según su alcance geográfico en:

- WPAN (Red de Area Personal.)
- WLAN (Red de Area Local.)
- WWAN/WMAN (Red de Area Extensa /Red de Area Metropolitana.)

Las redes tipo WPAN son una categoría en redes que cubre distancias cortas y cerradas de aproximadamente 10 metros de radio de cobertura.

Algunas de estas tecnologías son Bluetooth y Home RF.

Bluetooth es una tecnología inalámbrica europea desarrollada por Ericsson que permite la ínter conectividad de dispositivos inalámbricos con otras redes e Internet. Bluetooth al igual que 802.15 y Home RF trabajan en la banda de frecuencias de espectro esparcido de 2.4 GHz. Bluetooth es capaz de transferir información entre un dispositivo a otro a velocidades de hasta 1 Mbps, permitiendo el intercambio de video, voz y datos de manera inalámbrica.

El estándar IEEE 802.15 se enfoca básicamente en el desarrollo de estándares para redes tipo PAN o redes inalámbricas de corta distancia. Al igual que Bluetooth el 802.15 permite que dispositivos inalámbricos portátiles como PCs, PDAs, teléfonos, pagers, entre otros, puedan comunicarse e ínter operar uno con el otro. Debido a que Bluetooth no puede coexistir con una red inalámbrica 802.11x, de alguna manera la IEEE definió este estándar para permitir la interoperabilidad de las redes inalámbricas LAN con las redes tipo PAN.

Home RF también es una especificación que permite la interconexión de dispositivos inalámbricos en un área pequeña. Con cualquiera de estas tres últimas tecnologías se podrá acceder a la red desde un teléfono celular, tomando el control de dispositivos o consultando a distancia los datos importantes para nuestro beneficio y acceder a Internet compartido.

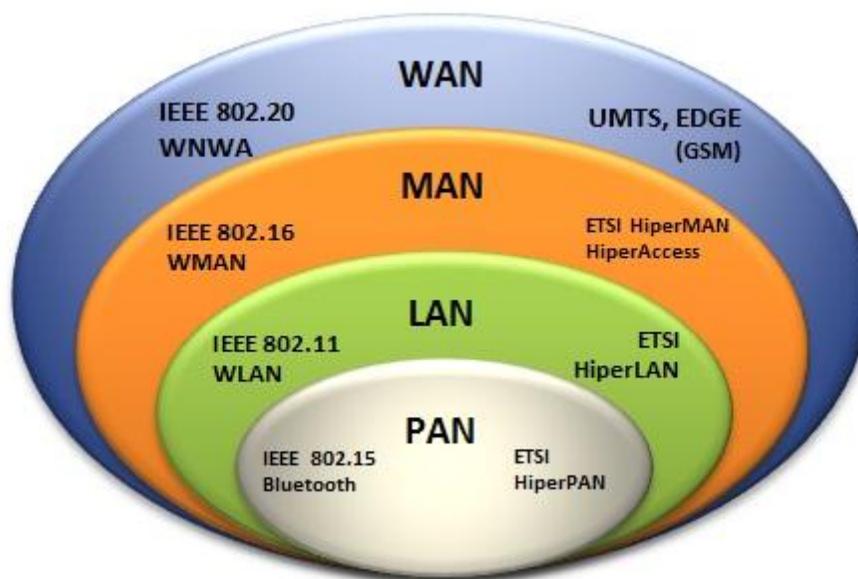


Fig. 2.1: Tipos de Redes Inalámbricas

Las redes WLAN pueden operar en la banda de frecuencias de 2.4 GHz o de 5 GHz (espectro ensanchado) y cubren distancias que van desde varios metros hasta decenas de metros, según su penetrabilidad de los muros y suelos de los edificios.

WLAN son las redes que se han vuelto bien populares hoy en día, éstas pueden proveer acceso a Internet por ejemplo a estudiantes alrededor de un campus universitario utilizando una computadora portátil provista con una tarjeta con acceso inalámbrico. En este sentido la IEEE ha desarrollado varios estándares a lo que WLAN se refiere. La especificación IEEE 802.11 define redes locales inalámbricas que emplean ondas de radio en la banda de 2.4 GHz y 5 GHz conocido como espectro esparcido. Las velocidades típicas de esta tecnología son 11 Mbps en la especificación IEEE 802.11b y la especificación IEEE 802.11a en la banda de 5 GHz que alcanza velocidades de hasta 54 Mbps.

Dentro de las redes del tipo WLAN, encontramos el término “Wi-Fi”, que es una marca registrada de la alianza Wi-Fi (*Wi-Fi Alliance*), un grupo empresarial que inicialmente incluía empresas como 3Com, Cisco, Lucent, Nokia... llamada WECA (*Wireless Ethernet Compatibility Alliance*), y que actualmente engloba a casi todas las empresas del mercado en una u otra manera. Esta alianza nació para asegurar la compatibilidad entre dispositivos 802.11 y entrega certificados Wi-Fi.

Por último están las WWAN (*Wireless Wide Area Network*) que pretenden ser la solución banda ancha inalámbrica. WiMax (IEEE802.16) es el principal exponente de esta tecnología por su versatilidad para ofrecer servicios multimedia (voz, audio, video y datos). En sus inicios tenían la intención de ser una propuesta WLL (*Wireless Local Loop*) para ofrecer telefonía fija inalámbrica pero su espectro se ha diversificado a tal punto que se está planteando como el estándar 4G de telefonía celular. También está MBWA IEEE802.20 para interconexión de móviles que se desplazan a altas velocidades (>120 Km/h) en caso de usuarios en vehículos de rápido desplazamiento como por ejemplo trenes de alta velocidad.

2.2 RED INALÁMBRICA DE ÁREA LOCAL (WLAN)

Una red Inalámbrica tiene ventajas como su rápida instalación sin la necesidad de usar cableado, permiten la movilidad y tiene menor costo de mantenimiento que una red convencional.

En la actualidad una de las aplicaciones inalámbricas de mayor aceptación, y que se han desarrollado velozmente, es la que concierne a las redes de área local inalámbricas, WLAN (Wireless Local Area Network).

Una red de área local inalámbrica, es un sistema flexible de comunicaciones que puede implementarse como una extensión o directamente como una alternativa a una red cableada.

Es te tipo de redes utiliza tecnología de radiofrecuencia minimizando así la necesidad de conexiones cableadas. Este hecho proporciona al usuario una gran movilidad sin perder conectividad. El atractivo fundamental de este tipo de redes es la facilidad de instalación y el ahorro que supone la supresión del medio de transmisión cableado, las redes inalámbricas son la alternativa ideal para hacer llegar una red tradicional a lugares donde el cableado no lo permite, y en general las WLAN se utilizarán como un complemento de las redes fijas.

Una WLAN proporciona al usuario la capacidad de trasladarse dentro del área de cobertura de la red sin necesidad de perder la conexión, para dicho efecto se utilizan puntos de acceso (en inglés Access Point - AP) para irradiar las ondas electromagnéticas y realizar tareas de administración de la red, estos son el equivalente de los hubs o switches en las redes cableadas, los mismos suelen conectarse al backbone de la red. Todos los usuarios de un mismo AP se encuentran en el mismo dominio de colisión de la red debido a que comparten el mismo medio (el aire) para transmitir y recibir información, por lo que al aumentar el número de terminales conectados a la red disminuye la velocidad efectiva de la misma. En la *Fig. 2.2* se observa los elementos básicos que conforman una WLAN.

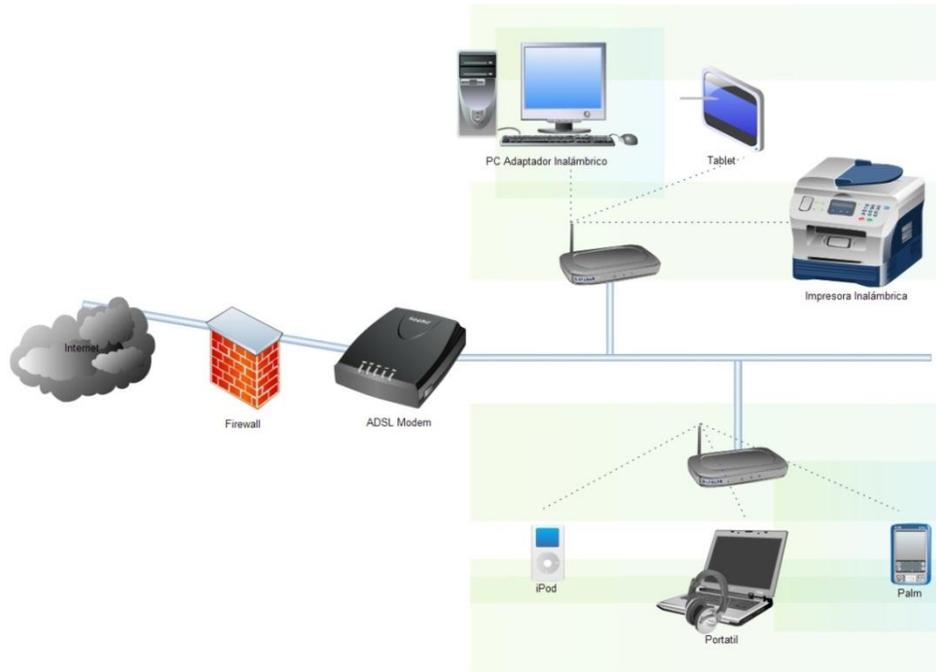


Fig. 2.2: Red Inalámbrica de Área Local (WLAN)

2.2.1 Otras Definiciones

Punto de acceso (AP: Access Point)

Un punto de acceso es un puente entre la red inalámbrica y otra red, que se encarga de realizar las conversiones de trama pertinentes.

Conjunto de Servicio Básico (BSS: *Basic Service Set*)

Bloque mínimo de una red WLAN. Se identifica mediante un BSSID (*BSS Identifier*) y puede configurarse en dos modos: Ad-Hoc e Infraestructura.

Conjunto de Servicio Extendido (ESS: *Extended Service Set*)

Conjunto de uno o más BSSs que funcionan como un único BSS para la capa lógica de red (N2 LLC). Este conjunto se identifica mediante una cadena de caracteres llamada ESSID (*ESS Identifier*) definida por el administrador. Este ESSID es a veces llamado simplemente

SSID o "nombre de la red". Los distintos BSS del ESS pueden trabajar en el mismo canal o en distintos canales para ampliar la capacidad de la red.

Señales Beacom

La sincronización de estaciones es muy importante y se hace a través de tramas especiales llamadas Beacom. El punto de acceso las emite periódicamente. Una estación puede esperarlos para sincronizarse (*passive scanning*) o emitir peticiones para recibirlas (*active scanning*).

Sistema de Distribución

Mecanismo que sirve para controlar a que AP se envían las tramas. Proporciona movilidad entre distintos AP aunque las estaciones solo podrán cambiar de ubicación sin perder conectividad siempre que la transición se realice dentro de un mismo ESS.

Las bandas ISM

Las bandas ISM (*Industrial Scientific Medical*) son bandas de radiofrecuencia electromagnética reservadas internacionalmente para uso no comercial en áreas de trabajo industriales, científicas y médicas. Estas bandas pueden utilizarse sin necesidad de licencia siempre que se respeten unos determinados límites de potencia.

Fueron definidas por la ITU (*International Telecommunications Union*) en el artículo 5 de las Regulaciones de Radio (RR 5.138, 5.150 y 5.280) y todo aparato que trabaje con ellas debe ser tolerante a errores y utilizar mecanismos de protección contra interferencias, como técnicas de ensanchado de espectro (RR 15.13). Por este motivo, las redes que funcionan en esta banda se les denominan redes de espectro ensanchado.

Algunos aparatos que usan la frecuencia de 2,4 GHz son los microondas, teléfonos inalámbricos, monitores de bebés, cámaras inalámbricas de video, IEEE 802.15.1 (WPAN - Bluetooth) e IEEE 802.11 (WLAN)...

Además de utilizarse diferentes técnicas de espectro ensanchado, en función de la relación señal/ruido se puede utilizar una modulación (bits por símbolo) más o menos rica para alcanzar más velocidad, por lo que los aparatos realizan una negociación de velocidades.

Según la zona geográfica, en la banda de los 2.4GHz se utilizan de 7 a 14 canales (13 en Europa). El ancho de banda de la señal (22MHz) es superior a la separación entre canales consecutivos (5MHz), por eso se hace necesaria una separación de al menos 5 canales con el fin de evitar interferencias entre celdas adyacentes (*Ver Fig. 2.3*). Tradicionalmente se utilizan los canales 1, 6 y 11 o los canales 1, 5, 9 y 13.

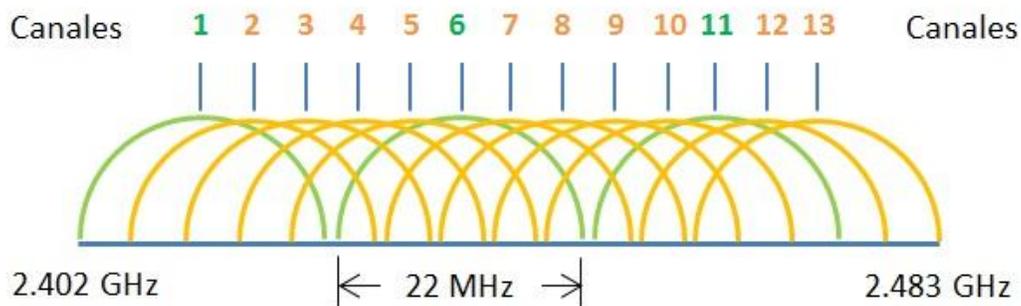


Fig. 2.3: Canales de la banda 2,4 GHz

Diversificación de la señal

Como las señales viajan rebotando en las paredes y objetos, se produce auto interferencia de las señales al llegar desfasadas según el camino que recorren (multitrayectoria de la onda). Es decir se produce interferencia debido a la diferencia de tiempo entre la señal que llega directamente y la que llega reflejada por diversos obstáculos. Para minimizar este

efecto, se suelen utilizar dos antenas ligeramente separadas y el receptor elige la señal de la antena donde se recibe con más claridad.

Codificación radioeléctrica

Las técnicas de codificación que se utilizan son variantes de CDMA (*Code Division Multiple Access*). A 5 GHz se utiliza OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*). A 2,4 GHz se utiliza DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*) con diversidad de antenas (dobles antenas). El estándar original también permitía el uso de la técnica FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*) que reduce mejor la auto interferencia usando una sola antena.

Con dichas técnicas, si hay ruido en alguna frecuencia no afecta a una sola banda, sino que se reparte el efecto entre todas y su efecto es menor.

2.2.2 Topología

Un grupo de estaciones, en un área de cobertura llamada BSA (*Basic Service Area*), dentro de la cual viene garantizada la interconexión y viene utilizada una única función de coordinación, forman una BSS. Por función de coordinación se entiende la función lógica que determina cuando una estación perteneciente a la BSS puede transmitir o recibir sobre el medio de comunicación compartido, el aire. El estándar prevé dos funciones de coordinación:

- DCF (*Distributed Coordination Function*), de tipo distribuida;
- PCF (*Point Coordination Function*), que se basa sobre un único nodo de coordinación.

El estándar prevé que más BSS puedan ser conectadas con una dorsal (*backbone*) llamada *Distribution System* (DS) dentro de una ESS, a través de un punto de acceso (*AP: Access*

Point). Un AP es una estación particular que proporciona una interfaz hacia el DS para las estaciones pertenecientes a una BSS. Todas las STA presentes en una BSS pueden comunicarse directamente entre ellas.

El estándar soporta las dos siguientes topologías de red:

- Redes IBSS (*Independent Basic Service Set*)
- Redes ESS (*Extended Service Set*)

En las redes IBSS, cada estación puede comunicar directamente con otra perteneciente a la misma BSS sin que el tráfico sea llevado hacia cualquier AP o a través de más estaciones intermedias. El concepto IBSS se acerca mucho a las características de una red ad-hoc, ver *Fig. 2.4*, en cuanto a que su objetivo es el de lograr que las estaciones se comuniquen directamente entre ellas, sin tener que acceder a redes dotadas de infraestructura.

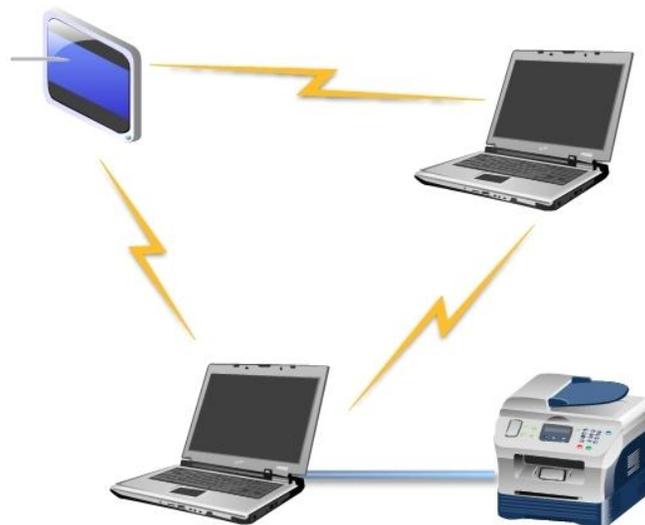


Fig. 2.4: Topología Ad-Hoc

Las redes ESS están formadas por muchas BSS interconectadas a través de un DS, el cual puede ser realizado tanto con tecnología cableada como con tecnología sin cables (*Ver Fig. 2.5*). Este se ocupa de transferir al MAC la denominada MSDU (*MAC Service Data Units*)

entre AP pertenecientes a diversas BSS. Esta tipología de red es necesaria con el fin de permitir la interacción entre terminales que no se encuentran al interno de la cobertura radio de un único Basic Service Set.

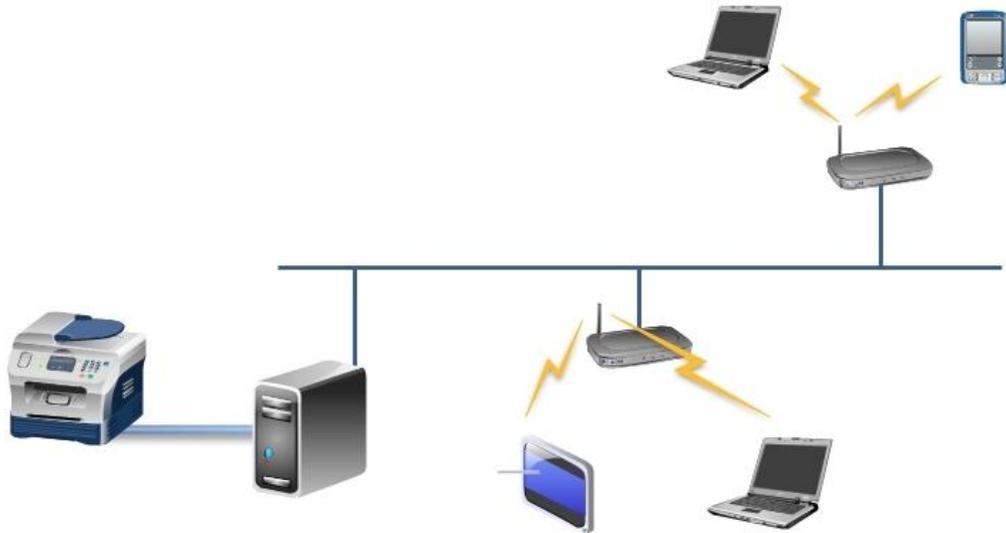


Fig. 2.5: Topología de Infraestructura

A través de dispositivos llamados *portal*, una ESS puede proporcionar también un acceso a Internet mediante la integración lógica entre una wireless LAN y una tradicional LAN cableada. Las redes ESS, sin embargo, no entran en el conjunto de las redes ad-hoc en cuanto necesitan una infraestructura fija.

2.2.3 Descripción del Estándar IEEE 802.11

Un estándar define, además de la topología de red, un conjunto de reglas de acceso y de transmisiones al interno de la misma. El estándar es el instrumento indispensable para garantizar la amplia difusión de una tecnología. Eso permite a diversos técnicos poder realizar el mismo producto y venderlo competitivamente.

Generalmente resulta ser determinante para una empresa o coalición de empresas que, creyendo en una tecnología, la realizan, y cuando ésta ha triunfado, llega a ser un estándar.

El estándar 802.11 define la modalidad de interconexión entre estaciones en áreas limitadas utilizando el aire como medio de transmisión; constituye uno de los estándares de mayor interés para la evolución de las tecnologías de interconexión en áreas locales.

Específicamente, describe la funcionalidad de las capas de acceso (MAC) y física (PHY). El principal objetivo del servicio descrito en el estándar 801.11 es la entrega de unidades de datos (MSDU - MAC Service Data Units) entre unidades de control lógico de conexión (LLC - Logical Link Controls).

El nacimiento del estándar IEEE 802.11 se remonta al año de 1997 el cual especifica dos velocidades de transmisión teóricas de 1 y 2 megabits por segundo (Mbit/s) que se transmiten por señales infrarrojas (IR). IR sigue siendo parte del estándar, si bien no hay implementaciones disponibles.

El estándar original también define el protocolo CSMA/CA (Múltiple acceso por detección de portadora evitando colisiones) como método de acceso. Una parte importante de la velocidad de transmisión teórica se utiliza en las necesidades de esta codificación para mejorar la calidad de la transmisión bajo condiciones ambientales diversas, lo cual se tradujo en dificultades de interoperabilidad entre equipos de diferentes marcas.

Estas y otras debilidades fueron corregidas en el estándar 802.11b, que fue el primero de esta familia en alcanzar amplia aceptación entre los consumidores.

La revisión 802.11b del estándar original fue ratificada en 1999. 802.11b tiene una velocidad máxima de transmisión de 11 Mbit/s y utiliza el mismo método de acceso definido en el estándar original CSMA/CA. El estándar 802.11b funciona en la banda de 2.4 GHz.

Debido al espacio ocupado por la codificación del protocolo CSMA/CA, en la práctica, la velocidad máxima de transmisión con este estándar es de aproximadamente 5.9 Mbit/s sobre TCP y 7.1 Mbit/s sobre UDP.

Aunque también utiliza una técnica de aumento de espectro basada en DSSS, en realidad la extensión 802.11b introduce CCK (Complementary Code Keying) para llegar a velocidades de 5,5 y 11 Mbps (tasa física de bit). El estándar también admite el uso de PBCC (Packet Binary Convolutional Coding) como opcional. Los dispositivos 802.11b deben mantener la compatibilidad con el anterior equipamiento DSSS especificado a la norma original IEEE 802.11 con velocidades de 1 y 2 Mbps.

En junio de 2003, se ratificó un tercer estándar de modulación: 802.11g. Que es la evolución del estándar 802.11b, Este utiliza la banda de 2.4 Ghz (al igual que el estándar 802.11b) pero opera a una velocidad teórica máxima de 54 Mbit/s, que en promedio es de 22.0 Mbit/s de velocidad real de transferencia, similar a la del estándar 802.11a. Es compatible con el estándar b y utiliza las mismas frecuencias. Buena parte del proceso de diseño del estándar lo tomó el hacer compatibles los dos estándares. Sin embargo, en redes bajo el estándar g la presencia de nodos bajo el estándar b reduce significativamente la velocidad de transmisión.

Los equipos que trabajan bajo el estándar 802.11g llegaron al mercado muy rápidamente, incluso antes de su ratificación que fue dada aproximadamente el 20 de junio del 2003. Esto se debió en parte a que para construir equipos bajo este nuevo estándar se podían adaptar los ya diseñados para el estándar b.

Actualmente se venden equipos con esta especificación, con potencias de hasta medio vatio, que permite hacer comunicaciones de hasta 50 km con antenas parabólicas o equipos de radio apropiados.

802.11g tiene la ventaja de poder coexistir con los estándares 802.11a y 802.11b, esto debido a que puede operar con las Tecnologías RF DSSS y OFDM. Sin embargo, si se

utiliza para implementar usuarios que trabajen con el estándar 802.11b, el rendimiento de la celda inalámbrica se verá afectado por ellos, permitiendo solo una velocidad de transmisión de 22 Mbps. Esta degradación se debe a que los clientes 802.11b no comprenden OFDM.

Suponiendo que se tiene un Access Point que trabaja con 802.11g, y actualmente se encuentran conectados un cliente con 802.11b y otro 802.11g, como el cliente 802.11b no comprende los mecanismos de envío de OFDM, el cual es utilizado por 802.11g, se presentarán colisiones, lo cual hará que la información sea reenviada, degradando aún más nuestro ancho de banda.

La revisión 802.11a al estándar original fue ratificada en 1999 y funciona en la banda de 5GHz utilizando 52 sub portadoras OFDM (*Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*).

802.11a tiene una velocidad teórica máxima de 54 Mbit/s, con velocidades reales de aproximadamente 20 Mbit/s. La velocidad de datos se reduce a 48, 36, 24, 18, 12, 9 o 6 Mbit/s en caso necesario.

802.11a tiene 12 canales no solapados, 8 para red inalámbrica y 4 para conexiones punto a punto. Los equipos 802.11a y 802.11b no pueden operar entre ellos.

La revisión 802.11a utiliza la banda de 5 GHz, que tiene restricciones, de hecho 802.11a no es utilizable en Europa. Sin embargo la cantidad de canales disponibles y la ausencia de interferencias hacen de él una buena opción para profesionales y empresas que estén dispuestos a obtener (y pagar) una licencia para el uso de dicha banda. Sin embargo, la utilización de esta banda también tiene sus desventajas. Dado que sus ondas son más fácilmente absorbidas, los equipos 802.11a deben quedar en línea de vista y son necesarios un mayor número de puntos de acceso. Los productos del estándar 802.11a aparecieron en el mercado en 2001.

En enero de 2004, el IEEE anunció la formación de un grupo de trabajo 802.11 (TGN) para desarrollar una nueva revisión del estándar 802.11. La velocidad real de transmisión podría

llegar a los 600 Mbps (lo que significa que las velocidades teóricas de transmisión serían aún mayores), y debería ser hasta 10 veces más rápida que una red bajo los estándares 802.11a y 802.11g, y unas 40 veces más rápida que una red bajo el estándar 802.11b.

También se espera que el alcance de operación de las redes sea mayor con este nuevo estándar gracias a la tecnología MIMO Multiple Input – Multiple Output, que permite utilizar varios canales a la vez para enviar y recibir datos gracias a la incorporación de varias antenas. Existen también otras propuestas alternativas que podrán ser consideradas. El estándar ya está redactado, y se viene implantando desde 2008. A principios de 2007 se aprobó el segundo boceto del estándar. Anteriormente ya había dispositivos adelantados al protocolo y que ofrecían de forma no oficial este estándar (con la promesa de actualizaciones para cumplir el estándar cuando el definitivo estuviera implantado).

A diferencia de las otras versiones de Wi-Fi, 802.11n puede trabajar en dos bandas de frecuencias: 2,4 GHz (la que emplean 802.11b y 802.11g) y 5 GHz (la que usa 802.11a).

Gracias a ello, 802.11n es compatible con dispositivos basados en todas las ediciones anteriores de Wi-Fi. Además, es útil que trabaje en la banda de 5 GHz, ya que está menos congestionada y en 802.11n permite alcanzar un mayor rendimiento.

2.2.4 Arquitectura 802.11

La arquitectura lógica del estándar IEEE 802.11 está definida por el nivel MAC PHY de la pila ISO-OSI.

Esta clase de diseños a niveles es común a todas las modernas arquitecturas de red; lo que varía de una a otra es el número de niveles, su nombre y la entidad contenida. La finalidad de cada nivel es aquella de proporcionar servicios a las entidades del nivel superior, enmascarando el modo en las que son implementadas. A excepción del nivel más alto, un nivel N proporciona servicios de su nivel a las entidades del nivel N+1. Las entidades de

Campos que componen la cabecera MAC:

FRAME CONTROL: este campo contiene las informaciones de control estructuradas como vienen mostradas en la *Fig. 2.7*. Eso comprende:

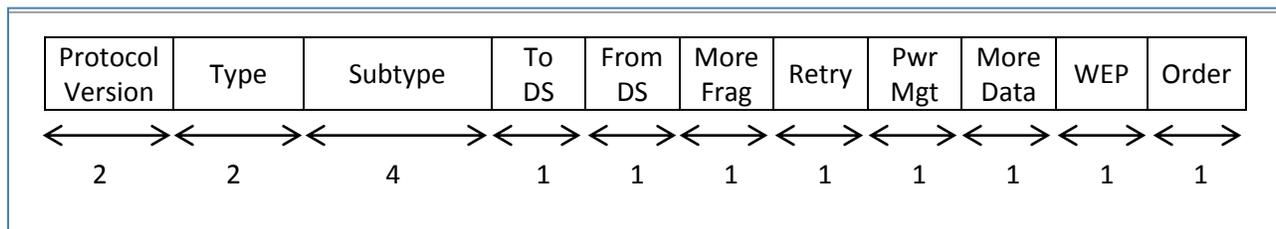


Fig. 2.7: Formato del Campo Frame Control

- Protocol Versión: es un campo de longitud 2 bit, su valor por defecto es 0 y todos los demás valores están reservados para versiones futuras del protocolo.
- Type y Subtype: el campo Type tiene longitud 2 bit y el Subtype 4 bit. Juntos identifican si la trama es de gestión, de control o de datos.

En particular, los valores del campo Type pueden ser 00 que identifica un Management frame, 01 para un Control frame, 10 para un Data frame y 11 si está reservado:

- ✓ Trama de *datos (Data Frames)*: para la transmisión de las unidades informativas.
 - ✓ Trama de *control (Control Frames)*: para el control del acceso al medio.
 - ✓ Trama de *gestión (Management Frames)*: utilizadas para intercambiar información sobre la gestión de la conexión.
- To DS: es un campo de 1 bit, y vale 1 para las tramas destinadas al DS, sino 0.
 - From DS: es un campo de 1 bit, y vale 1 para las tramas provenientes de un DS, sino un 0.

- **More Fragments:** es un campo de 1 bit, y vale 1 en todas las tramas de datos o de gestión que tienen fragmentos de la MSDU, sino vale 0.
- **Retry:** es un campo de 1 bit, y vale 1 en todas las tramas de datos o de gestión que son retransmitidas en un mismo frame, sino vale 0.
Esta información la usan las estaciones receptoras para eliminar las tramas duplicadas.
- **Power Management:** es un campo de 1 bit e indica el estado de energía en la que se encontrará la estación después de haber completado la secuencia de intercambios de tramas.
- **More Data:** es un campo de longitud 1 bit y si está a 1 indica que hay otras MSDU que están para ser enviadas a la estación receptora.
- **WEP:** está puesto a 1 si el campo frame body contiene informaciones que están codificadas mediante algoritmo WEP.
- **Order:** si está puesto a 1 indica a la estación receptora que procese los datos según el orden de llegada.

DURATION/ID: es un campo de longitud 16 bit e indica el tiempo (en microsegundos) por el cual el canal estará ocupado hasta que llegue una transmisión correcta de una MPDU. En las tramas de control de tipo Power Save-Poll el campo contiene un identificador de asociación de la estación que ha transmitido la trama.

ADDRESS 1, 2, 3 y 4: son cuatro campos que contienen una dirección en el formato de la trama MAC y se utilizan para indicar el Basic Service Set Identifier (BSSID), el Destination Address (DA), el Source Address (SA), el Receiver Address (RA) y el Transmitter Address (TA). En la interpretación de los cuatro campos vienen también involucrados los campos To DS y From DS, como en la Tabla II.I:

Tabla II.1: Interpretaciones de los campos Address 1, 2, 3 y 4 en función de To DS y From DS.

To DS	From DS	Address 1	Address 2	Address 3	Address 4
0	0	DA	SA	BSSID	N/A
0	1	DA	BSSID	SA	N/A
1	0	BSSID	SA	DA	N/A
1	1	RA	TA	DA	SA

Como se puede ver, si los campos To DS=0 y From DS=0, equivale decir que el DS no está involucrado en la comunicación. En el Address 1 se encuentra la dirección MAC de la estación destinataria y en el Address 2 la de la estación emisora. Así como, el Address 3 contiene el BSSID (que equivale a la dirección del AP en las redes ESS y a un número casual en las IBSS) y, por último, el Address 4 no se utiliza. De modo análogo se interpretan los demás casos.

SEQUENCE CONTROL: es un campo de 16 bit que a su vez está formado por dos campos, como se puede ver en su formato expuesto en la Fig. 2.8.

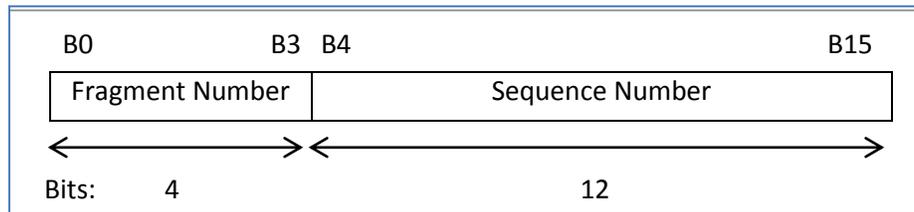


Fig. 2.8: El Campo Sequence Control

- ✓ Sequence Number: indica el número de secuencia de una MSDU que le viene atribuido por un contador de incremento unitario 4096.

El Sequence Number permanece invariante en todas las retransmisiones y para todos los fragmentos de una MSDU.

- ✓ **Fragment Number:** indica el número del fragmento de una MSDU. Vale 0 para el primer fragmento y se queda igual en todas las retransmisiones del mismo segmento.

Una trama muy larga puede ser dividida en fragmentos más pequeños (*Ver Fig. 2.9*), cada uno de los cuales es transmitido de manera independiente a los otros y, por tanto, requiere de un propio ACK: el beneficio es evidente en el caso de intentos de transmisiones, algunas de las cuales, fallidas. Se hace entonces necesario retransmitir el único fragmento erróneo y no el entero MSDU. El inconveniente está representado en el aumento del overhead.

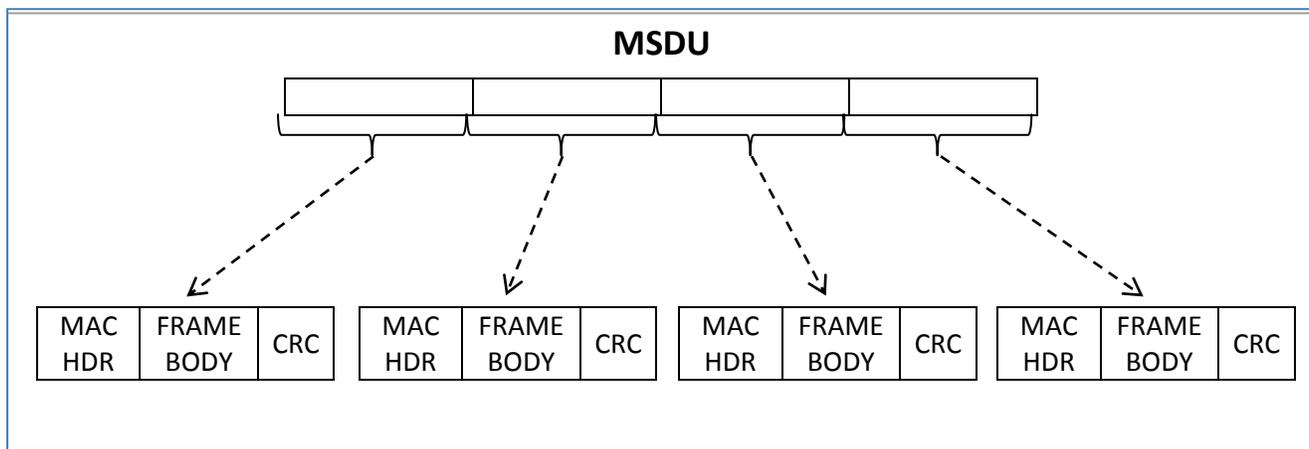


Fig. 2.9: Fragmentación de una trama

FRAME BODY: es un campo de longitud variable; su longitud mínima es de 0 byte y la máxima de 2312 byte. Estas contienen información específica al tipo de trama.

FCS: campo de 32 byte que contiene el código CRC a 32 bit que viene calculado sobre todos los campos de la cabecera más el campo Frame Body.

2.2.4.1.2 Acceso al Medio 802.11

En una red gobernada por un protocolo de acceso casual al medio, no hay pre asignaciones de banda a las individuales estaciones, más bien, cada una de ellas accede al canal independientemente de las otras. Para evitar transmitir simultáneamente a otra estación y

causar una colisión, los terminales que trabajan en una red inalámbrica deben necesariamente regular el acceso al canal. Tal comportamiento se hace necesario por las características de compartir el medio físico utilizado para el intercambio de información.

Así como en la red cableada, se hacen necesarias las políticas de contienda del medio de transmisión entre estaciones para administrar los posibles eventos de conflictos. El nivel MAC se encarga de la entrega de las unidades informativas de nivel superior (LLC) entre estaciones origen y destino, garantizando el éxito de la transferencia y ocupándose de la gestión de la denominada lógica de coordinación para acceso al medio.

Como ya hemos dicho, la función de coordinación podría ser constituida por la lógica de coordinación llamada DCF (*Distributed Coordination Function*) que es de tipo distribuida, o de la PCF (*Point Coordination Function*) que se basa sobre un único nodo de coordinación.

El estándar define, además, dos diferentes intervalos de tiempo: el CP (*Contention Period*) durante el cual la red usa el DCF, y el CFP (*Contention Free Period*) durante el cual viene utilizado el PCF.

La técnica DCF usa el protocolo CSMA/CA con los ACK y un tiempo casual de backoff, asegurando la interoperatividad entre estaciones que transmiten con tasa de datos distintas.

EL PROTOCOLO CSMA/CA

El protocolo CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*) pertenece a la clase de protocolos de acceso (CSMA) que efectúan un *sensing* (revelación) del canal antes de iniciar una transmisión. En el estándar 802.11, la capa física sondea el nivel de energía sobre la frecuencia radio para determinar si hay o no transmisión. Eso prevé que la capa física “pruebe” el canal de transmisión y proporcione esta información al

protocolo MAC, la estación podrá transmitir sólo si el canal está libre, sino, esperará a que lo esté, buscando evitar de este modo las colisiones.

A la clase de los protocolos CSMA pertenece también el CSMA/CD (*CSMA with Collision Detection*), utilizado en el estándar 802.3 y en todas las redes Ethernet cableadas, el cual prevé que una estación que está transmitiendo sobre el canal libre escuche aquello que efectivamente está sobre el canal: de hecho podría existir una colisión debida al hecho que dos o más estaciones hubiesen sentido el canal libre en el mismo momento. Sin embargo, el CSMA/CA del 802.11, a diferencia del CSMA/CD, no implementa la revelación de las colisiones por, al menos, dos motivos: la capacidad de percibir las colisiones requiere la posibilidad tanto de enviar como de recibir al mismo tiempo y eso puede ser costoso; pero más importante es el hecho que aunque se revelaran las colisiones y al momento del envío no revelara alguna, una colisión se podría verificar siempre al receptor.

Esta última situación deriva de algunos problemas particulares del medio de transmisión sin cables:

El problema de la atenuación (fading): debido a la atenuación de la señal cuando se propaga a través del aire, dos estaciones pueden transmitir simultáneamente hacia el mismo nodo y provocar en el receptor colisiones no advertidas. Esto se esquematiza en la Fig. 2.10.

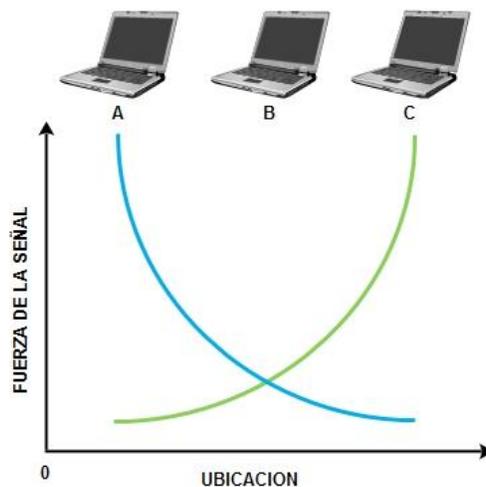


Fig. 2.10: Problema de la Atenuación

El problema del terminal oculto (hidden terminal problem): los obstáculos físicos en el ambiente (por ejemplo una montaña) o la distancia pueden hacer que la estación A compruebe el canal, lo encuentre libre e inicie una transmisión hacia el nodo B que está ya recibiendo una trama desde otra estación C. A B le llegan dos paquetes desde nodos diferentes provocando así una colisión, ver Fig. 2.11.

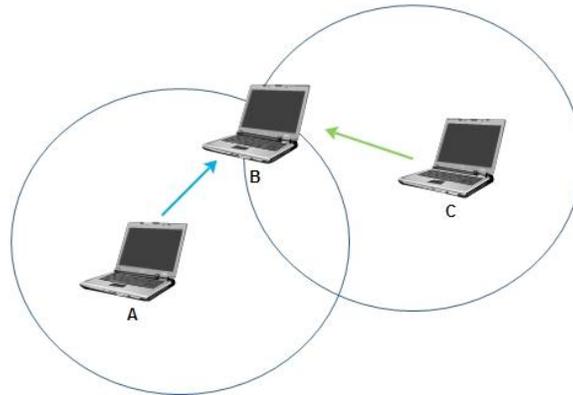


Fig. 2.11: Problema del Terminal Oculto

El problema de la estación expuesta (exposed node): haciendo referencia a la Fig. 2.12, se nota que B está transmitiendo una trama a A; el nodo C (nodo expuesto) no puede transmitir hacia D porque siente el canal ocupado por la transmisión de B (se encuentra en su radio de acción), aunque su transmisión no creara una colisión en A. Este problema lleva a una baja utilización de la banda disponible.

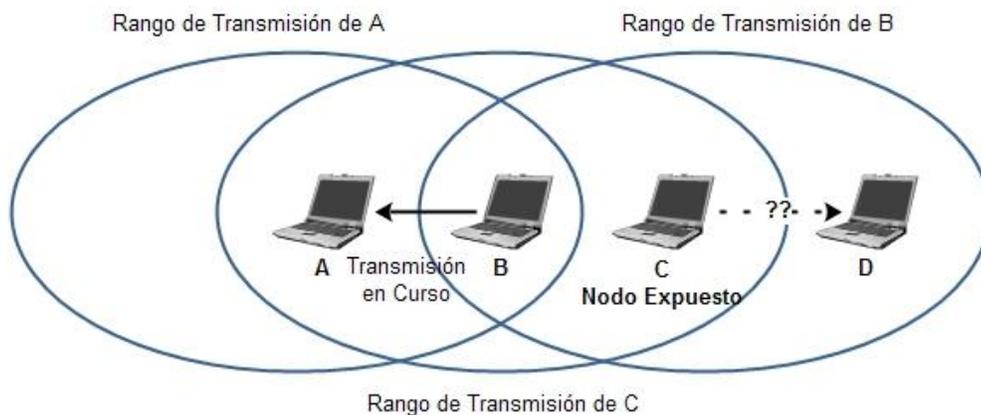


Fig. 2.12: Problema de la Estación Expuesta

Para limitar estos problemas el estándar 802.11 contempla lo siguiente:

LOS INTERVALOS INTERFRAME DEL NIVEL MAC 802.11

Las tramas del nivel MAC están espaciadas en el tiempo a intervalos llamados IFS (*InterFrame Space*). El uso de los IFS en el estándar 802.11 permite a las estaciones separar estas tramas entre ellas. El estándar prevé cuatro IFS distintos, y obtener un acceso al medio con diferentes niveles de prioridad y separar las tramas de estaciones diversas. La duración del IFS está determinada a partir del valor de particulares atributos relativos al nivel físico implementado pero es independiente de la tasa de bit de las estaciones:

- *SIFS (Short IFS)*: es el más breve intervalo de tiempo definido. Viene utilizado para transmitir sobre el medio, sin efectuar la contienda, tramas de ACK, CTS o las MPDU que constituyen roturas de fragmentos, o para responder a un *polling* durante la modalidad PCF.
- *PIFS (PCF IFS)*: es un intervalo de tiempo usado exclusivamente en la modalidad PCF. Su duración es función del *aSlotTime*, unidad temporal definida a su vez por el tipo de nivel físico utilizado. El PIFS está ligado al SIFS por la siguiente relación (2.1) y su duración es tal para proporcionar una prioridad de acceso al canal.

$$\text{PIFS} = \text{aSlotTime} + \text{SIFS} > \text{SIFS} \quad (2.1)$$

- *DIFS (DCF IFS)*: viene utilizado por las estaciones que operan en modalidad DCF para transmitir tramas de datos (MPDU) o tramas de gestión (MMPDU, MAC Management Protocol Data Unit). Se relaciona con el PIFS como sigue:

$$\text{DIFS} = \text{aSlotTime} + \text{PIFS} > \text{PIFS} \quad (2.2)$$

EIFS (Extended IFS): se utiliza solamente en modalidad DCF cada vez que el nivel físico lo indica, para el nivel superior (MAC), que verifican los errores en la transmisión. Este intervalo se relaciona con los otros mediante la siguiente función:

$$EIFS = SIFS + [8 * dimension ACK (\mu s) + dimension PLCP Preamble (\mu s) + dimension PLCP Header (\mu s)] + DIFS \quad (2.3)$$

Donde, $EIFS > DIFS$.

En la Fig. 2.13 se representan las relaciones temporales entre estos valores y se esquematiza el denominado procedimiento de backoff.

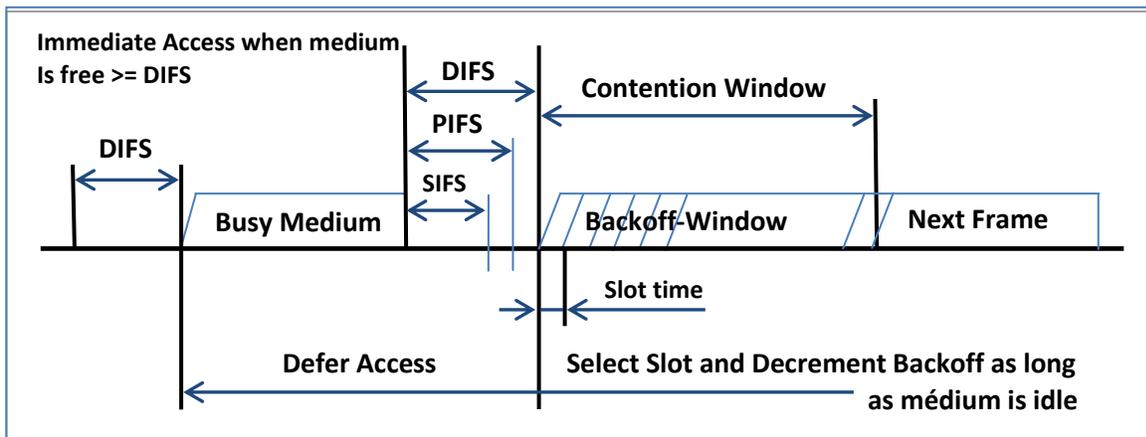


Fig. 2.13: Relaciones entre IFS

EL PROCEDIMIENTO DEL BACKOFF

El procedimiento del *backoff* (tiempo de espera) viene llevada a cabo en estas situaciones:

- Inmediatamente después de que la estación, comprobando el medio antes de la transmisión de la trama, haya sentido el canal ocupado.
- Cuando una trama debe ser retransmitida.
- Después de las transmisiones llevadas a cabo con éxito en particulares tramas (aquellas con el bit More Fragments igual a 0 o aquellas con el campo Subtype igual al PS-Poll).

Cada estación que intenta iniciar una transmisión debe primero efectuar el *carrier-sense* (comprobación del canal), y sólo después de haber sentido el canal libre por un tiempo mayor o igual a un DIFS (o a un EIFS, en el caso de que una transmisión anterior no haya sido completada con éxito) podría transmitir una trama. Por lo tanto, en el caso en que el canal resultase ocupado, la estación debería retrasar la transmisión hasta que el canal quede libre mediante un DIFS o un EIFS, según los casos. Además, para precaver la posibilidad de colisión con otras estaciones que queriendo transmitir habían igualmente sentido libre el canal con un DIFS o un EIFS, viene calculado un tiempo casual de backoff, es decir, un posterior tiempo de espera.

El tiempo de backoff generado casualmente, indica cuanto tiempo debe esperar la estación después de que el canal se sienta libre con un DIFS o un EIFS. El valor del backoff viene calculado según la siguiente expresión:

$$\text{Backoff Time} = \text{Random()} * \text{aSlotTime} \quad (2.4)$$

Donde,

Random() es un número entero pseudocasual extraído de una distribución uniforme en el intervalo $[0, CW]$, donde *CW* (*Contention Window*) es un número entero expresado entre dos parámetros característicos del nivel físico llamados *aCWmin* y *aCWmax*.

$$aCW_{\min} \leq CW \leq aCW_{\max} \quad (2.5)$$

aSlotTime es el parámetro que define la duración del *time slot* (tiempo de slot) a nivel físico, y depende de la particular tecnología de transmisión utilizada (50 μ s para el Frequency Hopping Spread Spectrum, 20 μ s para el Direct Sequence Spread Spectrum, 8 μ s para el Infrarrojo).

Después de haber esperado que el canal quedase libre mediante un DIFS o un EIFS, la estación, para poder transmitir su trama, debe decrementar un contador llamado *Backoff*

Timer, que parte del valor del Backoff Time (calculado con la fórmula 2.4) y decrece en una unidad con cada intervalo de *aSlotTime*.

Durante este decremento, la estación sigue sondeando el canal para tener en cuenta si, mientras tanto, cualquier otra estación ha ocupado el medio. En el caso en el que esto ocurra, todas las estaciones detienen el decremento y el valor del contador viene congelado para utilizarlo como valor inicial en la próxima contienda, garantizando a las relativas estaciones un tipo de prioridades de acceso al medio. Cuando el Backoff Timer se pone a cero, la estación podrá transmitir su trama ocupando el canal. Sin embargo se podrá verificar que dos estaciones, habiendo generado el mismo número de backoff, inician a transmitir simultáneamente sobre el canal, provocando una colisión de la cual se perciben no recibiendo la trama ACK de confirmación. El parámetro CW varía dinámicamente en cada una de las estaciones con el intervalo [*aCWmin*, *aCWmax*], ver Fig. 2.14. Se parte de un valor inicial igual a *aCWmin* y viene incrementado exponencialmente al verificarse una colisión, hasta alcanzar el valor *aCWmax*, según la siguiente expresión:

$$CW = 2 * CW + 1 \quad (2.6)$$

En cambio, si la transmisión de la trama va a buen fin (recepción del ACK), entonces CW vuelve a configurarse como *aCWmin*.

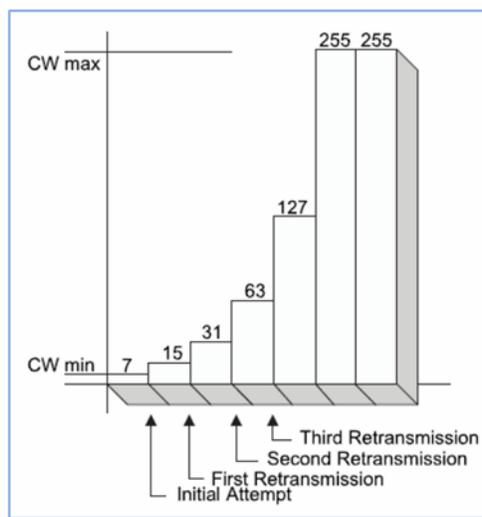


Fig. 2.14: Incremento Exponencial de CW

DCF (DISTRIBUTED COORDINATION FUNCTION)

El DCF representa el principal método de acceso al canal en una red wireless y viene utilizado para la transferencia asíncrona de los datos en modalidad *best-effort*, es decir, sin garantizar la QoS (Quality of Service). El DCF es la única modalidad prevista por las redes IBSS y por todas las redes privadas de un control centralizado (como por ejemplo la red wireless ad-hoc). Se utiliza en el intervalo temporal CP (*Contention Period*) y proporciona un método que consiente a las estaciones de acceder en modo justo (fair) al canal.

Se ha dicho ya que cada estación con intención de transmitir una MSDU debe participar en la disputa por el canal, también para las que deben retransmitir, y que la modalidad DCF se basa en el CSMA/CA, donde la operación fundamental a completar es el carrier-sense. En el estándar IEEE 802.11 viene definida las dos modalidades de la comprobación del canal: una clase a nivel físico (*physical carrier sensing*) y otra en el subnivel MAC (*virtual carrier sensing*).

El *physical carrier sensing* advierte de la presencia de otros usuarios IEEE 802.11 analizando los paquetes recibidos mediante la interfaz. A su vez, sondea el nivel de energía sobre la frecuencia radio para determinar si hay o no una transmisión en curso, proporcionando esta información al nivel MAC.

En el *virtual carrier sensing*, a nivel MAC, todas las estaciones presentes en la BSS escuchan las tramas que transitan sobre el canal y extraen de la trama el campo Duration/ID (a menos que no se trate de una trama transmitida durante el CFP, en el cual el campo Duration es puesto a 32768, o de tramas con Subtype igual a Power Save-Poll). Este campo contiene una información muy importante: el intervalo de tiempo en microsegundos, que una estación en espera de adjudicarse el canal debe atender antes de iniciar a sondearlo. Las estaciones vienen, por tanto, informadas sobre cuánto durará la transmisión en curso en el caso en que venga correctamente, del tal modo que no se compruebe inútilmente el canal. Estas, además, actualizan con la información adquirida un contador interno llamado NAV (Network Allocation Vector), que se decrementa hasta alcanzar el valor 0 cuando la

transmisión correcta viene terminada. Se podrá reanudar a comprobar el canal cuando tanto el physical como el virtual carrier sensing indiquen que el canal esté libre. El virtual carrier sensing es, en cambio, una operación de percepción efectuada a un nivel más alto al precedente. Recapitulando las modalidades de acceso al canal según la DCF, se debe proceder como sigue, *ver Fig. 2.15*:

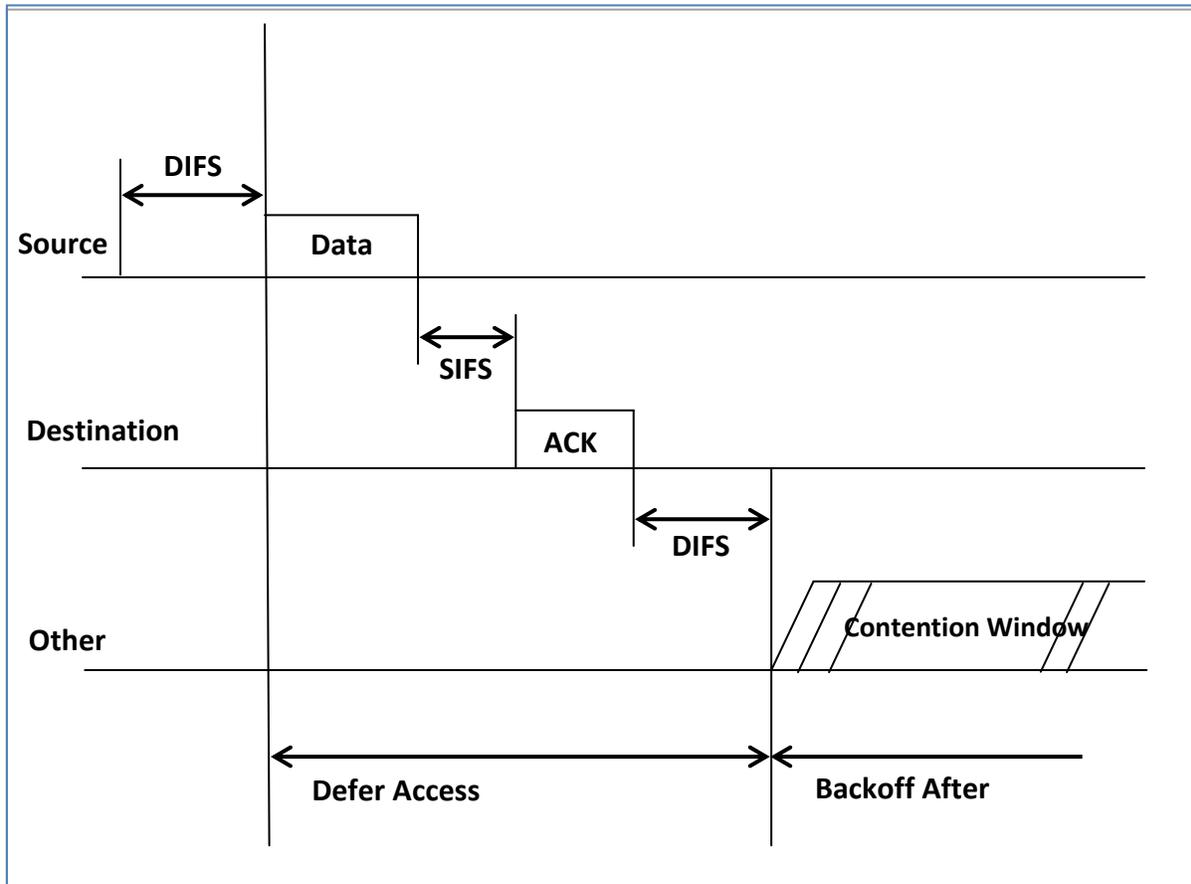


Fig. 2.15: Ejemplo de transmisión de una trama DATA y del relativo ACK

Una estación que tuviese la necesidad de transmitir una trama, debe primero controlar que el medio no esté ocupado efectuando una medida de potencia de la señal presente en el canal (physical carrier sensing). Cuando esta condición viene verificada, la estación continúa para efectuar un control mediante un DIFS (o un EIFS); al término de este transcurso sucedido con éxito, la estación inicia la transmisión de los datos siguiendo el procedimiento mostrado en la *Fig. 2.16*. Si el canal, en cambio, resulta ocupado, se efectúa

el virtual carrier sensing y se espera al reseteo del NAV para sondear de nuevo el canal. Suponiendo que el canal resulte libre por un tiempo DIFS, viene puesta en marcha el backoff [cfr. par. 2.4.2.3].

Viene pues generado el número casual del backoff time y después de haber sentido el canal libre por un DIFS (o un EIFS) se empieza a decrementar el backoff timer.

Cuando este contador llegue a cero, la transmisión puede finalmente llevarse a cabo. La estación destinataria controla a su vez que los datos recibidos sean correctos según el algoritmo CRC y, por último, un SIFS restituye una trama ACK de confirmación.

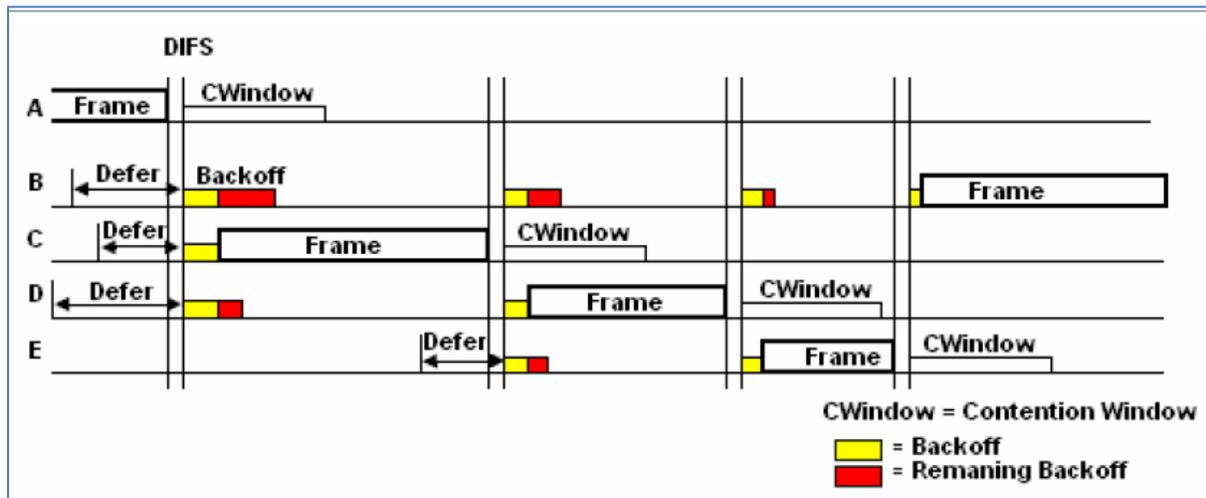


Fig. 2.16: Ejemplo de aplicación del procedimiento de backoff

LAS TRAMAS RTS Y CTS

El problema del terminal oculto [cfr. par. 2.4.2.1] es de fundamental importancia en las redes inalámbricas: el nodo oculto, puesto que se encuentra en proximidad a la estación que está recibiendo una trama y bastante lejano de aquella que lo está transmitiendo, no puede leer el campo Duration/ID transmitido en la trama, por lo tanto, no actualiza su NAV. En este caso el mecanismo de virtual carrier sensing no tiene efecto y se verifica una colisión.

Para buscar limitar tal problema, el protocolo IEEE 802.11 puede utilizar una breve trama de control *petición de envío* (RTS, *Request To Send*) y una breve trama de *vía libre para el envío* (CTS, *Clear To Send*) para *reservar* el acceso al canal. En la Fig. 2.17 se muestra el formato de las dos tramas:

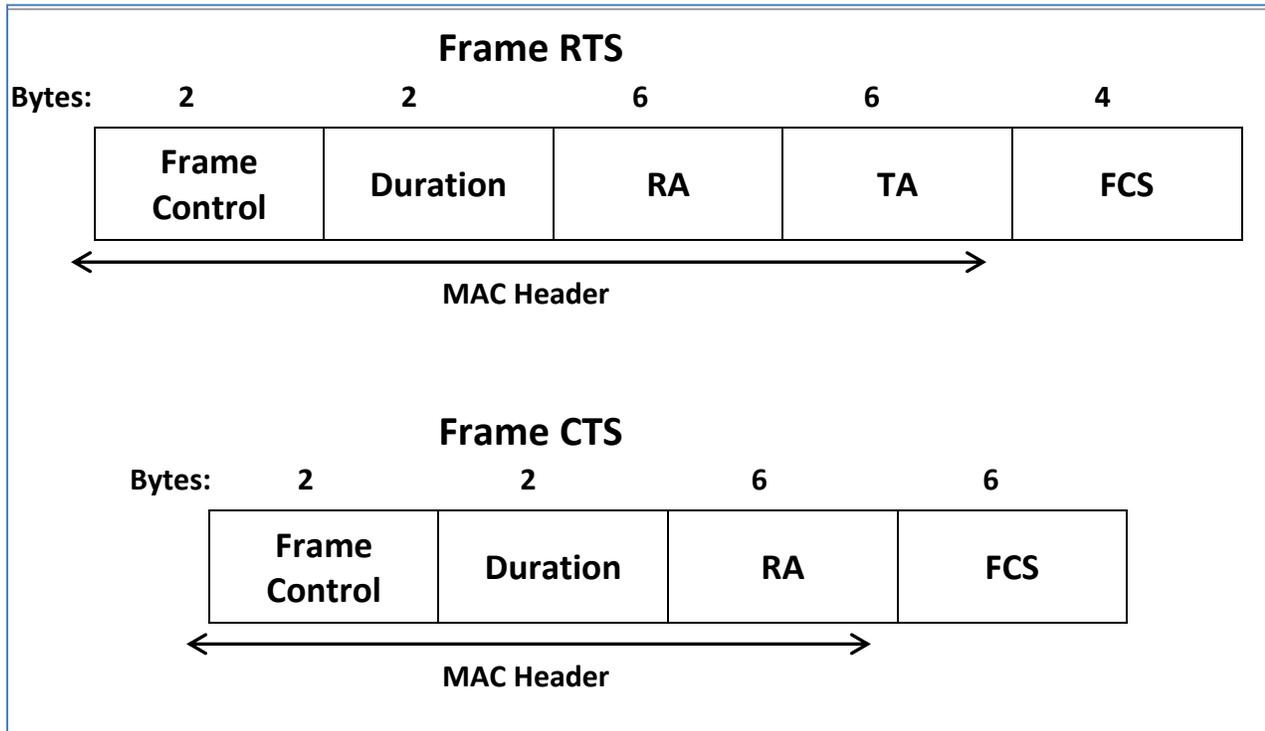


Fig. 2.17: Formato de las tramas RTS y CTS

El mecanismo prevé que la estación, antes de transmitir la trama de datos, envíe al receptor la trama de control RTS, especificando en el campo Duration el tiempo total necesario para la transmisión de la trama de datos y del relativo frame ACK. El destinatario responde después de un SIFS con otra trama de control CTS, en el cual copia el campo de duración. Tal información consiente a todos los nodos que ven el intercambio de los dos paquetes de actualizar el NAV. Los nodos que ven solo el CTS (eventuales nodos escondidos), actualizan el NAV en un momento sucesivo respecto a aquellos que ven el RTS, como mostrado en la Fig. 2.18.

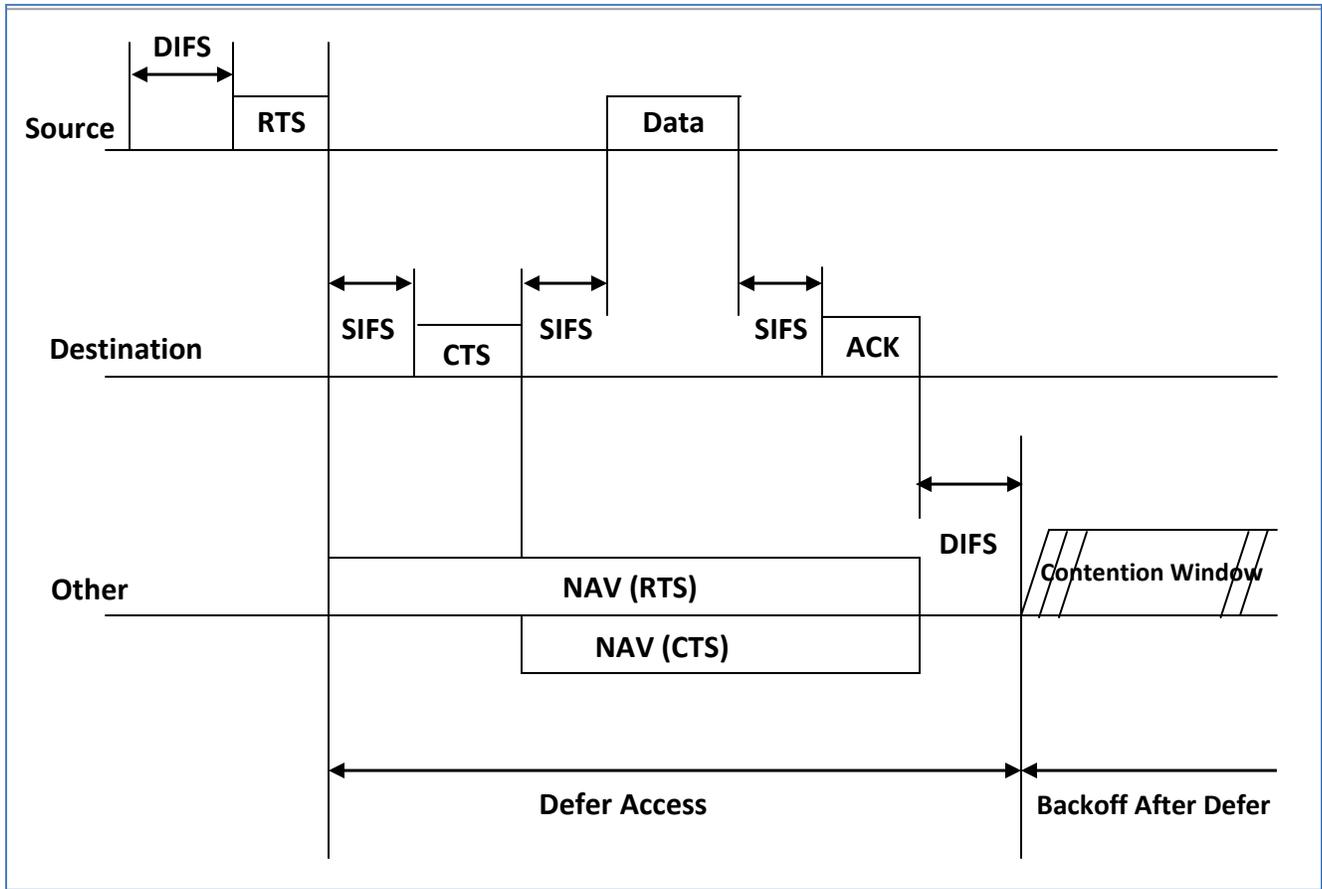


Fig. 2.18: Ejemplo de utilización de las tramas RTS y CTS

Ya que tanto el CTS como el ACK vienen enviados después de un intervalo SIFS, más breve respecto a un DIFS, estas tramas adquieren indirectamente una prioridad más alta respecto a otras tramas en el acceso al medio. Además, las colisiones debidas a la estación oculta son reducidas al intervalo de transmisión del RTS más un SIFS.

Debido al anterior *overhead* introducido, el intercambio de RTS/CTS no está siempre justificado, especialmente para tramas de datos de pequeñas dimensiones, mientras se considera ventajoso para paquetes más largos de un cierto valor umbral (*RTSThreshold*).

2.2.4.2 El Nivel Físico Para el 802.11

El nivel físico, cuya estructura lógica viene reportada en la *Fig. 2.19*, se ocupa de efectuar las siguientes operaciones:

- ✓ Determinación del estado del canal (Carrier Sense).
- ✓ Transmisión de los datos sobre el canal.
- ✓ Recepción de los datos del canal.

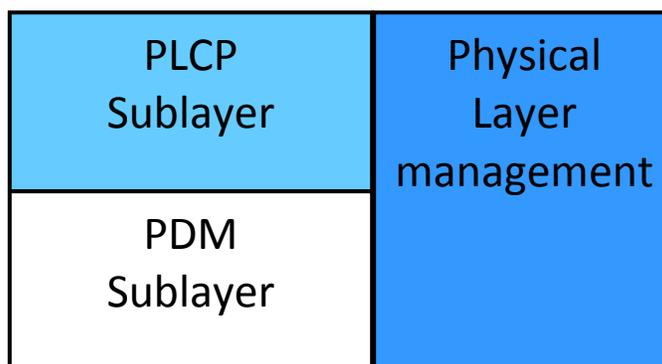


Fig. 2.19: Estructura Lógica del Nivel PHY

Describimos, por tanto, la estructura lógica reportada en la *Fig. 2.19*:

- El *Physical Layer Management*, tiene la tarea de administrar el *PLCP Sublayer* y el *PDM Sublayer* haciendo de interfaz con el nivel MAC.
- El *PLCP Sublayer*, convierte los paquetes provenientes del nivel MAC en PPDU (PLCP Protocol Data Unit). Esto mediante la agregación de un PLCP preamble y un PLCP header.
- El *PDM Sublayer*, es el transductor hacia el canal. Este convierte la información en señal eléctrica, encargándose de la modulación y la demodulación.

En la primera versión del estándar IEEE 802.11 se incluyen tres diferentes implementaciones para el nivel físico: DSSS, FHSS, IR. Las sucesivas extensiones del

estándar, en cambio, han introducido el OFDM y una versión más veloz del DSSS denominada HR-DSSS (High Rate Direct Sequence Spread Spectrum). Estas representan fundamentalmente diversos tipos de modulación de señal permitiendo diversas frecuencias de transmisión.

1) Las redes basadas en rayos infrarrojos usan la tecnología *IR (InfraRed)*, la cual opera con longitud de onda comprendida en el rango que va de 850nm a 950nm.

Esta está limitada a las instalaciones de redes en ambientes delimitados dados que los rayos infrarrojos no se propagan a través de objetos opacos (como las paredes). Sin embargo presenta la ventaja de no generar interferencia.

Las ondas de radio proporcionan la conectividad incluso en condiciones de no visibilidad. Las redes wireless basadas en ondas de radio utilizan las técnicas de modulación *SS (Spread Spectrum)*, las cuales distribuyen la potencia sobre una vasta banda de frecuencia (*Ver Fig. 2.20*), de manera que la señal sea menos susceptible a la interferencia de lo que es con las convencionales técnicas de modulación radio. En otras palabras, a mayor banda consumida la señal obtenida es, por tanto, más simple de observar con el simple hecho de que el receptor conozca los parámetros spread spectrum empleados por el transmisor. Si el receptor no está sintonizado a la justa frecuencia, la señal se asimila al ruido.

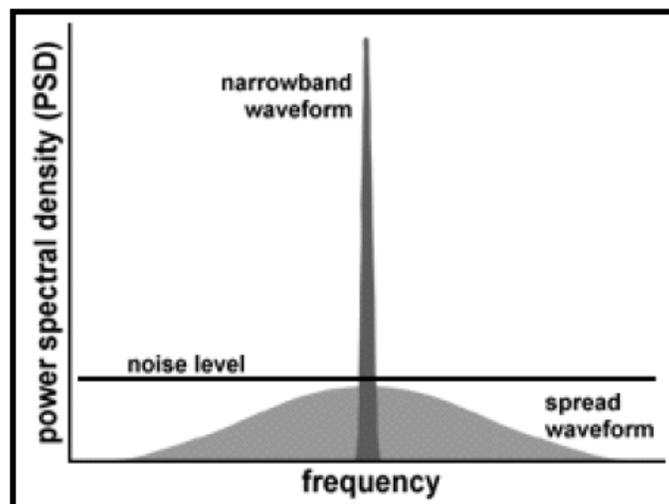


Fig. 2.20: Spread Spectrum (SS)

Existen dos tipos de tecnologías SS: *FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)* y *DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)*.

2) Los sistemas *FHSS*, durante el la transferencia de señales, “saltan” de una frecuencia a otra: realmente las estaciones transmiten uno o más paquetes de datos utilizando un transporte, después pasan a otra frecuencia y envían una o más tramas de datos y prosiguen de esta manera alternando un salto y una transmisión. El tiempo de permanencia en cada frecuencia está fijado y no puede superar los 400 ms, pero la secuencia de los saltos es pseudocasual y advierte tanto al transmisor como al receptor.

Los saltos de un canal a otro deben sucederse a una velocidad mínima de 2.5 saltos/seg. y deben estar distanciados en frecuencia al menos de 6MHz. La modulación prevista por el 802.11 es la *GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying)* y las tasas de bits alcanzables con esta tecnología son 1Mbps y 2Mbps.

3) El *DSSS* es una tecnología de transmisión a “frecuencia directa” a banda ancha: los bits informativos a transmitir están relacionados con una secuencia redundante de bit llamada “chipping code”, de tal manera que sea probable recuperar los datos originales, incluso en la hipótesis de bit dañados, sin tener que recurrir a retransmisiones.

El tipo de modulación depende de la velocidad de transmisión: para tasa de bit de 1Mbps se utiliza la modulación *DBPSK (Differential Binary Phase Shift Keying)*, en la cual cada símbolo está compuesto por un solo bit; para tasa de bit de 2Mbps se utiliza, en cambio, la modulación *DQPSK (Differential Quadrature Phase Shift Keying)*, que asocia a cada símbolo dos bits.

4) En el estándar IEEE 802.11b viene introducido un nuevo tipo de modulación *DSSS, High Rate DSSS (HR-DSSS)*. Mediante esto es posible aumentar el rendimiento de la fuente, permitiendo de tal manera, una transmisión a 1Mbps, 2Mbps, 5.5Mbps y 11Mbps.

El throughput (cantidad de datos por segundo que se pueden transmitir) a 5.5 y 11Mbps se obtienen mediante la implementación de una codificación de tipo CCK (Complementary Code Keying), manteniendo, en cambio, para las frecuencias más bajas (1 y 2Mbps) los códigos normales del estándar original. Para la transmisión a 5.5Mbps vienen codificados símbolos de 4 bit, mientras que para las transmisiones a 11Mbps se codifican símbolos compuestos de 8 bit.

El estándar 802.11b ha definido dos formatos de PPDU: una que recalca la definición dada por el 802.11, que por tanto hace posible la compatibilidad entre las dos versiones, y otra que busca optimizar las prestaciones y hace uso del Short PLCP. Nos referimos al primero con el nombre de formato de PPDU con Long PLCP y al segundo como formato del PPDU con Short PLCP. El formato que adopta el Long PLCP, sustancialmente igual al de la Fig. 2.21, viene repropuesto con las indicaciones de la duración del preámbulo y de los encabezamientos PLCP en la Fig. 2.21.

Esto representa el formato PLCP que debe ser obligatoriamente soportado en cuanto que consiente la interoperabilidad con las especificaciones de la modulación DSSS a 1Mbps y a 2Mbps.

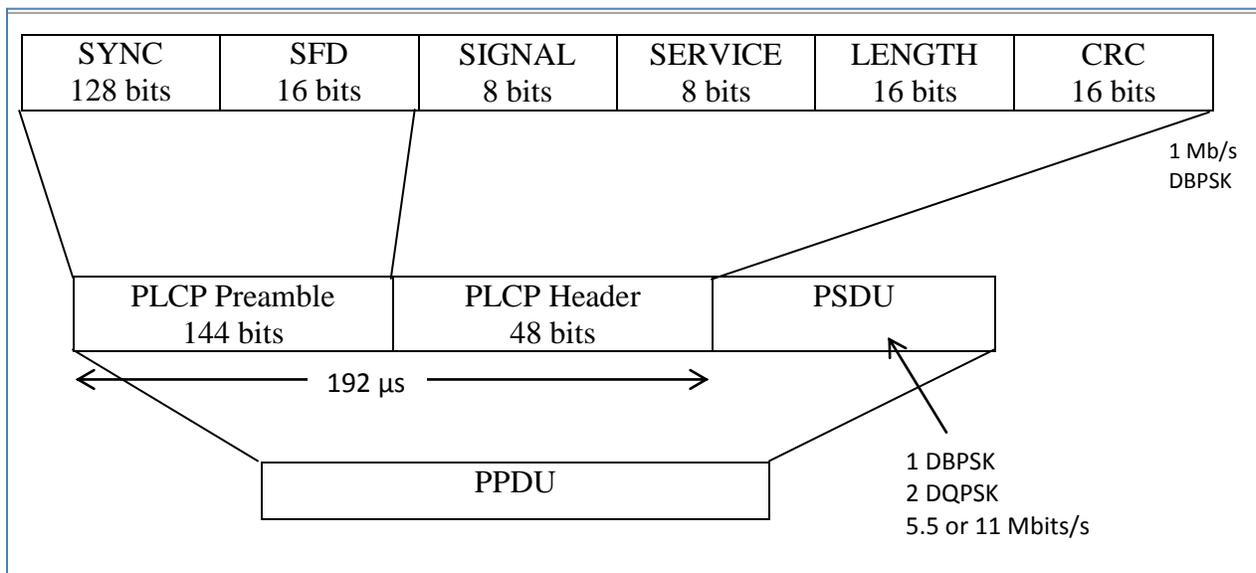


Fig. 2.21: Formato de una PPDU que usa el Long PLCP

Como se puede ver en la Fig. 2.21, se necesitan siempre 192 μ s para transmitir el preámbulo y el encabezamiento PLCP mientras el PSDU puede ser transmitido a una de las velocidades consentidas. De todo lo dicho se evidencia que llega con transmitir a una tasa de bit de 1Mbps o 2Mbps para mantener la compatibilidad con las estaciones que adoptan el estándar 802.11 clásico.

En el formato que adopta el Short PLCP se ha reducida la longitud del preámbulo PLCP de 144 bit a 72 bit mientras permanece inalterada a 48 bit la longitud de la cabecera PLCP (Ver Fig. 2.22).

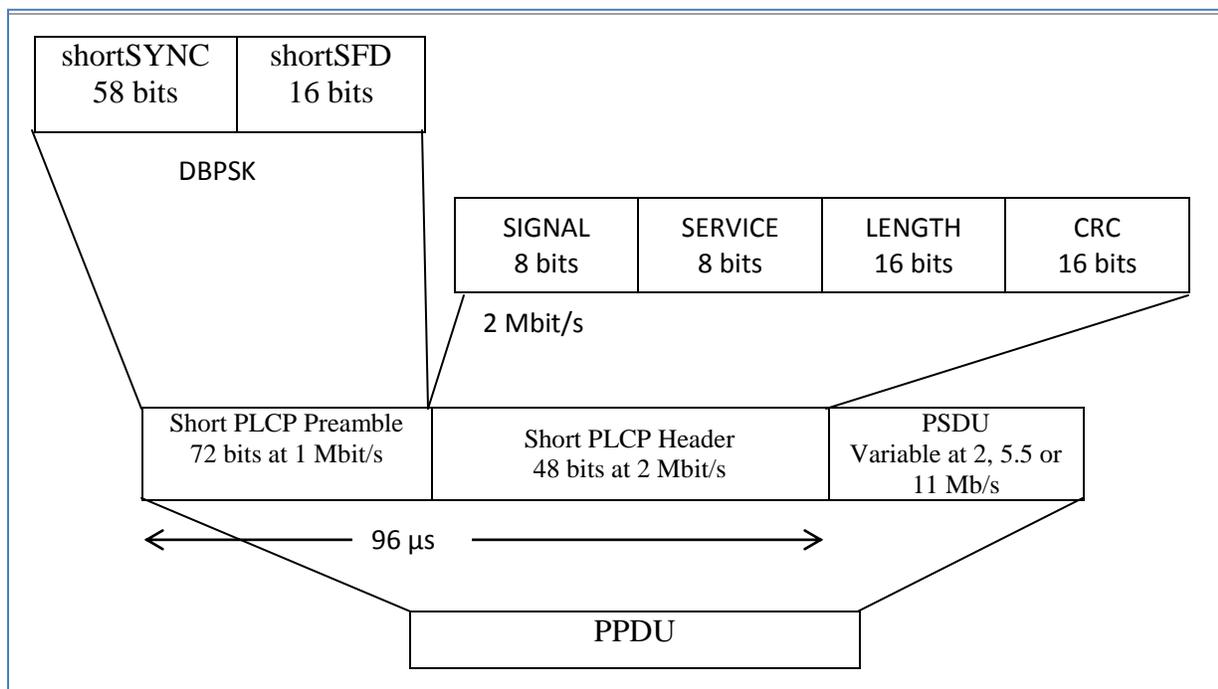


Fig. 2.22: Formato de una PDU que usa el Short PLCP

El tiempo de transmisión del Short PLCP Preamble más el Short PLCP Header llega a 96 μ s que, respecto a los 192 μ s de la versión con Long PLCP, permite ahorrar otros 96 μ s por cada trama transmitida. Todo esto es obtenido gracias al uso del campo shortSYNC que es constituido por 56 bit en lugar de los 128 bit que usa el campo SYNC y a la transmisión del Short PLCP Header a 2Mbps y no a 1Mbps.

Es necesario precisar que este formato de PPDU es definido por el estándar 802.11b como opcional y observamos también que su implementación requiere que todas las estaciones tengan un *basic set rate* (grupo de velocidades que las estaciones pueden usar para recibir la trama) de, al menos, 2Mbps.

Si se usa tanto el Long PLCP como el Short PLCP, desde el punto de vista de la semántica de los campos, en el 802.11b no cambia nada respecto al 802.11, excepto por el hecho que ahora se usan 3 bits del campo SERVICE que antes estaban reservados.

Estos bits tiene fines particulares entre los cuales podemos indicar: si el reloj del transmisor y aquel extraído de los símbolos transmitidos provienen del mismo oscilador, se redondea más o menos el valor del *length* (cuando se usa una velocidad superior a los 8Mbps) y la elección de la modulación a usar.

5) En el estándar 802.11a viene introducida como técnica de modulación la *OFDM* (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*). Mediante esta técnica se obtienen diversos *throughput* (6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54Mbps) transmitiendo en la banda de los 5GHz. El OFDM efectúa una separación de datos en transmisión generando dos cadenas. Estas contienen separadamente datos a una alta tasa de bit y a una baja tasa de bit.

Para generar su suma se implementa en la fase de transmisión, la IFFT (Inverse Fast Fourier Transform), mientras que en fase de recepción se hace uso de la FFT (Fast Fourier Transform). Para evitar que se creen interferencias intersimbólicas, se introduce el Guard Time, intervalo en el cual el símbolo OFDM permanece periódico. Manteniendo una diferencia de un número entero de periodos al interno del periodo de integración de la FFT, se asegura la ortogonalidad entre ellos. La ortogonalidad derriba el problema de la interferencia intersimbólica, mientras, siendo la señal útil subdividida en más frecuencias, resulta más estable contra eventuales fenómenos de *multipath fading* (desvanecimientos multicaminos).

2.3 CÁMARAS DE VIDEO INALÁMBRICAS

El funcionamiento básico de una cámara de vídeo consiste en recoger la luz y convertirla en señales eléctricas para generar imágenes. Estas imágenes son enviadas a un sistema de visionado (monitor, tv, pantalla, etc...) a un número determinado de frames (fotogramas) por segundo, dando como resultado una imagen en movimiento.

Y a diferencia de lo anterior una cámara de video inalámbrica como su nombre lo indica es un dispositivo que tiene la capacidad de transmitir su información de manera no guiada a un receptor, utilizando para este fin la frecuencia de 2,4 GHz (*Ver Fig. 2.23*).



Fig. 2.23: Cámara de Video Inalámbrica a 2,4 GHz.

2.3.1 Cámara de Video Inalámbrica Lorex Lw2110

Dentro de la amplia gama de soluciones para sistemas de seguridad inalámbrica, se tiene el modelo LW2110, perteneciente a la marca LOREX *Ver Fig. 2.23*, que fue seleccionado para el presente estudio, debido a su alto reconocimiento a nivel mundial y gran acogida para la implementación de sistemas de vigilancia inalámbrico.

2.3.1.1 Características

Características Generales:

- Modulación de espectro expandido por salto de frecuencias o FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum), proporciona excelente calidad de imagen y claridad.
- Instalación simple.
- Fácilmente se puede conectar a una TV, Monitor o DVR.
- Visión nocturna hasta 60 pies o 18 metros, bajo las condiciones adecuadas.
- Cobertura inalámbrica en interiores hasta los 150 pies o 46 metros y en exteriores hasta los 450 pies o 137 metros.
- Tanto el transmisor como receptor necesitan de una fuente de alimentación de 12 V +/- 10 %.
- Soporta resoluciones en VGA de 640X480 y en QVGA de 320X240.
- Indicador de calidad señal.
- Filtro de luz infrarroja, asegura la reproducción del color exacto bajo cualquier condición de alumbrado.
- Visor de protección para lluvia.

2.3.1.2 Componentes del Sistema Video Inalámbrico

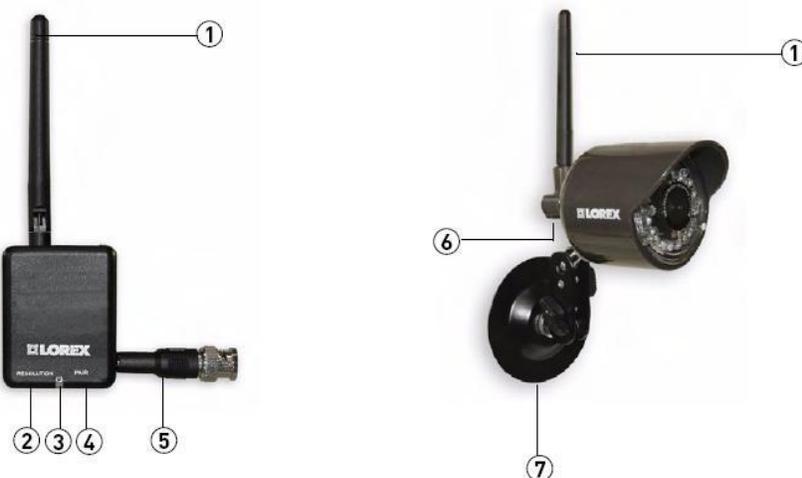


Fig. 2.24: Componentes del Sistema Video Inalámbrico.

1. Antena Inalámbrica
2. Pulsador para seleccionar la resolución de video entre VGA y QVGA.
3. LED indicador de encendido.
4. Pulsador para sincronización con la cámara.
5. Conector BNC
6. Pulsador para sincronización con el receptor.
7. Soporte.

2.3.1.3 Especificaciones Técnicas

Especificaciones del Receptor

Rango de Frecuencia de Operación	2.400 GHz. – 2.480 GHz.
Sensibilidad de Recepción	- 81 dBm
Data Rate	160 Kb/s
Consumo de Energía	200 mA

Especificaciones del Transmisor

Rango de Frecuencia de Operación	2.400 GHz. – 2.480 GHz.
Potencia de Transmisión	16 dBm
Data Rate	160 Kb/s
Consumo de Energía	200 mA
LED IR	18 Unidades de LED Infrarrojo
AUTO IR Turn On/Off	Circuito de Encendido/Apagado automático para visión nocturna

2.3.2 Modulación de Espectro Expandido

Esta es una técnica que ha sido generada y ampliamente utilizada en el sector de la defensa por sus excelentes propiedades en cuanto a inmunidad a las interferencias y a sus posibilidades de encriptación.

Un sistema de Espectro Expandido o Spread Spectrum es aquel en el cual la señal transmitida es propagada en una banda de frecuencia amplia, mucho más, de hecho, que el mínimo ancho de banda requerido para transmitir la información que será enviada.

Las comunicaciones de Espectro Expandido no puede decirse que sean una manera eficiente de utilizar el ancho de banda. Sin embargo, son de utilidad cuando se combinan con los sistemas existentes que ocupan la frecuencia.

La señal de Espectro Expandido que es propagada en un ancho de banda grande puede coexistir con señales de banda estrecha añadiendo únicamente un ligero incremento en el ruido de fondo que los receptores de banda estrecha pueden ver. El receptor de Espectro Expandido no ve las señales de banda estrecha pues está escuchando en un ancho de banda mucho más amplio con una secuencia de código ordenada.

La técnica de espectro expandido (Spread Spectrum) consiste en la transformación reversible de una señal de forma que su energía se disperse entre una banda de frecuencias mayor que la que ocupaba originalmente. Esta técnica de transmisión se caracteriza por:

- El ancho de banda utilizado en la transmisión es mucho mayor que el necesario para una transmisión convencional. Si R es la velocidad de transmisión (una modulación convencional tendría un ancho de banda de aproximadamente R Hz) y W es el ancho de banda empleado por la señal de espectro expandido, se cumple que $W/R \gg 1$.
- El ensanchamiento de la banda se realiza a partir de una señal pseudo aleatoria, que se caracteriza por tener una apariencia de ruido (también se le llama pseudo ruido). La señal transmitida tendrá características pseudo aleatorias, y sólo se podrá demodular si se es capaz de generar la misma señal de pseudo ruido utilizada por el transmisor.

La señal producida por el ensanchamiento del espectro tiene una serie de características especiales e interesantes:

- La transmisión de señales con espectro ensanchado es mucho más resistente a las interferencias de banda estrecha que otros tipos de transmisión.
- La señal es difícilmente detectable, ya que su nivel de potencia queda muy reducido por su dispersión espectral. Sólo después de la transformación de desensanchado, ésta recupera la relación señal a ruido suficiente para su demodulación.
- En el caso de que se detecte la señal, la transmisión es ininteligible para el que no conozca la señal pseudo aleatoria utilizada para el ensanchado del espectro.
- La transmisión es resistente a las interferencias por multicamino (multipath), porque aunque se trate de una interferencia de la señal sobre sí misma, tiene consecuencias parecidas a cualquier otra interferencia de banda estrecha.
- Es posible la transmisión simultánea de varias señales de espectro ensanchado por el mismo medio, ya que siempre que se cumplan ciertas condiciones, como es que las señales pseudo aleatorias generadas sean aproximadamente incorreladas unas respecto de otras, la transmisión es resistente a las interferencias de unos canales sobre otros. Esto da lugar a una técnica de acceso múltiple al medio conocida como CDMA (acceso múltiple por división de códigos).

Un sistema de espectro ensanchado realiza las siguientes acciones para la transmisión:

- En el transmisor se modula una señal portadora con la señal en banda base de la forma convencional.
- Al mismo tiempo se genera una señal de pseudo ruido a partir de una secuencia pseudo aleatoria de pulsos binarios, que parecerá aleatoria si no se conoce cómo ha sido generada, pero que en caso contrario puede ser reproducida exactamente. Esta señal tiene un ancho de banda mucho mayor que la señal modulada en paso-banda, y es la que

es llamada señal ensanchadora, ya que es la que se utiliza para ensanchar el espectro de la señal transmitida.

- La señal paso-banda que resulta de la primera modulación es modulada una segunda vez con la señal ensanchadora. Esta segunda modulación se puede realizar de diversas formas, dependiendo del tipo de sistema.

El efecto de la segunda modulación es ensanchar el espectro de la señal paso-banda. Si se supone que la segunda modulación consiste en multiplicar la señal paso-banda por la señal ensanchadora. El resultado en el dominio de la frecuencia sería la convolución del espectro de las dos señales. El espectro de la señal ensanchadora será mucho mayor que el de la señal paso-banda, por lo que el resultado de la convolución tendrá un ancho de banda aproximadamente igual al de la señal ensanchadora. Aunque se pueden utilizar otros tipos de modulación distintos de éste, el resultado será siempre el ensanchado del espectro de la señal.

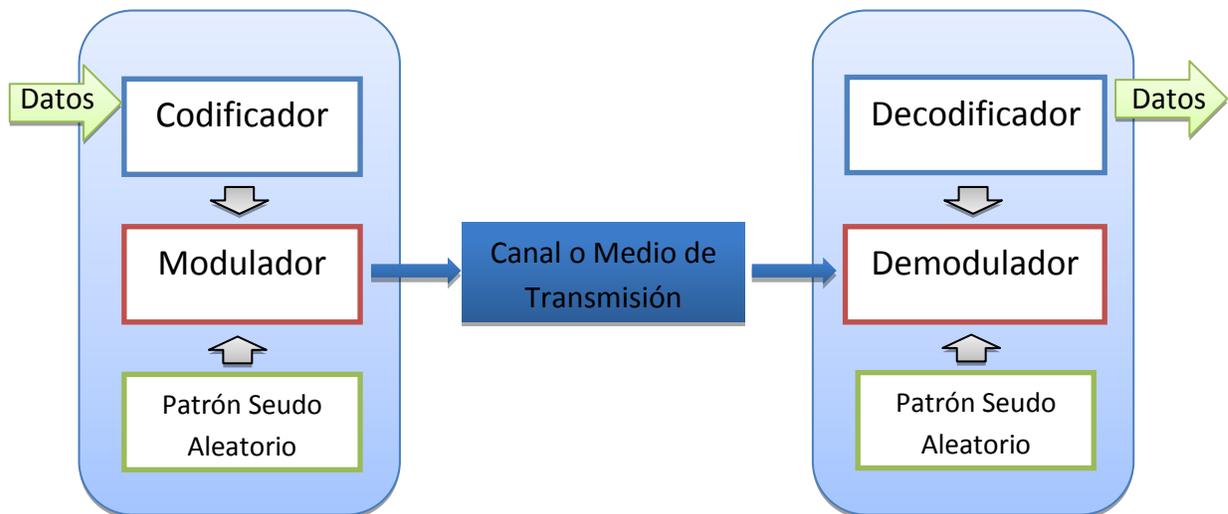


Fig. 2.25: Representación de la Modulación por Espectro Extendido

2.3.2.1 Técnicas principales de espectro expandido

Existen dos técnicas principales de espectro ensanchado:

Salto de Frecuencia (Frequency Hopping): Cambiar la frecuencia de la portadora de manera abrupta siguiendo un patrón pseudo aleatorio.

Secuencia Directa (Direct Sequence): En lugar de una portadora sinusoidal, ésta es una secuencia de pseudo-ruido.

DSSS (Espectro Ensanchado por Secuencia Directa)

En este tipo de modulación la señal digital de información es modulada mediante una secuencia pseudo aleatoria o pseudo ruido (PN), con una velocidad mucho mayor que la de la señal de información y luego transmitida utilizando algún tipo de modulación digital como se observa en la *Fig. 2.26*.

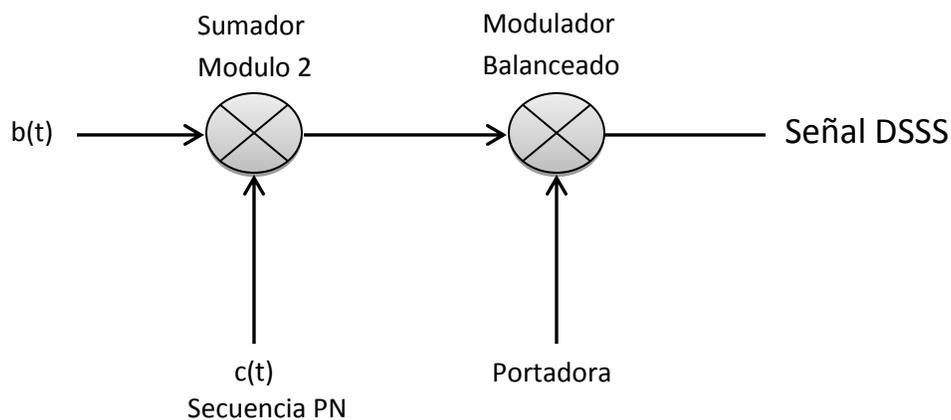


Fig. 2.26: Generación de Señal DSSS

Multiplicar dos señales en tiempo implica hacer una convolución en frecuencia lo cual esparce o dispersa el espectro. Al dispersar el espectro, la Densidad Espectral de Potencia disminuye, disminuyendo así la interferencia entre sistemas; además, se puede multiplexar

casi indefinidamente un canal, asignando códigos diferentes a cada usuario. Esta personalización de los códigos hace también más difícil la intervención indebida de las comunicaciones.

Una secuencia pseudo aleatoria o de ruido (*Pseudo Noise-PN*) se define como un conjunto de señales binarias, periódicas y de cierta longitud de tal forma que, dentro de cada período, la señal puede aproximarse a una señal aleatoria. Se hace esto para tener la certeza de que la misma secuencia puede generarse tanto en el transmisor como en el receptor. Si fuese totalmente aleatoria esto no sería posible.

Dentro de estas secuencias PN se define un chip como la duración de cada elemento dentro de la misma. Se le llamará T_c . Este tiempo será mucho menor que la duración de 1 bit en la secuencia que se quiere codificar. Las secuencias periódicas pseudo aleatorias deben satisfacer las siguientes propiedades:

- **Balance:** El número de 1s, en un período de la secuencia, difiere en uno del número de 0s.
- **Balance en Cadenas:** Dentro de un período de la secuencia se definen cadenas de 1s y cadenas de 0s. El número de cadenas de cada uno deben ser iguales. En cada periodo la mitad de las cadenas del mismo signo tiene longitud 1, un cuarto tienen longitud 2, un octavo tiene longitud 3 y así sucesivamente.
- **Auto correlación:** La función de auto correlación de estas secuencias es periódica y con dos valores.

FHSS (Espectro Expandido por Salto de Frecuencia)

En los sistemas DSSS a mayor dispersión del ancho de banda se tiene más fortaleza frente a las interferencias. Sin embargo, esto también aumenta la complejidad del hardware. Eso da pie a otro tipo de sistemas conocidos como de multiplicidad de frecuencias que van

cambiando en el tiempo o Frequency Hopping (FHSS). En este caso la señal o mensaje es modulada, con algún tipo de modulación, por señales de portadoras que cambian abruptamente su frecuencia a intervalos regulares, cíclica o aleatoriamente.

Estos saltos de frecuencia se hacen con dos objetivos fundamentales: incrementar la capacidad del sistema y mejorar su calidad (disminuyendo la tasa de bits errados). La variación en frecuencia podría lucir como sigue:

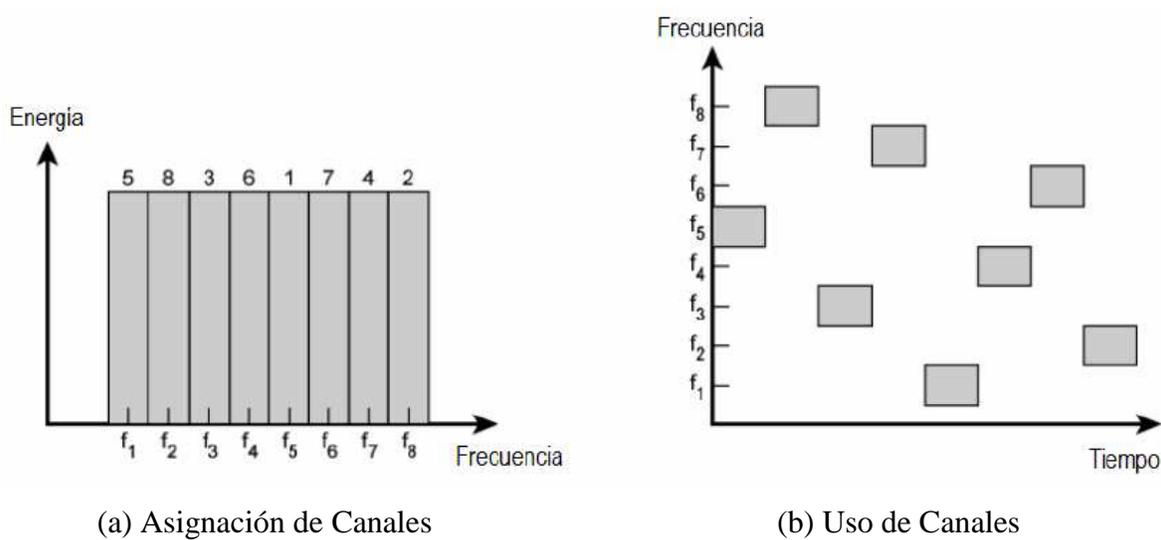


Fig. 2.27: Ejemplo de Salto de Frecuencia

En el esquema de espectro expandido por salto de frecuencia (FHSS), la señal se emite sobre una serie de radiofrecuencias aparentemente aleatoria, saltando de frecuencia en frecuencia síncronamente con el transmisor. Por su parte, los receptores no autorizados escucharán una señal ininteligible. Si se intenta interceptar la señal, solo se conseguirá hacerlo para unos pocos bits.

El diagrama típico de un sistema en salto de frecuencia se muestra en la Fig. 2.88. Se reserva varios canales para la señal FH, existiendo por lo general $2k$ frecuencias portadoras que dan lugar a $2k$ canales. El espacio entre frecuencias portadoras y, por lo tanto, el ancho de banda de cada canal, se corresponden generalmente con el de la señal de entrada. El

emisor opera en un canal durante un intervalo fijo (por ejemplo, el estándar IEEE 802.11 considera un intervalo de 300 ms).

Durante este intervalo se transmiten varios bits haciendo uso de algún esquema de codificación. La secuencia de canales queda especificada por un código expander, utilizando el emisor y el receptor el mismo código a fin de sincronizar la secuencia de canales seguida.

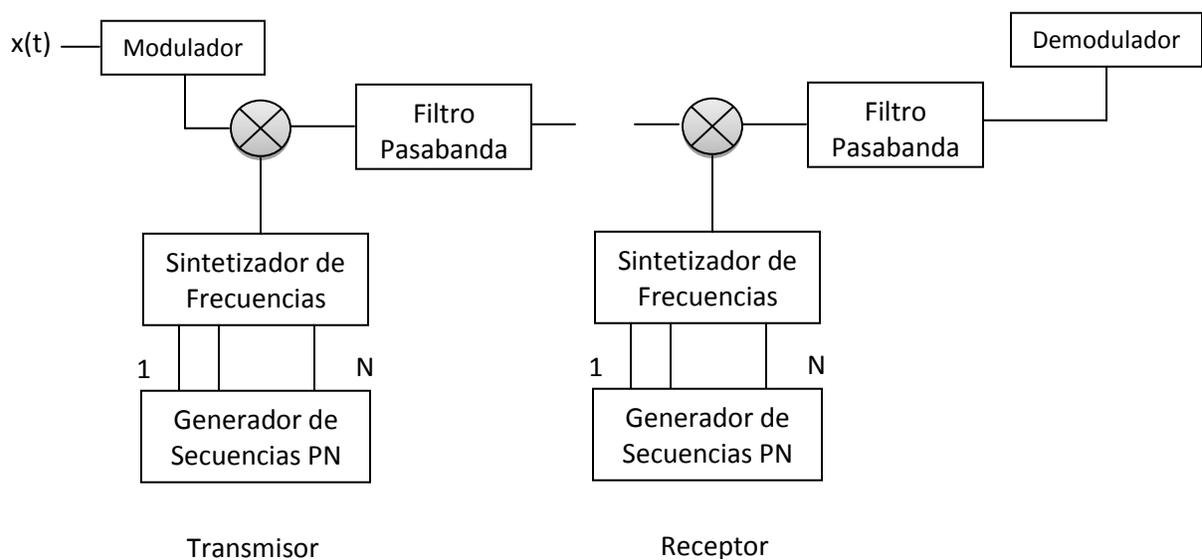


Fig. 2.28: Transmisor y Receptor de un sistema FHSS

2.4 MICROSTRIP (MICROCINTA)

La línea de microcinta es el medio de transmisión más común empleado en circuitos de radiofrecuencia y microondas. Esta es una línea de transmisión planar no homogénea, que se deriva de una línea de transmisión de alambres paralelos, la cual consiste de un plano de tierra y una línea conductora separados por un material dieléctrico. La microcinta está compuesta por un conductor de cobre u oro que está rodeado de aire por la parte superior y tiene un ancho W , largo L y un grosor t , que descansa sobre un substrato dieléctrico que

tiene un espesor h y una constante dieléctrica relativa ϵ_r . En la parte inferior del substrato se encuentra el plano de tierra. La estructura general de una microcinta en un corte transversal se ilustra en la *Fig. 2.29*.

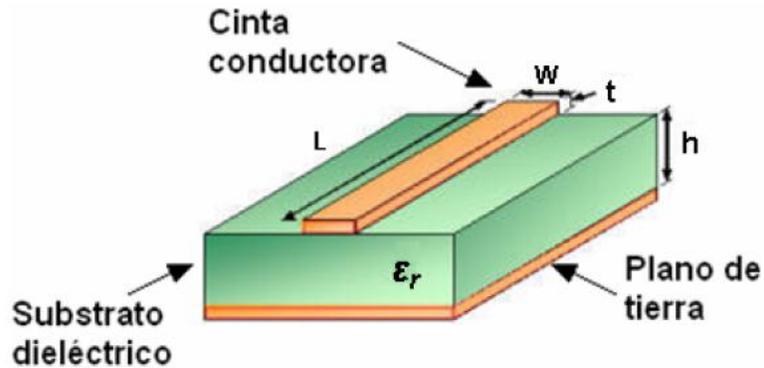


Fig. 2.29: Estructura de la Microcinta

A frecuencias de microondas, algunas variables como la tolerancia en las dimensiones, la geometría, las transiciones, los desacoplamientos introducidos por los conectores, los efectos de encapsulado o chasis, etc., adquieren mayor importancia en el desempeño total de las líneas. El diseño y la construcción de circuitos de microcinta requiere mayor cuidado que los circuitos impresos de bajas frecuencias, ya que se consideran con mayor peso las dimensiones físicas de cada tramo de línea, sus impedancias y longitudes eléctricas, al igual que la constante dieléctrica efectiva ϵ_{eff} que rige todo el sistema. Las dimensiones físicas de la microcinta, están en función de la longitud de onda de la frecuencia de operación f_0 y de la constante dieléctrica efectiva ϵ_{eff} . Las dimensiones tienden a reducirse para longitudes de onda más pequeñas y también para constantes dieléctricas más altas. El proceso de fabricación más apropiado para la microcinta, es el fotolitográfico, que es el más utilizado para la producción en serie, ya que permite agregar elementos concentrados a estos circuitos impresos.

2.4.1 Antenas Microstrip (Microcinta)

El concepto de antenas impresas fue propuesto originalmente por Deschamps en 1953, sin embargo se tenían fenómenos indeseables. Veinte años después Howell y Munson,

realizaron la primera antena de microcinta. Las necesidades para las líneas de transmisión y las antenas de microcinta son opuestas. Las líneas de transmisión requieren que la constante dieléctrica sea alta y con un substrato dieléctrico delgado, mientras que en el caso de las antenas se requiere que el substrato sea grueso y con una constante dieléctrica relativa ϵ_r lo más baja posible.

Para los arreglos de parches se requieren líneas de microcinta para interconectar cada uno de sus elementos a un punto en común que es el puerto de entrada de la antena. En este caso las líneas deben ser lo más delgadas posible para evitar radiaciones espurias. Una antena planar en su forma más básica, consiste de un parche radiador grabado sobre la superficie de un substrato dieléctrico, que descansa sobre un plano de tierra.

El tamaño del parche se encuentra directamente ligado a la longitud de onda de operación, al igual que el espesor y constante dieléctrica relativa del dieléctrico.

2.4.1.1 Tipos de Parche

A menudo las antenas de microcinta son también conocidas como antenas patch o parche. Los elementos de radiación y las líneas de alimentación son usualmente fotograbados en el elemento substrato dieléctrico. El parche de radiación puede ser cuadrado, rectangular, una cinta delgada o dipolo, circular, elíptica, triangular o cualquier otra configuración. Algunas de estas se muestran en la *Fig. 2.30*.

Cuadrados, rectángulos, dipolos y círculos son los más comunes porque son más fáciles de fabricar y analizar, y además presentan atractivas características de radiación, especialmente bajo radiación de polarización cruzada. Los dipolos microcinta son atractivos porque estos inherentemente poseen un largo ancho de banda y ocupan menos espacio, siendo por esto, más atractivos para arreglos. Las polarizaciones lineal y circular se pueden lograr ya sea con elementos únicos o arreglos de antenas microcinta. Los arreglos

de elementos de microcinta, con una o múltiples alimentaciones, pueden también ser usadas para introducir capacidades de análisis y lograr buena directividad.

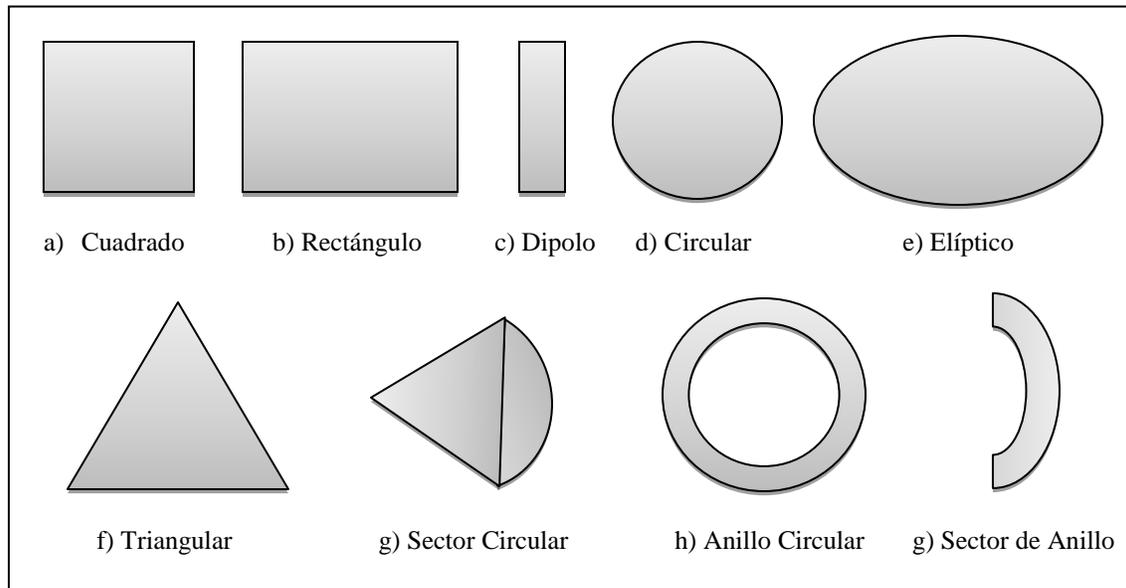


Fig. 2.30: Topología de Parches

2.4.1.2 Modelo de Línea de Transmisión

Las líneas de transmisión de las microcintas consisten en una línea conductora de ancho “W” y grueso “t” y un plano a tierra más amplio, separado por una capa dieléctrica (conocido como el sustrato) de espesor “h” como se muestra en la Fig. 2.31. En la parte inferior del sustrato dieléctrico se tiene un plano referenciado a tierra.

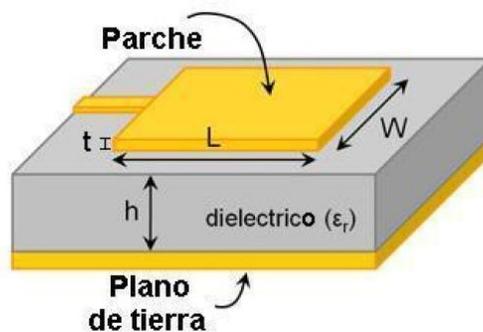


Fig. 2.31: Estructura de una Antena Parche

Los rangos de medidas y características de los parámetros mencionados son los siguientes:

El valor de t tiene que ser muy delgado: $t \ll \lambda_0$ (λ_0 es la longitud de onda de la señal en el espacio libre).

El valor de L puede variar dependiendo de la forma utilizada. Para un parche tipo rectangular se tienen los siguientes rangos: $\lambda_0/3 < L < \lambda_0/2$.

Al ancho del sustrato debe de ser grueso y por lo general se puede considerar: $h \ll \lambda_0$.

La permitividad eléctrica del sustrato dieléctrico por lo general se encuentra dentro de los rangos: $2.2 \leq \epsilon_r \leq 12$. Como ya se sabe, se debe de buscar la menor permitividad posible para lograr una mejor eficiencia en la antena. Dependiendo de los requerimientos específicos para los cuales se construya una antena de microcinta de un solo elemento, se puede recurrir a varios tipos de configuraciones, los más típicos son: dipolo (tanto en su forma de media onda como de onda completa), cuadrada, rectangular, pentagonal, triangular, circular, disco con ranura, sector de disco, anillo, semi-disco, anillo elíptico, espiral.

Otro tipo particular de antena tipo parche que ha surgido en años recientes es la llamada “antena f invertida plana” (PIFA, Planar Inverted F Antenna) muy utilizada para unidades móviles, la cual es básicamente la mitad de una antena tipo parche cuadrada. Las configuraciones mencionadas anteriormente se refieren a antenas de un solo elemento, sin embargo, si la aplicación lo requiere y para obtener mejoras en las deficiencias propias de las antenas tipo parche se pueden utilizar arreglos de antenas con el fin de lograr las características deseadas.

El patrón de radiación de una antena de parche es omnidireccional aunque la potencia radiada es emitida solamente hacia la parte superior de la antena en su forma ideal debido a que se considera un plano de tierra infinito, el cual bloquea radiación hacia la parte inferior de la antena. En la realidad puede existir una radiación hacia la parte inferior de la antena debido a que el plano de tierra es de dimensiones finitas, sin embargo los lóbulos

posteriores son de pequeñas dimensiones en comparación con el lóbulo principal por lo que pueden despreciarse.

La cinta (parche) y el plano a tierra son separados por una lámina de material dieléctrico (referido como un sustrato).

El modelo de línea de transmisión entonces supone una permitividad eléctrica efectiva, ϵ_{ref} , combinando ambas permitividades eléctricas (aire y sustrato) y asume que la antena se encuentra inmersa dentro de un solo medio homogéneo con dicha permitividad constante en toda su superficie. La permitividad eléctrica es una cantidad que se calcula para que se tenga exactamente las mismas características eléctricas (principalmente constante de propagación) que se tienen para una línea de microcinta original. A partir de considerar un solo medio con permitividad constante se procede a calcular el valor de la longitud efectiva de la antena a diseñar.

El diseño mediante el método de línea de transmisión se resume en los siguientes pasos:

1. Se especifica la frecuencia de operación y el sustrato a utilizar para la construcción de la antena con lo cual se asignan los valores de:

f_r (Frecuencia de operación).

ϵ_r (Permitividad eléctrica del sustrato).

h (altura del sustrato).

2. Se obtiene el ancho efectivo de la antena de parche rectangular mediante la fórmula:

$$W = \frac{C}{2f \sqrt{\frac{(\epsilon_r + 1)}{2}}}$$

Donde: C es la velocidad de la luz en el espacio libre.

3. Se obtiene la permitividad eléctrica efectiva mediante la ecuación:

$$\epsilon_{re} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + \frac{h}{W} \right]^{-1}$$

4. Se obtiene la extensión ΔL mediante la siguiente ecuación que derivará en la obtención de la longitud real de la antena considerando la longitud efectiva:

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{re} + .03) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{re} - .258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)}$$

5. Se obtiene la longitud real de la antena de parche rectangular considerando la longitud efectiva de ésta y el valor de ΔL con:

$$L = \frac{C}{2f_r \sqrt{\epsilon_{re}}} - 2\Delta L$$

El modelo de línea de transmisión produce una aproximación muy aceptable para diseñar una antena, sin embargo presenta un defecto al generar un ancho de la antena W mayor a la longitud L de la antena con fines de lograr una mayor radiación, sin embargo la eficiencia en el tamaño disminuye al excitar la parte menos larga de la antena cuando se podrían lograr tamaños más reducidos.

2.4.1.3 Métodos de Alimentación

Un aspecto muy importante cuando se diseña una antena consiste es el esquema de alimentación que tendrá ésta, puesto que sin una estructura eficiente de alimentación las antenas microcinta no funcionarán correctamente sin importar la precisión llevada a cabo

para diseñar el elemento radiante. Existen diferentes métodos para alimentar una antena microcinta de forma que radie lo más eficientemente posible en las frecuencias deseadas mediante un correcto acoplamiento de impedancias. A pesar de existir muchos métodos para alimentar una antena, éstos se pueden condensar en 3 categorías principales: alimentación directa, alimentación por proximidad y alimentación por apertura. A continuación se describen estos métodos:

2.4.1.3.1 Alimentación Directa

Como su nombre lo indica, estos métodos de alimentación requieren de un contacto directo entre la estructura de alimentación y la antena radiante. Los dos principales métodos de alimentación en esta categoría son dos: alimentación por microcinta y alimentación por conector coaxial. La desventaja de estos métodos es que no se puede optimizar por separado el esquema de alimentación y la antena puesto que se trabaja en un mismo sustrato así que debe hacerse un compromiso entre las características esperadas de radiación y las características esperadas de la alimentación.

Alimentación por microcinta: Este método consiste en alimentar al radiador al conectarle directamente una línea microcinta (diseñada para tener la impedancia característica deseada). Este método es el más sencillo de realizar, sin embargo el que peor eficiencia presenta en relación al ancho de banda y acoplamiento.

Existen dos formas principales de alimentar una antena por medio de microcinta: conectando la línea microcinta directamente en un borde de la antena y alimentando la línea microcinta por medio de inserciones en la antena. En el caso de la conexión directa al borde de la antena, la variación en la posición de la línea microcinta en relación con el parche generará un mayor o mejor acoplamiento de impedancia. En el caso de la alimentación con microcinta por medio de inserciones, la profundidad de la inserción es la que dicta el acoplamiento de la impedancia. En la *Fig. 2.32* se muestran estos dos tipos de alimentación.

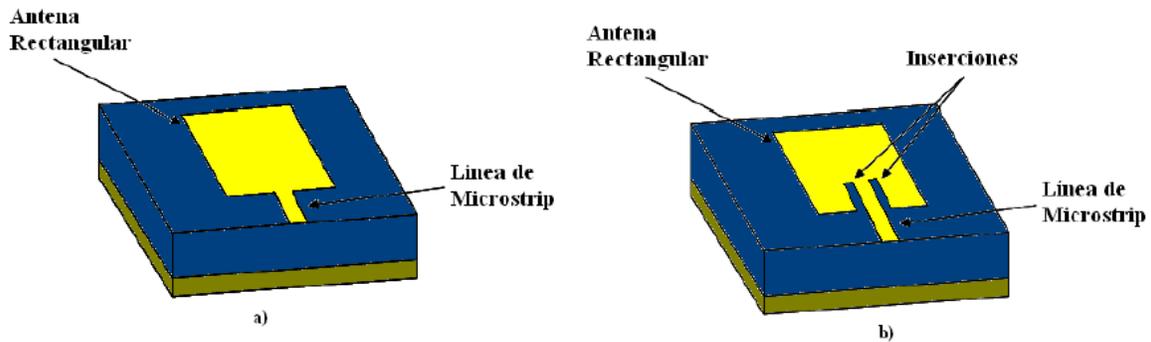


Fig. 2.32: Alimentaciones por Microcinta

a) Conexión Directa y b) Conexión con Inserciones

Alimentación directa con sonda coaxial: Este método consiste en hacer que el conector del cable coaxial alimente directamente al radiador, mientras que la parte negativa de éste se conecte a la tierra de la antena microcinta. La impedancia depende de la posición de la sonda en relación con el radiador de tal forma que colocándola correctamente generará un mejor acoplamiento. Es uno de los métodos más comunes de alimentación de antenas microcinta sin embargo presenta un grado de complejidad puesto que la terminal conductora del cable coaxial debe perforar el sustrato y estar soldado a la antena para su correcto funcionamiento, en la Fig. 2.33 se muestra éste método de alimentación.

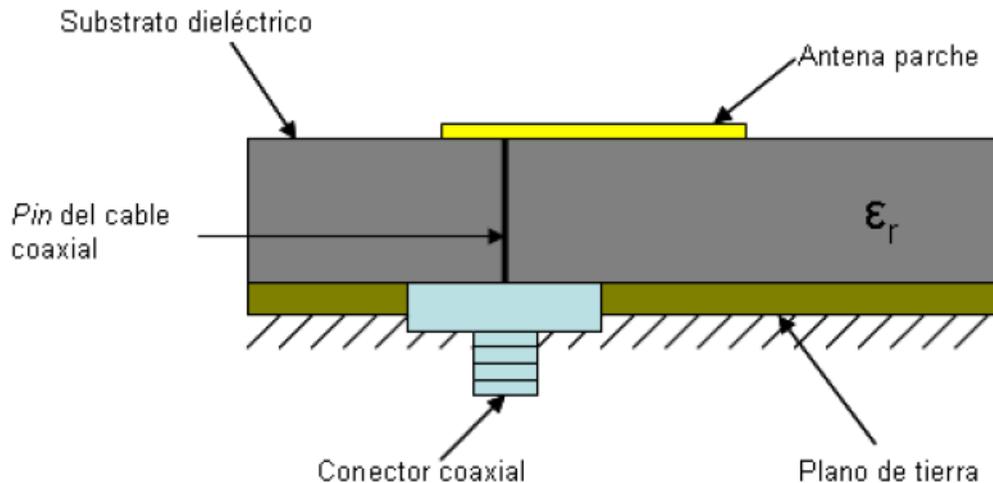


Fig. 2.33: Alimentación por Sonda Cable Coaxial

2.4.1.3.2 Alimentación Por Proximidad

En este método la alimentación no tiene contacto directo con el radiador si no que el acoplamiento es electromagnético. En éste método se tiene al radiador sobre un substrato dieléctrico y en la parte inferior de ésta estructura se tiene una línea de alimentación sobre de otro substrato dieléctrico con un plano tierra. Éste método tiene la ventaja que el radiador así como la estructura de alimentación pueden optimizarse por separado cuando se utilizan dos capas de substratos dieléctricos: un substrato dieléctrico para obtener las mejores características del radiador (substratos más anchos con permitividades eléctricas bajas) y de la alimentación (substratos delgados y con permitividades eléctricas altas). En la *Fig. 2.34* se muestra la estructura general de éste método.

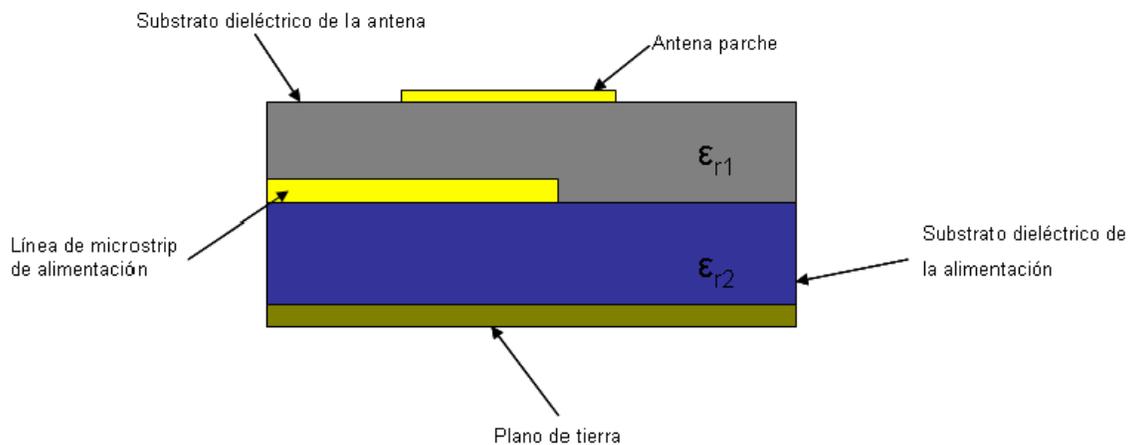


Fig. 2.34: Alimentación por Proximidad

2.4.1.3.3 Alimentación Por Apertura

El método por apertura presenta similitud con el de proximidad debido a que también utiliza dos substratos dieléctricos, uno para el radiador y otro para la alimentación de éste. La estructura de éste método es la siguiente: se tiene un radiador sobre un substrato dieléctrico y sobre un plano de tierra compartido seguido de otro substrato dieléctrico (de la

alimentación) y finalmente una línea de alimentación en la parte inferior de toda la estructura. El plano de tierra tiene una apertura cuyas dimensiones y posición influyen en la impedancia y por ende en el acoplamiento de la antena. Una ventaja con respecto a la alimentación por proximidad es que en la alimentación por apertura, al estar la línea de alimentación en la parte inferior y separada de la antena por el plano de tierra, la radiación de esta es mínima en la dirección de radiación de la antena con lo que se evita que haya interferencias y polarizaciones cruzada. La Fig. 2.35 muestra la estructura de dicho método de alimentación.

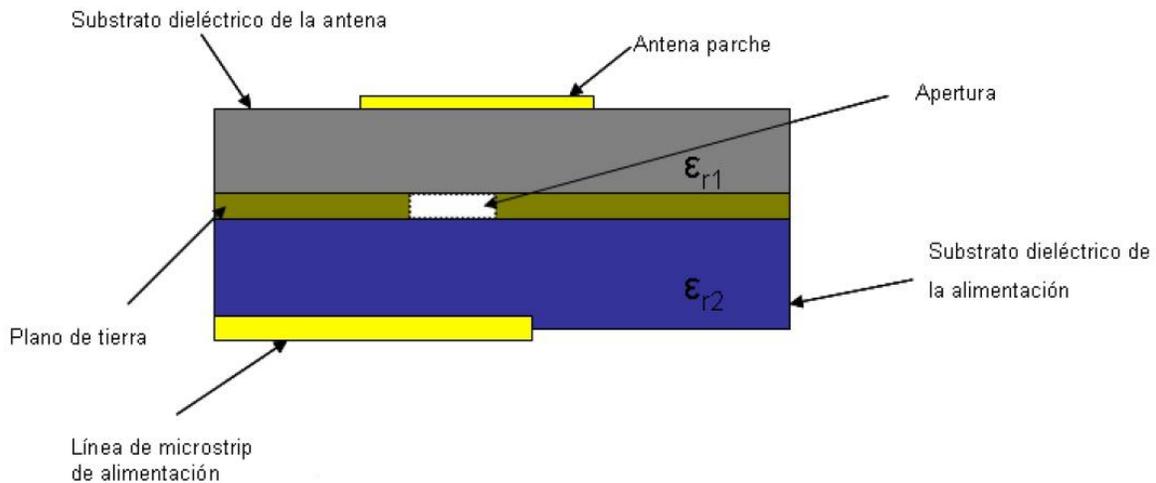


Fig. 2.35: Alimentación por Apertura

CAPÍTULO 3

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación por su naturaleza y procedimientos, se considera como: *experimental y correlacional*.

Experimental, ya que la investigación va más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos, sino está dirigida a responder las causas de los problemas, es decir el interés del estudio se centra en explicar por qué ocurre el fenómeno de interferencia y en qué condiciones se presenta.

Correlacional, debido a que nuestro estudio contempla como se puede manipular la variable independiente que es la interferencia de la cámara de video inalámbrica para afectar la variable dependiente es decir mejorar la coexistencia entre las dos tecnologías.

Se utilizará para este proyecto los siguientes métodos de investigación:

Método Científico y de Observación: ya que se tendrá que estudiar y detectar ciertos rasgos de los estándares propuestos para las tecnologías de redes inalámbricas de área local y personal.

Método Inductivo: Debido que al observar el estándar de la tecnologías WLAN y la cámara de video inalámbrica en la banda de 2,4 GHz, se va a llegar a una propuesta que permita mitigar los problemas causados por la interferencia.

Método de Análisis: Ya que para llegar a una propuesta de solución se tendrá que desglosar todos los problemas que intervienen en la coexistencia entre WLAN y la cámara de video inalámbrica y así asociar una relación causa-efecto para su comprensión.

Métodos Empírico, Experimental, Comparativo y Estadístico: Para complementar procesos que se ejecutarán dentro de la investigación.

Se ha realizado las siguientes consideraciones para esta investigación:

Se plantea la investigación en base a los problemas existentes de interferencia en la banda de 2.4 GHz.

- Se trazan los objetivos de la investigación que resolverán el problema de la interferencia en la comunicación de redes inalámbricas concretamente con el estándar 802.11b.
- Se justifica los motivos por los cuales se propone realizar la presente investigación.
- Se elabora un marco teórico que ayude a tener una idea general para la realización del trabajo y un horizonte más amplio.
- Se plantea una hipótesis, la cual es una posible respuesta al problema planteado y posee una íntima relación entre el problema y el objetivo.

- Se propone la operacionalización de las variables en base a la hipótesis planteada.
- Se define las unidades de análisis y se delimita la población que va a ser comparada en relación a la propuesta de la investigación.
- Se realiza la recolección de datos de los índices e indicadores respectivos mediante la observación directa y los tests.
- Se realiza la prueba de la hipótesis con los resultados obtenidos.
- Se elabora las conclusiones y recomendaciones producto de la investigación realizada.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

La población en la presente investigación la conforma todos aquellos clientes de las redes inalámbricas en la banda de los 2,4 GHz que están accediendo a la información, más específicamente bajo el estándar 802.11b y la influencia de la cámaras de video inalámbricas a una frecuencia de operación de 2,4 GHz.

De esta población se seleccionó una muestra no probabilística, es decir una red inalámbrica en la banda de 2.4 GHz y la operación en conjunto de una cámara de video inalámbrica en la misma frecuencia, creada en un ambiente de simulación.

3.3 PROCEDIMIENTOS GENERALES

Se ha procedido a detallar los métodos utilizados en la presente investigación:

MÉTODO: Comparativo – experimental

TÉCNICAS: Experimentos y pruebas

INSTRUMENTOS: Sniffers (Capsa, Iperf) y Analizador de Espectros (Wi-Spy)

MÉTODO: Desarrollo de filtros

TÉCNICAS: Antenas Microstrip

INSTRUMENTOS: Software Ansoft y Microwave Office

3.4 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La recolección de datos es en principio, cualquier recurso de que pueda valerse el investigador para acercarse a los fenómenos y extraer de ellos la información, y en base al diseño de investigación, se realiza la recolección.

Partiendo de la creación de un ambiente de simulación para la investigación, la recolección de los datos se la obtuvo mediante la comparación de varios escenarios y valiéndose de las herramientas más apropiadas para dicho fin.

Los instrumentos utilizados partieron desde la misma percepción de la variación del tiempo al transmitir los datos influenciados y no con la interferencia, hasta la utilización de herramientas específicas para la manipulación de los datos como: analizadores de paquetes conocidos también como sniffer, específicamente: Colasoft Capsa Enterprise 7 y JPERF bajo la plataforma Windows 7.

Por otro lado se pudo comparar los niveles de interferencia en dichos escenarios en relación a la solución propuesta en la presente investigación y verificar los niveles de fiabilidad en la coexistencia de las tecnologías, esto gracias a la utilización de un analizador de

espectros, el cual trabaja a nivel de la capa uno del modelo OSI, permitiéndonos de esta manera observar los espectros de la frecuencia de la comunicación.

3.5 VALIDACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS

Toda medición o instrumento de recolección de los datos debe reunir dos requisitos esenciales: confiabilidad y validez. La validez, en términos generales, se refiere al grado en que un instrumento realmente mide la variable que pretende medir.

Partiendo de lo anteriormente mencionado, la validez de las herramientas utilizadas tanto hardware como software, se basan en sus características y artículos especializados que ratifican su aplicación.

El analizador de espectros Wi-Spy de la empresa Metageek, es un dispositivo USB no más grande que una unidad de memoria Flash con una pequeña antena omnidireccional incluida, que trabaja en la frecuencia de 2.4 GHz, mostrando en tiempo real el espectro completo (canales 1-14) para poder así observar el tráfico, la ocupación, la potencia y las posibles interferencias de las señales recibidas en un punto concreto. De esta forma, podemos tomar decisiones sobre qué canales utilizar para nuestras nuevas infraestructuras o ver de forma clara qué está pasando cuando tenemos una instalación problemática que no hay forma de estabilizar.

Uno de los puntos fuertes de Wi-Spy es el software. Metageek ofrece programas muy bien diseñados para grabar y mostrar los datos recogidos de las redes inalámbricas.

El primero es Chanalyzer que ofrece una visión muy clara de lo que está pasando en el aire en forma de gráficos de todo tipo (tridimensionales, clásicos, por escala de tiempo, etc.) y nos permite compararlos con muestras incluidas de señales de todo tipo de aparatos (teléfonos DECT, cámaras inalámbricas de video, hornos microondas, señales 802.11, Zigbee, etc.).

Otra herramienta incluida es InSSIDer que además de ser gratuita y no necesitar del hardware Wi-Spy, sino que funciona con cualquier tarjeta Wi-Fi es una forma de mostrar las redes Wi-Fi que se encuentran a nuestro alrededor con toda la información necesaria sobre ellas.

El instrumento utilizado para el análisis en la capa de enlace de datos o capa 2, es un sniffer o analizador de paquetes, herramientas que pueden capturar el tráfico de las redes WiFi que se encuentran a su alcance, almacenándolos para su procesamiento. Dentro de estas aplicaciones se eligió el Software Colasoft Capsa Enterprise 7, el cual tiene la posibilidad de capturar paquetes de múltiples adaptadores, filtrar paquetes, decodificar los paquetes detalladamente, analizar protocolos, etc. Capsa también escanea direcciones MAC, hace Ping y puede enviar paquetes a través de la tarjeta de red.

Por ultimo las herramientas IPERF/JPERF, que de la misma manera permiten analizar paquetes y así medir la velocidad máxima que alcanzan 2 ordenadores conectados en una red local, siendo JPERF la versión gráfica de IPERF.

3.6 AMBIENTE DE SIMULACIÓN

En la *Fig. 3.1*, se puede observar el ambiente de simulación utilizado para la realización de los experimentos, en el cual se aprecia una red inalámbrica tipo infraestructura, la misma que se mantiene estacionaria y a su vez es influenciada por la presencia de la cámara inalámbrica de video.

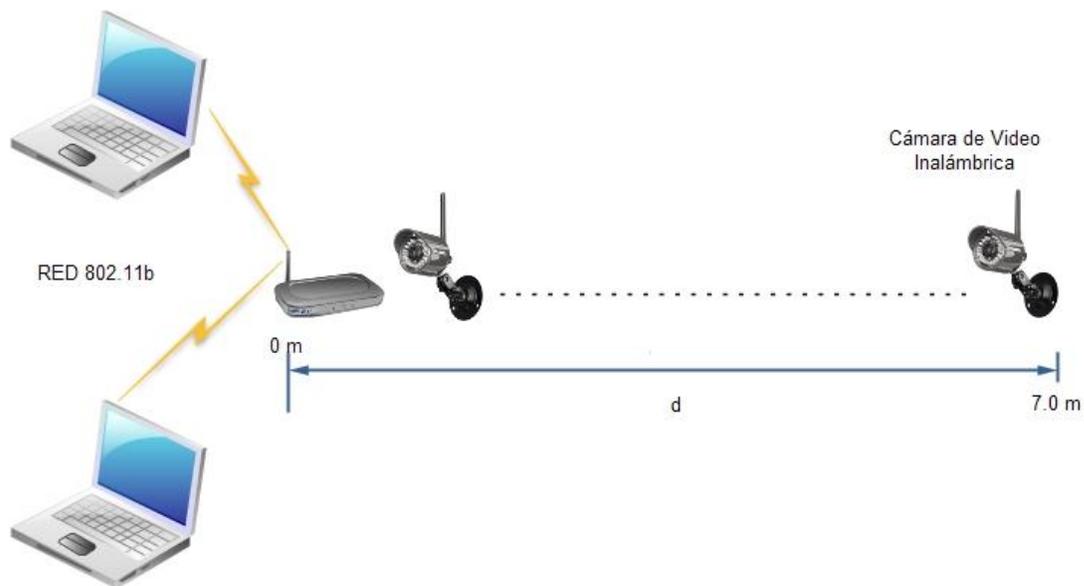


Fig. 3.1: Ambiente de Simulación

El escenario detallado consiste en una red de área local inalámbrica, conformada por dos computadores portátiles, que actuará la una como cliente y la segunda que brindará los servicios de transferencia de archivos (FTP, File Transfer Protocol), conectados estos equipos a la red a través de un punto de acceso inalámbrico. Bajo el mismo ambiente de trabajo se tiene la presencia de la fuente de interferencia en este caso la cámara de video inalámbrica, la cual tiene la libertad para alejarse horizontalmente del punto de acceso inalámbrico.

El ambiente indicado permite analizar el nivel de interferencia causado por la cámara inalámbrica sobre la red WLAN y para efectos de demostración de la tesis se optó por un solo cliente, optimizando el tiempo en el análisis de los datos transmitidos, lo cual se vería incrementado con más clientes en la red, más no afecta en la propuesta de solución, ya que está es a nivel de capa física.

El análisis de los datos, se basa en el tráfico FTP, que es el protocolo que proporciona un transporte fiable de flujo de bits entre aplicaciones y especializado en el control de errores, cuando enviamos información por la red pueden ocurrir pérdidas de datos originadas por colisiones en la red entonces con el protocolo TCP en la capa de transporte el servidor es

notificado por el receptor si ha recibido todos los paquetes y si estos son íntegros, en caso de no serlo el receptor notifica al servidor y el este los reenvía nuevamente. Al contrario con UDP, que no verifica que el mensaje haya llegado íntegramente a su lugar de origen, es decir no controla errores en la transmisión. Así al introducir una fuente de interferencia, gracias a UDP podemos analizar la retransmisión de paquetes como consecuencia de los errores en la comunicación.

Descripción de los Equipos del Ambiente de Simulación:

Punto de Acceso Inalámbrico, marca TP-LINK TL-WR741ND.

Computador Portátil marca Acer 3690, con conectividad 802.11b.

Computador Portátil marca, Compaq CQ43-416la, con conectividad 802.11b.

Cámara de video inalámbrica Lorex LW-2110 a 2,4 GHz.

De lo anteriormente descrito al aumentar y disminuir la distancia “d” entre el punto de acceso inalámbrico y la cámara de video, la interferencia provocada por esta última variará, dando como resultado la construcción de varios escenarios para las mediciones, cada uno de estos con valores de distancia de 1 y 7 metros.

Experimento 1

Para el primer ambiente se tiene montado una red inalámbrica de área local, bajo el estándar 802.11b, sin la presencia de interferencia alguna en el espectro de la banda de 2,4 GHz (*Ver Fig. 3.2*), en el cual se analizará el tráfico a nivel de la capa de enlace del modelo OSI, dicha red está conformada por:

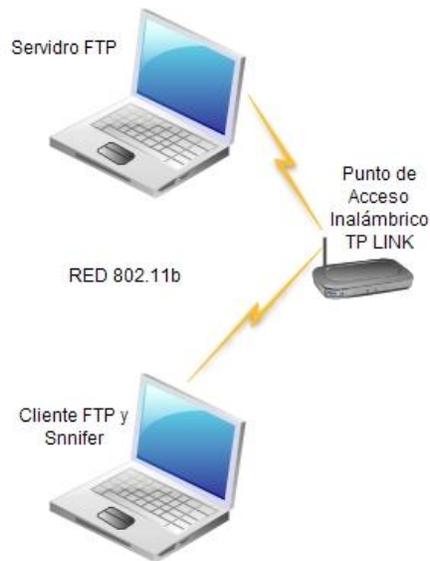


Fig. 3.2: Ambiente de Simulación 1

- Un Punto de Acceso Inalámbrico, que actúa como nodo central de gestión, marca TP-LINK modelo TL-WR741ND, provisto de una antena con característica desmontable RSMA, giratoria con dipolo y con una ganancia de 5 dBi.
- Se tiene un computador portátil marca Compaq modelo CQ43-416la, provisto de conexión inalámbrica interna, que nos brindará el servicio de FTP.
- Por último tenemos un computador portátil marca Acer modelo 3690, que nos servirá como cliente de la red y a su vez realizará las peticiones al servidor.

El proceso del experimento consta en la descarga o transferencia de un archivo de 100 Mb desde el servidor al cliente, transmisión que será monitoreada por el sniffer Capsa, analizando datos como: número de paquetes transmitidos, paquetes por segundo, tiempo de transmisión y velocidad de transmisión. A la par también serán apreciados datos como: la variación en el retardo (Jitter) y el ancho de banda mediante la herramienta snifer denominado Jperf.

Experimento 2

En el segundo experimento se adiciona al escenario descrito en el experimento 1, la fuente de interferencia no deseada, en este caso particular la cámara de video inalámbrica a 2,4GHz (Ver Fig. 3.3). Mediante lo cual se tiene operando bajo el mismo ambiente a una red 802.11b y un sistema de transferencia de video a 2,4 GHz.

Se procede de igual manera a descargar o transferir un archivo de 100 Mb desde el servidor al cliente, transmisión que será monitoreada por el sniffer Capsa, analizando datos como: número de paquetes transmitidos, paquetes por segundo, tiempo de transmisión y velocidad de transmisión. A la par también serán apreciados datos como: la variación en el retardo (Jitter) y el ancho de banda mediante la herramienta sniffer denominado Jperf.

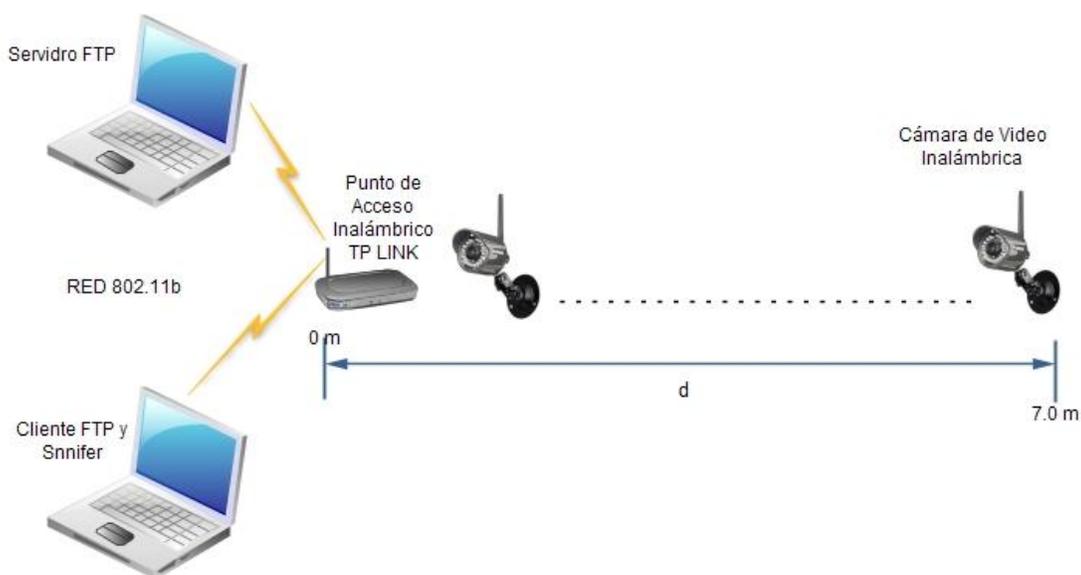


Fig. 3.3: Ambiente de Simulación 2

A diferencia del primer escenario en el segundo, se variara la distancia de operación de la cámara de video inalámbrica en relación al punto de acceso inalámbrico, repitiendo el experimento a 1 y 7 metros de distancia.

Experimento 3

En el tercer escenario se procede a analizar el comportamiento del espectro de la red inalámbrica 802.11b, sin la presencia de señales ajenas que interfieran en la comunicación, valiéndose del mismo ambiente de simulación implementado en el experimento 1 (Ver Fig. 3.4), se procede de igual manera a la descargar o transferencia de un archivo de 100 Mb desde el servidor al cliente. Para en esta ocasión analizar parámetros importantes como: el grado de utilización del espectro en cada uno de los canales del estándar 802.11b y la amplitud de las señales en función de la frecuencia en cada uno de los canales del estándar 802.11b; para lo cual utilizamos el kit de la empresa Metageek, que gracias al trabajo conjunto de sus partes Hardware y Software nos permite escanear y mostrar toda la actividad en la frecuencia de 2,4 GHz. a manera de reportes y gráficos.



Fig. 3.4: Ambiente de Simulación 3

Experimento 4

El experimento 4 se lo realiza bajo el mismo escenario descrito en el experimento 2, es decir tenemos operando simultáneamente a las dos tecnologías inalámbricas: la red 802.11b y la cámara de video inalámbrica a 2,4GHz, incorporando la propuesta de solución de la presente investigación, para reducir los efectos de la interferencia (*Ver Fig. 3.5*).

El filtro pasa banda correspondiente a la solución, es colocado en lugar de la antena desmontable del punto de acceso inalámbrico TP-LINK modelo TL-WR741ND Y se procede a realizar de igual manera la descarga o transferencia de un archivo de 100 Mb desde el servidor al cliente, transmisión que será monitoreada por el sniffer Capsa, analizando datos como: número de paquetes transmitidos, paquetes por segundo, tiempo de transmisión y velocidad de transmisión. A la par también serán apreciados datos como: la variación en el retardo (Jitter) y el ancho de banda mediante la herramienta snnifer denominado Jperf.

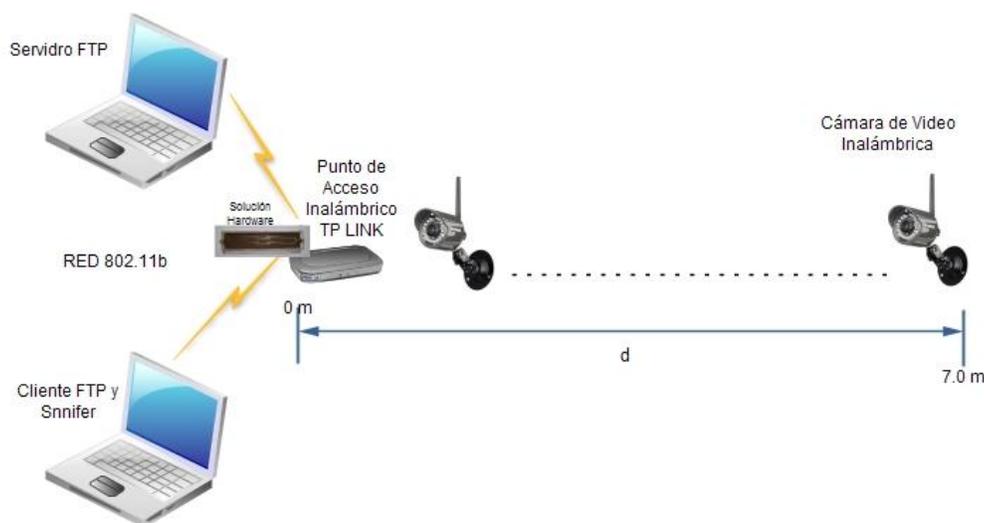


Fig. 3.5: Ambiente de Simulación 4

Realizando el mismo proceso en dos ocasiones, variando la distancia de operación de la cámara de video inalámbrica en relación al punto de acceso inalámbrico a 1 y 7 metros.

Experimento 5

De igual manera para el experimento número 5, se utiliza el mismo escenario descrito en el experimento 2 y de esta manera realizar el análisis del comportamiento del espectro de la red inalámbrica con la presencia de señales no deseadas que interfieren en la comunicación y cuya fuente de origen es la cámara de video inalámbrica a 2,4 GHz (Ver Fig. 3.6).

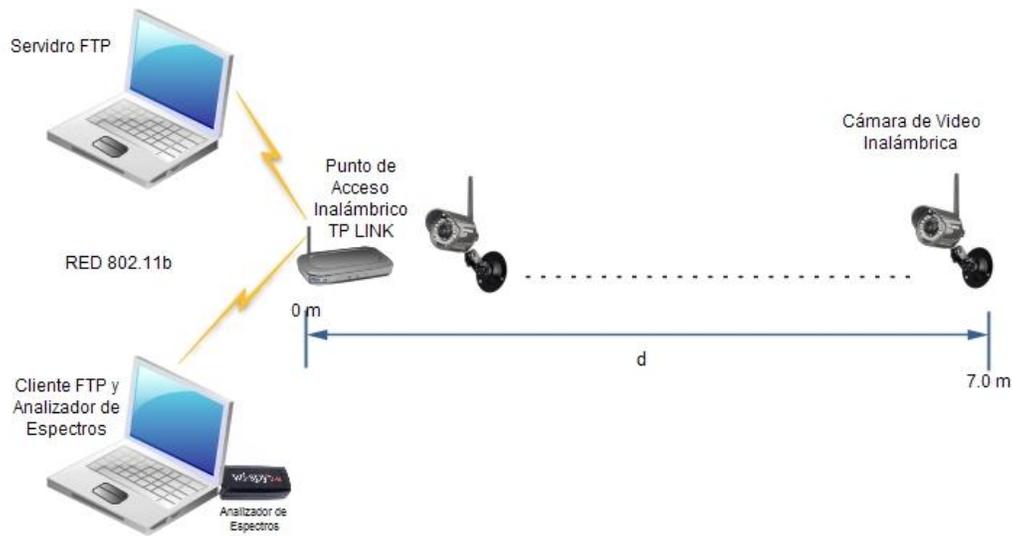


Fig. 3.6: Ambiente de Simulación 5

Par tal efecto se realiza la descarga o transferencia de un archivo de 100 Mb desde el servidor al cliente y se analiza el grado de utilización del espectro en cada uno de los canales del estándar 802.11b y la amplitud de las señales en función de la frecuencia en cada uno de los canales del estándar 802.11b; para lo cual utilizamos el kit de la empresa Metageek, que gracias al trabajo conjunto de sus partes Hardware y Software nos permite escanear y mostrar toda la actividad en la frecuencia de 2,4 GHz. a manera de reportes y gráficos.

Experimento 6

En el experimento 6 se realiza el análisis del comportamiento del espectro de la red inalámbrica con la presencia de señales no deseadas que interfieren en la comunicación, cuya fuente de origen es la cámara de video inalámbrica a 2,4 GHz, pero en esta ocasión con la solución propuesta incorporada en el escenario, es decir el mismo ambiente de simulación utilizado en el experimento 4 (Ver Fig. 3.7).

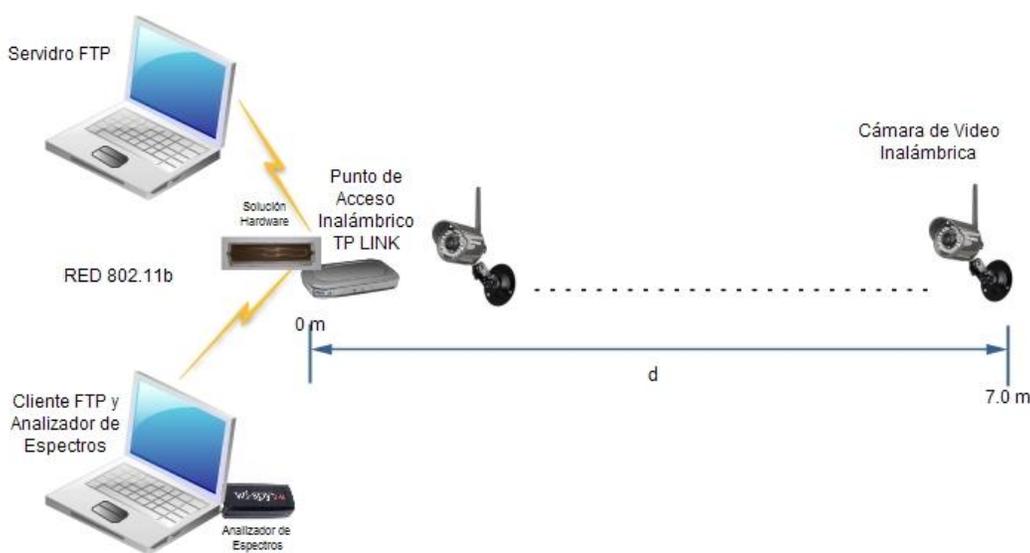


Fig. 3.7: Ambiente de Simulación 6

Y de igual manera se realiza la descarga o transferencia de un archivo de 100 Mb desde el servidor al cliente y se analiza el grado de utilización del espectro en cada uno de los canales del estándar 802.11b y la amplitud de las señales en función de la frecuencia en cada uno de los canales del estándar 802.11b; para lo cual utilizamos el kit de la empresa Metageek, que gracias al trabajo conjunto de sus partes Hardware y Software nos permite escanear y mostrar toda la actividad en la frecuencia de 2,4 GHz. a manera de reportes y gráficos.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Toda la información obtenida fruto de los experimentos realizados, fue procesada de acuerdo a los indicadores establecidos tanto para la variable Independiente como para la variable Dependiente y aplicando sus respectivas técnicas.

Para la cuantificación en general de los resultados en cada técnica aplicada, se realizó la asignación de porcentajes, estableciéndole el valor de 100 % al valor considerado como ideal en cada uno de los ámbitos de los indicadores.

Se realiza también una calificación total por cada uno de los experimentos, para poder realizar la comparación con la propuesta del investigador.

Posteriormente para cuantificar las variables dependiente e independiente, se procede a calcular la media ponderada de sus respectivos Indicadores, fijando ponderaciones repartidas equitativamente de porcentaje total por cada una de las variables.

Para propósitos de comparación se calculó las medias ponderadas de los indicadores tanto de la variable dependiente como de la variable independiente.

4.2 RESUMEN DE LOS EXPERIMENTOS DE EVALUACIÓN DE LA INTERFERENCIA

Bajo el escenario descrito en el capítulo 3, *ver Fig. 3.1*, se realizaron varios experimentos, variando ciertas condiciones para así lograr recopilar mayor información que represente de una manera más fiable una situación real, los mismos que pueden ser observar en los anexos de esta tesis.

Para todos los experimentos en la red WLAN, se realizó una transferencia de archivos vía FTP, mediante el software FileZilla y para la cámara inalámbrica se tiene un circuito cerrado de video, a la vez que todo el tráfico es monitorizado por el sniffer inalámbrico y el analizador de espectros.

4.3 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.3.1 Análisis e Interpretación de Resultados del Experimento 1 y 2

Debido a que el primer experimento hace referencia a la transmisión de datos sin interferencia, es necesario analizarlo en conjunto con el experimento número 2, en el cual se suma la fuente de interferencia en la transmisión, logrando así la comparación necesaria para el análisis de las variables.

VARIABLE INDEPENDIENTE, La Interferencia provocada por las cámaras inalámbricas de video en las redes WLAN 802.11b.

Indicador 1, Paquetes Intercambiados en la transmisión.

Este indicador, nos permite observar que la cantidad de paquetes intercambiados en la transmisión, están directamente relacionados con la presencia o ausencia de la fuente de interferencia y la distancia de operación de la misma, la cual al ser incrementada, da como resultado una menor pérdida de paquetes.

✓ **Técnica 1, Captura de Paquetes con y sin Interferencia.**

Al relacionar los paquetes capturados en los experimentos 1 y 2, se logra construir la Tabla IV.I, así como las gráficas, representadas por la Fig. 4.1 y la Fig. 4.2. Cabe mencionar que el porcentaje de 100 % fue asignado al número menor de paquetes transmitidos y que el análisis está realizado para 1 y 7 metros.

Tabla IV.I: Comparación de Paquetes Transmitidos en el Experimento 1 y 2.

Distancia (m)	Tamaño del Archivo (Mb)	Paquetes Sin Interferencia	% Sin Interferencia	Paquetes Con Interferencia	% Con Interferencia
Uno	100	110751	100,00%	111386	99,43%
Siete	100	110751	100,00%	110856	99,91%

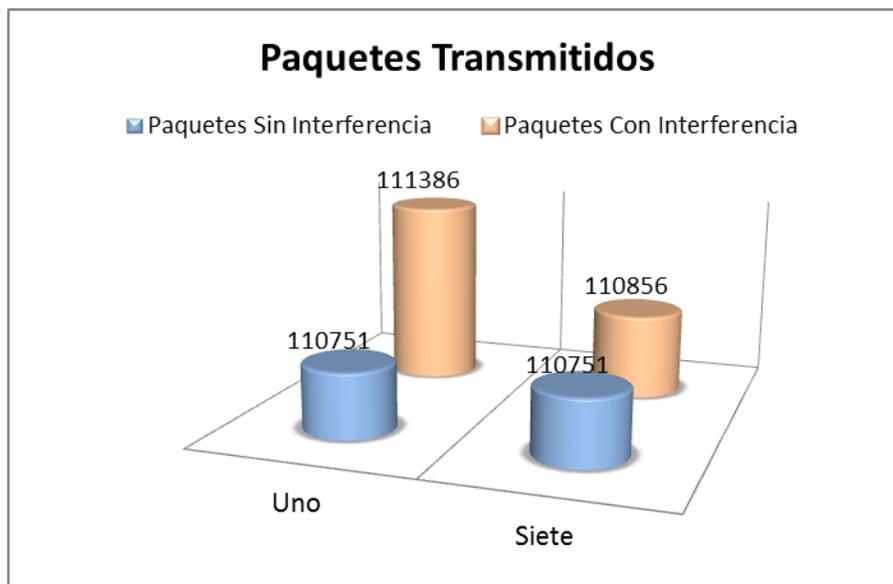


Fig. 4.1: Comparación de Paquetes Transmitidos Experimento 1 y 2



Fig. 4.2: Porcentaje de Paquetes Transmitidos Experimento 1 y 2

✓ **Técnica 2, Captura de Paquetes Por Segundo (PPS) con y sin Interferencia.**

De igual manera relacionando los 2 primeros experimentos se construye la Tabla IV.II, en la cual podemos observar la cantidad de Paquetes por Segundo (PPS) utilizados para la transmisión, sin la interferencia de la cámara inalámbrica de video. Así como sus respectiva graficas en la Fig. 4.3 y 4.4.

Tabla IV.II: Comparación de Paquetes por Segundo en el Experimento 1 y 2.

Distancia (m)	Tamaño del Archivo (Mb)	PPS Sin Interferencia	% PPS Sin Interferencia	PPS Con Interferencia	% Con PPS Interferencia
Uno	100	325	100,00%	163	50,15%
Siete	100	325	100,00%	267	82,15%



Fig. 4.3: Comparación de Paquetes Por Segundo Experimento 1 y 2



Fig. 4.4: Porcentaje de Paquetes Por Segundo Experimento 1 y 2

Al comparar el número de paquetes transmitidos por segundo en el experimento 1 y 2, se puede claramente observar una disminución de los mismos al estar el intercambio de información influenciado por una fuente de interferencia en este caso la cámara de video

inalámbrica y cuanto menor sea la distancia de influencia entre las dos tecnologías, menor será el número de paquetes transmitidos por segundo.

Para una distancia de 1 metro, el archivo se transmite 162 PPS por debajo de la transmisión sin fuente de interferencia, sufriendo un decremento en el rate comparado con el experimento 1.

De igual manera para una distancia de 7 metros se mantiene un decremento en el rate, fruto de los 58 PPS por debajo de la transmisión sin interferencia pero en un nivel menor que para la distancia de 1 metro.

✓ **Técnica 3, Variación en la Distancia de la fuente de Interferencia.**

La variación de la distancia entre la red wifi y la cámara de video inalámbrica, está directamente relacionado con el rendimiento en la transmisión debido al rango de cobertura que tiene la fuente de interferencia, partiendo de esto el parámetro de medición fue calculado como un promedio del efecto que este representa en las técnicas 1 y 2.

También cabe mencionar que el porcentaje calculado para las técnicas 1 y 2 es resultado de un promedio de los experimentos a 1 y 7 metros.

Interpretación

Como resultado de la interferencia provocada por la cámara inalámbrica de video en la comunicación wifi, en el experimento número 2, tenemos una mayor cantidad de paquetes enviados en la transmisión, alrededor de los 635 en relación con la comunicación sin interferencia, esto al operar simultáneamente las 2 tecnologías a una distancia de 1 metro, lo cual es consecuencia de las colisiones que sufren los datos, principalmente en el canal 6, provocando una retransmisión de los paquetes.

Bajo la misma fuente de interferencia pero a una distancia de 7 metros, se aprecia de igual manera un ligero incremento en el número de paquetes enviados, alrededor de los 105, que no representan mayor interferencia como los resultados en la distancia de 1 metro. **Verificando que la interferencia provocada por la cámara de video inalámbrica disminuye a medida que la distancia de operación de la misma con respecto a la red WLAN se incrementa.**

Con todos los resultados obtenidos se construye la Tabla IV.III y su respectiva gráfica *ver Fig. 4.5*, en la cual podemos interpretar que el porcentaje de paquetes transmitidos es mayor cuando existe la fuente de interferencia, específicamente en un 0,33 %.

En cuanto al número de Paquetes por Segundo, su porcentaje indica que es mayor el rate cuando no existe interferencia de la cámara inalámbrica en la red WLAN, en un valor de 33,85 %.

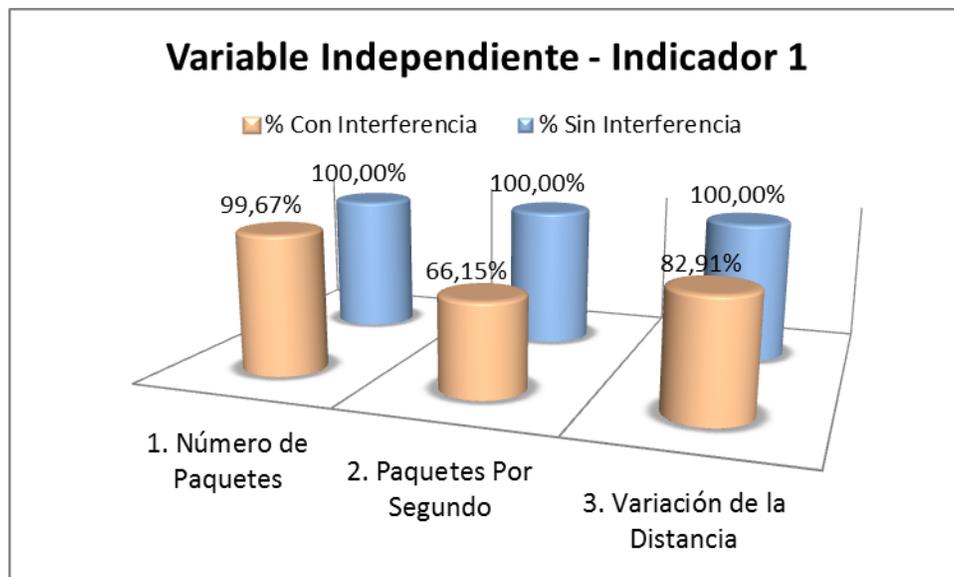


Fig. 4.5: Porcentaje de Resultados Variable Independiente – Indicador 1

Tabla IV.III: Análisis de Resultados Variable Independiente – Indicador 1.

Técnicas	% Sin Interferencia	% Con Interferencia
1. Número de Paquetes	100,00%	99,67%
2. Paquetes Por Segundo	100,00%	66,15%
3. Variación de la Distancia	100,00%	82,91%

De lo indicado obtenemos que la interferencia es mucho mayor conforme la fuente de interferencia se encuentra operando a una distancia menor en relación a la red WLAN, lo cual se ve expresado en un incremento en el número de paquetes enviados y la respectiva disminución en la cantidad de paquetes por segundo necesarios para la transmisión.

VARIABLE INDEPENDIENTE, La Interferencia provocada por las cámaras inalámbricas de video en las redes WLAN 802.11b.

Indicador 2, Rendimiento.

El indicador número dos no ofrece una valoración del performance de la red WLAN, al otorgarnos índices como la velocidad de trasmisión y el tiempo de transmisión los cuales son comparados entre el experimento número 1 y 2. Y un tercer índice como es el jitter que es calculado sin y con la presencia de la fuente de interferencia a 1 metro.

✓ **Técnica 1, Análisis de la Velocidad de Transmisión.**

Relacionando los experimentos número 1 y 2, al transmitir un archivo de 100 Mb para cada una, se construye la Tabla IV.IV y sus respectivas gráficas *ver Fig. 4.6 y Fig. 4.7.*

Tabla IV.IV: Comparación de Velocidad de Transmisión – Experimento 1 y 2.

Distancia (m)	Velocidad de Transmisión Sin Interferencia (Mbps)	% Velocidad Sin Interferencia	Velocidad de Transmisión Con Interferencia (Mbps)	% Velocidad Con Interferencia
Uno	2,576	100,00%	1,269	49,26%
Siete	2,576	100,00%	2,157	83,73%

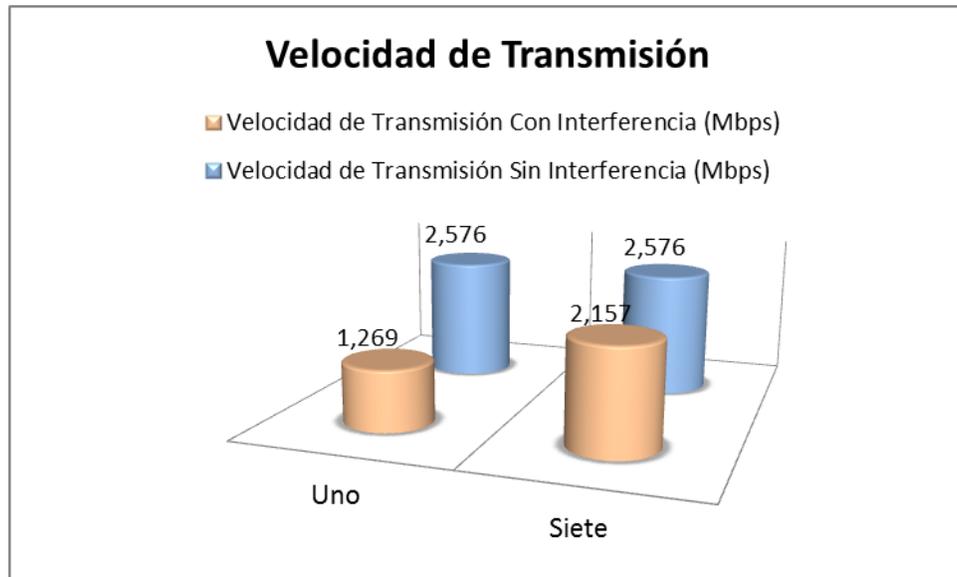


Fig. 4.6: Comparación de Velocidad de Transmisión – Experimento 1 y 2

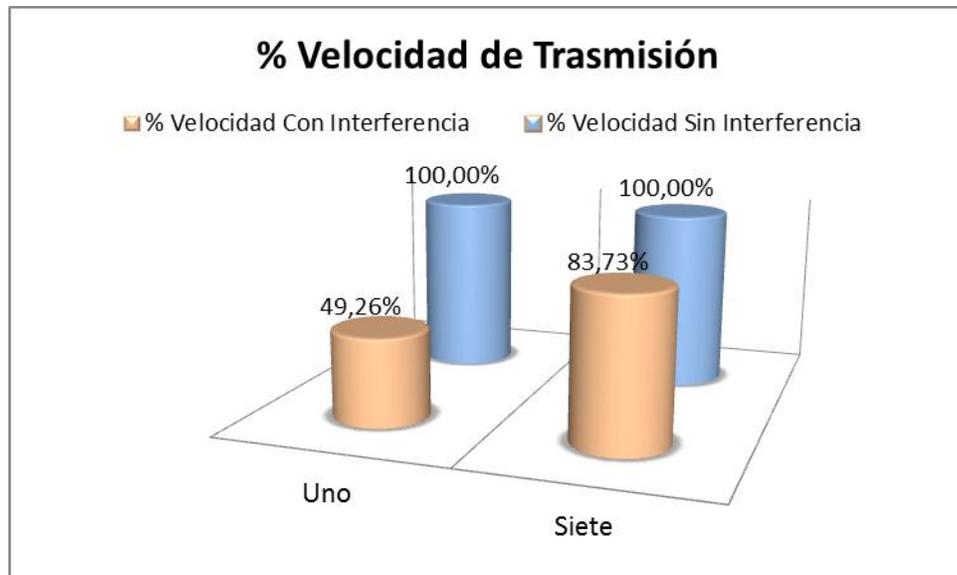


Fig. 4.7: Porcentaje de Velocidad de Transmisión – Experimento 1 y 2

De lo indicado se observa que la velocidad de transmisión alcanza su máximo de 2,576 Mbps sin la presencia de la fuente de interferencia a no y siete metros, la cual se ve reducida al poner en funcionamiento la cámara inalámbrica

✓ **Técnica 2, Análisis del Tiempo de Transmisión.**

A través de esta técnica, tenemos una idea clara del deterioro que sufre la transmisión de un archivo de 100 Mb, con y sin la presencia de interferencia, ya que el valor obtenido es la variación del tiempo expresado en segundos, que se encuentra representado en la Tabla IV.V y la Fig. 4.8 y Fig. 4.9, para lo cual el porcentaje del 100 % es asignado al menor tiempo.

Tabla IV.V: Comparación de Tiempo de Transmisión – Experimento 1 y 2.

Distancia (m)	Tiempo de Transmisión Sin Interferencia (Seg)	% Tiempo de Tx Sin Interferencia	Tiempo de Transmisión Con Interferencia (Seg)	% Tiempo de Tx Con Interferencia
Uno	315	100,00%	777	46,67%
Siete	315	100,00%	370	82,54%

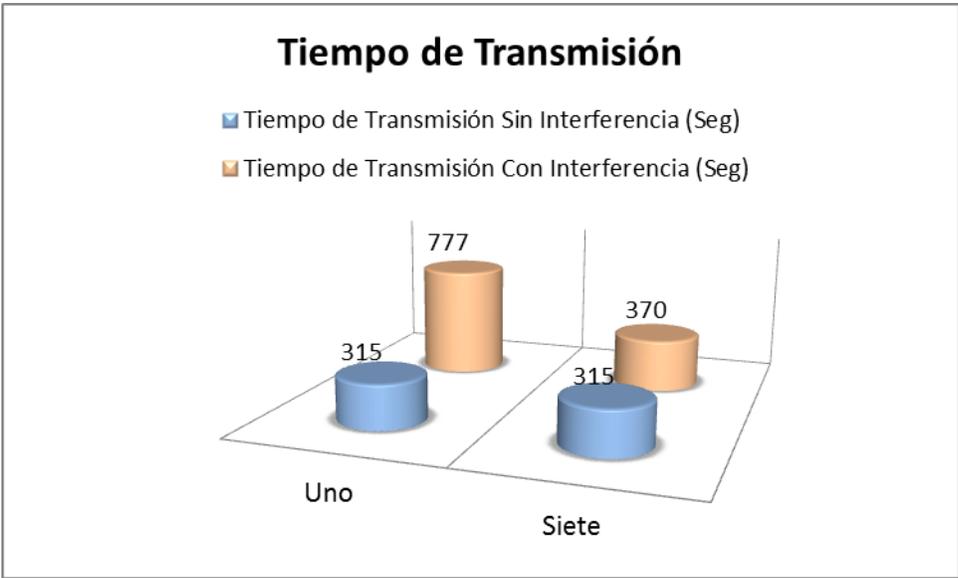


Fig. 4.8: Comparación del Tiempo de Transmisión – Experimento 1 y 2

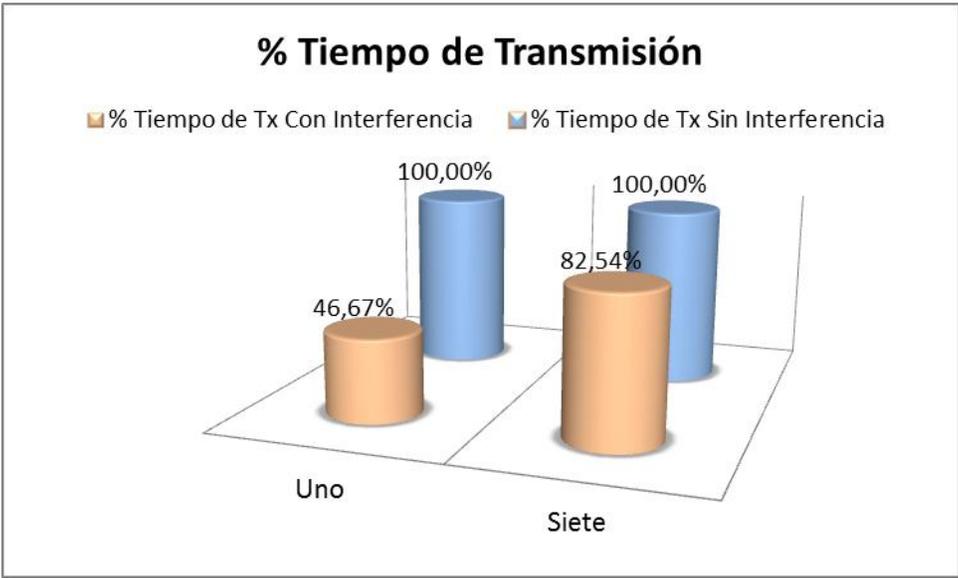


Fig. 4.9: Porcentaje del Tiempo de Transmisión – Experimento 1 y 2

✓ **Técnica 3, Análisis del Jitter.**

La medida de este índice se la realizó en el experimento 1 y 2, es decir fue medido con y sin la presencia de la fuente de interferencia a 1 y 7 metros, otorgándole el 100 % al Jitter de menor valor.

Para este caso se utilizó la herramienta JPERF (*Ver Anexo 2*), obteniendo los valores representados en la Tabla IV.VI y sus respectivas gráficas, *ver Fig. 4.10 y Fig. 4.11.*

Tabla IV.VI: Comparación del Jitter – Experimento 1 y 2.

Distancia (m)	Jitter Sin Interferencia (ms)	% Jitter Sin Interferencia	Jitter Con Interferencia (ms)	% Jitter Con Interferencia
Uno	5,281	100,00%	19,448	68,26%
Siete	5,281	100,00%	11,709	21,72%

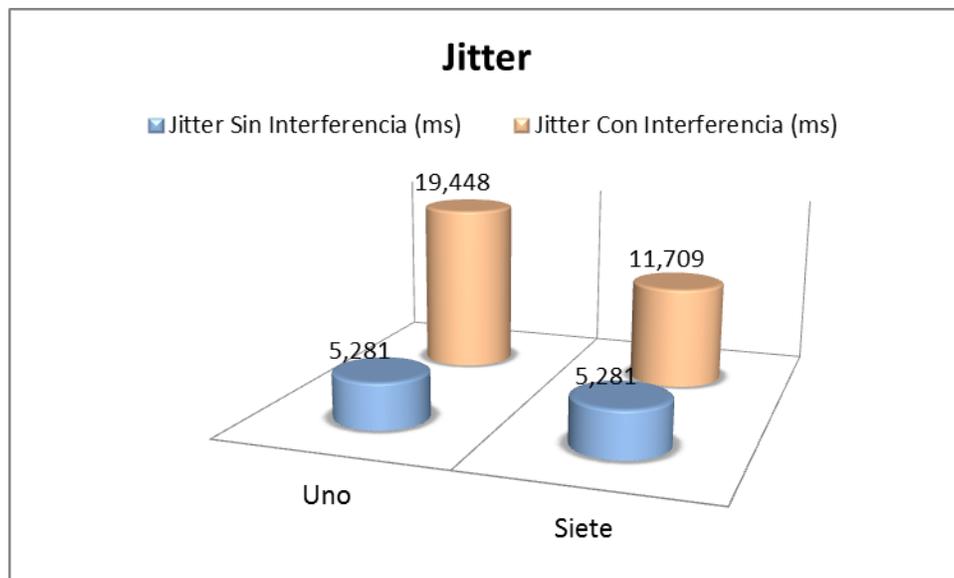


Fig. 4.10: Comparación del Jitter – Experimento 1 y 2

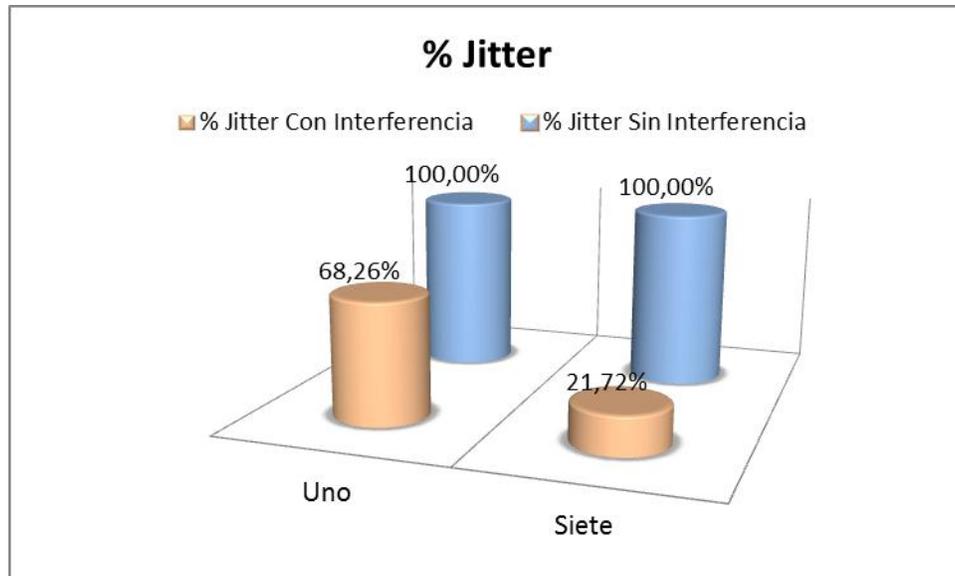


Fig. 4.11: Porcentaje del Jitter – Experimento 1 y 2

Interpretación

De igual manera que en el indicador 1, se obtiene una disminución en el rendimiento de la red WLAN al operar está simultáneamente con la fuente de interferencia, rendimiento que se ve mayormente afectado conforme la distancia de separación entre las 2 tecnologías disminuye.

Con respecto a la Velocidad de Transmisión, esta se ve deteriorada en un 50,74 % cuando la fuente de interferencia se encuentra a 1 metro de distancia y en un 16,27 % a 7 metros de distancia. El segundo índice afectado por la interferencia es el tiempo de trasmisión, ya que son necesarios 462 segundos más a 1 metro y 55 segundos más a 7 metros para lograr transmitir 100 Mb, todo esto con respecto al experimento número 1, realizado sin la operación de la cámara inalámbrica. Por último también tenemos un aumento en el jitter de 5,281 ms a 19,448 ms para una distancia de 1 metro y de 5,281 ms a 11,709 ms para una distancia de 7 metros, el resumen de lo indicado se lo puede observar en la Tabla IV.VII y en la *Fig. 4.12*.

Tabla IV.VII: Análisis de Resultados Variable Independiente – Indicador 2.

Técnicas	% Sin Interferencia	% Con Interferencia
1. Velocidad de Transmisión	100,00%	44,99%
2. Tiempo de Transmisión	100,00%	64,61%
3. Jitter	100,00%	66,50%

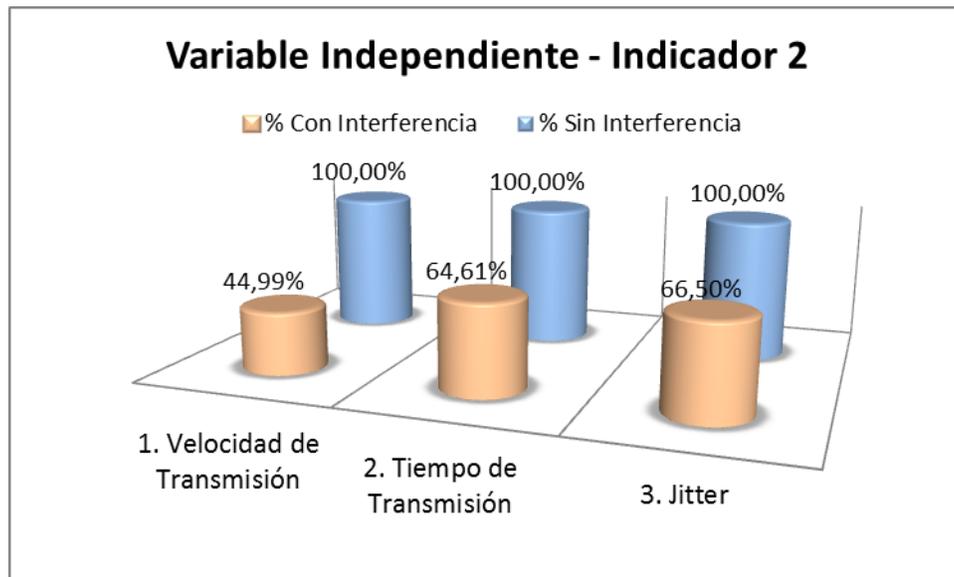


Fig. 4.12: Porcentaje de Resultados Variable Independiente – Indicador 2

4.3.2 Análisis e Interpretación de Resultados del Experimento 3

VARIABLE INDEPENDIENTE, La Interferencia provocada por las cámaras inalámbricas de video en las redes WLAN 802.11b.

Indicador 1, Espectros WIFI.

Mediante este indicador obtenemos un análisis a nivel de capa física específicamente del experimento número 3.

✓ **Técnica 1, Análisis del grado de utilización del canal.**

Del reporte generado por la herramienta Chanalyzer, utilizamos la columna denominada “Grado”, cuyos valores se transforman a porcentajes de utilización del canal tomando como 100 % el pico máximo de utilización del espectro, ver Tabla IV.VIII y Fig. 4.13.

✓ **Técnica 2, Análisis de las amplitudes de los espectros WIFI.**

Para la segunda técnica de igual manera utilizamos el reporte, utilizando en esta ocasión la columna “Reporte de Picos” y obteniendo sus porcentajes respectivos. Ver Tabla IV.VIII y Fig. 4.14.

Tabla IV.VIII: Análisis de Resultados Variable Independiente – Indicador 1.

Channel	Grade (%)	Duty Cycle	Average Floor(dBm)	Average Peak (dBm)	% Utilización del Canal WiFi Sin Interferencia	% Amplitud de Espectros WiFi Sin Interferencia
1	71,33778	5,349067	-91,36016	-65,56522	34,28%	69,74%
2	53,40041	7,925718	-88,85065	-59,56522	55,73%	81,90%
3	34,68392	14,60588	-82,24	-55,45652	78,11%	90,22%
4	26,25203	21,8388	-75,07116	-52,26087	88,20%	96,69%
5	19,38604	28,70479	-68,26328	-50,76087	96,41%	99,73%
6	16,38401	31,70682	-65,2784	-50,62609	100,00%	100,00%
7	19,2037	28,88713	-68,07507	-50,69565	96,63%	99,86%
8	26,22168	22,09752	-74,8183	-52,52174	88,23%	96,16%
9	33,63525	14,79814	-82,04671	-56,1087	79,37%	88,90%
10	53,27956	7,989469	-88,78216	-60,41304	55,88%	80,18%
11	70,34768	5,365992	-91,33963	-65,63043	35,46%	69,61%
12	76,53622	4,232812	-92,43884	-66,5	28,06%	67,85%

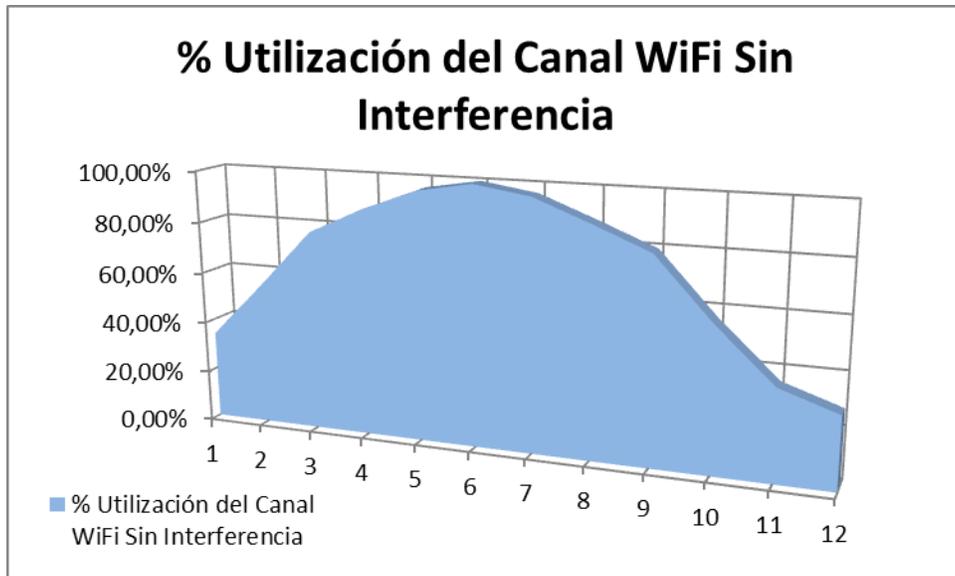


Fig. 4.13: Porcentaje de Utilización del canal en WiFi

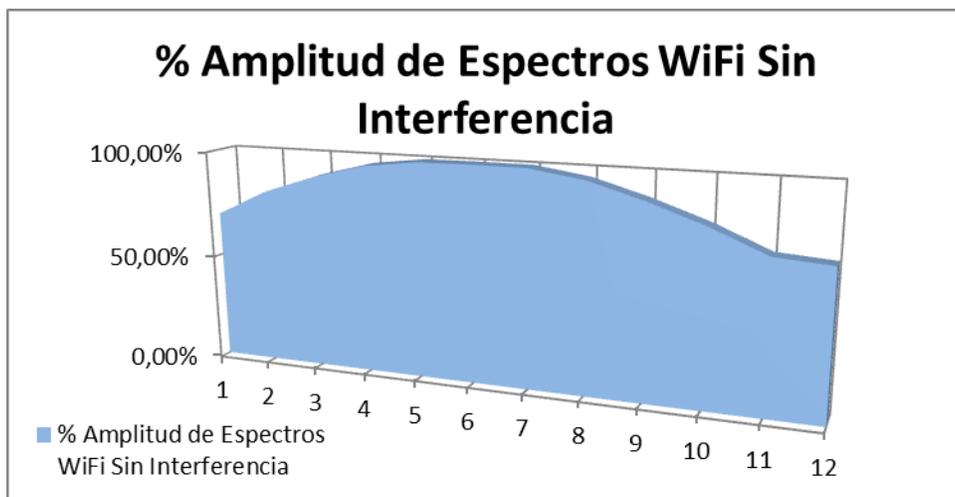


Fig. 4.14: Porcentaje de Amplitud de Espectros en WiFi

Interpretación

De lo anteriormente ilustrado, se observa claramente que el mayor tráfico de datos, se da en los canales 4, 5 y 6 de la red WLAN, lo que implica un mayor nivel de las señales de transmisión en dichos canales, comportamiento que es consecuencia debido al traslape que

existe del canal 6 en los canales adyacentes, presentándose con mayor intensidad en los canales 5 y 7. Dejando a los canales restantes con porcentajes significativamente bajos, a causa de frecuencias residuales.

Por último al tener el pico más alto de la comunicación en el canal 6, sabemos que ahí se encuentra la frecuencia central de operación de la red WiFi.

4.3.3 Análisis e Interpretación de Resultados del Experimento 4

VARIABLE DEPENDIENTE, Incidencia en la coexistencia entre cámaras de video inalámbricas a 2,4 GHz y Redes Wlan.

Indicador 1, Paquetes Intercambiados en la Transmisión.

Para el análisis de este indicador, nos centramos en los resultados obtenidos a nivel de capa 2 con la solución propuesta por el investigador, en el experimento número 4, *Ver Anexo 6*.

Cabe mencionar que de igual manera se transfiere un archivo de 100 Mb. Y los resultados son relacionados con los experimentos 1 y 2.

✓ Técnica 1, Captura de Paquetes con Interferencia y con la Solución Propuesta.

Al relacionar en esta técnica los resultados obtenidos con los datos de los experimentos 1 y 2, logramos la construcción de la Tabla IV.IX y sus respectivos gráficos, *ver Fig. 4.15 y Fig. 4.16*. Cabe indicar que el peso del 100 % se lo asigna al número menor de paquetes transmitidos.

Tabla IV.IX: Comparación de Paquetes Transmitidos con la Solución Propuesta.

Paquetes Sin Interferencia	% Sin Interferencia	Paquetes Con Interferencia	% Con Interferencia	Paquetes Con la Solución Propuesta	% Con la Solución
110751	100,00%	111386	99,43%	111277	99,53%



Fig. 4.15: Comparación de Paquetes Transmitidos Con la Solución Propuesta

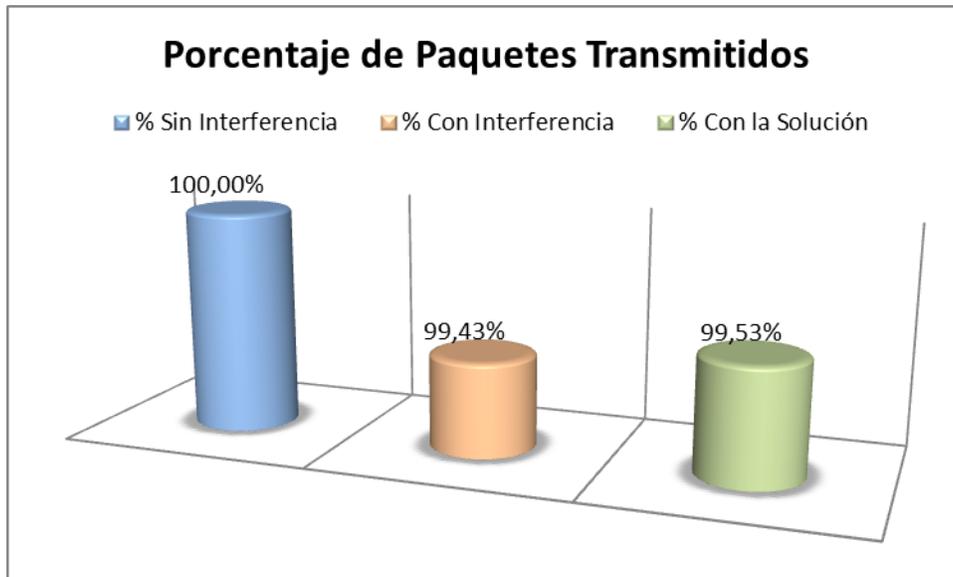


Fig. 4.16: Porcentaje de Paquetes Transmitidos Con la Solución Propuesta

✓ **Técnica 2, Captura de Paquetes Por Segundo con Interferencia y con la Solución Propuesta.**

De igual manera los resultados obtenidos en esta técnica aplicada al experimento número 4, son relacionados con los experimentos 1 y 2, es decir cuando existe la fuente de interferencia y la solución propuesta por el investigador. Los resultados se representan en la Tabla IV.X y en Fig. 4.17 y Fig. 4.18.

Tabla IV.X: Comparación de Paquetes Por Segundo con la Solución Propuesta.

PPS Sin Interferencia	% PPS Sin Interferencia	PPS Con Interferencia	% PPS Con Interferencia	PPS Con la Solución	% PPS Con la Solución
325	100,00%	163	50,15%	236	72,62%

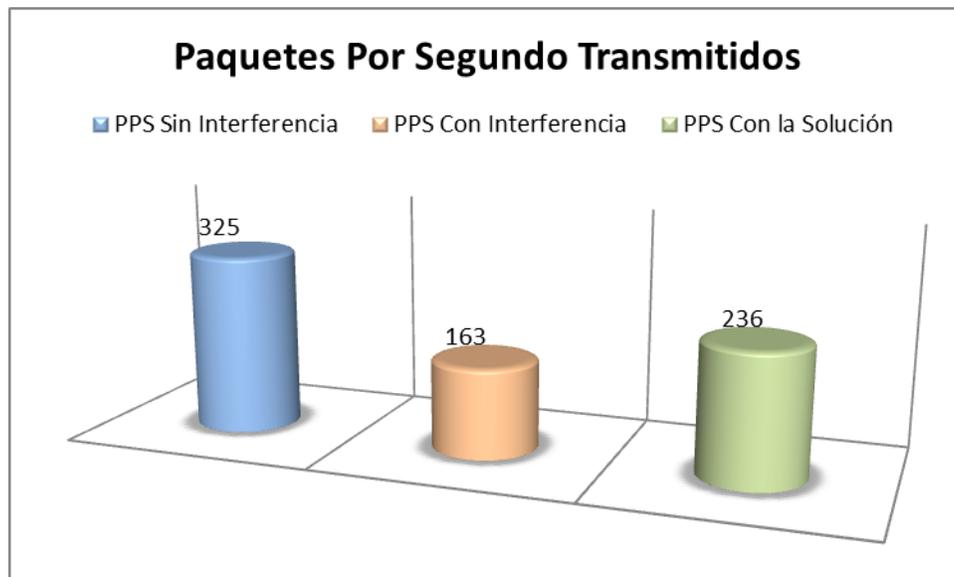


Fig. 4.17: Comparación de Paquetes Por Segundo Con la Solución Propuesta

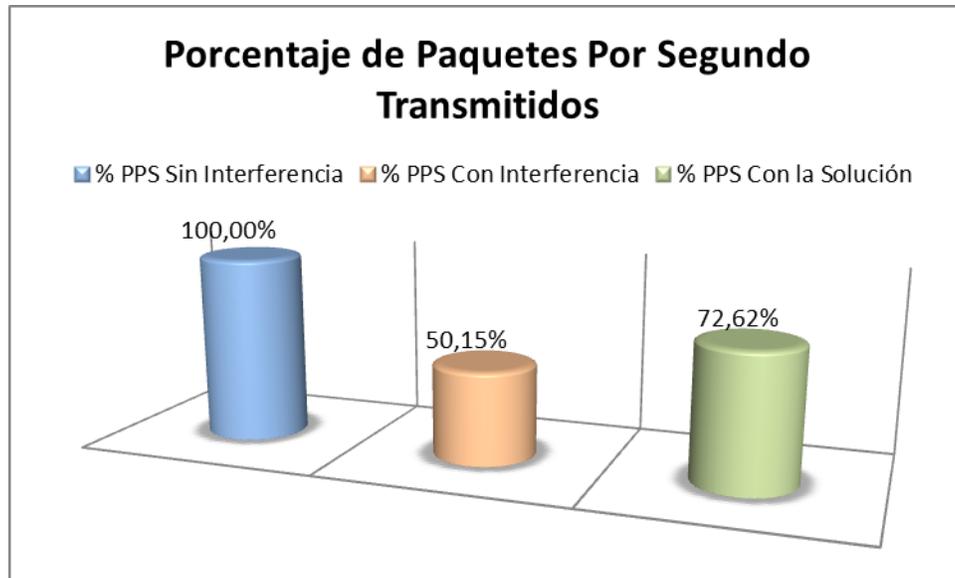


Fig. 4.18: Porcentaje de Comparación de Paquetes Por Segundo Con la Solución Propuesta

Interpretación

Como podemos observar en la Tabla IV.XI y en la *Fig. 4.19*, la propuesta presentada ayudar a mejorar la comunicación en la red WiFi, cuando esta se encuentra operando simultáneamente con la fuente de interferencia como lo es la cámara de video inalámbrica.

De lo anteriormente expuesto se mejora en un 0,1 % la cantidad de paquetes transmitidos, al intercambiar en la red WLAN un paquete de 100 Mb. Con respecto a la transmisión realizada sin la solución propuesta.

En cuanto al número de paquetes obtenemos un mejor rendimiento en la trasmisión, ya que se logra incrementarlos en un 22,47 %. Como resultado la solución propuesta como una antena/filtro microstrip, ayuda a mejorar la comunicación en los parámetros mencionados.

Tabla IV.XI: Comparación de Resultados Variable Independiente – Indicador 1.

Técnicas	% Sin Interferencia	% Con Interferencia y Sin Solución	% Con la Solución Propuesta
1. Paquetes	100,00%	99,43%	99,53%
2. Paquetes Por Segundo	100,00%	50,15%	72,62%

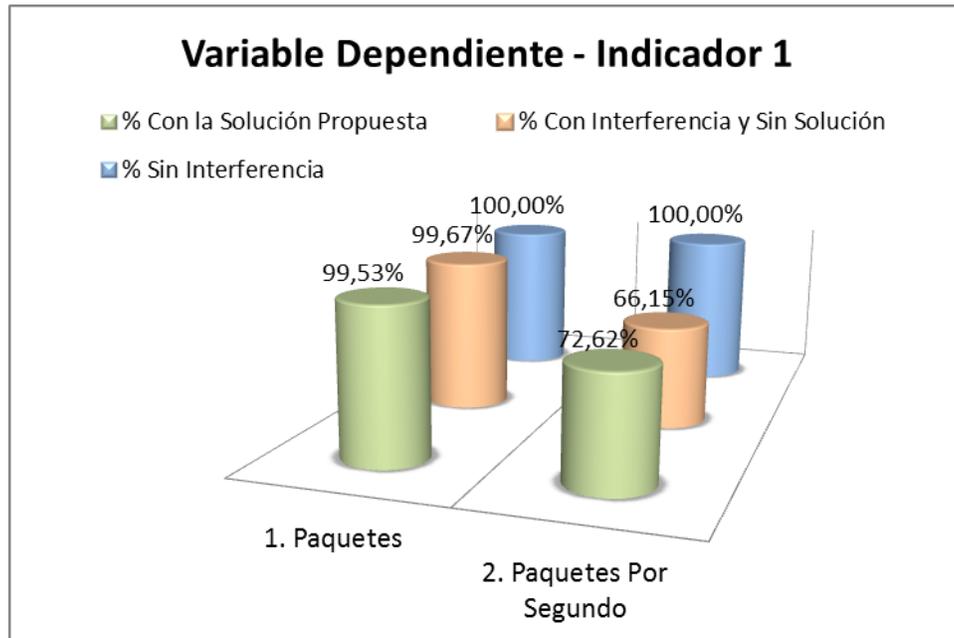


Fig. 4.19: Porcentaje de Resultados Variable Independiente – Indicador 1

VARIABLE DEPENDIENTE, Incidencia en la coexistencia entre cámaras de video inalámbricas a 2,4 GHz y Redes Wlan.

Indicador 2, Rendimiento.

De igual manera los resultados de este indicador, son los obtenidos al realizar un análisis a nivel de capa 2 con la solución propuesta por el investigador, en el experimento número 4, Ver Anexo 6.

Cabe mencionar que se procede de la misma manera a transferir un archivo de 100 Mb. Y los resultados son relacionados con los experimentos 1 y 2.

✓ **Técnica 1, Análisis de la Velocidad de Transmisión.**

Al relacionar los experimentos, se tiene la Tabla IV.XII y la Fig. 4.20 y Fig. 4.21.

Tabla IV.XII: Comparación de la Velocidad de Transmisión con la Solución Propuesta.

Vel. de Tx Sin Interferencia (Mbps)	% Vel. Sin Interferencia	Vel. de Tx Con Interferencia (Mbps)	% Vel. Con Interferencia	Vel. de Tx Con Interferencia y Con la Solución (Mbps)	% Vel. de Tx Con Interferencia y Con la Solución (Mbps)
2,576	100,00%	1,269	49,26%	1,866	72,44%

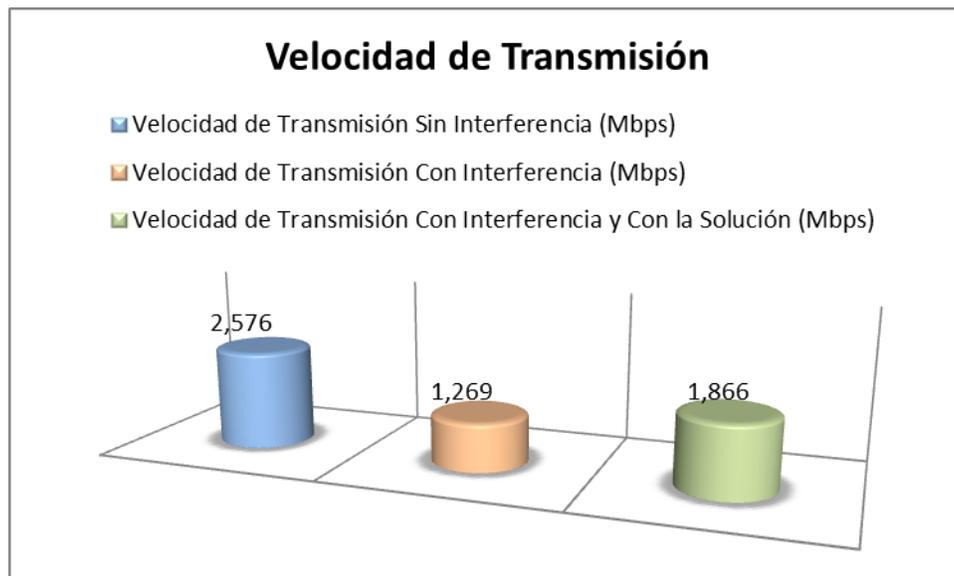


Fig. 4.20: Comparación de la Velocidad de Transmisión con la Solución Propuesta

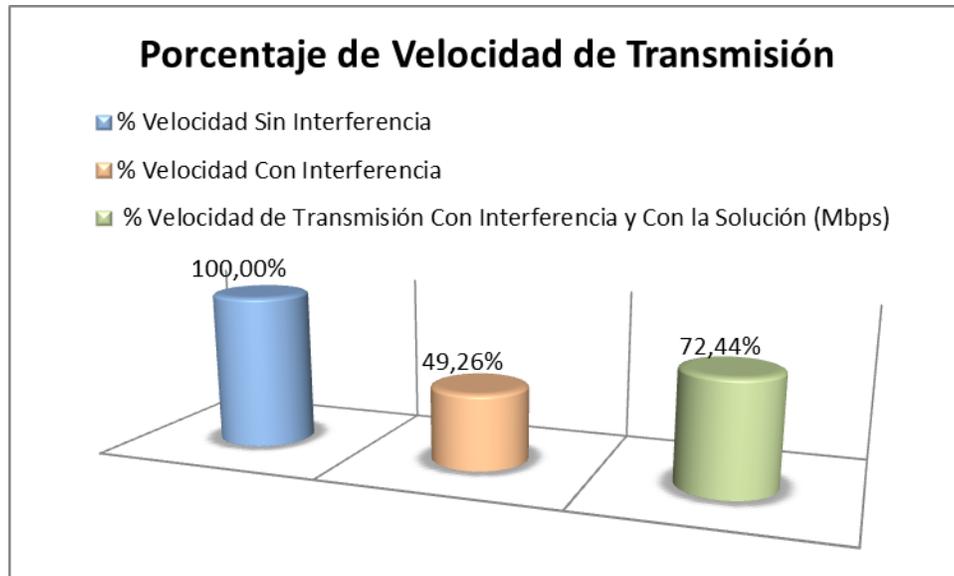


Fig. 4.21: % Comparación de la Velocidad de Transmisión con la Solución Propuesta

✓ **Técnica 2, Análisis del Tiempo de Transmisión.**

Esta técnica no brindará el tiempo utilizado para la transferencia del archivo de 100 Mb., en esta ocasión en presencia de la fuente de interferencia más la solución propuesta, con los resultados se elabora la Tabla IV.XIII y sus respectivas gráficas, ver Fig. 4.22 y Fig. 4.23.

Tabla IV.XIII: Comparación del Tiempo de Transmisión con la Solución Propuesta.

Tiempo de Tx Sin Interferencia (Seg)	% Tiempo de Tx Sin Interferencia	Tiempo de Tx Con Interferencia (Seg)	% Tiempo de Tx Con Interferencia	Tiempo de Tx Con la Solución	% Tiempo de Tx Con la Solución
315	100,00%	777	46,67%	509	61,59%

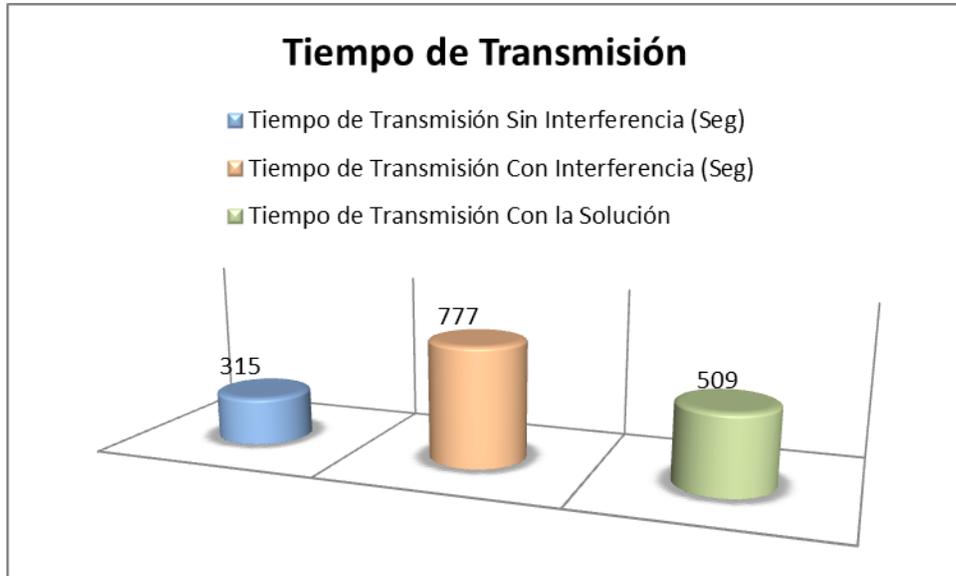


Fig. 4.22: Comparación del Tiempo de Transmisión con la Solución Propuesta

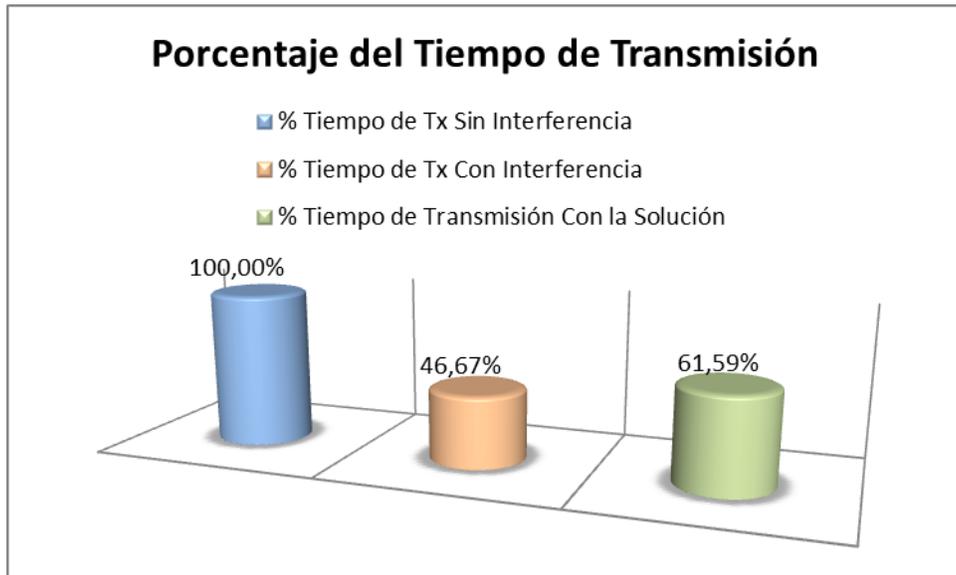


Fig. 4.23: Porcentaje de Comparación del Tiempo de Transmisión con la Solución Propuesta

✓ **Técnica 3, Análisis del Jitter.**

Para esta técnica nuevamente recurrimos a la herramienta JPERF (*Ver Anexo 2*), el cual es medido con la solución propuesta y los resultados relacionados con los experimentos 1 y 2, dándole el porcentaje de 100 % al valor de menor Jitter calculado, ver Tabla IV.XIV y *Fig.s 4.24 y 4.25*.

Tabla IV.XIV: Comparación del Jitter con la Solución Propuesta.

Jitter Sin Interferencia (ms)	% Jitter Sin Interferencia	Jitter Con Interferencia (ms)	% Jitter Con Interferencia	Jitter Con la Solución (ms)	% Jitter Con la Solución
5,281	100,00%	19,448	31,74%	8,133	46,00%

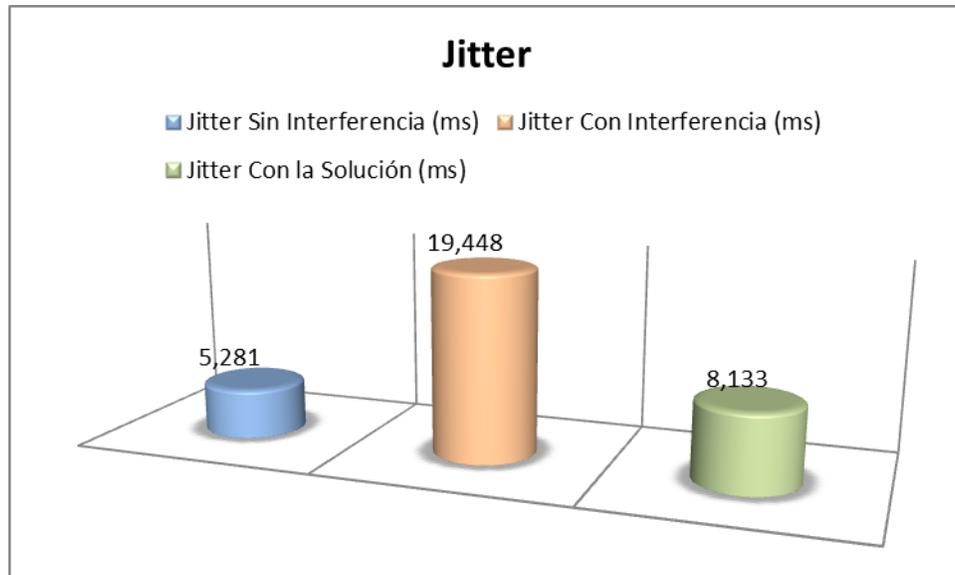


Fig. 4.24: Comparación del Jitter con la Solución Propuesta

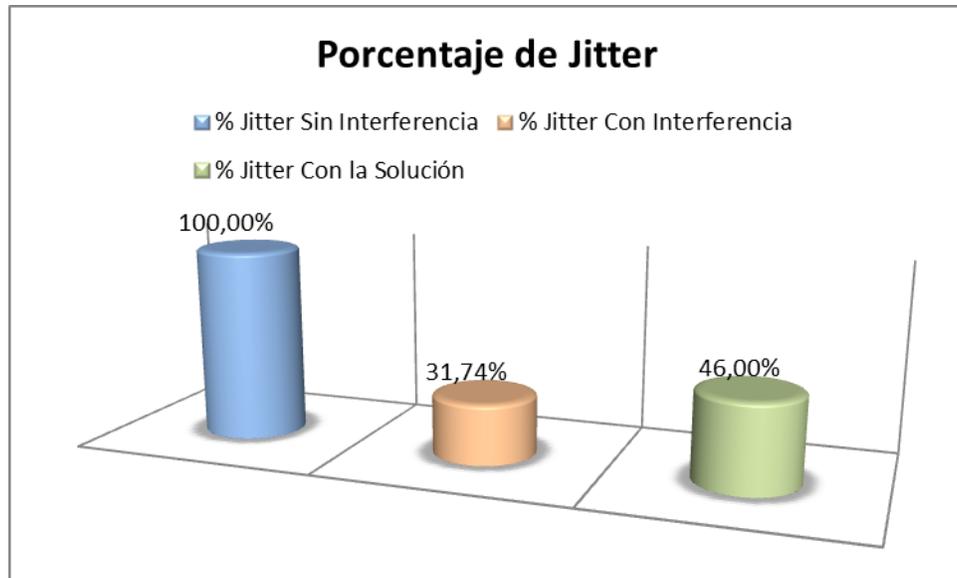


Fig. 4.25: Porcentaje de Comparación del Jitter con la Solución Propuesta

Interpretación

De los resultados obtenidos en el análisis de la variable dependiente, indicador número 2, los cuales son representados en la Tabla IV.XV y en la Fig. 4.26, determinamos que:

La solución propuesta ayuda al aumento de la velocidad de transmisión en un 27,45 %, en relación al intercambio de datos con la presencia de la fuente de interferencia.

Que el tiempo de transmisión se ve favorecido en un 14,92 % con la implementación de la solución propuesta.

Así como la variación del retardo de la red (Jitter), es mejorada en un 14,26 %.

De los resultados anteriormente expuestos se afirma que la propuesta presentada, ayuda a disminuir la interferencia que provoca la cámara inalámbrica de video sobre la

comunicación WiFi, para este análisis en específico sobre los índices: velocidad de transmisión, tiempo de transmisión y la variación del retardo.

Tabla IV.XV: Comparación de Resultados Variable Dependiente – Indicador 2.

Técnicas	% Sin Interferencia	% Con Interferencia	% Con la Solución
1. Velocidad de Transmisión	100,00%	44,99%	72,44%
2. Tiempo de Transmisión	100,00%	46,67%	61,59%
3. Jitter	100,00%	31,74%	46,00%

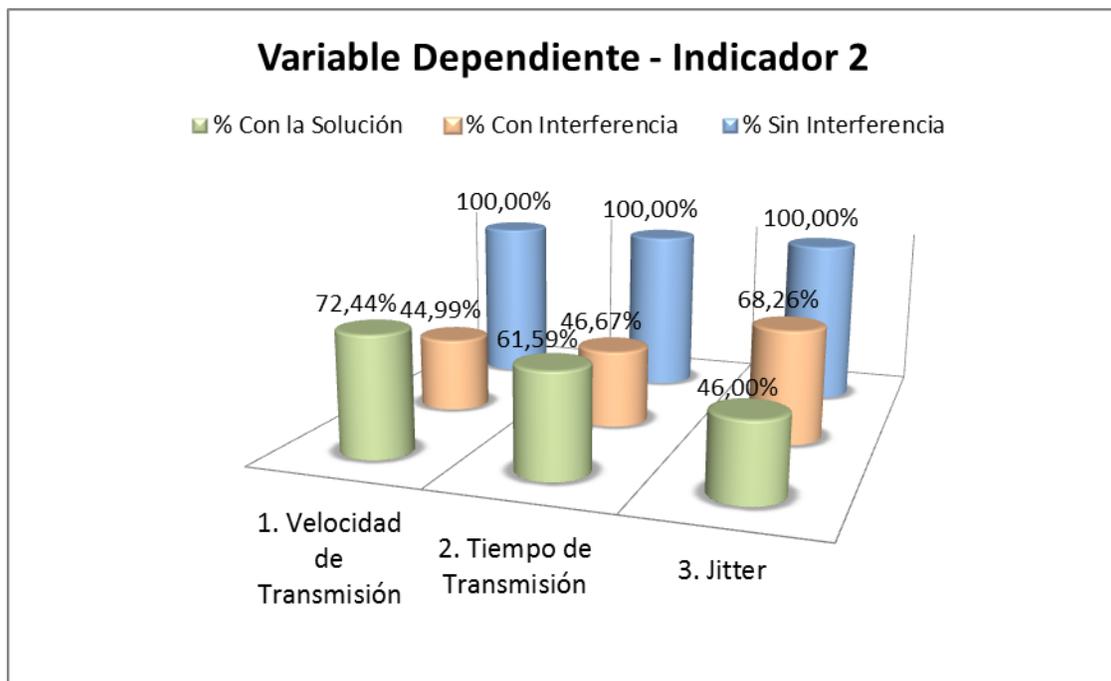


Fig. 4.26: Porcentaje de Resultados Variable Dependiente – Indicador 2

4.3.4 Análisis e Interpretación de Resultados del Experimento 5 y 6

VARIABLE DEPENDIENTE, Incidencia en la coexistencia entre cámaras de video inalámbricas a 2,4 GHz y Redes Wlan.

Indicador 3, Espectros WiFi.

El análisis de este indicador se basa en los experimentos 5 y 6 (*Ver Anexo 7 y 8*), en los cuales se observa la comunicación a nivel de la capa física, con la presencia de la fuente de interferencia y la solución propuesta.

✓ **Técnica 1, Análisis del grado de utilización del canal.**

Del reporte generado por la herramienta Chanalyzer, utilizamos la columna denominada “Grado”, cuyos valores se transforman a porcentajes de utilización del canal tomando como 100 % el pico máximo de utilización del espectro, ver Tabla IV.XVI.

✓ **Técnica 2, Análisis de las amplitudes de los espectros WIFI.**

Para la segunda técnica de igual manera utilizamos el reporte, utilizando en esta ocasión la columna “Reporte de Picos” y obteniendo sus porcentajes respectivos. Ver Tabla IV.XVII.

Tabla IV.XVI: Comparación de Resultados Variable Dependiente – Indicador 3.

Channel	Grade (%)	Duty Cycle	Average Floor(dBm)	Average Peak (dBm)	% Utilización del Canal WiFi Con Interferencia	% Amplitud de Espectros WiFi Con Interferencia
1	69,6932	7,793478	-88,96984	-63,1087	36,25%	74,72%
2	60,44476	8,481468	-88,32301	-59,30435	47,31%	81,82%
3	42,46667	12,78127	-84,07265	-55,91304	68,81%	89,29%
4	36,11587	18,09622	-78,80368	-52,83044	76,40%	95,54%
5	32,05207	22,16002	-74,78359	-51,21739	81,26%	98,80%
6	30,83447	23,37763	-73,58482	-50,63044	82,72%	99,99%
7	32,81477	21,39732	-75,54001	-50,95652	80,35%	99,33%
8	37,78386	16,97536	-79,92614	-55,95652	74,41%	89,20%
9	48,63186	12,54232	-84,31455	-58,95652	61,43%	83,13%
10	62,64879	9,443425	-87,37349	-62,86956	44,67%	75,20%
11	66,43046	9,147408	-87,64812	-64,73913	40,15%	71,42%
12	67,01968	8,558179	-88,22412	-69,91304	39,44%	60,94%

Tabla IV.XVII: Comparación de Resultados Variable Dependiente – Indicador 3.

Channel	Grade (%)	Duty Cycle	Average Floor(dBm)	Average Peak (dBm)	% Utilización del Canal WiFi Con Interferencia y Con Solución	% Amplitud de Espectros WiFi Con Interferencia y Con Solución
1	67,92342	8,222027	-88,5613	-62,52174	38,36%	75,91%
2	53,48085	9,724937	-87,10172	-59,04348	55,63%	82,95%
3	35,26008	15,09033	-81,78592	-55,71739	77,43%	89,69%
4	29,22968	21,12073	-75,80036	-52,69565	84,64%	95,81%
5	23,43137	26,91904	-70,03967	-50,81304	91,57%	99,62%
6	20,92897	29,42145	-67,55009	-50,62774	94,56%	100,00%
7	23,19928	27,15113	-69,80737	-50,63044	91,85%	99,99%
8	29,59468	21,0235	-75,90578	-54,71739	84,20%	91,71%
9	37,65264	14,57463	-82,31876	-56,32609	74,56%	88,46%
10	55,54743	9,202982	-87,64417	-61,67826	53,16%	77,62%
11	68,51276	7,25336	-89,55325	-63,30435	37,66%	74,32%
12	71,34815	6,835321	-89,93668	-73,5	34,27%	53,67%

Interpretación

Al relacionar los datos obtenidos en los experimentos 5,6 y relacionarlos con los resultados del experimento número 3, podemos observar representado en la Tabla IV.XVIII y en la Fig. 4.27, que al transmitir el archivo de 100 Mb con la solución propuesta, los canales de la comunicación WiFi, se liberan alrededor de un 7,06 %, es decir que los niveles de interferencia se ven atenuados.

También se puede apreciar que los niveles de interferencia disminuyen mayormente en los canales adyacentes al número 6, debido a que la solución propuesta inserta un filtrado para este canal, atenuando las señales de canales restantes, lo que favorece a la fiabilidad de la coexistencia.

Por otro lado en la Tabla IV.XIX y la Fig. 4.28, se aprecia que en la transmisión realizada con la solución se atenúa directamente a las señales que interfieren en un 0,86 %, como resultado el intercambio de datos, en este caso específico de 100 Mb, se lo puede realizar en un menor tiempo.

Tabla IV.XVIII: Utilización del Canal - Comparación de Resultados Variable Dependiente – Indicador 3.

Canales WiFi	% Utilización del Canal en WiFi Sin Interferencia	% Utilización del Canal en WiFi Con Interferencia y Sin Solución	% Utilización del Canal en WiFi Con Interferencia y Con Solución
1	34,28%	36,25%	38,36%
2	55,73%	47,31%	55,63%
3	78,11%	68,81%	77,43%
4	88,20%	76,40%	84,64%
5	96,41%	81,26%	91,57%
6	100,00%	82,72%	94,56%
7	96,63%	80,35%	91,85%
8	88,23%	74,41%	84,20%
9	79,37%	61,43%	74,56%
10	55,88%	44,67%	53,16%
11	35,46%	40,15%	37,66%
12	28,06%	39,44%	34,27%

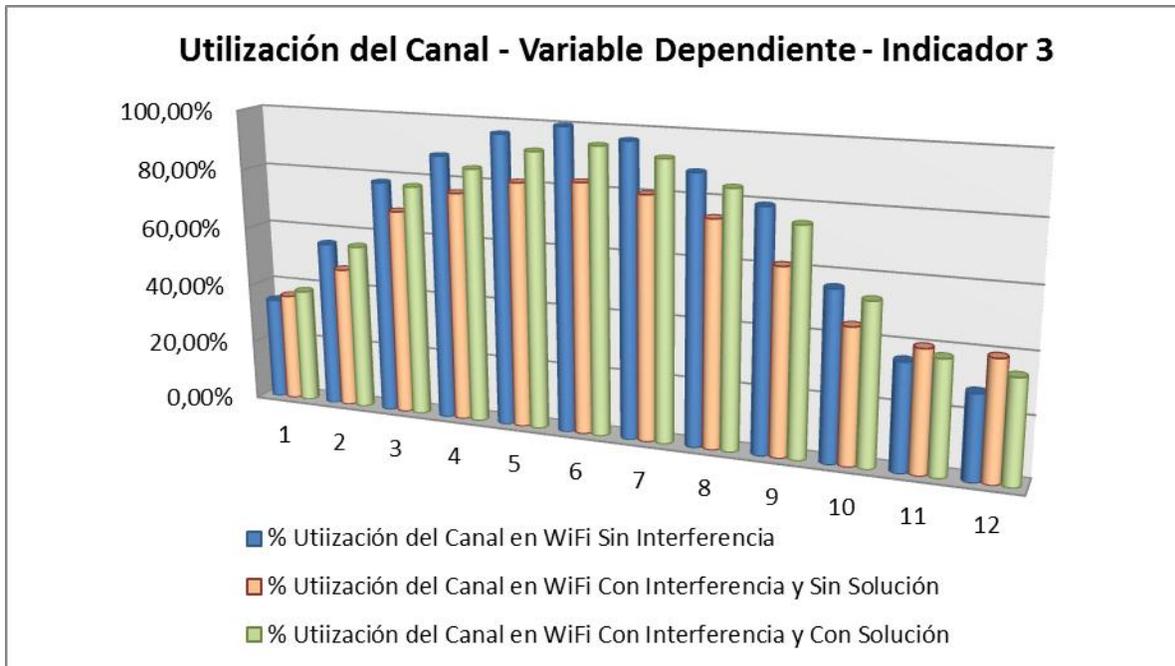


Fig. 4.27: Utilización del Canal - Comparación de Resultados Variable Dependiente – Indicador 3

Tabla IV.XIX: Amplitud de Espectros - Comparación de Resultados Variable Dependiente – Indicador 3.

Canales WiFi	% Amplitud de Espectros en WiFi Sin Interferencia	% Amplitud de Espectros en WiFi Con Interferencia y Sin Solución	% Amplitud de Espectros en WiFi Con Interferencia y Con Solución
1	69,74%	74,72%	75,91%
2	81,90%	81,82%	82,95%
3	90,22%	89,29%	89,69%
4	96,69%	95,54%	95,81%
5	99,73%	98,80%	99,62%
6	100,00%	99,99%	100,00%
7	99,86%	99,33%	99,99%
8	99,16%	89,20%	91,71%
9	88,90%	83,13%	88,46%
10	80,18%	75,20%	77,62%
11	69,61%	71,42%	74,32%
12	57,72%	60,94%	53,67%

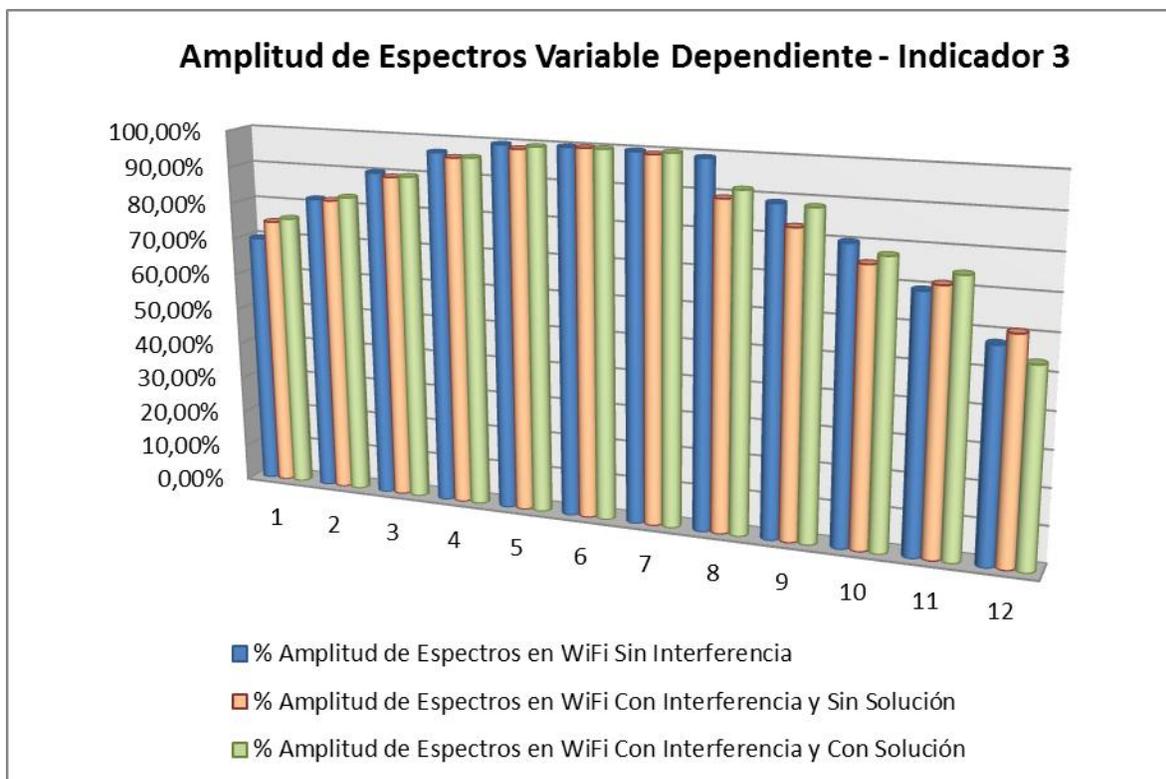


Fig. 4.28: Amplitud de Espectros - Comparación de Resultados Variable Dependiente – Indicador 3

4.3.5 Resumen de las equivalencias de los pesos para las técnicas de la variable independiente

Tabla IV.XX: Tabla de Pesos – Variable Independiente – Indicador 1.

INDICADOR 1		
Técnicas	% Sin Interferencia	% Con Interferencia
1. Número de Paquetes	100,00%	99,67%
2. Paquetes Por Segundo	100,00%	66,15%
3. Variación de la Distancia	100,00%	82,91%
4. Promedio	100,00 %	82,91%

Tabla IV.XXI: Tabla de Pesos – Variable Independiente – Indicador 2.

INDICADOR 2		
Técnicas	% Sin Interferencia	% Con Interferencia
1. Velocidad de Transmisión	100,00%	44,99%
2. Tiempo de Transmisión	100,00%	64,61%
3. Jitter	100,00%	66,50%
4. Promedio	100,00%	58,70%

Tabla IV.XXII: Tabla de Pesos – Variable Independiente – Indicador 3.

INDICADOR 3		
Técnicas	% Sin Interferencia	% Con Interferencia
1. Grado de Utilización del Canal	69,70%	61,10%
2. Amplitud de Espectros	86,74%	84,95%

Tabla IV.XXIII: Pesos de los indicadores – Variable Independiente.

VARIABLE INDEPENDIENTE						
INDICADORES	Paquetes Intercambiados	100 %	Sin Interferencia	Con Interferencia	100 %	77,05%
	1) Captura de paquetes con y sin interferencia.	15%	100%	99,67%	15,00%	14,95%
	2) Captura de paquetes por segundo con y sin interferencia.	50%	100%	66,15%	50,00%	33,08%
	3) Variación en la distancia de la fuente de interferencia.	35%	100%	82,91%	35,00%	29,02%
	Rendimiento	100 %			100 %	57,14%
	1) Análisis de la velocidad de transmisión.	40%	100%	44,99%	40,00%	18,00%
	2) Análisis del tiempo de transmisión.	40%	100%	64,61%	40,00%	25,84%
	3) Análisis del Jitter.	20%	100%	66,50%	20,00%	13,30%
	Espectro WiFi	100%			78,22%	73,03%
	1) Análisis del grado de utilización del canal.	50%	69,70%	61,10%	34,85%	30,55%
	2) Análisis de las amplitudes de los espectros WiFi.	50%	86,74%	84,95%	43,37%	42,48%

4.3.6 Resumen de las equivalencias de los pesos para las técnicas de la variable dependiente

Tabla IV.XXIV: Tabla de Pesos – Variable Dependiente – Indicador 1.

INDICADOR 1			
Técnicas	% Sin Interferencia	% Con Interferencia	% Con Interferencia y Solución
1. Número de Paquetes	100,00%	99,43%	99,53%
2. Paquetes Por Segundo	100,00%	50,15%	72,62%

Tabla IV.XXV: Tabla de Pesos – Variable Dependiente – Indicador 2.

INDICADOR 2			
Técnicas	% Sin Interferencia	% Con Interferencia	% Con Interferencia y Solución
1. Velocidad de Transmisión	100,00%	49,26%	72,44%
2. Tiempo de Transmisión	100,00%	46,67%	61,59%
3. Jitter	100,00%	31,74%	46,00%

Tabla IV.XXVI: Tabla de Pesos – Variable Dependiente – Indicador 3.

INDICADOR 3			
Técnicas	% Sin Interferencia	% Con Interferencia	% Con Interferencia y Solución
1. Grado de Utilización del Canal	69,70%	61,10%	68,16%
2. Amplitud de Espectros	86,74%	84,95%	85,81%

Tabla IV.XXVII: Pesos de los indicadores – Variable Dependiente.

VARIABLE DEPENDIENTE								
INDICADORES	Paquetes Intercambiados	100 %	Sin Interferencia	Con Interferencia	Con Interferencia y Solución	100 %	60,01%	78,01%
	1) Captura de paquetes con y sin interferencia.	20%	100%	99,43%	99,53%	20,00%	19,89%	19,91%
	2) Captura de paquetes por segundo con y sin interferencia.	80%	100%	50,15%	72,62%	80,00%	40,12%	58,10%
	Rendimiento	100 %				100 %	44,72%	68,82%
	1) Análisis de la velocidad de transmisión.	40%	100%	49,26%	72,44%	40,00%	19,70%	28,98%
	2) Análisis del tiempo de transmisión.	40%	100%	46,67%	61,59%	40,00%	18,67%	24,64%
	3) Análisis del Jitter.	20%	100%	31,74%	46,00%	20,00%	6,35%	9,20%
	Espectro WiFi	100%				78,22%	73,03%	76,99%
	1) Análisis del grado de utilización del canal.	50%	69,70%	61,10%	68,16%	34,85%	30,55%	34,08%
	2) Análisis de las amplitudes de los espectros WiFi.	50%	86,74%	84,95%	85,81%	43,37%	42,48%	42,91%

4.4 Análisis de resultados

4.4.1 Variable Independiente

Para la variable independiente, se toma su indicador con su respectivo peso, desglosando cada uno de sus promedios.

Tabla IV.XXVIII: Análisis Total de Resultados – Variable Independiente – Total Indicadores.

VARIABILIDAD DE INDEPENDENCIA						
INDICADOR	Variable Independiente	Ponderación	Sin Interferencia	Con Interferencia	V. Ind. Sin Inter.	V. Ind. Con Inter.
	Paquetes Intercambiados	40 %	100 %	77,05 %	40,00 %	30,82 %
	Rendimiento	40 %	100 %	57,14 %	40,00 %	22,86 %
	Espectro WiFi	20 %	78,22 %	73,03 %	15,64 %	14,61 %
				TOTAL		95,64 %
			Variabilidad			27,35 %

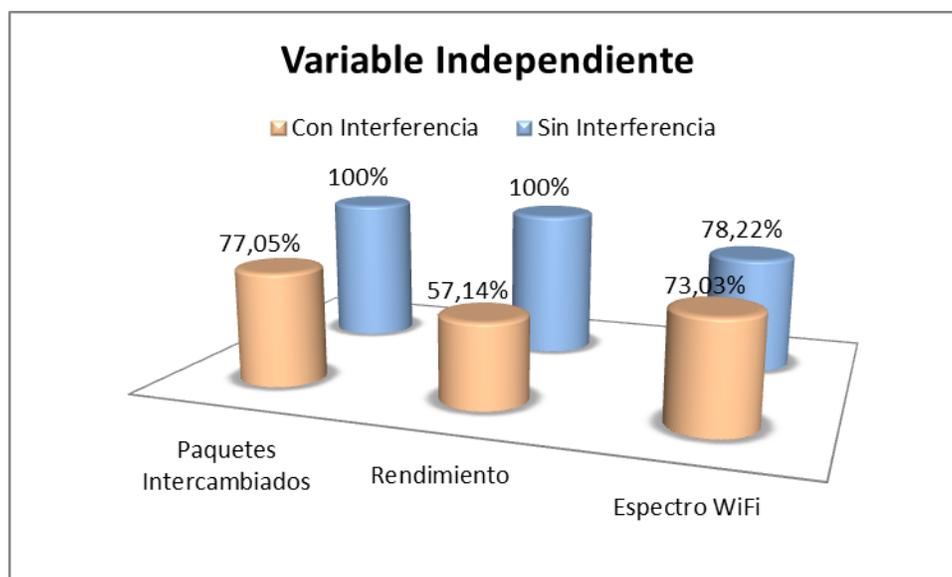


Fig. 4.29: Variable Independiente – Total Indicadores

$$V.Ind. (Sin. Inter.) = 0.40(100.00) + 0.40(100.00) + 0.20(78.22) = 95.64\%$$

$$V.Ind. (Con. Inter.) = 0.40(77.05) + 0.40(51.14) + 0.20(73.03) = 68.29\%$$

$$Variabilidad = V. Ind.(Sin. Inter.) - V. Ind.(Con. Inter.) = 95.64\% - 68.29\% = 27.35\%$$

Interpretación:

De lo anteriormente expuesto se determina que la interferencia causada por la cámara de video inalámbrica, afecta en un 27,35 % a la transmisión de la información en la red WLAN en la banda de frecuencia de 2,4 GHz.

4.4.2 Variable Dependiente

De igual manera, para la variable dependiente, se toma su indicador con su respectivo peso, desglosando cada uno de sus promedios.

Tabla IV.XXIX: Análisis Total de Resultados – Variable Dependiente – Total Indicadores.

VARIABILIDAD DE DEPENDENCIA								
INDICADOR	Variable Dependiente	Ponderación	Sin Interferencia.	Con Interferencia.	Con Inter. Con Solución.	V. Dep. Sin Interferen.	V. Dep. Con Interferen.	V. Dep. Con Solución.
	Paquetes Intercambiados	40 %	100 %	60,01 %	78,01 %	40,00 %	24,00 %	31,20 %
	Rendimiento	40 %	100 %	44,72 %	68,82 %	40,00 %	17,89 %	27,53 %
	Espectro WiFi	20 %	78,22 %	73,03 %	76,99 %	15,64 %	14,61 %	15,40 %
					TOTAL		95,64 %	56,50 %
						Variabilidad	17,63 %	

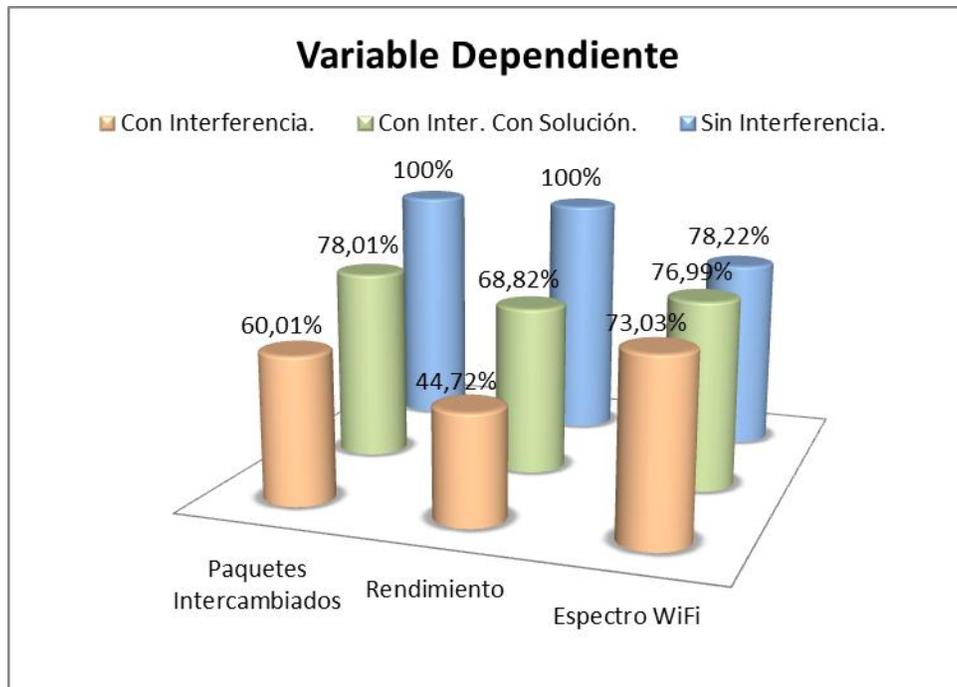


Fig. 4.30: Variable Dependiente – Total Indicadores

$$V. Dep. (Sin. Inter.) = 0.40(100.00) + 0.40(100.00) + 0.20(78.22) = 95.64\%$$

$$V. Dep. (Con Inter - Sin. Solución) = 0.40(60.01) + 0.40(44.72) + 0.20(73.03) = 56.50\%$$

$$V. Dep. (Con. Solución) = 0.40(78.01) + 0.40(68.82) + 0.20(76.99) = 74.13\%$$

$$Variabilidad = V. Dep.(Con Solu.) - V. Dep.(Sin Solu.) = 74.13\% - 56.50\% = 17.63\%$$

Interpretación:

De lo anteriormente expuesto se determina que la interferencia causada por la cámara de video inalámbrica, en la comunicación WLAN a 2,4 GHZ, se reduce en un 17,63 %, con la implementación de la solución propuesta.

4.5 PRUEBA DE LA HIPÓTESIS

Tabla IV.XXX: Matriz de Valores Observados.

MATRIZ DE VALORES OBSERVADOS		CON INTERFERENCIA SIN SOLUCIÓN	CON INTERFERENCIA CON SOLUCIÓN	TOTAL
Incidencia Negativa en la Coexistencia de las 2 tecnologías	Paquetes Intercambiados	60,01 %	0,00 %	60,01 %
	Rendimiento	44,72 %	0,00 %	44,72 %
	Espectro WiFi	73,03 %	0,00 %	73,03 %
Incidencia Positiva en la Coexistencia de las 2 tecnologías	Paquetes Intercambiados	0,00 %	78,01 %	78,01 %
	Rendimiento	0,00 %	68,82 %	68,82 %
	Espectro WiFi	0,00 %	76,99 %	76,99 %
TOTAL		177,76 %	223,82 %	401,58 %

Tabla IV.XXXI: Matriz de Valores Esperados.

MATRIZ DE VALORES ESPERADOS		CON INTERFERENCIA SIN SOLUCIÓN	CON INTERFERENCIA CON SOLUCIÓN	TOTAL
Incidencia Negativa en la Coexistencia de las 2 tecnologías	Paquetes Intercambiados	26,56 %	33,45 %	60,01 %
	Rendimiento	19,80 %	24,92 %	44,72 %
	Espectro WiFi	32,33 %	40,70 %	73,03 %
Incidencia Positiva en la Coexistencia de las 2 tecnologías	Paquetes Intercambiados	34,53 %	43,48 %	78,01 %
	Rendimiento	30,46 %	38,36 %	68,82 %
	Espectro WiFi	34,08 %	42,91 %	76,99 %
TOTAL		177,76 %	223,82 %	401,58 %

Tabla IV.XXXII: Prueba de la Hipótesis, valores del Test de Chi-Cuadrado.

CELDA	O_{ij}	E_{ij}	(O_{ij}-E_{ij})²	((O_{ij}-E_{ij})²)/E_{ij}
1,1	60,01	26,56	1118,90	42,13
1,2	0,00	33,45	1118,90	33,45
2,1	44,72	19,80	621,01	31,36
2,2	0,00	24,92	621,01	24,92
3,1	73,03	32,33	1656,49	51,24
3,2	0,00	40,70	1656,49	40,70
4,1	0,00	34,53	1192,32	34,53
4,2	78,01	43,48	1192,32	27,42
5,1	0,00	30,46	927,81	30,46
5,2	68,82	38,36	927,81	24,19
6,1	0,00	34,08	1161,45	34,08
6,2	76,99	42,91	1161,45	27,07
			X²	401,54

Para el valor de Chi-Cuadrado tenemos:

$$X^2 = 401,54$$

Para los grados de libertad tenemos

$$gl = \# \text{ clases} - 1$$

$$gl = (\# \text{ filas} - 1)(\# \text{ columnas} - 1)$$

$$gl = (6 - 1)(2 - 1)$$

$$gl = 5$$

Teniendo el valor de X^2 y gl utilizamos la Tabla y gráfica mostrada en el Anexo 9.

Siendo que el valor Chi cuadrada X^2 (401.54) obtenido es mayor que el valor crítico (11.07), se desacredita la hipótesis nula que afirma que el estudio de la interferencia provocada por cámaras de video inalámbricas en las redes wlan 802.11b no permitirá proponer una solución que ayude a mejorar la coexistencia con niveles de fiabilidad aceptable de las tecnologías. Esto quiere decir que en menos de 5 casos de cada cien, una

diferencia como la del valor igual o mayor al observado de Chi cuadrado en este caso (401.54) puede ser atribuida a la selección de la muestra (azar), en consecuencia como $X^2=401.54$ es mayor que $X^2_{1-\alpha}=11.07$; se rechaza H_0 y se acepta la Hipótesis.

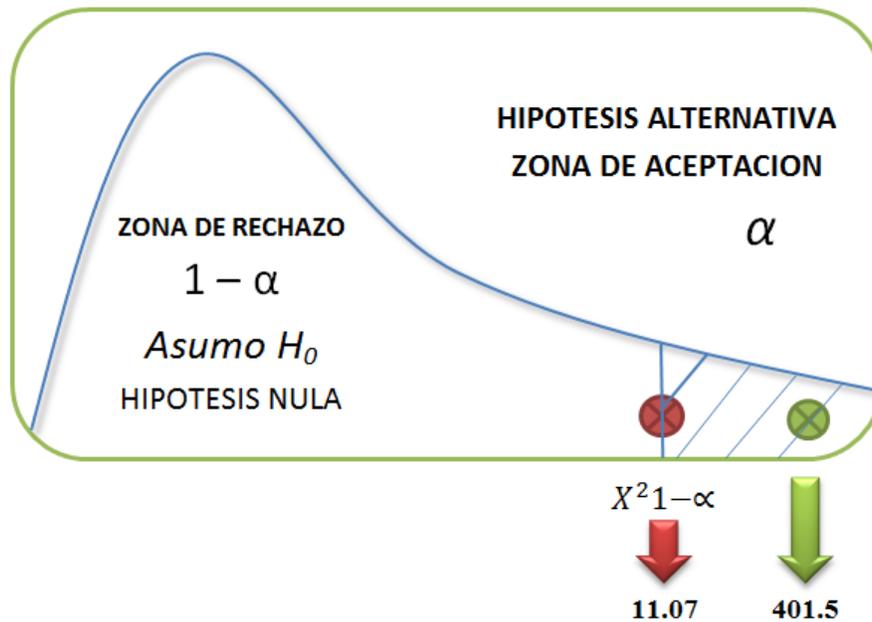


Fig. 4.31: Diagrama de Fijación del nivel de significación

4.6 PROPUESTA DE LA SOLUCIÓN A LA INTERFERENCIA DE LAS CÁMARAS DE VIDEO INALÁMBRICAS SOBRE WIFI EN LA BANDA 2,4 GHZ.

Basándonos en los resultados obtenidos en los experimentos realizados y mayormente en el análisis ejecutado sobre el experimento número 5, se llega a la conclusión que la interferencia para el estudio realizado se produce en el canal número 6 y conector de las señales emitidas por la fuente de interferencia, se propone como solución un filtro pasa banda, específicamente un filtro pasa canal que abarca el rango de frecuencias desde 2.426 GHz hasta 2.448 GHz. El cual internamente realiza las funciones de un filtro pasa altos idealmente desde -70 dBm, que aproximadamente es la amplitud mínima de WiFi.

De lo anteriormente descrito, la solución abarca la construcción de una antena/filtro pasa banda para el canal 6 y pasa altos desde los -70 dBm.

De las varias tecnologías para la elaboración del filtro, se adoptó la tecnología microstrip, la misma que facilita su construcción, especialmente a altas frecuencias y con bajos anchos de bandas. Desestimando otros métodos como: Filtros electrónicos por la dificultad de disponibilidad de estos elementos en el mercado nacional y por la característica del corto ancho de banda, que complica el diseño con esta tecnología.

El modelo de línea de transmisión utilizada es microstrip, la cual es simple y da una buena interpretación física de lo que ocurre. El modelo de cavidades es más preciso, sin embargo, tiene un muy alto costo computacional. Por último, el modelo de onda completa es mucho más complejo, pero tiene una gran precisión y es muy útil al momento de modelar distintas formas y arreglos de elementos. En lo que sigue se verá en detalle el modelo de líneas de transmisión.

Básicamente el modelo de línea de transmisión representa la línea microstrip por ranuras, separadas por una línea de transmisión con impedancia Z_c y de longitud L .

Como las dimensiones del parche son finitas a lo largo de su longitud y ancho, los campos en las orillas del parche se van bordeando. La cantidad de bordes es función de las dimensiones del parche y de la altura del sustrato.

Para el plano principal E (plano XY) los bordes son función de la razón de la longitud L del parche y la altura h del sustrato (L/h) y de la constante dieléctrica ϵ_r del sustrato. Ya que para las antenas microstrip $L/h \gg 1$, el efecto de bordes es reducido, sin embargo, tiene que ser tomado en cuenta porque influye en la frecuencia resonante.

4.7 DISEÑO PARTE APLICATIVA

El filtro pasa banda a diseñar es del tipo Chebyshev, cuya característica es que en su banda de paso presenta máximos y mínimos en lugar de una respuesta plana, pero en la banda de rechazo no muestra oscilaciones, sino una respuesta plana.

El número de máximos depende del orden del filtro, siendo el orden del filtro 2 veces la cantidad de máximos que presente, así un filtro Chebyshev de tercer orden presentará un máximo y medio.

El filtro para altas frecuencias, se lo realiza en líneas de transmisión, ya que con ellas se logra conseguir capacitancias e inductancias según la disposición de la línea de transmisión y la impedancia característica que presenten, específicamente Microstrip con tecnología de líneas acopladas.

4.7.1 Características de la Placa

Para la construcción del filtro se utilizó una placa comercial para circuito impreso hecha de fibra de vidrio y recubierta en sus dos caras por cobre y con las siguientes características:

Dieléctrico:	Fibra de Vidrio
Constante dieléctrica:	4.7
Tangente de pérdidas:	0.015
Espesor del Substrato (h):	0.7778 mm
Conductor:	Cobre
Espesor de la Película Conductora (t):	0.0175 mm
Frecuencias de resonancia:	2.4 GHz y 5.8 GHz
Longitud eléctrica:	$\lambda/4=90^\circ$

4.7.2 Características del Filtro Pasa Banda

Frecuencia Central:	2.437 GHz
Ancho de Banda:	22 MHz
Impedancia Característica de E/S:	50 Ω
Tipo del Filtro:	Chebyshev
Orden del Filtro:	5
Rizado:	0.25db

4.7.3 Obtención de los Valores g_n e Impedancias

Es necesario obtener los valores g_n , para cada línea acoplada, ya que a partir de estos se obtiene los valores de las impedancias.

A partir de las especificaciones obtenemos:

$$\Delta = ((\omega_2 - \omega_1)/\omega_0)$$

$$\Delta = 0.0090$$

La frecuencia central es ω_0 , ω_1 y ω_2 son las frecuencias de corte, n es el orden del filtro.

Mientras mayor sea n será de mejor calidad pero implica la dificultad del diseño e implementación.

Tabla IV.XXXIII: 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

Los valores prototipo para el filtro son:

$$g_1 = 0,39996$$

$$g_2 = 0,95080$$

$$g_3 = 1,18490$$

$$g_4 = 1,17740$$

$$g_5 = 0,95683$$

$$g_6 = 0,39744$$

$$g_7 = 1,00630$$

A partir de estos coeficientes se calculan las constantes de inversión, para lo que Utilizaremos las siguientes expresiones:

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

$$\overline{J_{01}} = \sqrt{\frac{\bar{c}}{g_1}}$$

$$\overline{J_{i,j+1}} = \frac{\bar{c}}{\sqrt{g_i g_i + 1}}$$

$$\overline{J_{N,N+1}} = \sqrt{\frac{\bar{c}}{g_N g_N + 1}}$$

Con las constantes de inversión calculadas en el apartado anterior calculamos las impedancias par e impar de cada línea de transmisión, ya que para realizar el filtro vamos a utilizar líneas acopladas de $\lambda/4$.

$$\overline{Z_0^e} = \sqrt{1 + \bar{j}^2} + \bar{j} \quad \text{Impedancia Impar}$$

$$\overline{Z_0^o} = \sqrt{1 + \bar{j}^2} - \bar{j} \quad \text{Impedancia Par}$$

Una vez que calculamos la impedancia par e impar a partir de las constantes de inversión tenemos que des normalizar en impedancia, y para ello multiplicamos por la impedancia característica $Z_0 = 50\Omega$

Tabla IV.XXXIV: Cálculos del Filtros Microstrip.

n	gn	J	Ze	Zo	Ze 50	Zo 50
1	0,36819	0,19624903	1,21532395	0,82282588	60,7661973	41,1412942
2	0,85864	0,02522002	1,025538	0,97509795	51,2768999	48,7548976
3	1,0125	0,01520841	1,01532406	0,98490723	50,7662028	49,2453613
4	0,85864	0,01520841	1,01532406	0,98490723	50,7662028	49,2453613
5	0,36819	0,02522002	1,025538	0,97509795	51,2768999	48,7548976
6	1	0,19624903	1,21532395	0,82282588	60,7661973	41,1412942

4.7.4 Filtro con Stubs

Se diseñó un filtro con líneas acopladas y stubs de 50Ω .

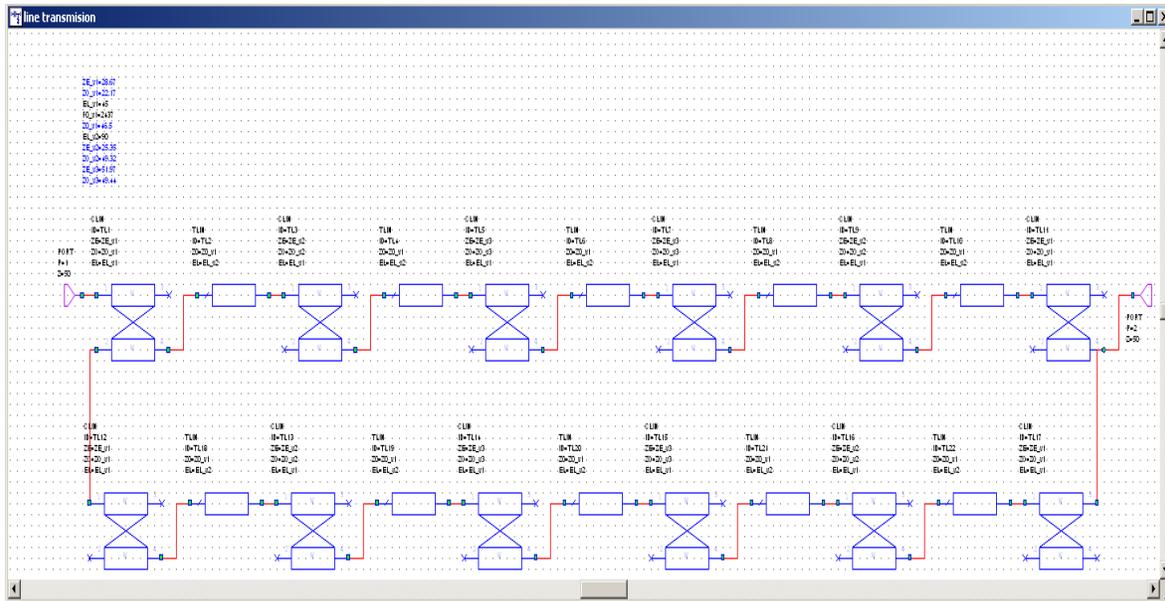


Fig. 4.32: Diseño de un Filtro con Stubs

Graficamos los parámetros S para optimizar el filtro y tratar de acoplar todas las impedancias y que cumpla con los parámetros establecidos.

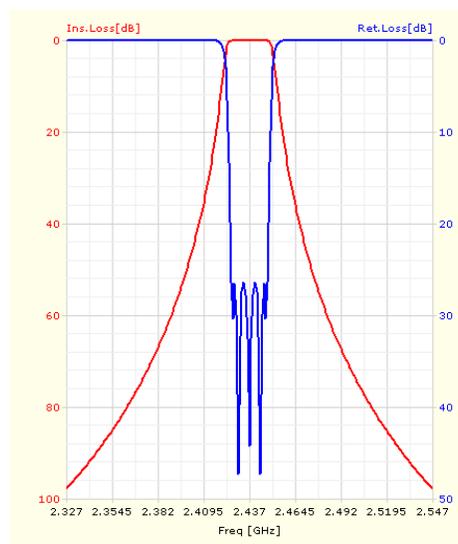


Fig. 4.33: Parámetros S simulados del Filtro con Stubs

Mediante Microwave office, procedemos a transformar a línea microstrip.

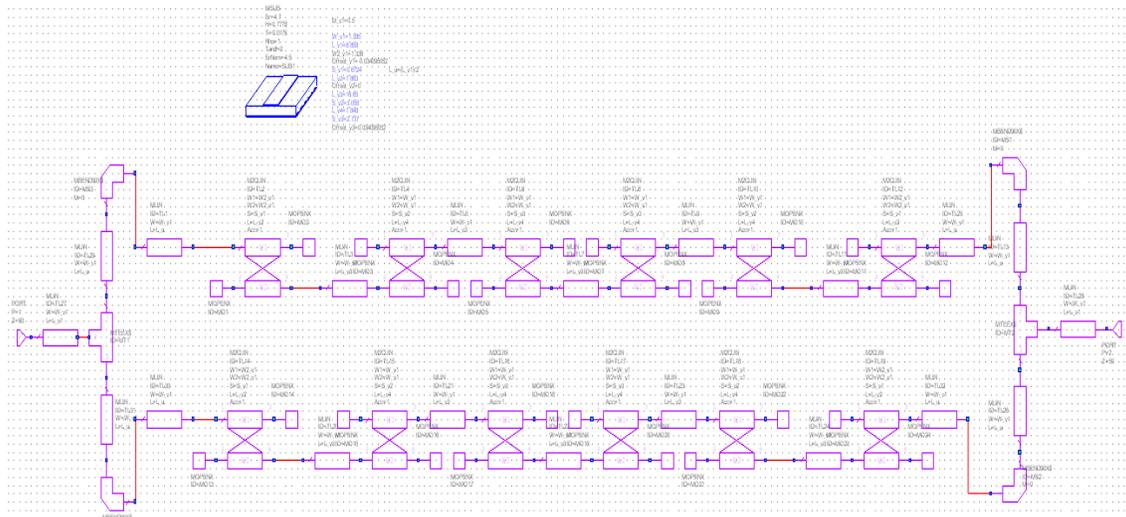


Fig. 4.34: Filtro en Línea Microstrip con Stubs

Y optimizamos el filtro, con 1000 iteraciones.

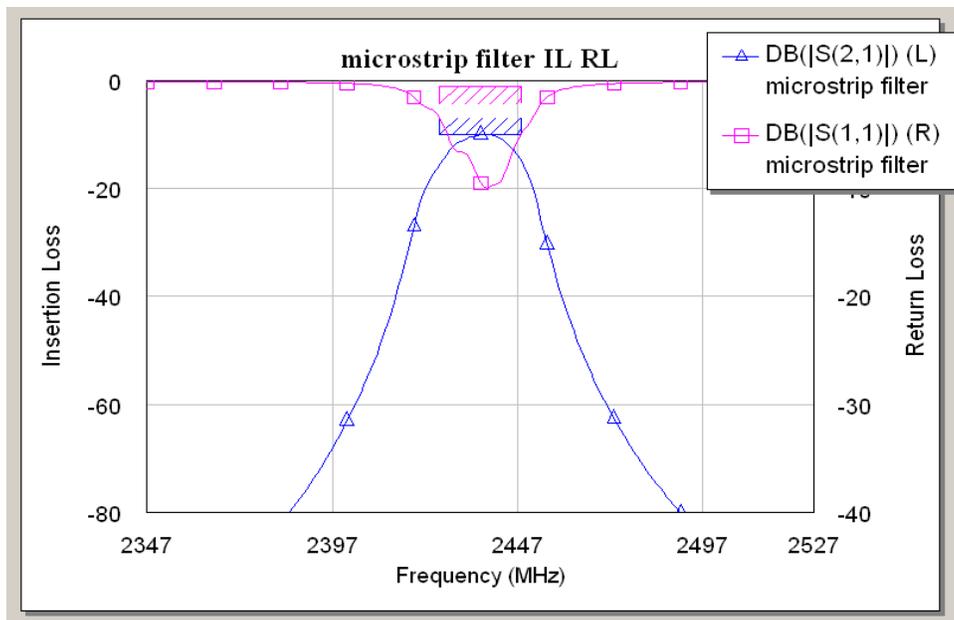


Fig. 4.35: Parámetros S Optimizados del Filtro con Líneas Acopladas con Stubs

Por último el diseño es pasado a AUTOCAD, para tener medidas precisas al imprimirlo y proceder con su elaboración en la placa.

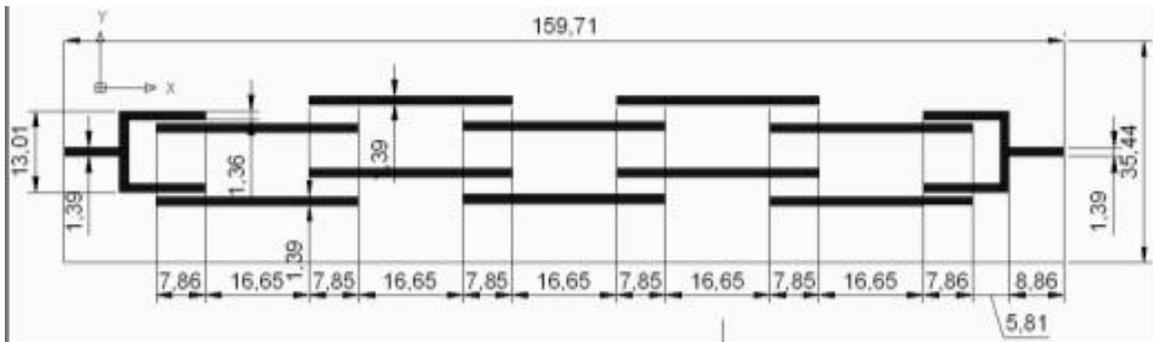


Fig. 4.36: Diseño en Autocad del Filtro Microstrip con Stubs

4.7.5 Finalización del Filtro

Una vez terminado la elaboración del filtro, procedemos a soldar tanto en la entrada como en la salida un conector tipo SMA Hembra y Macho respectivamente (Ver Fig. 4.37), los cuales nos permitirán la fijación del Filtro al dispositivo.

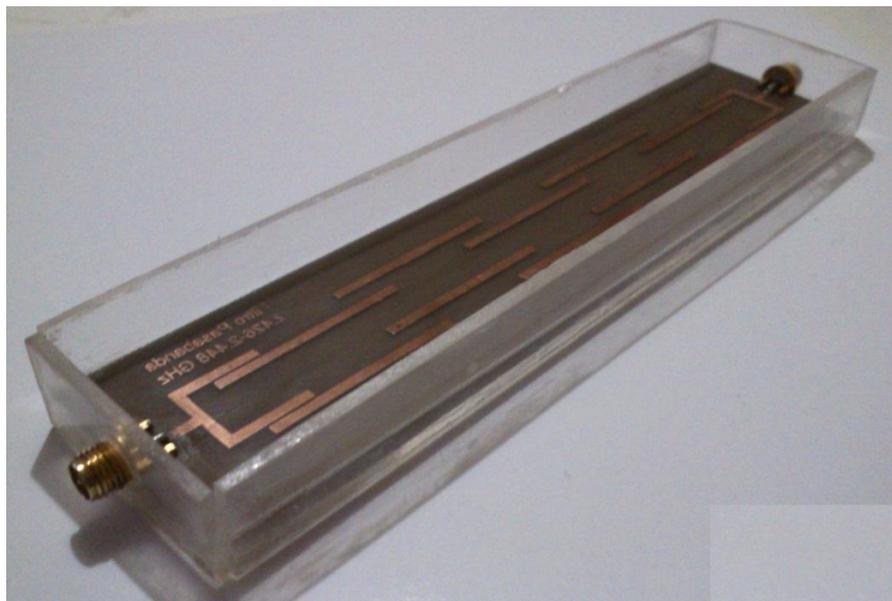


Fig. 4.37: Filtro Con los Conectores Soldados y en el Compartimiento de Acrílico

El filtro como tal puede sufrir radiaciones e interferencias EM que puedan afectar al diseño, motivo por el cual en ocasiones el diseño es encerrado en una caja de latón, aislándolo del entorno y sirviéndole también como protección de agentes externos como es la humedad, el polvo, etc. Pero a su vez esta acción convierte al diseño en una cavidad resonadora, afectando a la respuesta del mismo, imposibilitando conseguir una solución válida. Razón por la cual se desestimó esta opción, colocando el filtro solo en un compartimento de acrílico a manera de protección como puede ser observado en *Fig. 4.37*.

4.8 INSTALACIÓN DEL FILTRO

Como se puede observar el filtro una vez terminado, nos facilita su instalación, en este caso en el Punto de Acceso, gracias a sus conectores, lo único que se debe tomar en cuenta es que necesitaremos un cable que nos va a permitir conectar el dispositivo al filtro (*Ver Fig. 4.38*).



Fig. 4.38: Cable Adaptador de Conectores

A manera de guía tenemos los siguientes pasos para su colocación:

1. Desmontar la antena de nuestro Punto de Acceso (Ver Fig. 4.39).



Fig. 4.39: Punto de Acceso sin Antena

2. Colocar en su lugar el cable adaptador de conectores (Ver Fig. 4.40).



Fig. 4.40: Punto de Acceso con Cable Adaptador

3. Ajustar en el otro extremo del cable el Filtro (Ver Fig. 4.41).



Fig. 4.41: Filtro Instalado en el Punto de Acceso

CONCLUSIONES

1. La operación simultánea y bajo el mismo entorno de las cámaras de video inalámbricas a 2,4 GHz y las redes 802.11b produce la colisión de sus paquetes, lo que se ve reflejado en una depreciación de los niveles de fiabilidad de la red.
2. Debido a los niveles de interferencia que provoca la cámara de video inalámbrica a 2,4 GHz sobre la red 802.11b, se determina la necesidad de mejorar la comunicación en la red.
3. Bajo el escenario implementado en el cual coexisten las dos tecnologías, se determinó que la interferencia de la cámara de video inalámbrica a 2,4 GHz afecta en un 27,35 % a la transmisión de la información en la red 802.11b.
4. Se concluye que los niveles de fiabilidad en la red se ven mejorados en un 17,63 %, al implementar la solución propuesta, es decir que las dos tecnologías operaran simultáneamente con una disminución en su interferencia.
5. Se determina que en la fiabilidad de la red 802.11b, específicamente a nivel de su capa MAC, los parámetros más afectados por la interferencia de la cámara de video inalámbrica a 2,4 GHz son: el tiempo de transmisión, la velocidad de transmisión y la cantidad de datos transmitidos.
6. Como consecuencia de los experimentos realizados se comprueba que la distancia de operación a la cual se encuentra la cámara inalámbrica de video a 2,4 GHz con respecto a la red 802.11b, influye de gran manera en el nivel de interferencia encontrado. Es decir que la coexistencia de las dos tecnologías se ve afectada en mayor grado cuando menor es la distancia que las separa.

7. Del estudio realizado se llega a establecer que la transmisión que realiza la cámara de video inalámbrica a 2,4 GHz utiliza todo el espectro de la banda ISM, razón por lo cual provoca interferencia a todo tipo de tecnología que opere bajo el mismo rango de frecuencia, desestimando la opción de cambiar de canal para evitar la interferencia en el caso del estándar 802.11b.

8. El valor de Chi cuadrado obtenido permite que se desacredite la hipótesis nula que afirma que el estudio de la interferencia provocada por cámaras de video inalámbricas en las redes wlan 802.11b no permitirá proponer una solución que ayude a mejorar la coexistencia con niveles de fiabilidad aceptable de las tecnologías, y a la vez dicho valor permite que se acepte la hipótesis que afirma que el estudio de la interferencia provocada por cámaras de video inalámbricas en las redes wlan 802.11b permitirá proponer una solución que ayude a mejorar la coexistencia con niveles de fiabilidad aceptable de las tecnologías.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda el uso de un analizador de espectros, específicamente el Wi-Spy, por sus características de fácil uso y bajo costo para la implementación de las tecnologías inalámbricas, para poder observar el tráfico, la ocupación, la potencia y así evitar o disminuir los niveles de interferencia que encontraremos en la frecuencia de operación.
2. Se debe tomar en cuenta que el escenario planteado para los experimentos, en los cuales se analiza tecnologías inalámbricas en la banda ISM, se encuentre aislado en lo posible de todo tipo de interferencia ajena de las de objeto de estudio, que afecte los resultados obtenidos.
3. Impulsar estudios complementarios sobre la interferencia provocada en la banda de 2,4 GHz, ya que debido a su característica de uso libre, existen varias tecnologías que utilizan esa frecuencia para sus operaciones y así poder mejorar los niveles de fiabilidad en dichas comunicaciones inalámbricas.
4. Profundizar en el estudio de la tecnología microstrip, lo que permitirá la incursión en este campo poco explorado en nuestro medio.

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- **HONG J and LAN CASTER M. J.**, Microstrip Filters for RF/Microwave Applications. 2a.ed., New York-USA., Wiley-Interscience., 2001., 29-428Pp.
- 2.- **PRASAD JAMJEE and MUÑOZ LUIS.**, WLAN's and WPAN's towards 4G Wireless., 7a.ed., Londres-Inglaterra., Edit. Artech House., 2003., 99-180Pp.
- 3.- **STALLINGS W.**, Comunicaciones y Redes de Computadores., Traducido del Inglés por Jesús Díaz Verdejo y Juan José Ramos. 7a.ed., Madrid-España., Pearson Educación S.A., 2004., 397-597Pp.
- 4.- **TOMASI WAYNE.**, Sistemas de Comunicaciones Electrónicas., Traducido del Inglés por Gloria Mata Hernández y Virgilio Gonzáles Pozo., 4a.ed., México-México., Pearson Educación S.A., 2003., 2-420Pp.
- 5.- **FILTRO A 2.4 GHZ CON TECNOLOGÍA DE MICROCINTAS**
FILETYPE:PDF
<http://www.utp.edu.co/php/revistas/ScientiaEtTechnica/docsFTP/25-30.pdf>
05/08/2011

6.- REDES WLAN FILETYPE:PDF

<http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/22000/1384/1/T-PUCE-1348.pdf>

20/06/2011.

7.- DISEÑO DE ANTENAS MICROSTRIP FILETYPE:PDF

http://www2.uacj.mx/IIT/IEC/Digitales/PROYECTOS/Documentos_junio_2010/DISENO%20DE%20ANTENAS%20DIRECCIONALES%20DE%202.4%20Y%205.8%20GHZ%20POR%20MEDIO%20DE%20LA%20TECNICA%20DE%20MICROCIPTA.pdf

05/08/2011

BIBLIOGRAFIA INTERNET

8.- COMUNICACIONES INALÁMBRICAS FILETYPE:PDF

<http://www.ica.luz.ve/cstufano/CursoDeRedes/Wirelessdoc.pdf>

20/06/2011

9.- COMUNICACIONES INALÁMBRICAS FILETYPE:PDF

http://www.jcee.upc.es/JCEE2004/pdf/EstadoActual_WirelessRF_SILICA.pdf

20/06/2011

10.- CONSTRUCCIÓN DE UN DIPOLO MICROSTRIP A 2,4 GHZ

FILETYPE:PDF

<http://www.utp.edu.co/php/revistas/ScientiaEtTechnica/docsFTP/25-30.pdf>

05/08/2011

11.- ESTÁNDAR 802.11 FILETYPE:PDF

<http://upcommons.upc.edu/revistes/bitstream/2099/9922/1/Articloe004.pdf>

05/08/2011

12.- YOUBLISHER REDES Y COMUNICACIONES FILETYPE:PDF

<http://www.youblisher.com/files/publications/25/149855/pdf.pdf>

05/08/2011

ANEXOS

ANEXO 1

COLASOFT CAPSA ENTERPRISE



Definición

Colasoft Capsa Enterprise es un programa de análisis avanzado para la decodificación y diagnóstico de redes, llamado también sniffer, es decir que nos permite capturar o monitorear el tráfico de datos que circula a través de nuestra conexión de red en tiempo real, facilitándonos la detección de problemas de seguridad y de rendimiento.

Entre las características de esta herramienta encontramos:

Análisis de redes.

Captura de paquetes.

Muestra estadísticas detalladas de conexiones IP.

Reconstruye hilos TCP.

Análisis de paquetes de aplicaciones.

Captura de paquetes de errores en tiempo real.

Análisis de tráfico de red.

Permite ver protocolos de distribución, utilización de ancho de banda y distribución de tamaño de los paquetes, con tablas y gráficos.

Genera reportes estadísticos de fácil comprensión.

Permite ver el estado de la conexión TCP.

Captura el tráfico de múltiples adaptadores simultáneamente.

El software lo podemos conseguir de su página oficial ww.colasoft.com, en una versión de prueba por 15 días o comprar su licencia.

Requisitos Mínimos Hardware

CPU: P4 2.8GHz

RAM: 2GB

Internet Explorer 6.0

Requisitos Recomendados Hardware

CPU: Intel Core Duo 2.4GHz

RAM: 4GB or more

Internet Explorer 6.0 o superior

Plataformas Soportadas

Windows XP (SP 1 o superior), edición de 32 y 64bit

Windows Server 2003, edición de 32 y 64bit

Windows Vista, edición de 32 y 64bit

Windows 2008, edición de 32 y 64bit

Windows 7, edición de 32 y 64bit

VENTANA INICIAL

Al ejecutar el programa se encuentra con su pantalla de configuración, la cual posee 2 pestañas, *Ver Fig. 1.1*, de acuerdo a la tarea que deseamos realizar:

- Captura nueva de datos (Capture).
- Revisión de una captura guardada (Replay).

Para proceder con la captura de datos, tenemos 3 divisiones horizontales, Ver Fig. 1.1 en las cuales configuraremos:

- 1.- Adapter (Adaptador), aquí se selecciona el adaptador de red con el cual vamos a capturar los paquetes.
- 2.- Network Profile (Perfil de Red), básicamente se establece el ancho de banda con el cual deseamos realizar la captura.
- 3.- Analysis Profile (Análisis de Perfil), permite seleccionar el tipo de análisis a realizar, desde un exhaustivo análisis a un básico.

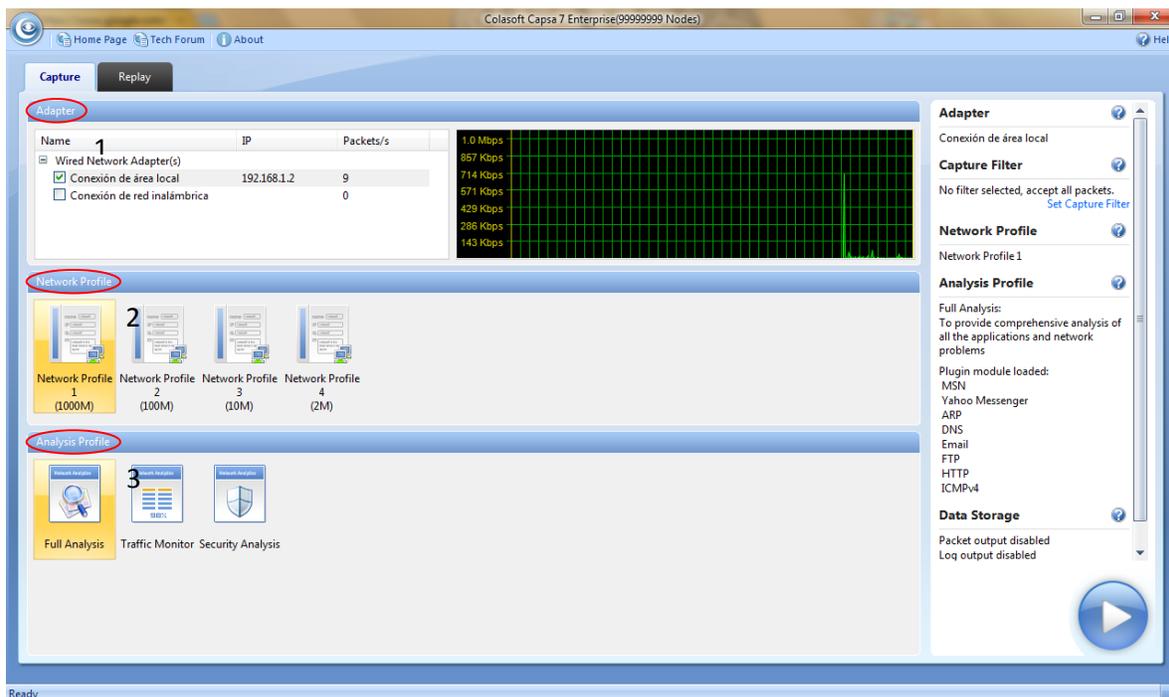


Fig. 1.1: Configuración Inicial

Una vez seleccionados estos parámetros en la parte derecha se presenta un resumen de dicha configuración y la posibilidad de seleccionar algún tipo de filtrado de paquetes, esto en la opción Set Capture Filter (Configuración de Filtro de Captura), ante lo cual se despliega la ventana de configuración de filtros, Ver Fig. 1.2.

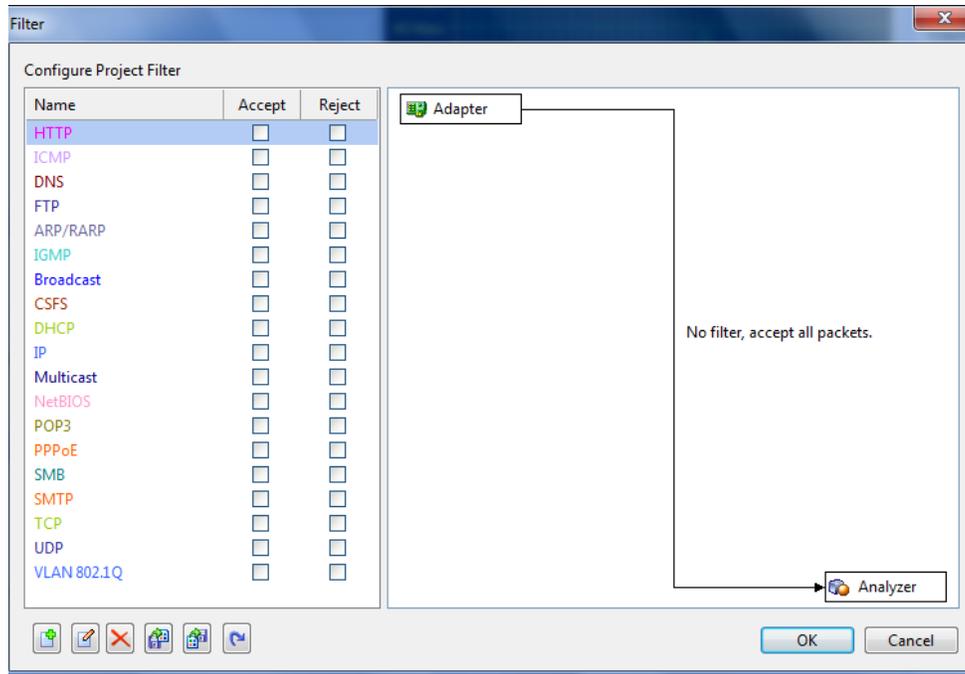


Fig. 1.2: Configuración de Filtros

Ahora solo nos queda dar en botón de Play, para empezar con el monitoreo, Ver Fig. 1.3.

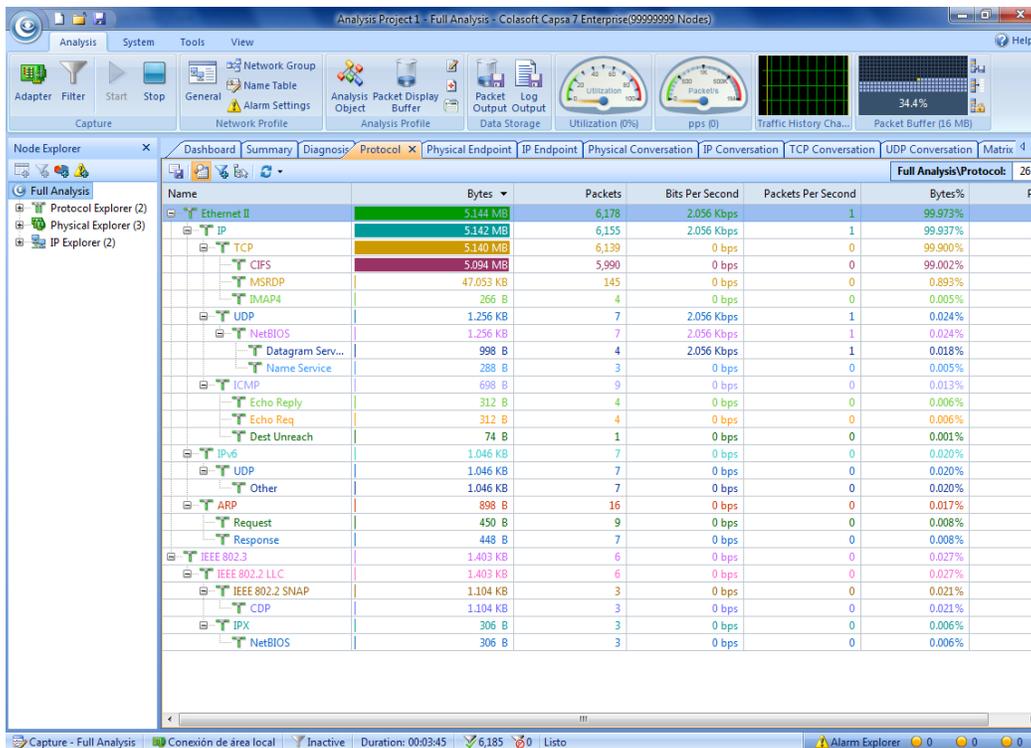


Fig. 1.3: Monitoreo en Ejecución

ANEXO II

HERRAMIENTA JPERF

Definición

Se trata de una herramienta open source, muy sencilla de utilizar y que provee la información que habitualmente se necesita para resolver situaciones en las que la performance es un parámetro que requiere estudio.

Jperf trabaja con una lógica cliente-servidor, por lo que debe ser instalado en terminales que estén en ambos extremos del enlace que se desea medir. Puede generar y medir tanto tráfico TCP como UDP y nos permite definir tamaño de los paquetes, puerto de destino, duración de la medición, etc.

La información que brinda es para la sesión que se está analizando, delay, jitter (variación del delay) y throughput.

Jperf trabaja con una lógica cliente-servidor, por lo que debe ser instalado en terminales que estén en ambos extremos del enlace que se desea medir y para correr la aplicación una vez descargado el programa, basta con ejecutar *jperf.bat* y tendremos la interfaz gráfica corriendo, *Ver Fig. 2.1.*

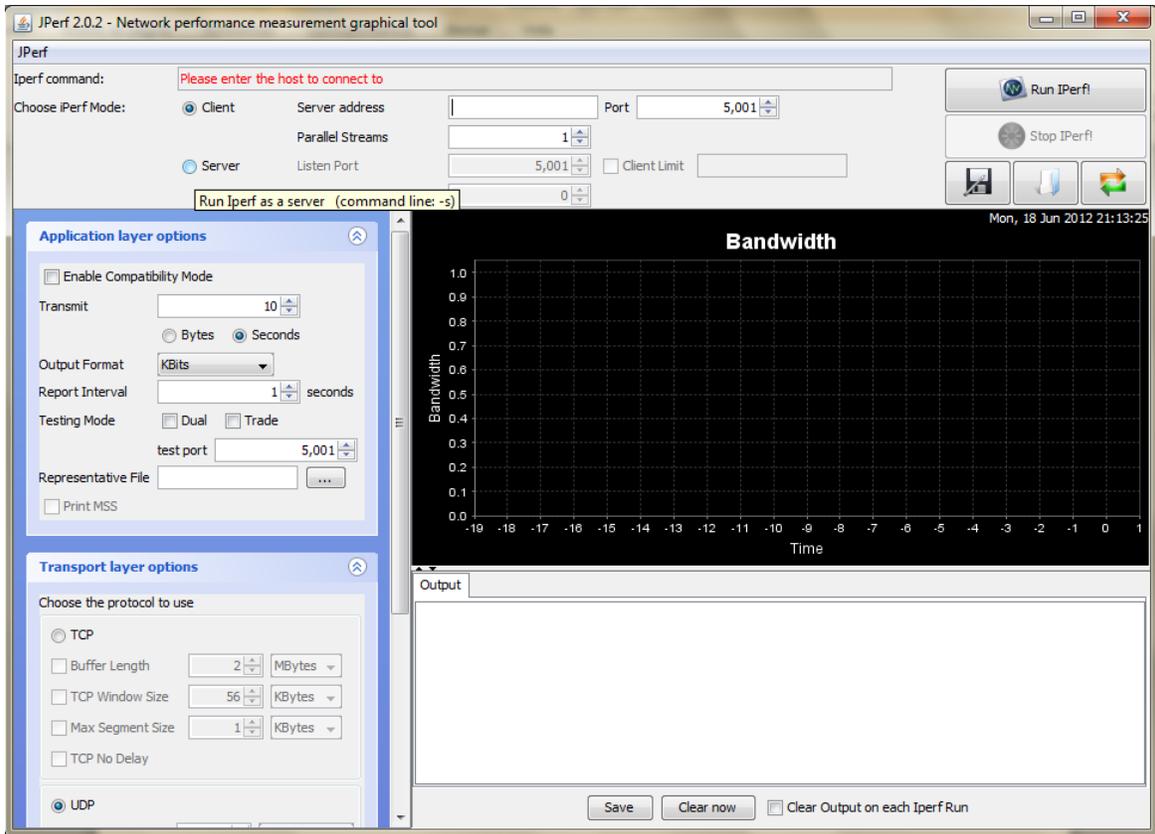


Fig. 2.1: Jperf

Se tiene en la interface los siguientes campos u opciones importantes:

- iperf command: se rellenará automáticamente al introducir la IP del host remoto en el campo server address.
- Choose iPerf Mode: Indicamos si estamos usando jperf en modo cliente o servidor.
- Server address: dirección del host remoto. Aquí introducimos la IP del host remoto.

Automáticamente se rellenará el campo iperf command con unas opciones por defecto que irán cambiando a medida que rellenemos los cuadros Application layer options y Transport layer options.

Transport layer options.

Aquí se indica el protocolo TCP o UDP. Podemos ajustar valores como el Tamaño de la ventana, Longitud de buffer y el MSS (Maximum Segment Size) o cantidad de datos enviados en cada paquete. Ajustando estos valores en nuestras mediciones podemos encontrar los valores óptimos para el mejor rendimiento de la red. La opción de ajuste más importante es el tamaño de ventana o Window Size. Lo común es que aumentando el Tamaño de Ventana, aumente el rendimiento, pero no siempre es así.

Pasa lo mismo con la Longitud de Buffer o Buffer Length. En valores pequeños podemos tener una red con un rendimiento bajo y subir demasiado este valor puede desencadenar retardos.

Respecto al Max Segment Size o Tamaño máximo de Segmento, cantidad de datos enviados en cada paquete sin fragmentar (expresado en bytes).

Application layer options.

De esta ventana destacar las opciones para cantidad de transmisión en Bytes o segundos de muestreo. Formato de Salida, el valor de intervalos de tiempo y el puerto al que se dirigirá y en el que escucha el host remoto (por defecto 5001).

Ejecutando Jperf

Una vez con los valores en los campos correspondientes, tan solo nos resta pulsar el botón **Run Iperf**, en ambos extremos de la red.

ANEXO III

ANALIZADOR DE ESPECTROS “Wi-Spy”

Definición

Wy-Spy es una herramienta potente y versátil de análisis de espectro de MetaGeek, que trabaja en las frecuencias de 2.4 y 5 GHz, mostrando en tiempo real el espectro completo (canales 1-12) para poder así observar el tráfico, la ocupación, la potencia y las posibles interferencias de las señales recibidas. Este modelo USB es ideal en tareas de análisis de espectro Wi-Fi.



Fig. 3.1: Software Chanalyzer y Hardware Wi-Spy

Uno de los puntos fuertes de Wi-Spy es su software, que permite interactuar con el dispositivo analizador USB, entre ellos Chanalyzer e InSSIDer.

Chanalyzer que ofrece una visión muy clara de lo que está pasando en el aire en forma de gráficos de todo tipo (tridimensionales, clásicos, por escala de tiempo, etc.) y permite compararlos con muestras incluidas de señales de todo tipo de aparatos (teléfonos DECT, cámaras inalámbricas de video vigilancia, hornos microondas, señales 802.11, Zigbee, etc.).

Chanalyzer viene en dos versiones: una más profesional (Chanalyzer 3) y otra más amateur llamada Chanalyzer Lite. Ambos programas se ofrecen en versión para Windows o Mac. Estas dos herramientas de software combinan el uso de Wi-Spy con la propia tarjeta Wi-Fi del equipo donde se instala.

Otra herramienta incluida es InSSIDer que además de ser gratuita, no necesita del hardware Wi-Spy, ya que funciona con cualquier tarjeta Wi-Fi y presenta las redes Wi-Fi que se encuentran a nuestro alrededor con toda la información necesaria sobre ellas.

Especificaciones

- Ancho de banda: 2400 a 2483 MHz
- Resolución de frecuencia: 1,0 MHz
- Amplitud Rango: -97 dBm a -50 dBm
- Amplitud Resolución: 1,5 dBm
- Antena: interior, antena PCB Trace
- Sweep Time: 110 milisegundos

Requisitos

- Puerto USB 1,1 o 2,0
- Windows 2000 o posterior. Net 2.0 (Participación de terceros en Mac OS X y Linux disponible)

El software Chanalyzer ofrece la posibilidad de grabar los datos capturados en su menú “Archivo”, generando un archivo con extensión .wsr cuyo tamaño oscila en 5 Mb por cada hora de recolección de datos, el mismo que puede ser recuperado en cualquier momento para su análisis.

La ventana principal del analizador de espectros permite la visualización de tres gráficas:

Vista Espectral

La vista espectral contiene una cascada de gráficos, que muestra la amplitud en el tiempo para cada frecuencia. Con base en el calendario, se añade la línea espectral a la vista cada X segundos o minutos. El color de cada frecuencia y la hora de coordinar representa la amplitud de esa frecuencia, con el azul oscuro que representa las amplitudes de baja y de color rojo brillante que representan a las amplitudes de alta como se indica en la *Fig. 3.2*.

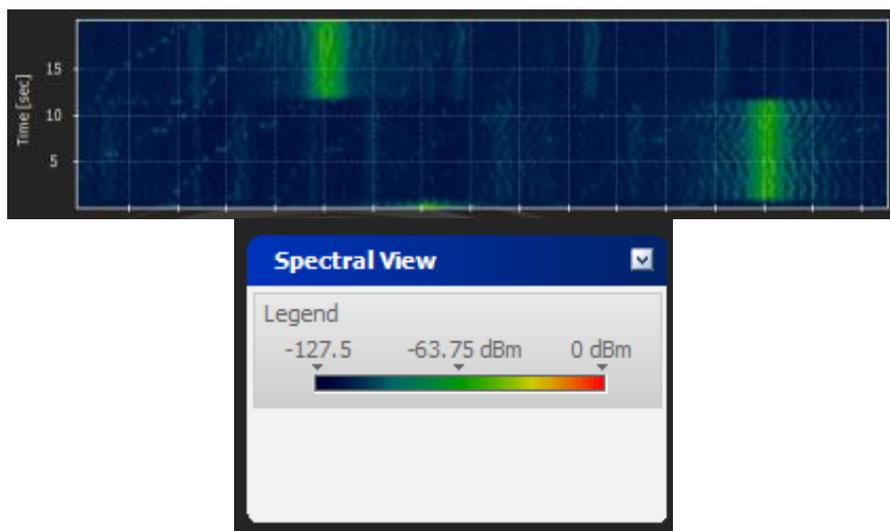


Fig. 3.2: Vista espectral de Wi-Spy

Vista Topográfica

La opción de “topographic” contiene la amplitud vs frecuencia gráfico similar a la vista planar, pero en lugar de mostrar la actual amplitud de cada frecuencia se pone de manifiesto el promedio de cada frecuencia y amplitud durante el tiempo en pantalla. La coloración de la vista topográfico es similar a la vista espectral con azul oscuro están bajos y de color rojo brillante está alto, pero los colores que ahora representa el promedio en lugar de la amplitud (Ver *Fig. 3.3*).

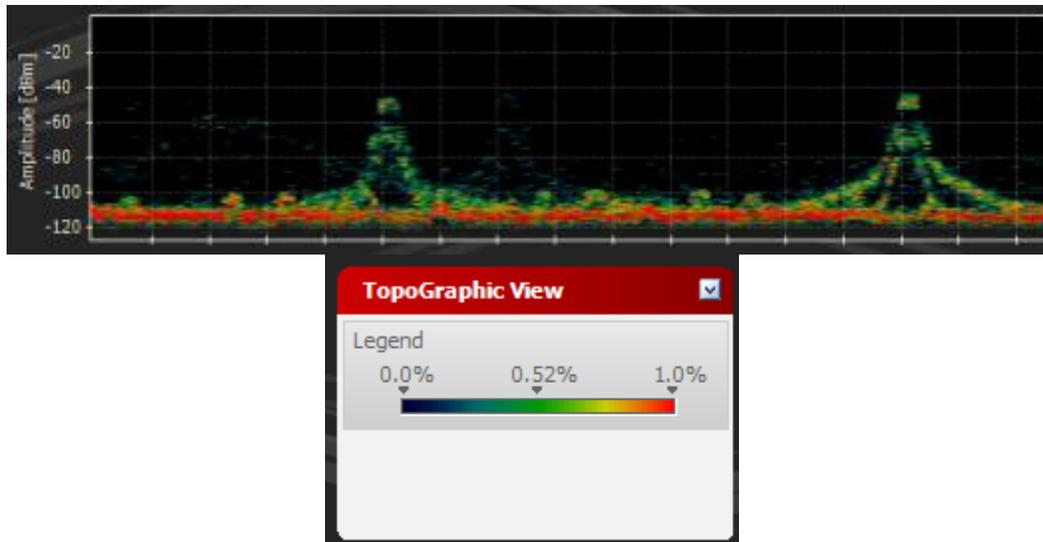


Fig. 3.3: Vista topográfica de Wi-Spy

Vista Planar:

Esta vista muestra una gráfica más de amplitud de frecuencia de visualización. La línea roja muestra la amplitud actual, el verde muestra el promedio de amplitud, y el azul muestra el máximo de amplitud. (Ver Fig. 3.4)

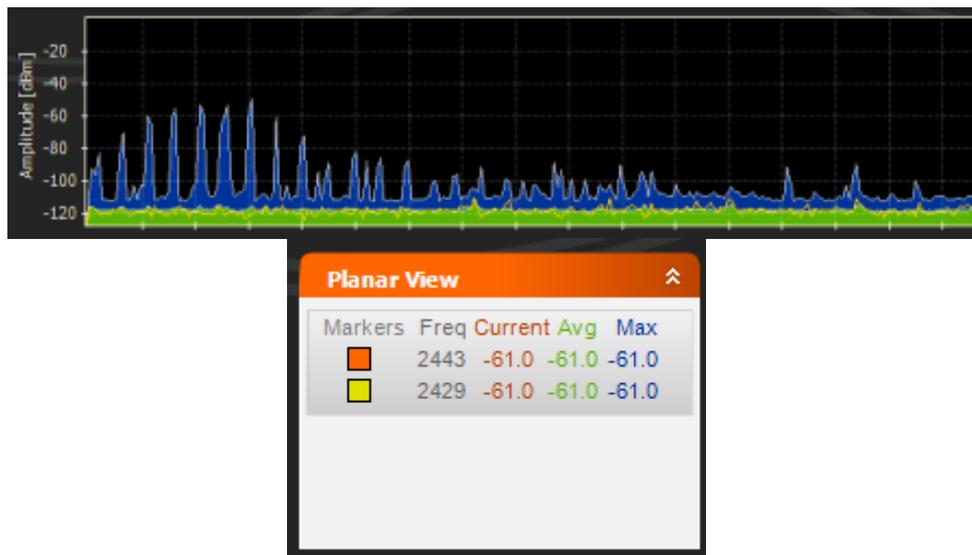


Fig. 3.4: Vista planar de Wi-Spy

Chanalyzer también proporciona un análisis de todos los canales Wi-Fi. Para esto se debe seleccionar la opción "Wi-Fi Informe" desde el menú Informes para obtener información detallada sobre cada uno de los canales, incluido un compuesto "grado". El grado es una medida de la tranquilidad del canal, esta medida es más alta mientras, más silencioso se encuentre el canal.

Wi-Fi Channel Report: trentmessesaround.wsr

Channel	Grade	Duty Cycle	Average Floor (dBm)	Average Peak (dBm)
1	50 (F)	26.4	-94.1	-61
2	42 (F)	30	-93.1	-58.1
3	46 (F)	28.4	-93.8	-58.1
4	55 (F)	25.4	-95.3	-56.4
5	66 (D)	20	-97.5	-56.9
6	79 (C+)	13.5	-100.2	-60.8
7	82 (B-)	11.4	-100.6	-56.3
8	86 (B)	8.5	-101.6	-57.7
9	89 (B+)	6.9	-102.3	-61.8
10	89 (B+)	7	-102.4	-62.8
11	86 (B)	8.6	-101.8	-58
12	85 (B)	8.4	-102	-58.7
13	85 (B)	8.2	-102.4	-57.9

Close Copy to Clipboard

Fig. 3.5: Reporte de Canales WiFi

ANEXO 4

Experimento 1, análisis del tráfico de datos en capa de enlace en la red 802.11b sin interferencia.

Bajo el escenario se tiene una red 802.11b, conformada por un servidor FTP, en este caso una Portátil Compaq CQ43-416la y un usuario representado por un computador Portátil Acer 3690. En esta red se transfiere un archivo de 100 Mb desde el Servidor al usuario, esto en ejecución simultanea del software capturador de datos Capsa Enterprise V.7.0.

Para el valor del Jitter, se utiliza la herramienta JPERF, la misma que es ejecutada como servidor en la PC Desktop y como usuario en el computador portátil.

Con la transmisión completada, se obtiene datos como: cantidad de bytes transmitidos, número de paquetes transmitidos, velocidad, paquetes por segundo, tiempo, seguridad entre otros, los cuales pueden ser apreciados en la Fig. 4.1 Y Fig. 4.2

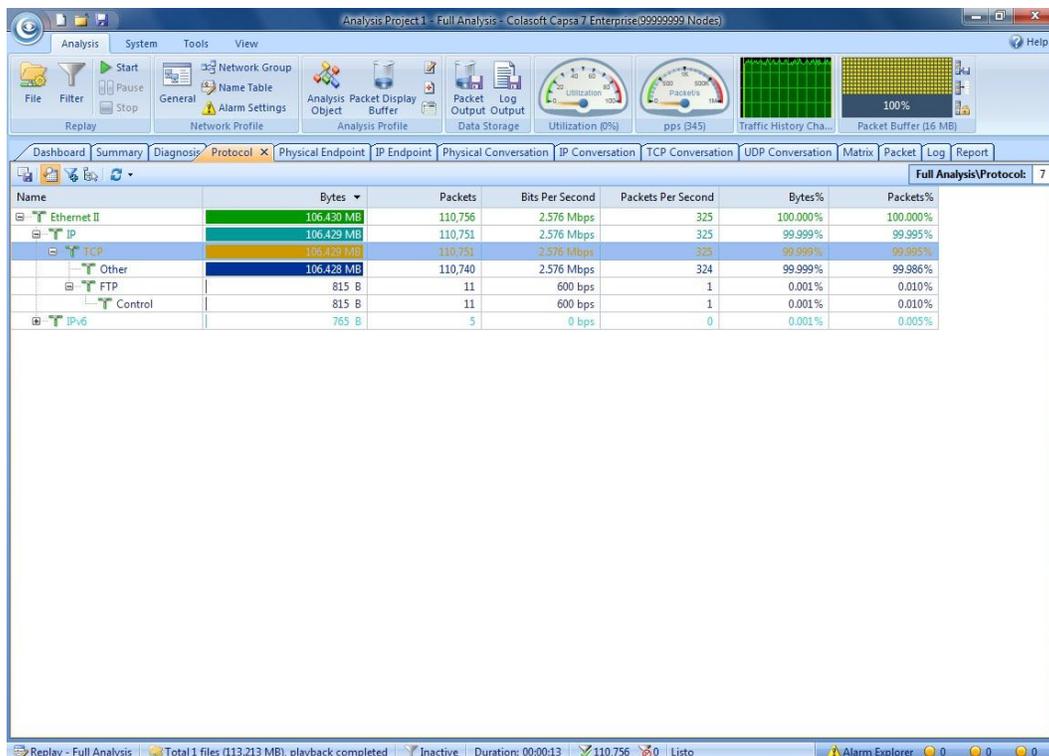


Fig. 4.1: Análisis de Tráfico WLAN sin Interferencia

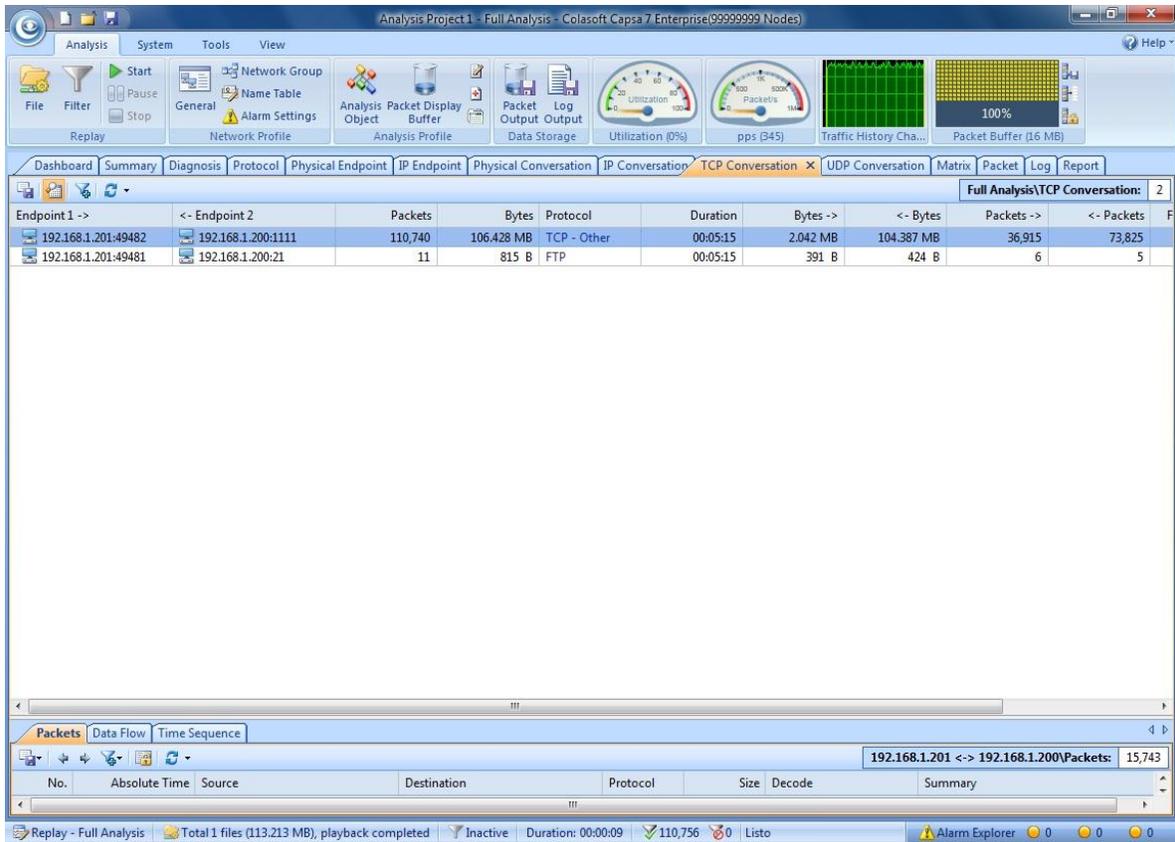


Fig. 4.2: Análisis de Tráfico WLAN sin Interferencia

De lo anterior se puede observar que se ha transmitido un total de 110751 paquetes, a una velocidad máxima de transmisión de 2.576 Mbps, con 325 Paquetes por Segundo y en un tiempo de 315 segundos.

Y con la ejecución de la herramienta JPERF, se obtiene la variación en el retardo o el Jitter, para nuestro caso de 5,281 ms, Ver Fig. 4.3.

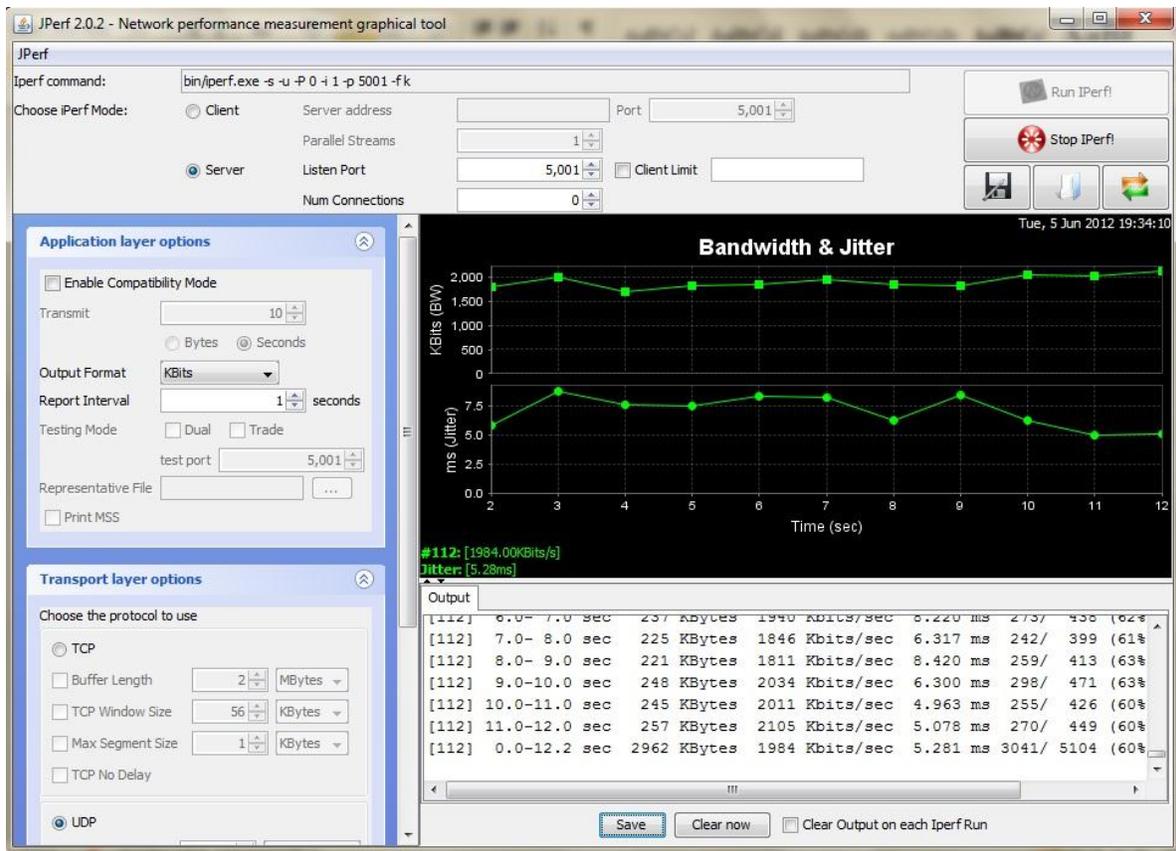


Fig. 4.3: Análisis del Jitter WLAN sin Interferencia

Experimento 2, análisis del tráfico de datos en capa de enlace en la red 802.11b con interferencia de la cámara inalámbrica.

En este experimento, bajo el escenario descrito en el experimento 1, se introduce la fuente de interferencia, específicamente la cámara inalámbrica de video a 2,4 GHz, la misma que operará simultáneamente, con la red WLAN mientras se realiza la transferencia del archivo de 100 MB.

El experimento se lo realiza variando la distancia de operación de la cámara inalámbrica con respecto a la red 802.11b a 1 y 7 metros. De igual manera en el transcurso de la transmisión hasta su final se tiene ejecutando el software capturador de datos Capsa Enterprise V.7.0. Y para el valor del Jitter, se tiene la herramienta JPERF, la misma que es ejecutada como servidor en la Portátil Compaq y como usuario en el computador portátil Acer.

Experimento con distancia a 1 metro

Los resultados de este experimento se pueden observar en la *Fig. 4.4* Y la *Fig. 4.5*

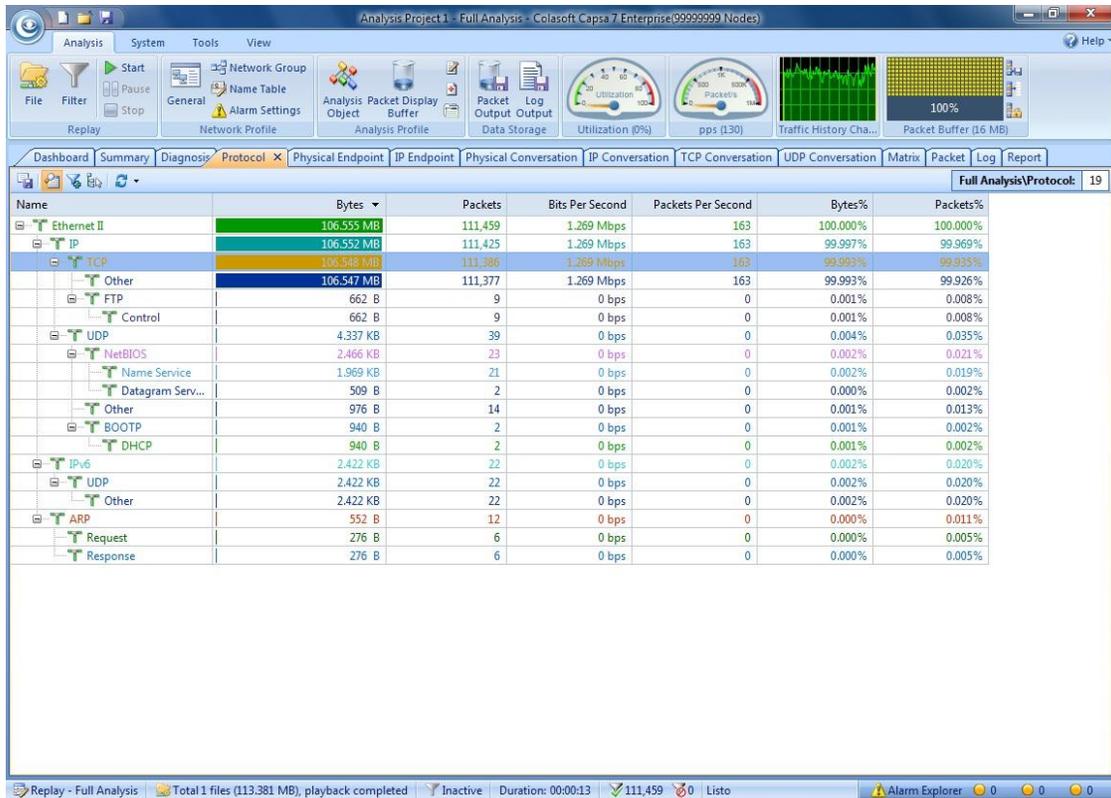


Fig. 4.4: Análisis de Tráfico WLAN con Interferencia a Imetro

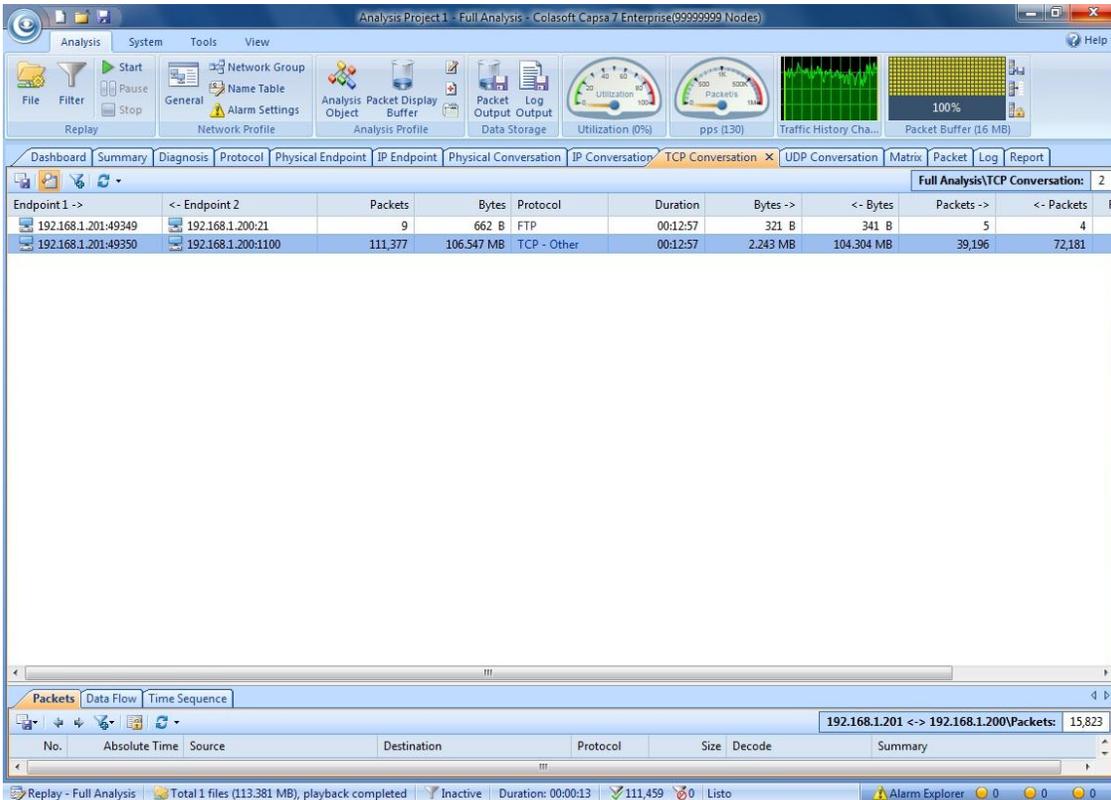


Fig. 4.5: Análisis de Tráfico WLAN con Interferencia a Imetro

De lo anterior podemos observar que se ha transmitido un total de 111386 paquetes, a una velocidad máxima de transmisión de 1.269 Mbps, con 163 Paquetes por Segundo y en un tiempo de 777 segundos.

Y con la ejecución de la herramienta JPERF, obtenemos la variación en el retardo o el Jitter, para nuestro caso de 19,488 ms Ver Fig. 4.6.

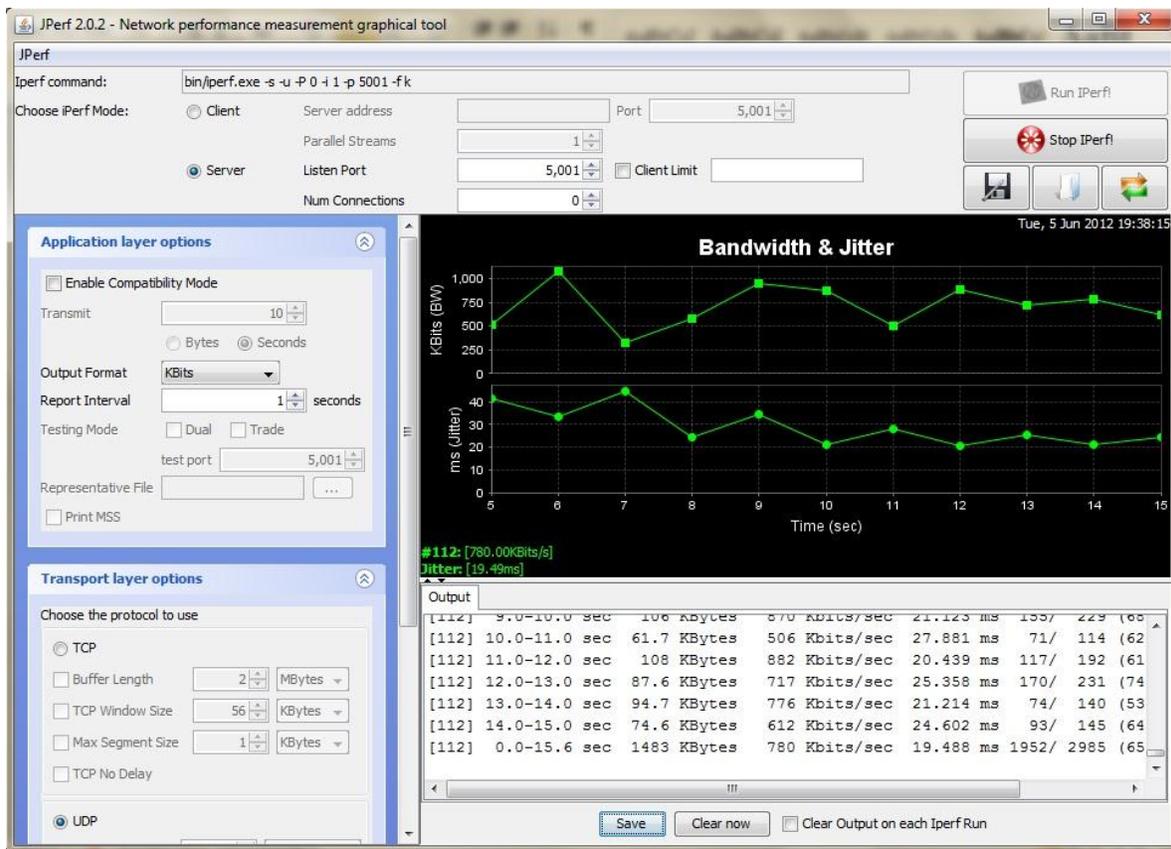


Fig. 4.6: Análisis del Jitter WLAN con Interferencia a 1 metro

Experimento con distancia a 7 metros

Los resultados de este experimento se pueden observar en la Fig. 4.7 Y la Fig. 4.8.

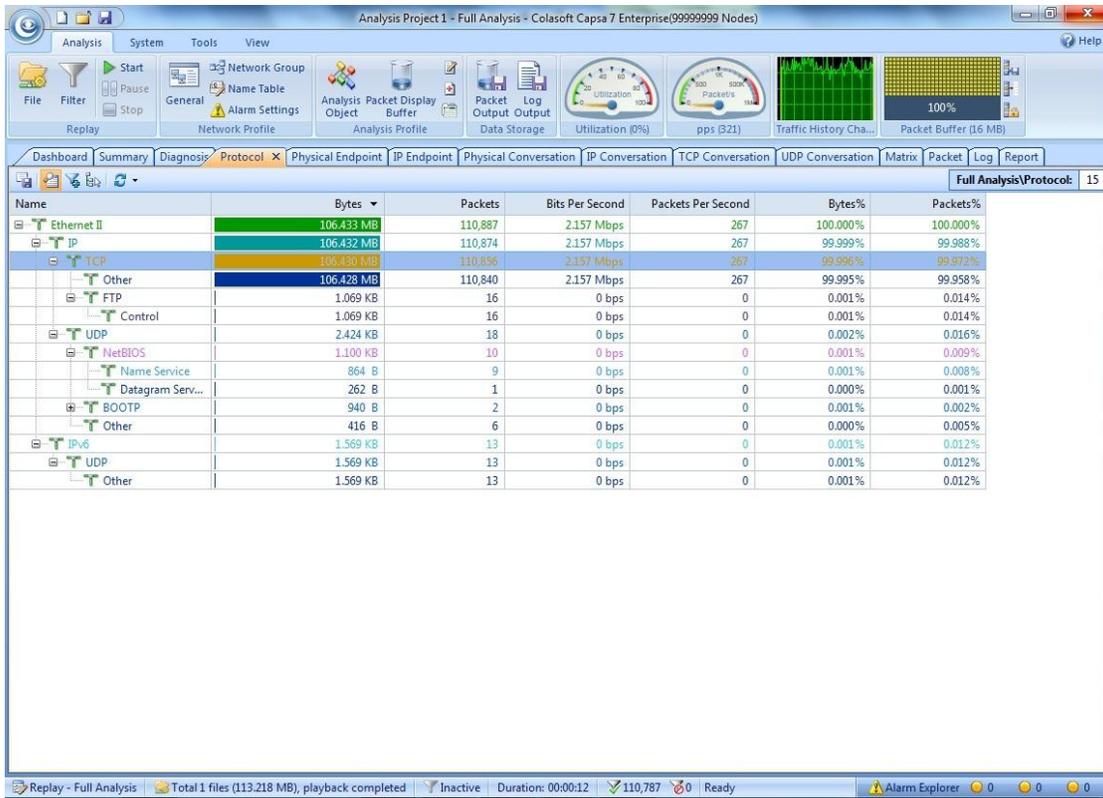


Fig. 4.7: Análisis de Tráfico WLAN con Interferencia a 7metros

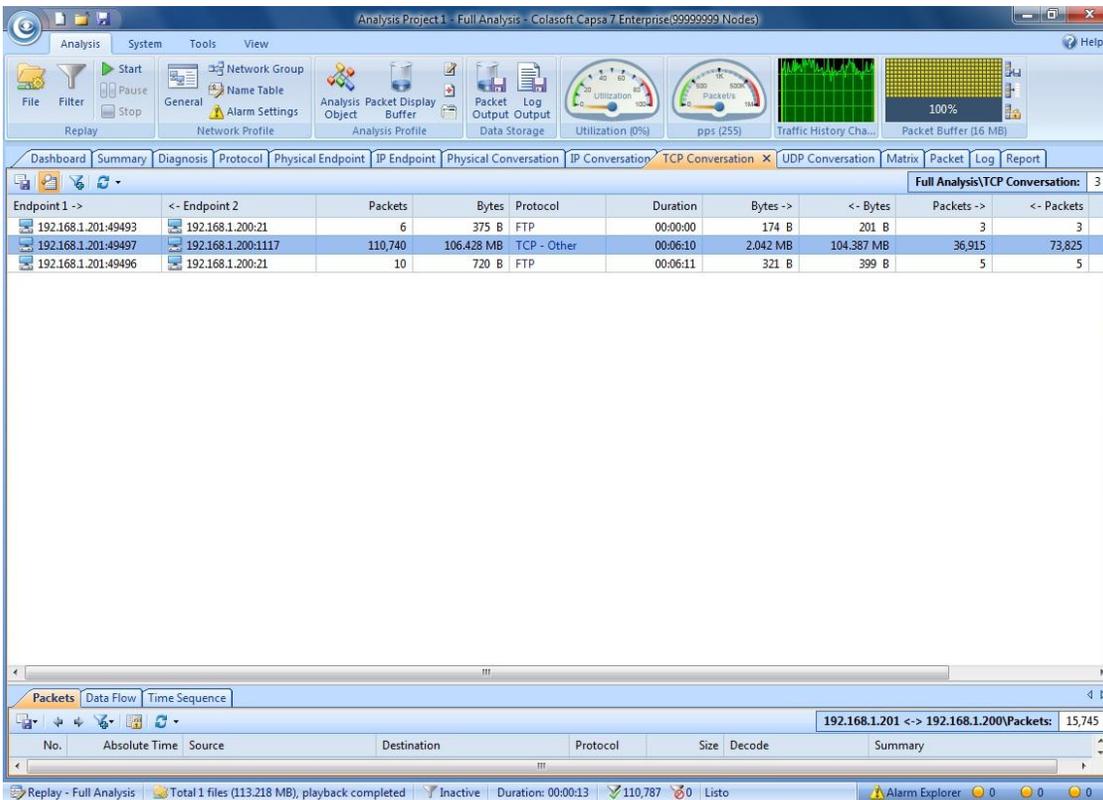


Fig. 4.8: Análisis de Tráfico WLAN con Interferencia a 7metros

De lo anterior se observa que se ha transmitido un total de 110856 paquetes, a una velocidad máxima de transmisión de 2.157 Mbps, con 267 Paquetes por Segundo y en un tiempo de 370 segundos.

Y con la ejecución de la herramienta JPERF, se obtiene la variación en el retardo o el Jitter, para nuestro caso de 11,709 ms *Ver Fig. 4.9*.

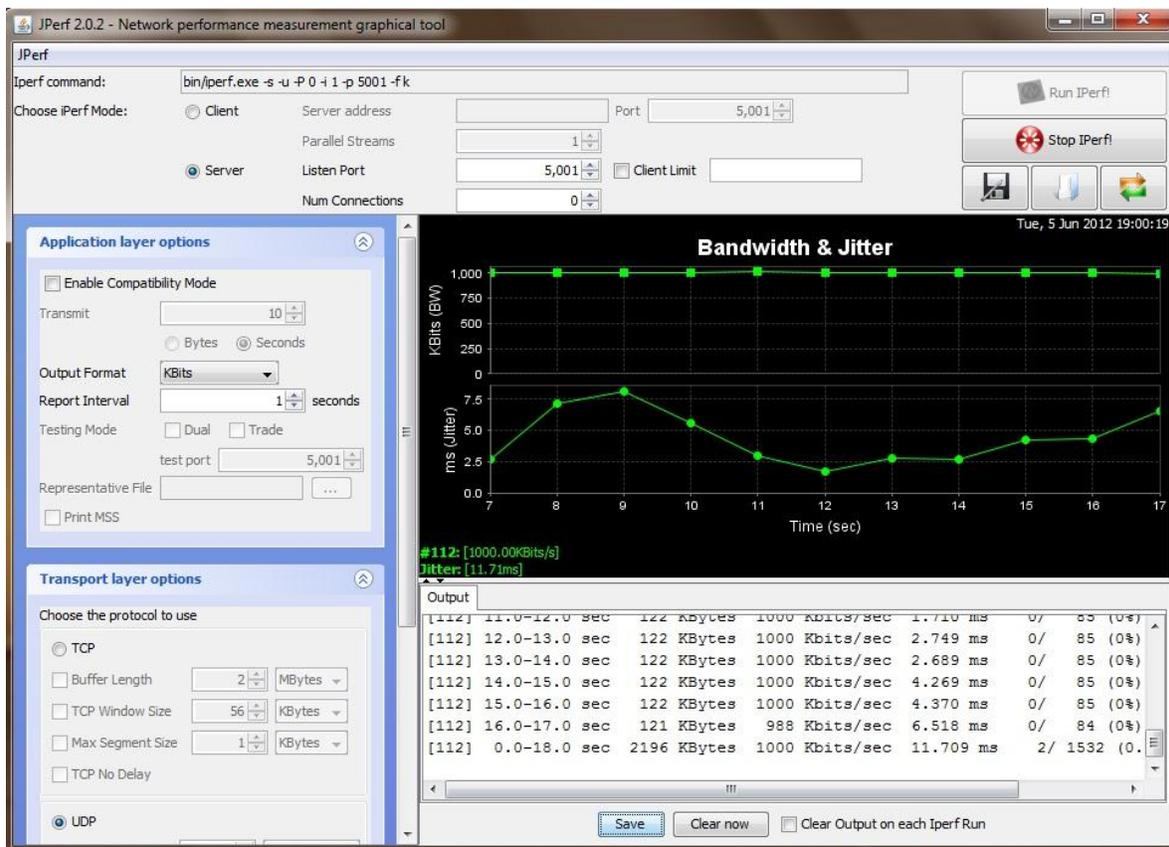


Fig. 4.9: Análisis del Jitter WLAN con Interferencia a 7 metros

ANEXO 5

Experimento 3, análisis del tráfico de datos en capa física en la red 802.11b sin interferencia de la cámara inalámbrica.

En este experimento se toma las señales emitidas por la red WLAN, gracias al analizador de espectros Wi-Spy, con el fin de comprender su funcionamiento, para lo cual se tiene el escenario utilizado para el experimento número 1, es decir la conformación de la red 802.11b sin interferencia. Bajo el cual se transmite el archivo de 100 Mb., obteniendo los resultados que se muestran en las *Fig. 5.1* Y la *Fig. 5.2*.

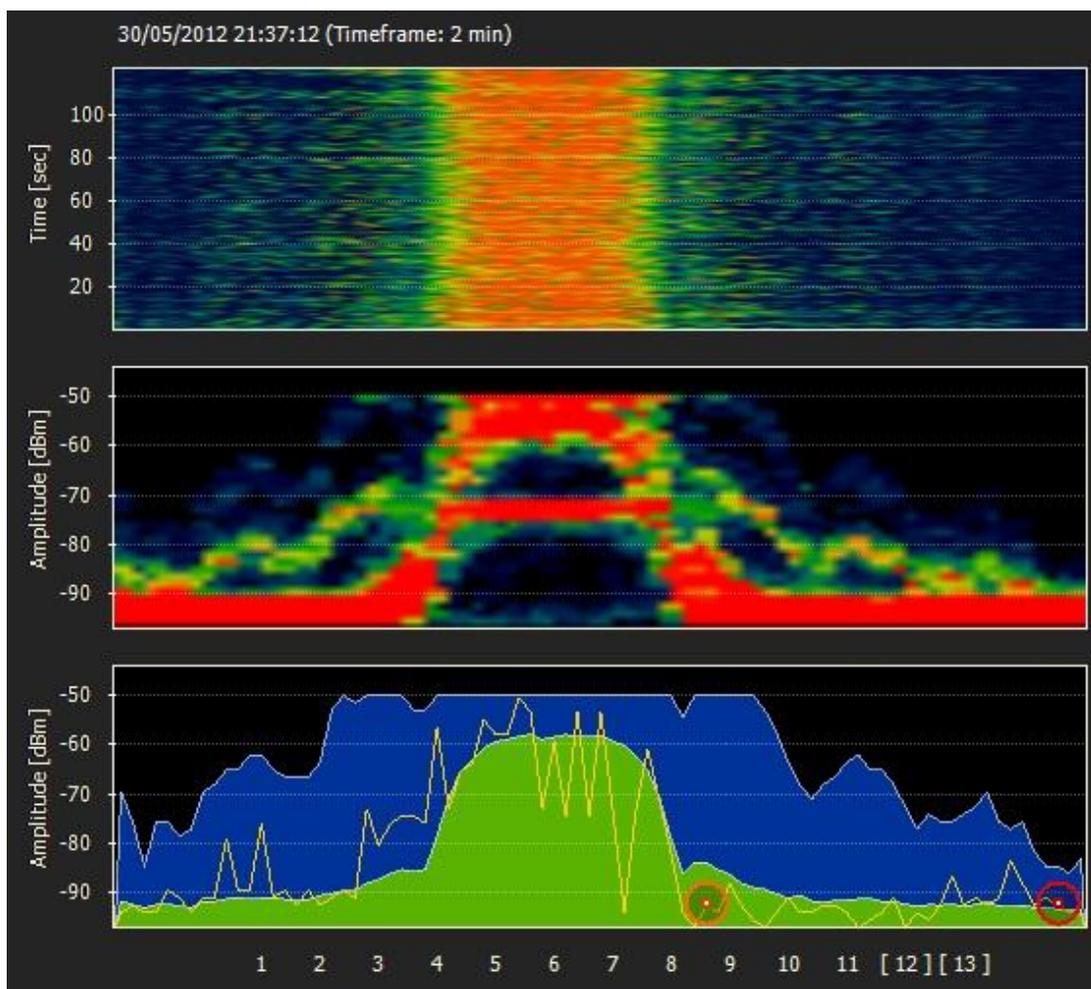


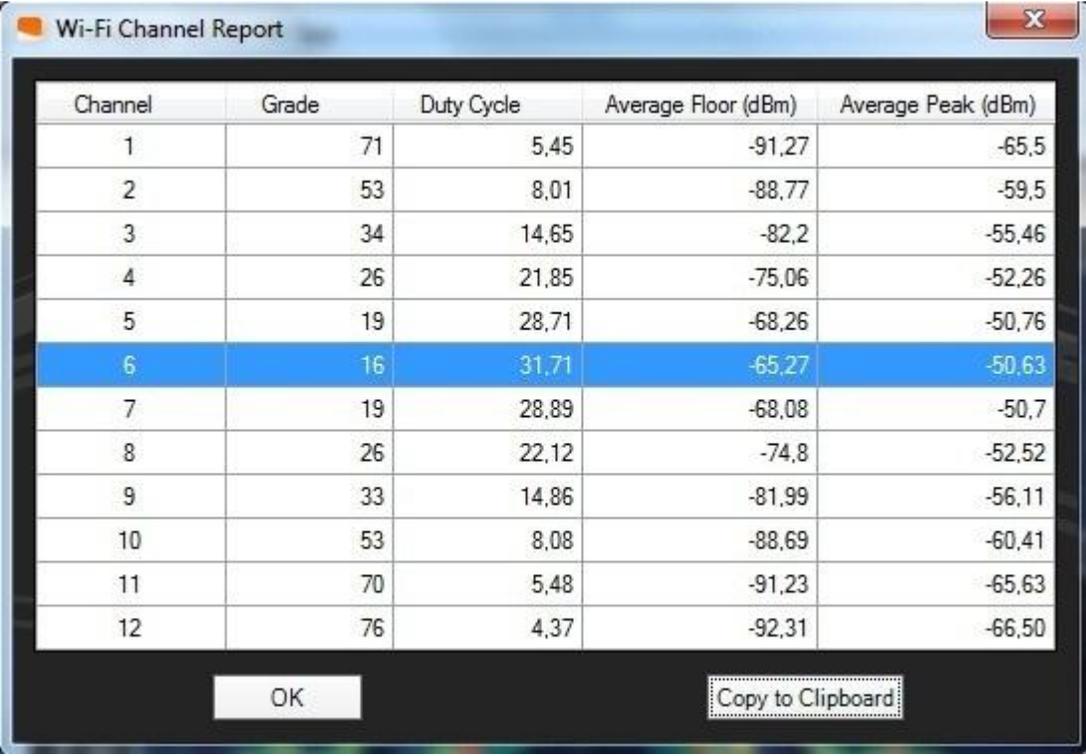
Fig. 5.1: Vista Espectral, Topológica y Planar de la transmisión WLAN

En la Fig. anterior podemos observar la gráfica Planar, Amplitud vs Frecuencia, la cual indica que la comunicación WLAN está concentrada principalmente en el canal 6 específicamente entre 2.426 a 2.448, ya que el Access Point y las estaciones están configuradas para utilizar este canal.

De la vista topológica se puede apreciar que los picos más altos de la señal WLAN se encuentran en el canal 6 llegando a tener una potencia máxima en transmisión de información de -58 dbm aproximadamente.

Finalmente en la vista espectral se observa nuevamente que el flujo intenso de información se encuentra solo en el canal 6.

Con el menú Reportes del software Chanalyzer, generamos el indicado para la red WLAN, obteniéndose los valores que se indican en la Fig. 5.2.



Channel	Grade	Duty Cycle	Average Floor (dBm)	Average Peak (dBm)
1	71	5,45	-91,27	-65,5
2	53	8,01	-88,77	-59,5
3	34	14,65	-82,2	-55,46
4	26	21,85	-75,06	-52,26
5	19	28,71	-68,26	-50,76
6	16	31,71	-65,27	-50,63
7	19	28,89	-68,08	-50,7
8	26	22,12	-74,8	-52,52
9	33	14,86	-81,99	-56,11
10	53	8,08	-88,69	-60,41
11	70	5,48	-91,23	-65,63
12	76	4,37	-92,31	-66,50

Fig. 5.2: Reporte de la comunicación WLAN, dividido en canales

ANEXO 6

Experimento 4, análisis de la interferencia entre la red WLAN y la cámara inalámbrica de video a 2,4 GHz y con la solución propuesta por el investigador.

Para este experimento se toma como base el escenario planteado en el experimento número 2, pero con la implementación de la solución, es decir se trasmite un archivo de 100 Mb en la red WLAN con la operación simultánea de la cámara de video inalámbrica a 2,4 GHz y está ocasión colocada en el Access Point la antena/filtro diseñada por el investigador como solución.

Nuevamente el experimento se repite a 1 y 7 metros, capturado los datos necesarios para la investigación con el software Capsa Enterprise.

Para calcular el Jitter, nos valemos de la herramienta JPERF, la misma que es ejecutada como servidor en la Portátil Compaq y como usuario en el computador portátil ACER.

Experimento con distancia a 1 metro

Los resultados de este experimento se pueden observar en la *Fig. 6.1* Y la *Fig. 6.2*

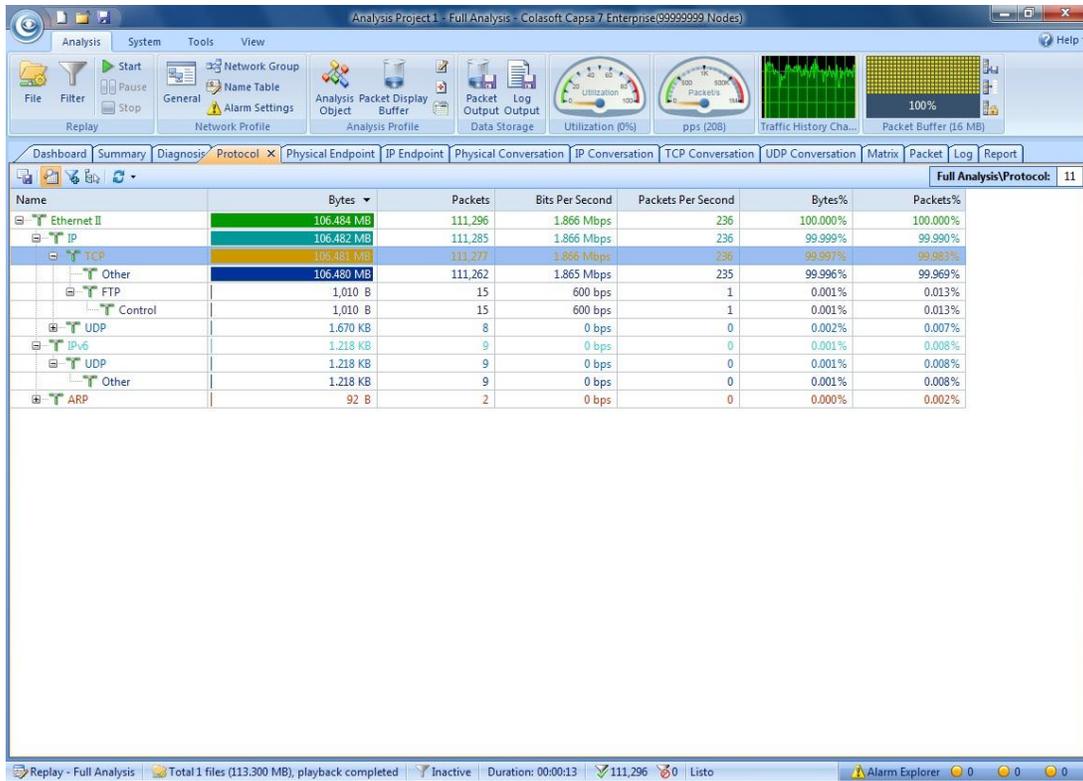


Fig. 6.1: Análisis de Tráfico WLAN con Interferencia y con la Solución a Imetro

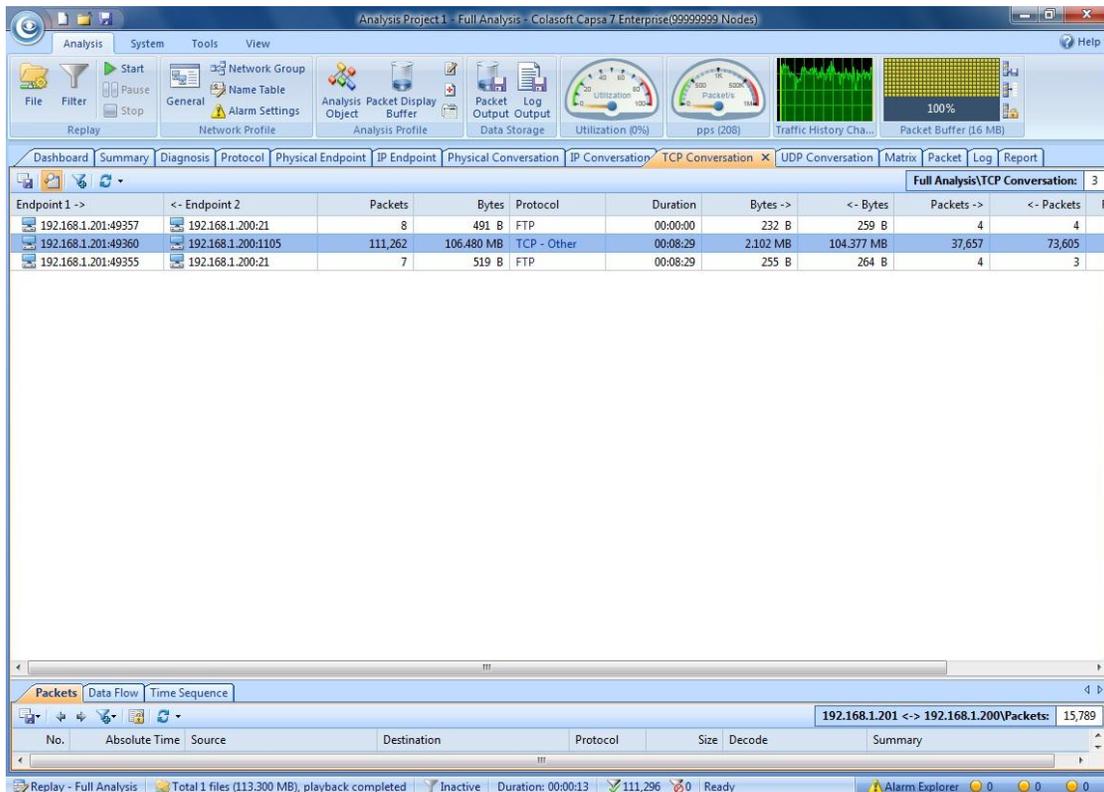


Fig. 6.2: Análisis de Tráfico WLAN con Interferencia y con la Solución a Imetro

De lo anterior se observa que se ha transmitido un total de 111277 paquetes, a una velocidad máxima de transmisión de 1.866 Mbps, con 236 Paquetes por Segundo y en un tiempo de 509 segundos.

Con la ejecución de la herramienta JPERF, se obtiene la variación en el retardo o el Jitter, para el caso de 8,133 ms Ver Fig. 6.3.

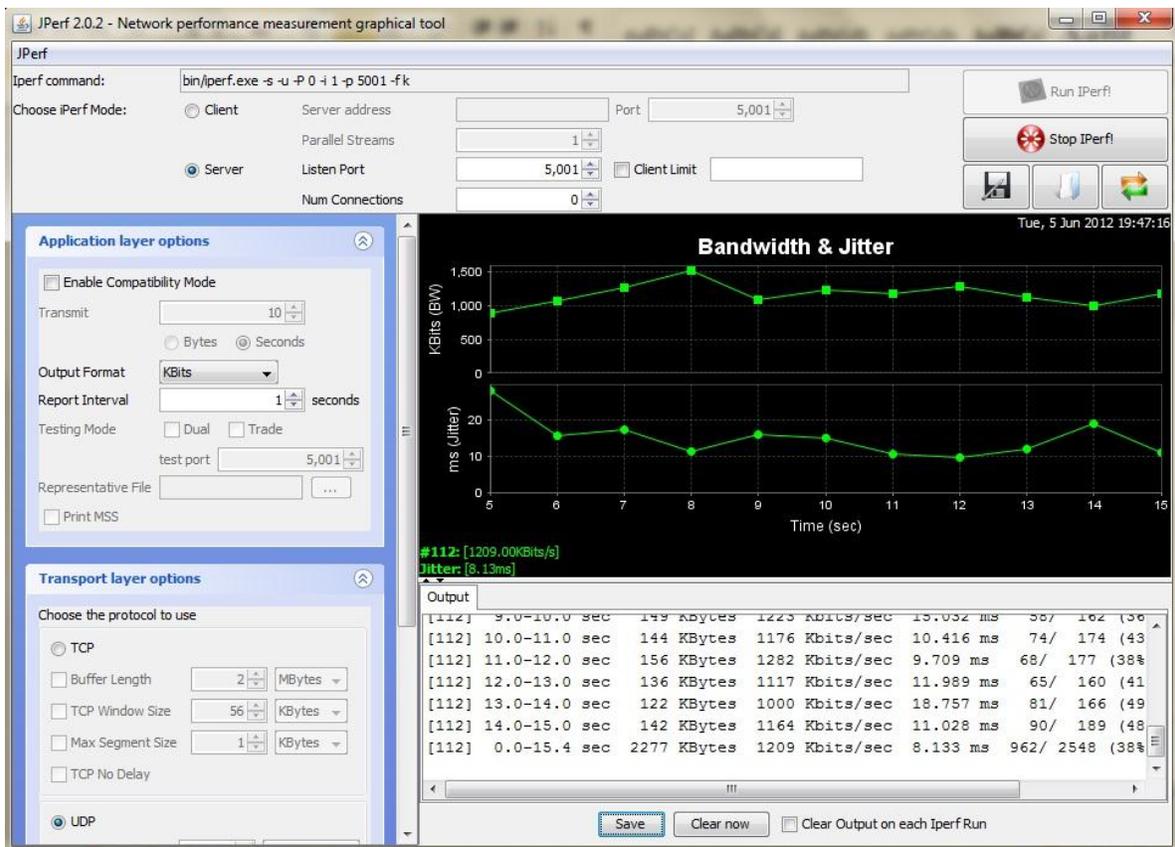


Fig. 6.3: Análisis del Jitter WLAN con Interferencia y con la Solución a 1 metro

Experimento con distancia a 7 metros

Los resultados de este experimento se pueden observar en la Fig. 6.4 Y la Fig. 6.5.

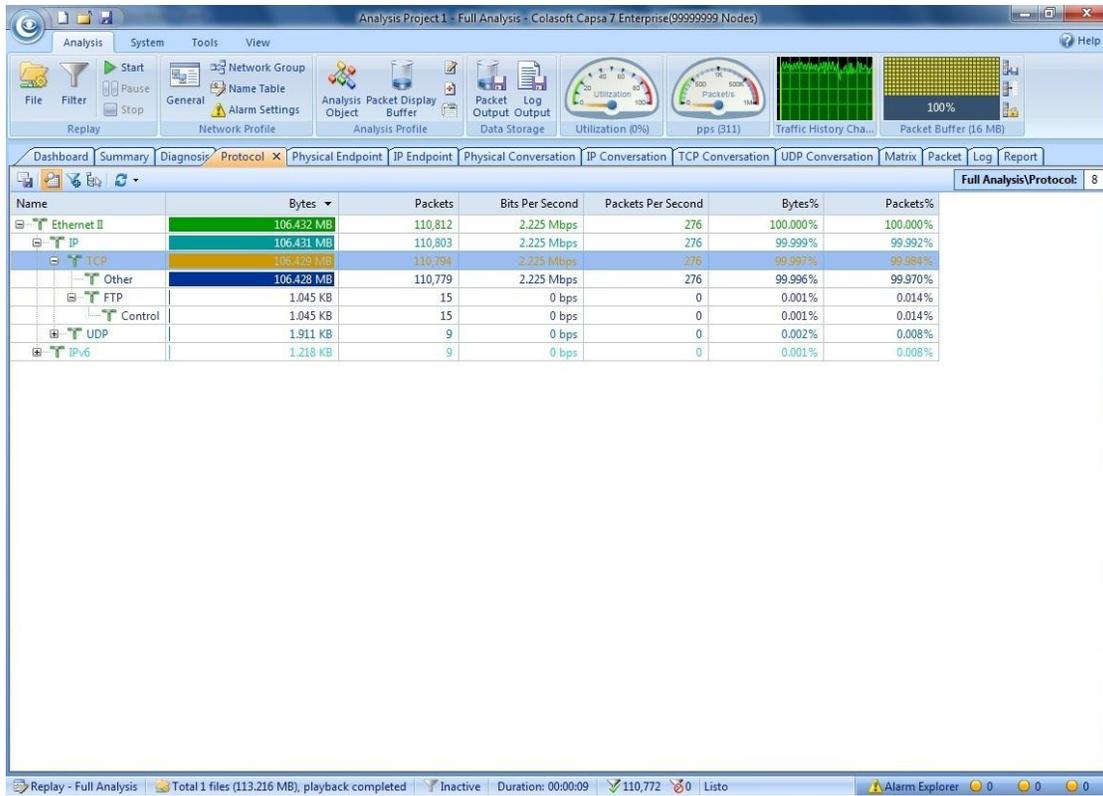


Fig. 6.4: Análisis de Tráfico WLAN con Interferencia y con la Solución a 7metros

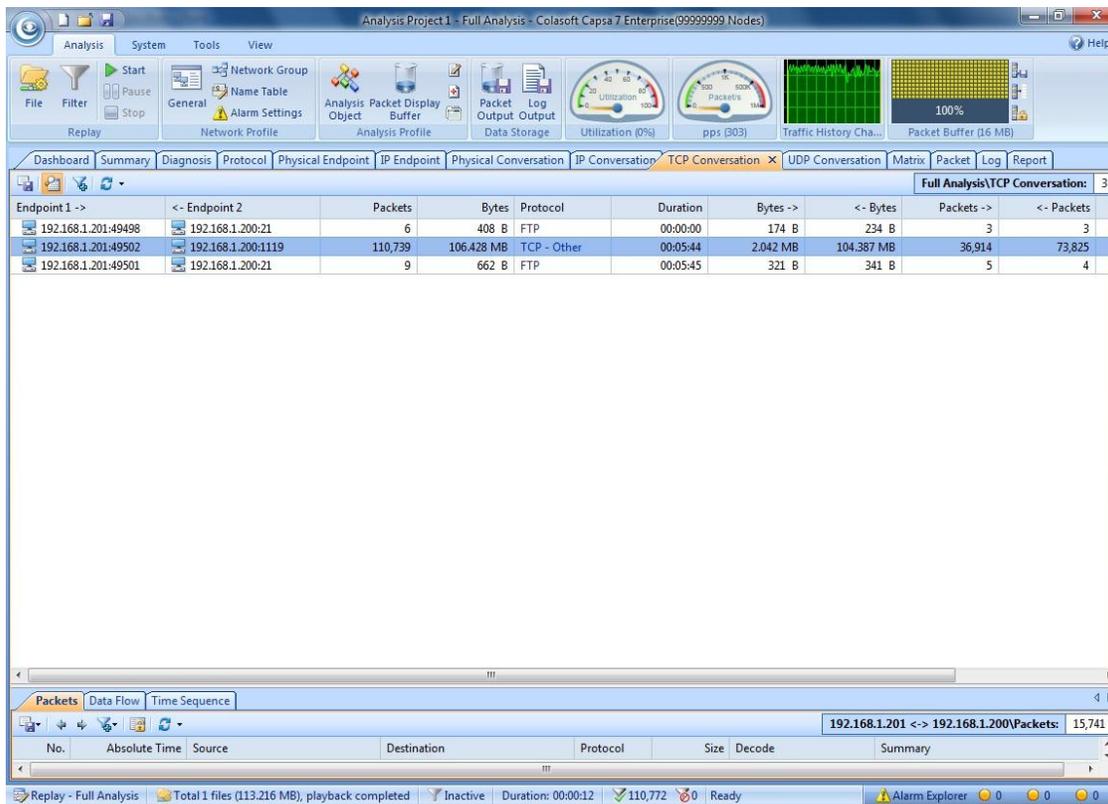


Fig. 6.5: Análisis de Tráfico WLAN con Interferencia y con la Solución a 7metros

De lo anterior se observa que se ha transmitido un total de 110794 paquetes, a una velocidad máxima de transmisión de 2.225 Mbps, con 276 Paquetes por Segundo y en un tiempo de 344 segundos.

Y con la ejecución de la herramienta JPERF, se obtiene la variación en el retardo o el Jitter, para nuestro caso de 7,868 ms Ver Fig. 6.6.

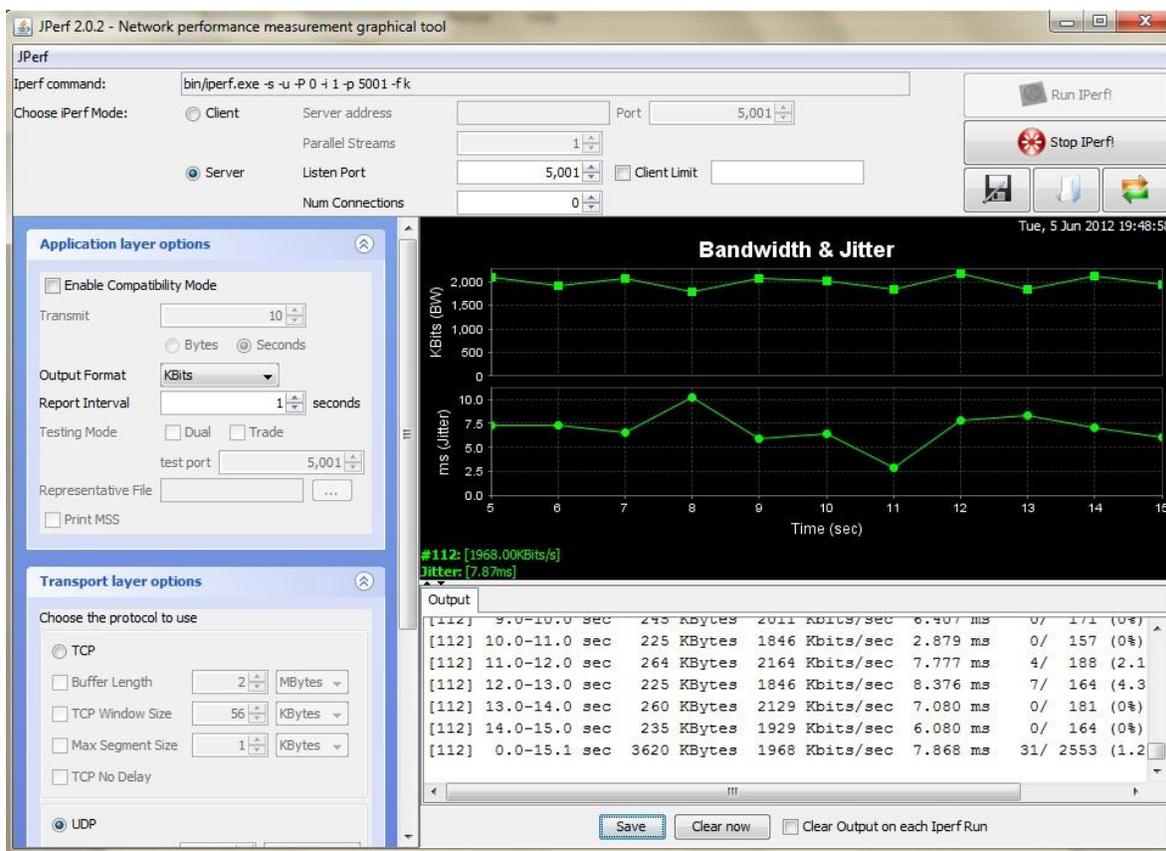


Fig. 6.6: Análisis del Jitter WLAN con Interferencia y con la Solución a 7 metros

ANEXO 7

Experimento 5, análisis del tráfico de datos en capa física en la red 802.11b con interferencia de la cámara inalámbrica.

En este experimento, a través del analizador de espectros Wi-Spy, se obtiene las frecuencias que emite la cámara de video inalámbrica y así poder analizar el impacto que estas tienen sobre las señales del dispositivo WLAN y poder plantear la solución que permita mejorar la coexistencia.

Cabe mencionar que en experimento ambas tecnologías operan simultáneamente y se transfiere un archivo de 100 Mb en la red.

La simulación se encuentra representada en la *Fig. 7.1*.

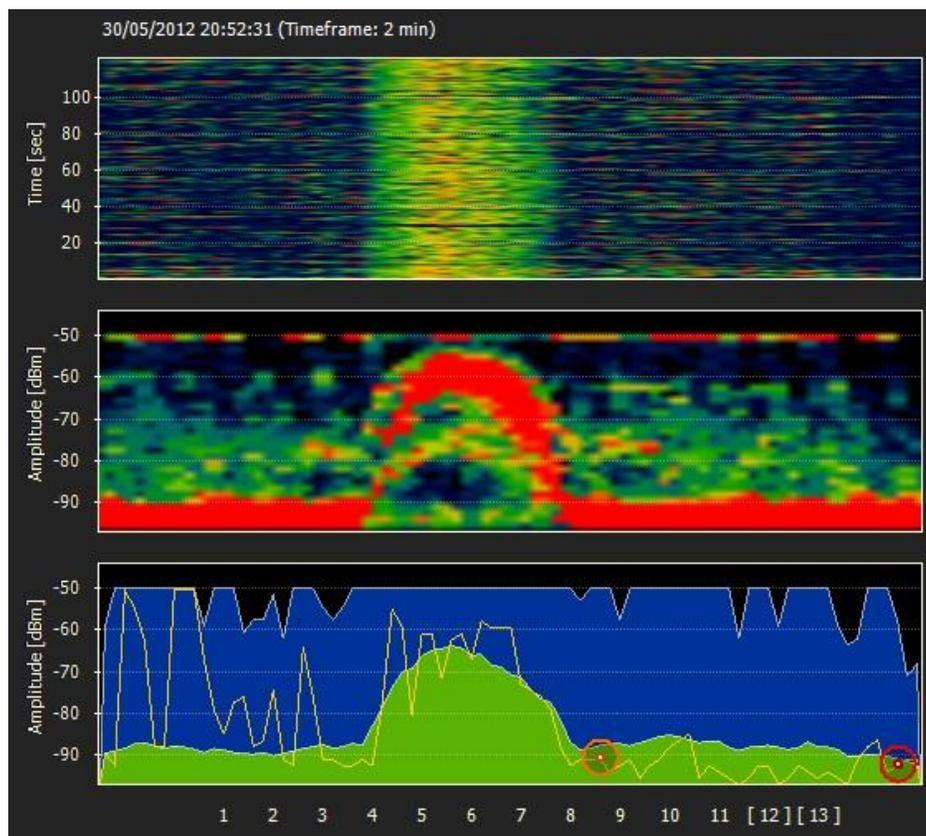


Fig. 7.1: Vista Espectral, Topológica y Planar de la transmisión WLAN con Interferencia

De la Figura podemos observar en la Vista Planar que la utilización de todo el espectro ahora se ha incrementado, esto se debe a las emisiones de la cámara inalámbrica de video y se puede observar también claramente la utilización completa del canal con picos máximos de hasta -50 dbm.

Igualmente se tiene en la gráfica promedio (color verde) que los picos más altos se forman en el canal 6 (Comunicación WiFi) en el orden de los -62 dbm a diferencia del espectro de wifi sin interferencias, la señal se ha atenuado en 4 dbm.

En la vista topológica se puede ver la deformación de la gráfica wifi en comparación con la del experimento anterior, esto debido a la interferencia de las señales de ruido y principalmente de la comunicación de la cámara inalámbrica de video.

Finalmente en la vista espectral se mantiene el flujo intenso de datos en el canal 6, mientras que la cámara inalámbrica de video se mantiene constante en todo el espectro de la banda.

Con el menú Reportes del software Chanalyzer, generamos el indicado para la red WLAN, obteniéndose los valores que se indican en la Fig. 7.8.

Channel	Grade	Duty Cycle	Average Floor (dBm)	Average Peak (dBm)
1	69	7,79	-88,97	-63,11
2	60	8,48	-88,32	-59,6
3	42	12,78	-84,07	-55,91
4	36	18,1	-78,8	-52,83
5	32	22,16	-74,78	-51,22
6	30	23,38	-73,58	-50,63
7	32	21,4	-75,54	-50,96
8	37	16,98	-79,93	-55,96
9	48	12,54	-84,31	-58,96
10	62	9,44	-87,37	-62,87
11	66	9,15	-87,65	-64,74
12	67	8,56	-88,22	-69,92

Fig. 7.8: Reporte de la comunicación WLAN con Interferencia, dividido en canales

ANEXO 8

Experimento 6, análisis del tráfico de datos en capa física en la red 802.11b con interferencia de la cámara inalámbrica y con la solución implementada.

Con ayuda de la herramienta Chanalyzer, perteneciente al analizador de espectros Wi-Spy, se obtiene las frecuencias emitidas al operar simultáneamente la cámara inalámbrica de video y la red WLAN, con la solución propuesta por el investigador, representada en la siguiente *Fig. 8.1*.

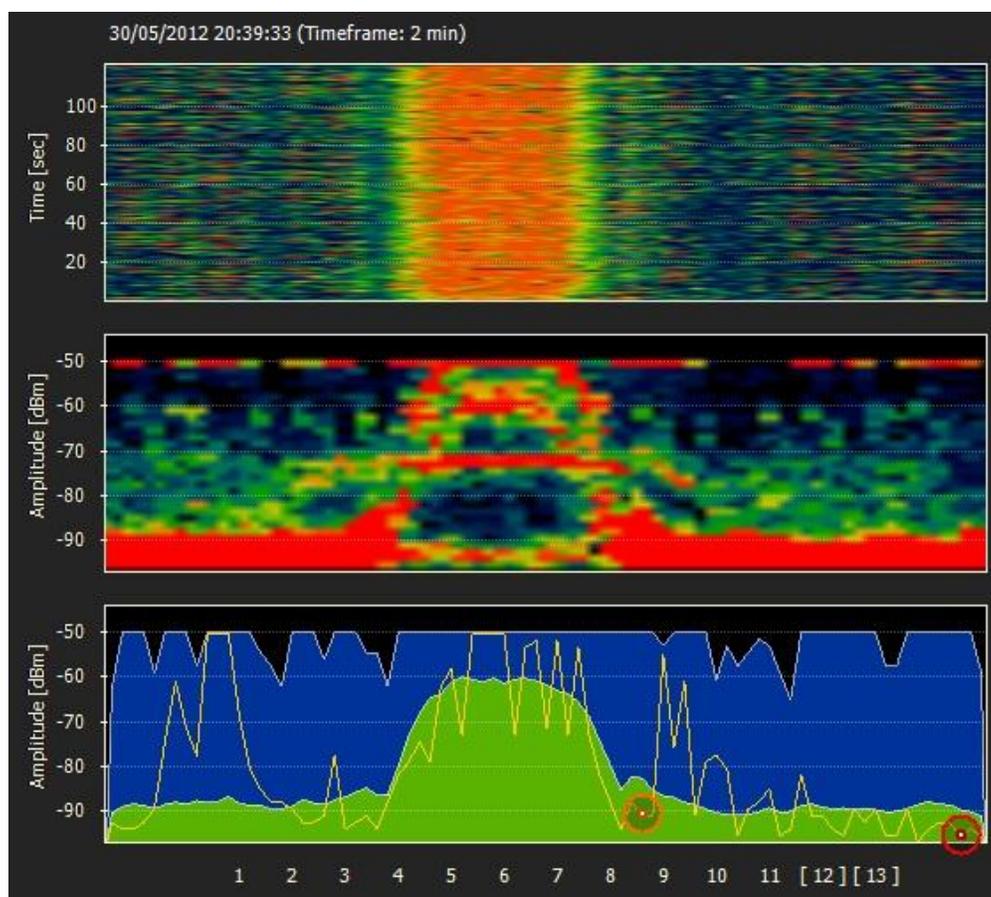


Fig. 8.1: Vista Espectral, Topológica y Planar de la transmisión WLAN con Interferencia y con Solución.

De la gráfica promedio (color verde), se observa que los picos más altos se forman en el canal 6 en el orden de los -79 dbm, apreciando un incremento de 3 dbm comparado con el experimento anterior, sin la propuesta de la solución.

En la gráfica de Amplitud vs frecuencia, se observa que se tiene picos máximos de hasta – 50.62 dbm, se observa también en la vista planar que tanto los picos máximos como los promedio de la gráfica para el resto de la banda de frecuencia son significativamente menores a la vista planar del experimento 5.

De la vista topológica se observa que se crea una gráfica muy parecida a la gráfica del experimento de la comunicación wifi sin interferencia, si comparamos con la gráfica del experimento 5 se tiene que el nivel de deformación es menor.

Y en la vista espectral en cambio se puede observar que la transmisión wifi mantiene un flujo intenso de datos en el canal 6, al comparar la gráfica obtenida con la gráfica del experimento 5 se aprecia claramente que la intensidad de energía resultante en el canal 6 es mucho. Si se compara este resultado con los resultados de los experimentos anteriores se tiene que gracias al filtro microstrip existe una reducción de interferencia en la comunicación wifi y por lo tanto el mismo archivo se transmite más rápido en el mismo ambiente de interferencia.

Con el menú Reportes del software Chanalyzer, generamos el indicado para la red WLAN, obteniéndose los valores que se indican en la *Fig. 8.2*.

Wi-Fi Channel Report

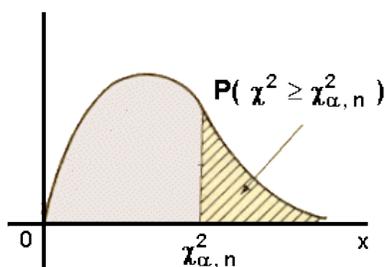
Channel	Grade	Duty Cycle	Average Floor (dBm)	Average Peak (dBm)
1	67	8,22	-88,56	-62,52
2	53	9,72	-87,1	-59,04
3	35	15,09	-81,79	-55,72
4	29	21,12	-75,8	-52,7
5	23	26,92	-70,04	-50,81
6	20	29,42	-67,55	-50,62
7	23	27,15	-69,81	-50,63
8	29	21,02	-75,91	-54,72
9	37	14,57	-82,32	-56,33
10	55	9,2	-87,64	-61,68
11	68	7,25	-89,55	-63,3
12	71	6,84	-89,94	-73,5

OK Copy to Clipboard

Fig. 8.2: Reporte de la comunicación WLAN con Interferencia y con Solución, dividido en canales

ANEXO 9

Valores de χ^2 y Probabilidades



Grados libertad	Probabilidad de un valor superior - Alfa (α)				
	0,1	0,05	0,025	0,01	0,005
1	2,71	3,84	5,02	6,63	7,88
2	4,61	5,99	7,38	9,21	10,60
3	6,25	7,81	9,35	11,34	12,84
4	7,78	9,49	11,14	13,28	14,86
5	9,24	11,07	12,83	15,09	16,75
6	10,64	12,59	14,45	16,81	18,55
7	12,02	14,07	16,01	18,48	20,28
8	13,36	15,51	17,53	20,09	21,95
9	14,68	16,92	19,02	21,67	23,59
10	15,99	18,31	20,48	23,21	25,19
11	17,28	19,68	21,92	24,73	26,76
12	18,55	21,03	23,34	26,22	28,30
13	19,81	22,36	24,74	27,69	29,82
14	21,06	23,68	26,12	29,14	31,32
15	22,31	25,00	27,49	30,58	32,80
16	23,54	26,30	28,85	32,00	34,27
17	24,77	27,59	30,19	33,41	35,72
18	25,99	28,87	31,53	34,81	37,16
19	27,20	30,14	32,85	36,19	38,58
20	28,41	31,41	34,17	37,57	40,00
21	29,62	32,67	35,48	38,93	41,40
22	30,81	33,92	36,78	40,29	42,80
23	32,01	35,17	38,08	41,64	44,18
24	33,20	36,42	39,36	42,98	45,56
25	34,38	37,65	40,65	44,31	46,93
26	35,56	38,89	41,92	45,64	48,29
27	36,74	40,11	43,19	46,96	49,65
28	37,92	41,34	44,46	48,28	50,99
29	39,09	42,56	45,72	49,59	52,34
30	40,26	43,77	46,98	50,89	53,67
40	51,81	55,76	59,34	63,69	66,77
50	63,17	67,50	71,42	76,15	79,49
60	74,40	79,08	83,30	88,38	91,95
70	85,53	90,53	95,02	100,43	104,21
80	96,58	101,88	106,63	112,33	116,32
90	107,57	113,15	118,14	124,12	128,30
100	118,50	124,34	129,56	135,81	140,17

