

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA LA
EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE UNA RED INALÁMBRICA
(WLAN 802.11b)**

**MARIA JULIANA ALVAREZ CASANOVA
ADRIANA PATRICIA FLÓREZ ZAMBRANO
YESID ALEXANDER RODRIGUEZ ANAYA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2004**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA LA
EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE UNA RED INALÁMBRICA
(WLAN 802.11b)**

**MARIA JULIANA ALVAREZ CASANOVA
ADRIANA PATRICIA FLÓREZ ZAMBRANO
YESID ALEXANDER RODRIGUEZ ANAYA**

Este proyecto es presentado como requisito para optar al título de Ingeniero
Electrónico

**Director
PHD. OSCAR GUALDRÓN GONZÁLEZ
Codirector
MI (c). SAMUEL GONZALO PINZÓN BARRIOS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2004**

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento y reconocimiento a :

Nuestras familias por su apoyo incondicional.

Doctor Oscar Guadrón Gonzáles, director del proyecto y al Ingeniero Samuel Gonzalo Pinzón, codirector del proyecto, por su orientación y colaboración.

La Especialización en Telecomunicaciones.

La Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

La Universidad Industrial de Santander.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	19
1. FUNDAMENTOS SOBRE REDES INALÁMBRICAS – WLAN 802.11 b	21
1.1 CONCEPTOS GENERALES	21
1.2 ESTÁNDAR 802.11b	22
1.3 DESEMPEÑO DE UNA WLAN	24
1.3.1 Estadísticas del desempeño de la Red (Consideraciones)	24
1.3.2 Técnicas de medición para el desempeño de una Red	26
1.3.3 Mediciones para evaluar el desempeño de una Red	28
2. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN	30
2.1 PARÁMETROS DE MEDICIÓN	30
2.2 TIPO Y TAMAÑO DE PAQUETE	30
2.3 CARACTERIZACIÓN DEL LUGAR	34
2.4 ESCENARIOS	36
2.5 PRUEBAS PROPUESTAS	39

2.5.1 RSSI	40
2.5.2 Throughput	41
2.5.3 Tasa de bits erróneos (BER)	44
2.5.4 Latencia y jitter	46
3 IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA	50
3.1 CONSIDERACIONES GENERALES	50
3.1.1 Herramienta Software	50
3.1.1.1 MGEN	51
3.1.1.2 Medición de Potencia	53
3.1.2 Entorno de prueba	54
3.1.3 Equipos de Prueba	55
3.2 CAMPAÑAS DE MEDIDA	58
3.2.1 Escenarios	58
3.2.2 Almacenamiento de resultados	64
4 RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACIÓN	66
4.1 RSSI – NIVEL DE INTENSIDAD DE SEÑAL RECIBIDA	66
4.2 THROUGHPUT	71
4.2.1 Escenarios con un solo usuario	71

4.2.2 Escenarios con dos usuarios	78
4.2.3 Escenarios con cuatro y ocho usuarios	86
4.3 TASA DE BITS PERDIDOS (BER)	93
4.3.1 Escenarios con un solo usuario	93
4.3.2 Escenarios con dos usuarios	95
4.3.3 Escenarios con cuatro y ocho usuarios	97
4.4 LATENCIA Y JITTER	100
5 CONCLUSIONES	104
6 RECOMENDACIONES	108
REFERENCIAS	109
BIBLIOGRAFÍA	112
ANEXOS	117

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Cuadro comparativo de los estándares 802.11	23
Tabla 2. Tasas máximas de transmisión según tamaño de paquete para redes Ethernet	32
Tabla 3. Tasas máximas de transmisión según tamaño de paquete para redes 802.11b	34
Tabla 4 .Matriz de herramientas software encontradas para realizar las pruebas	51
Tabla 5. Orden de resultados	52
Tabla 6. Características tarjetas utilizadas	57
Tabla 7. Número de pruebas por usuario	64

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Esquema general de una WLAN	21
Figura 2. Relación de Throughput teórico y tamaño de paquete	33
Figura 3. Ubicación de los adaptadores de usuario	38
Figura 4. Disposición de los adaptadores de usuario, con un usuario cercano	39
Figura 5. Disposición de los adaptadores, con un usuario lejano	39
Figura 6. Configuración de la prueba RSSI	41
Figura 7. Diagrama de flujo para la prueba RSSI	42
Figura 8. Configuración de la prueba del Throughput	42
Figura 9. Diagrama de flujo para la prueba de Throughput	44
Figura 10. Configuración de la prueba de BER	45
Figura 11. Diagrama de flujo para la prueba de BER	47
Figura 12. Configuración de la prueba de latencia y jitter	48
Figura 13. Diagrama de flujo para la prueba de latencia y jitter	49

Figura 14. Interfaz de Network Stumbler	53
Figura 15. Interfaz de administración de la tarjeta	54
Figura 16. Interfaz de supervisión de la tarjeta Lucent/Orinoco	54
Figura 17. Interfaz gráfica tarjeta 3COM	55
Figura 18. Plano físico del lugar de pruebas	56
Figura 19. Tarjetas utilizadas en la Implementación de la metodología	56
Figura 20. Plano físico del lugar de la prueba	58
Figura 21. Ubicación para un solo usuario	59
Figura 22. Distribuciones para dos usuarios, primera parte	60
Figura 23. Distribuciones para dos usuarios, segunda parte	61
Figura 24. Distribuciones para dos usuarios, tercera parte	62
Figura 25. Distribuciones para cuatro usuarios	63
Figura 26. Distribuciones para ocho usuarios	63
Figura 27. Modelo relacional utilizado en la base de datos en el entorno DBDesigner	65
Figura 28. Nivel de intensidad, tarjeta d'link, dos dimensiones	67
Figura 29. Relación señal a ruido, tarjeta d'link, dos dimensiones	67
Figura 30. Nivel de intensidad, tarjeta 3com, dos dimensiones	68
Figura 31. Relación señal a ruido, tarjeta 3com, dos dimensiones	68

Figura 32. Nivel de intensidad, tarjeta Lucent/ Orinoco, dos dimensiones	68
Figura 33. Relación señal a ruido, tarjeta Lucent/Orinoco, dos dimensiones	69
Figura 34. Posiciones en línea recta con el punto de acceso	70
Figura 35. Relación señal a ruido	72
Figura 36. Throughput, tarjeta d´link, un usuario, para 64 y 128 Bytes	72
Figura 37. Throughput, tarjeta d´link, un usuario, para 256 y 512 Bytes	72
Figura 38. Throughput, tarjeta d´link, un usuario, para 1024 y 1280 Bytes	72
Figura 39. Throughput, tarjeta d´link, un usuario, para 1472 Bytes	73
Figura 40. Throughput, tarjeta 3com, un usuario, para 64 y 128 Bytes	73
Figura 41. Throughput, tarjeta 3com, un usuario, para 256 y 512 Bytes	73
Figura 42. Throughput, tarjeta 3com, un usuario, para 1024 y 1280 Bytes	74
Figura 43. Throughput, tarjeta 3com, un usuario, para 1472 Bytes	74
Figura 44. Throughput, tarjeta Orinoco, un usuario, para 64 y 128 Bytes	74
Figura 45. Throughput, tarjeta Orinoco, un usuario, para 256 y 512 Bytes	75
Figura 46. Throughput, tarjeta Orinoco, un usuario, para 1024 y 1280 Bytes	75
Figura 47. Throughput, tarjeta Orinoco, un usuario, para 1472 Bytes	75

Figura 48. Distribución de throughput en el plano, tarjeta D´link	76
Figura 49. Distribución de throughput en el plano, tarjeta 3com	76
Figura 50. Distribución de throughput en el plano, Orinoco	77
Figura 51. Promedio de Throughput vs tamaño de paquete para todas las tarjetas	78
Figura 52. Throughput, tarjeta D´link, dos usuarios para 64 y 128 Bytes	79
Figura 53. Throughput, tarjeta D´link, dos usuarios para 256 y 512 Bytes	79
Figura 54. Throughput, tarjeta D´link, dos usuarios para 1024 y 1280 Bytes	80
Figura 55. Throughput, tarjeta D´link, dos usuarios para 1472 Bytes	80
Figura 56. Throughput, tarjeta 3com, dos usuarios para 64 y 128 Bytes	80
Figura 57. Throughput, tarjeta 3com, dos usuarios para 256 y 512 Bytes	81
Figura 58. Throughput, tarjeta 3com, dos usuarios para 1024 y 1280 Bytes	81
Figura 59. Throughput, tarjeta 3com, dos usuarios para 1472 Bytes	81
Figura 60. Throughput, tarjeta Orinoco, dos usuarios para 64 y 128 Bytes	82
Figura 61. Throughput, tarjeta Orinoco, dos usuarios para 256 y 512 Bytes	82
Figura 62. Throughput, tarjeta Orinoco, dos usuarios para 1024 y 1280 Bytes	82
Figura 63. Throughput, tarjeta Orinoco, dos usuarios para 1472 Bytes	83

Figura 64. Throughput, tarjeta D´link, dos usuarios para 64 y 512 Bytes	84
Figura 65. Throughput, tarjeta D´link, dos usuarios para 1024 Bytes	84
Figura 66. Throughput, tarjeta 3Com, dos usuarios para 64 y 512 Bytes	84
Figura 67. Throughput, tarjeta 3 Com, dos usuarios para 1472 Bytes	85
Figura 68. Throughput, tarjeta Orinoco, dos usuarios para 64 y 512 Bytes	85
Figura 69. Throughput, tarjeta Orinoco, dos usuarios para 1473 Bytes	85
Figura 70. Throughput, cuatro usuarios, para 64 y 128 Bytes	86
Figura 71. Throughput, cuatro usuarios, para 256 y 512 Bytes	87
Figura 72. Throughput, cuatro usuarios, para 1024 y 1280 Bytes	87
Figura 73. Throughput, cuatro usuarios, para 1472 Bytes	87
Figura 74. Throughput, ocho usuarios, para 64 y 128 Bytes	88
Figura 75. Throughput, ocho usuarios, para 256 y 512 Bytes	89
Figura 76. Throughput, ocho usuarios, para 1024 1280 Bytes	89
Figura 77. Throughput, ocho usuarios, para 1472	89
Figura 78. Variación del throughput con respecto al número de usuarios	90
Figura 79. Disminución de la tasa de throughput en relación con relación a un solo usuario	91
Figura 80. Throughput esperado vs. throughput experimental	92

Figura 81. BER tarjetas, D´link, 3COM, y Orinoco un usuario, para 64 y 1472	94
Figura 82. BER tarjetas, D´Link, 3COM, y Orinoco un usuario, en relación al SNR	95
Figura 83 BER tarjeta, D´Link, dos usuarios por escenarios, para 64 y 1472 Bytes	96
Figura 84. BER tarjeta, 3COM, dos usuarios por escenarios, para 64 y 1472 Bytes	96
Figura 85. BER tarjeta, Orinoco, dos usuarios por escenarios, para 64 y 1472 Bytes	96
Figura 86. BER, todas la tarjetas, cuatro usuarios, para 64 Bytes	98
Figura 87. BER, todas la tarjetas, cuatro usuarios, para 1472 Bytes	98
Figura 88. BER, todas la tarjetas, ocho usuarios, a 64 bytes y 633 pps	99
Figura 89 ER, todas la tarjetas, ocho usuarios, a 1472 bytes y 251 pps	99
Figura 90. Porcentaje promedio de variación según número de usuarios	100
Figura 91. Latencia y Jitter, tarjeta D` link, multiples usuarios, con respecto al tamaño del paquete	101
Figura 92. Latencia y Jitter, tarjeta 3COM, multiples usuarios, con respecto al tamaño del paquete	102
Figura 93. Latencia y Jitter, tarjeta Orinoco, multiples usuarios, con respecto al tamaño del paquete	102

LISTA DE ANEXOS

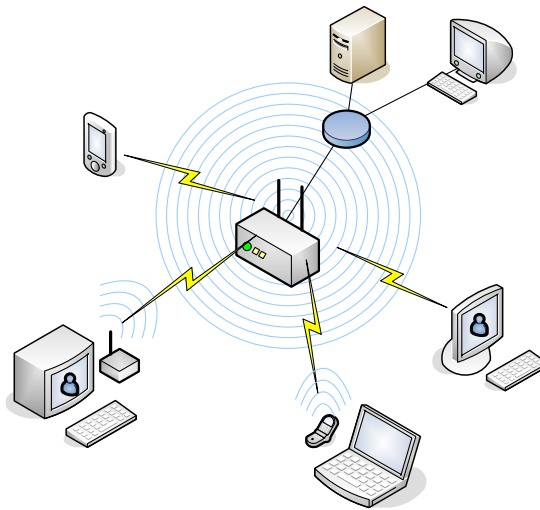
	Pág
ANEXO A. Consideraciones de la metodología	117
ANEXO B. Especificaciones de los equipos utilizados	135
ANEXO C. Base de datos	142
ANEXO D. Consideraciones del enlace	153
ANEXO E. Gráficas complementarias	161

1. FUNDAMENTOS SOBRE REDES INALÁMBRICAS – WLAN 802.11b

1.1 CONCEPTOS GENERALES

Una red de área local inalámbrica (WLAN¹) es un sistema flexible de comunicación de datos implementado como una extensión o alternativa para una LAN cableada. Usando tecnología de radio frecuencia (RF), una WLAN transmite y recibe datos por el aire, minimizando la necesidad de conexiones cableadas, de este modo, la tecnología LAN inalámbrica combina conectividad de datos con movilidad de usuarios.

Figura 1. Esquema general de una WLAN



Una red de área local (WLAN) generalmente consiste en un Punto de Acceso (AP, Access Point) que conecta una red cableada y un dispositivo remoto (cliente) a través de un enlace inalámbrico [1]. El comité IEEE 802.11 ha

¹ WLAN. *Wireless Local Area Network*. En este documento se tratará de forma indiferente el término WLAN y red local inalámbrica.

desarrollado un conjunto de especificaciones para redes WLAN. Aunque algunas de éstas especificaciones y de la terminología son típicas del estándar y no se reflejan en los productos comerciales, es importante familiarizarse con él.

El estándar IEEE 802.11 define varias tasas de capa física para diferentes tipos de WLANs, tales como 1, 2, 5.5 y 11 Mbps para 802.11b. Las tasas para 802.11a y 802.11g incluyen 6, 9, 18, 24, 36, 48 y 54 Mbps. En la tabla 1 se presenta un cuadro comparativo entre los diferentes protocolos y sus principales características.

1.2 ESTÁNDAR 802.11b

La frecuencia de operación que utiliza éste estándar es de 2.4 GHz, con una tasa máxima de transmisión de 11 Mbps. Se cuenta con 3 canales que no se sobreponen y se puede tener cerca de 32 estaciones por cada punto de acceso. El protocolo 802.11b está basado en DSSS² (*Direct Sequence Spread Spectrum*) como técnica de modulación. En la mayoría de los casos es la alternativa más económica y se recomienda usarlo en espacios donde se espera que no cambie la densidad de la red y la tasa de transmisión resulte adecuada, en sitios donde el rango de transmisión sea una prioridad y donde se requieran características de desempeño moderadas.

² Esta técnica de modulación pertenece a la tecnología de espectro expandido, generando un patrón de bits redundantes (chip) por cada bit a ser transmitido.

Tabla 1. Cuadro comparativo de los estándares 802.11

	Número de canales	Modulación	Banda de Frecuencia	Tasa máxima de enlace	Tasa máxima TCP	Tasa máxima UDP
802.11b	3	CCK ³	2.4 GHz	11Mbps	5.9 Mbps	7.1 Mbps
802.11g (con 11b)	3	OFDM ⁴ /CCK	2.4 GHz	54 Mbps	14.4 Mbps	19.5 Mbps
802.11g (11g único modo)	3	OFDM/CCK	2.4GHz	54 Mbps	24.4 Mbps	30.5 Mbps
802.11a	19 ⁵	OFDM	5 GHz	54 Mbps	24.4 Mbps	30.5 Mbps
802.11a Turbo	6	OFDM	5 GHz	108 Mbps	42.9 Mbps	54.8 Mbps

Las LANs inalámbricas aparte de cumplir con las especificaciones normales de cualquier LAN también deben considerar ciertos factores que son propios del entorno de las redes inalámbricas. Entre ellos están rango o área de cobertura, *throughput*, integridad de los datos, confiabilidad, compatibilidad con las redes existentes, operabilidad entre los dispositivos inalámbricos, interferencia y coexistencia, licencias pertinentes, facilidad de uso, seguridad, costo y escalabilidad.

³ Complementary Code Keying, técnica de codificación que trabaja a 11MHz.

⁴ Técnica de multicanalización por división de frecuencias ortogonales.

⁵ 13 canales no se traslapan en los Estados Unidos y hasta 19 canales no se traslapan en Europa dependiendo de las regulaciones locales.

1.3 DESEMPEÑO DE UNA WLAN

1.3.1 Estadísticas del desempeño de la Red (Consideraciones).

Generalmente las estadísticas que se usan para evaluar el desempeño de una LAN inalámbrica, son iguales a las utilizadas en redes cableadas; lo cual consiste en realizar una serie de campañas de medición de diversos parámetros, luego su tabulación y posteriormente su evaluación.

Dentro de éstos parámetros, los más representativos son:

- Retardo: Latencia y RTT (Round Trip Time)
- *Throughput*
- Ancho de banda
- Tasa de error: BER y PER
- Variación de retardo o *JITTER*

Retardo: Latencia y RRT (Round Trip Time). El retardo puede ser medido de diferentes formas, tal como el tiempo que demora un paquete en viajar entre un host a otro, el tiempo requerido en transmitir un paquete y recibir el acuse de recibo u otro tiempo de retardo. Sin embargo, el término "latencia" es usado para medir el retardo experimentado por los datos cuando viajan de un host a otro. Otro término asociado con el retardo, es el *Round Trip Time* (RTT) que es el tiempo que demora un paquete en ir hasta el host destino y regresar al host emisor.

La importancia de las mediciones de retardo para evaluar el desempeño de una determinada red se centra en la aplicaciones sensibles al tiempo, como video y

audio, para las cuales se debe garantizar un nivel de máximo de retardo para su correcto funcionamiento⁶. La latencia y el *Round Trip Time* son medidos típicamente en milisegundos.

Throughput. El *throughput* hace referencia a la máxima cantidad de datos (en bits) que pueden ser enviados entre un usuario y otro. Sin embargo, éste puede variar en una misma conexión de red dependiendo del protocolo usado para la transmisión (TCP o UDP) y el tipo de datos de tráfico (HTTP, FTP, etc.).

Generalmente el *throughput* es medido empleando el protocolo de la capa más alta posible para reflejar el desempeño experimentado por el usuario; y para su cálculo sólo se tiene en cuenta la carga efectiva del paquete, es decir no se tienen en cuenta las cabeceras ni las sumas de comprobación. Se mide en Kilobits por segundo ó Megabits por segundo.

Ancho de banda. El ancho de banda es la tasa máxima de datos que pueden ser transmitidos sobre una conexión de red. A diferencia del *throughput* el cálculo del ancho de banda tiene en cuenta todas las cabeceras y las sumas de comprobación. De ésta forma, el ancho de banda de una conexión de red es siempre mayor que la medida de *throughput* de la conexión.

Tasa de error. Aunque las actuales conexiones LAN cableadas tienen tasas de error del orden de 10^{-6} a 10^{-14} lo cual es insignificante, para las LAN inalámbricas es interesante conocer la tasa de errores de la conexión debido a su naturaleza.

Existen dos términos cuando se habla de tasa de error, el BER (*Bit Error Rate*) y el PER (*Packet Error Rate*). El BER es el porcentaje de bits que son erróneos

⁶ Para mayor información revisar CRUZ PATIÑO, Héctor Raúl. Análisis y modelado de mecanismos para la implementación de redes con calidad de servicio. Tesis de Maestría, Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones. CICESE, Agosto 2001

o recibidos incorrectamente por el receptor⁷, y el PER es el porcentaje de paquetes que son erróneos o recibidos incorrectamente por el receptor.

Variación de retardo o *jitter*. La variación de retardo o *jitter* es una importante medida del desempeño de una red en general, especialmente para aplicaciones sensibles al tiempo. El *jitter* se define como el tiempo promedio de variación de salida o llegada de un paquete. Se mide en milisegundos o en la escala apropiada.

1.3.2 Técnicas de medición para el desempeño de una Red. Existen muchas técnicas y herramientas software disponibles para medir el desempeño de una LAN inalámbrica 802.11b de la misma forma que se hace en una red cableada. Sin embargo, en cuanto a las mediciones en redes inalámbricas muy pocos métodos han sido implementados y aún no se cuenta con una metodología propuesta por una organización internacional, para tal fin.

La mayoría de los métodos empleados para las mediciones se caracterizan por hacer evaluaciones de la conexión entre hosts enviando algún patrón de tráfico para luego realizar su valoración; obviamente dichas mediciones, se repiten varias veces y luego se promedian para mejorar su aproximación. Algunas de éstas técnicas, se presentan a continuación:

Software basado en línea de comandos UNIX. En éste método se emplean comandos basados en el Sistema Operativo UNIX que permiten un rápido diagnóstico del enlace, pero limitan la posibilidad de una evaluación rigurosa. Algunos ejemplos de estos comandos son *ping* y *TTCP*.

Ping es un simple programa que permite al usuario enviar paquetes a un host

⁷ El cálculo del BER puede ser hecho utilizando sólo la carga efectiva de datos o incluyendo todas las cabeceras y sumas de comprobación.

específico y esperar su respuesta; permite al usuario controlar el tamaño del paquete y el número de paquetes a enviar. Sin embargo, la exactitud de su respuesta es muy baja (del orden de 1 milisegundo para la latencia). *Ping* tiene la ventaja de no requerir una segunda aplicación para que el host destino responda, dado que esto se hace gracias al Sistema Operativo. Por otra parte *TTCP* envía paquetes de un host a otro, y le permite al usuario definir el tipo de protocolo de transmisión, TCP o UDP, y medir la latencia y el *throughput* de la conexión de red.

Transferencia de archivos usando FTP. Un método sencillo para medir el *throughput* de la conexión se hace gracias al protocolo de transferencia de archivos – FTP. En ésta técnica, un archivo de un tamaño determinado es enviado de un host a otro, y el tiempo que demora su total transmisión, es utilizado para calcular el *throughput*. Aunque parezca sencillo, ésta técnica no permite tener mediciones reales de *throughput*, dado que su medición es muy optimista por las características del tráfico FTP, el cual es muy diferente a otras aplicaciones comunes en la red; además, no permite tomar mediciones de retardos.

Software especializado de medición. En la actualidad existen diferentes herramientas software que permiten realizar mediciones sobre una red. La mayoría de herramientas permiten enviar paquetes de un host a otro, permitiendo variar el tipo de protocolo de transmisión, TCP o UDP, el tamaño del paquete, y en algunas ocasiones la tasa de transferencia. Algunos ejemplos de éstas aplicaciones son: Chariot⁸, MGEN⁹, Netperf¹⁰, entre otros.

⁸ Chariot, evalúa el desempeño de red <http://www.netiq.com/products/chr/default.asp>

⁹ MGEN, Multigenerador, para mayor información http://tang.itd.nrl.navy.mil/5522/mgen/mgen_index.html

¹⁰ Más información de este software en <http://www.netperf.org/netperf/NetperfPage.html>

1.3.3 Mediciones para evaluar el desempeño de una Red. A continuación se presentan algunos de los trabajos más representativos desarrollados en torno al desempeño y medición de LANs inalámbricas.

Correlación del BER y throughput [2]. Maeda, Takaya y Kuwabara publicaron un estudio de mediciones para predecir el desempeño de LANs inalámbricas. Éste se basó en una técnica conocida con el nombre de *ray-tracing* y se realizó sobre un ambiente altamente controlado que generó resultados sobre la correlación existente entre el *throughput* y el BER.

Mediciones del desempeño de LAN inalámbricas [3][4]. Xylomenos y Polyzos estudian el desempeño de paquetes UDP o TCP sobre diferentes conexiones en redes inalámbricas. La investigación se centra en las limitaciones del *throughput* causado por el software de implementación y el Sistema Operativo. Las mediciones se hicieron bajo LINUX con los comandos *ttcp*, *tcpdump* y *nstat*. Los resultados permitieron generar algunas recomendaciones para mejorar el desempeño bajo sistemas operativos LINUX.

Mediciones del desempeño de LAN inalámbricas [5]. Bing presenta resultados de mediciones del desempeño de una LAN inalámbrica IEEE 802.11b. En éste trabajo se presentan mediciones del retardo y *throughput* para varias configuraciones de la red. Las mediciones fueron hechas en una edificación en construcción.

Mediciones del *throughput* en una habitación [6]. Duchamp y Reynolds presentan resultados de las mediciones del *throughput* vs. distancia en un único cuarto. Los resultados no muestran un modelo de predicción según las mediciones tomadas, y no se consideran usuarios múltiples, sólo se centran en la estimación del rango de potencia de una LAN inalámbrica en un ambiente cercano de espacio libre.

Causas de la variación del throughput para redes IEEE 802.11 [7].

Demir, Komar y Ersoy comparan los efectos de diferentes factores sobre redes inalámbricas 802.11, 2 Mbps DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum), midiendo el throughput. Los autores midieron el throughput mediante la transferencia de archivos por FTP y reportaron el porcentaje de intensidad recibida por cada tarjeta WLAN, para 1, 2 y 3 usuarios simultáneos. Los autores concluyen que el número de usuarios simultáneos tienen el mayor efecto sobre el *throughput* comparado con un único usuario.

Detalles del desempeño de LAN inalámbricas [8].

Prasad, Kamerman, Moelard y Eikelenboom revisan principalmente factores importantes en el desarrollo de LANs inalámbricas, incluyendo una revisión del estándar IEEE 802.11, modelos de propagación *indoor* y la interferencia y coexistencia de diferentes redes inalámbricas. Los autores muestran resultados de mediciones del throughput y la intensidad de señal recibida, concluyendo que cuando se tiene una señal de -85 dBm el throughput cae a 4.8 Mbps, y se acerca a cero en -97 dBm.

Mediciones en LANs inalámbricas con múltiples usuarios [9].

Kamermam y Aben midieron el *throughput* para una red inalámbrica utilizando el software Chariot, el cual fue configurado para transmitir paquetes TCP. Éstas mediciones se hicieron para 1, 3 y 5 usuarios simultáneamente y luego fueron comparados sus resultados. Los autores determinaron tasas de 0.82, 1.52, 3.41 y 5.17 Mbps para anchos de banda de 1, 2, 5.5 y 11 Mbps.

2. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

En éste capítulo se expondrá la metodología propuesta para la evaluación de redes inalámbricas la cual comprende los parámetros principales de medición, el tamaño y el tipo de paquetes para el envío de tráfico, y las tasas máximas teóricas de transmisión. Además se da recomendaciones sobre la caracterización del lugar, los ambientes empleados en redes inalámbricas y finalmente se proponen diferentes escenarios para la ubicación de los usuarios o clientes de la red.

2.1 PARÁMETROS DE MEDICIÓN

Como se mencionó en el capítulo anterior¹¹ los parámetros básicos para la evaluación de la red inalámbrica, corresponde en su mayoría a los empleados en redes cableadas. Entre éstos parámetros se considera de manera primordial el *throughput*, por ser la máxima tasa de datos real que se pueden enviar por el enlace, la tasa de bits erróneos (BER), la latencia y el *jitter*, que se relaciona con los retardos, y los valores de potencia, ya sea con el nivel de intensidad de potencia recibida (RSSI¹²) ó con la relación señal a ruido (SNR).

2.2 TIPO Y TAMAÑO DEL PAQUETE

Con el objetivo de obtener resultados confiables y satisfactorios, es de rigor

¹¹ Ver sección 1.3.1. Estadísticas del desempeño de la red

¹² RSSI (*Received Signal Strength Indicator*). De aquí en adelante se utilizará el término RSSI para indicar ésta definición.

tener en cuenta el tipo de protocolo a utilizar y el tamaño de los paquetes para la evaluación. Sobre la capa de interredes en el modelo TCP/IP se encuentran los protocolos de transporte, en los que encontramos el protocolo de control de transmisión TCP, el cuál es un protocolo confiable, orientado a conexión y el protocolo de datagramas de usuario UDP, que es un protocolo no orientado a conexión, no confiable, sin asignación de secuencia ni control de flujo.

Como es de interés principal la medición de la tasa de *throughput*, ya que es un factor relevante de la carga efectiva enviada se debe analizar el comportamiento de estos dos protocolos sobre redes WLAN, para decidir con cual realizar las campañas de medición. George Xylomenos y Goerge C. Polyzos, en su documento "TCP and UDP Performance over a Wireless LAN" [4], muestran resultados en la medición de la tasa de *throughput* de estos dos protocolos sobre el sistema operativo Linux a diferentes tamaños de paquete; el protocolo de datagramas UDP presentan mejores resultados que TCP, puesto que al ser no confiable del tipo *best-effort* ó del mejor esfuerzo es un protocolo que no necesita confirmaciones de mensajes. Además, UDP depende menos de la velocidad de procesamiento de la máquina y de la implementación, que en el caso de TCP. Por éstas razones, para la metodología propuesta se establece que las medidas de *throughput* se deben hacer bajo el protocolo de transporte de datagramas de usuario (UDP).

Por otra parte, como es propósito de la metodología evaluar la variación de los diferentes parámetros con respecto al tamaño de los paquetes, se eligieron longitudes de paquetes estándar [10], trabajados en otros estudios, y que comprenden del menor tamaño al máximo posible para transmisiones UDP en 802.11b. Ésta metodología especifica la utilización de tamaños de 64, 128, 256, 512, 1024, 1280 y 1472 Bytes. Cada tamaño tiene relacionada una tasa máxima teórica según la velocidad de transmisión, en el caso de 802.11b es de 11Mbps, para realizar éste cálculo se tiene en cuenta los bits del preámbulo (64bits), de las direcciones de fuente y destino (96 bits), el tipo de campo (16

bits), la suma de comprobación (32 bits) y el tiempo de *interframe* el cual equivale a mas o menos 96 bits; teniendo en cuenta estos bits de cabecera se puede calcular la tasa máxima de paquetes ó *frames* y la tasa de bits teórica para cada tamaño de paquete. Estos valores se relacionan a continuación, en la tabla 2¹³.

Tabla 2. Tasas máximas de transmisión según tamaño de paquete para redes Ethernet

Tamaño del frame	Máximo Frames/sec	Máximo campo de Mbps
64	13480,392	6,901
128	8283,132	8,484
256	4676,870	9,578
512	2500,000	10,240
1024	1294,726	10,606
1280	1043,247	10,682
1472	910,596	10,723

Sin embargo, según estudios realizados, los 11Mbps a los que el estándar IEEE 802.11b hace referencia nunca son alcanzados realmente, pues esta tasa equivale sólo a la tasa de transmisión del enlace de radio. El *throughput* ofrecido por los proveedores de dicho estándar es bastante diferente y la eficiencia disminuye para tamaños de paquetes pequeños. Para la realización del cálculo de la tasa de *throughput* para cada tamaño de paquete se consideraron los estudios realizados por Jun et al.[11], donde se calcula la máxima tasa teórica de *throughput* para redes 802.11.

Para el cálculo de éstas tasas se define un límite superior de *throughput* llamado Máximo Throughput Teórico (TMT), para 802.11 es definido como la

¹³ Para ese cálculo se asume que todos los datos enviados son recibidos y que nunca se presentan colisiones.

máxima cantidad de unidades de servicios de la capa de control de acceso al medio (MAC), en términos del modelo de referencia OSI [12]. En la capa más alta se encontrará un *throughput* menor, debido a la acumulación de las cabeceras de las diferentes capas. Según los autores del estudio, el máximo *throughput* observado es descrito por la siguiente ecuación, cuando no se involucra la fragmentación en la capa más baja:

$$TMT_{APP} = \frac{\beta}{\alpha + \beta} * TMT_{802.11} (bps) \quad (1)$$

Donde:

- * TMT_{APP} es el TMT de la capa de aplicación
- * α es la cabecera total sobre la capa MAC
- * β es el tamaño del datagrama de aplicación
- * $TMT_{802.11}$ es el TMT de la capa MAC

El cálculo de TMT asume condiciones ideales, en la que la tasa de errores de bits (BER) es cero, no se presentan pérdidas debido a colisiones y además se considera que no hay paquetes perdidos debido a desbordamiento del buffer en el nodo receptor y que la capa MAC no usa fragmentación, entre otras consideraciones.

La curva obtenida, según la ecuación 1 con valores característicos para una tasa de 11Mbps bajo el esquema HR-DSSS¹⁴, se muestra a continuación, así como los resultados obtenidos para los tamaños de paquete de interés, tabla 3. Donde x corresponde a el tamaño de paquete.

$$TMT(x) = \frac{8 * x}{0.72727 * x + 890.73} \quad (2)$$

¹⁴ High Rate/ Direct Sequence Spread Spectrum

Figura 2. Relación de throughput teórico y tamaño de paquete

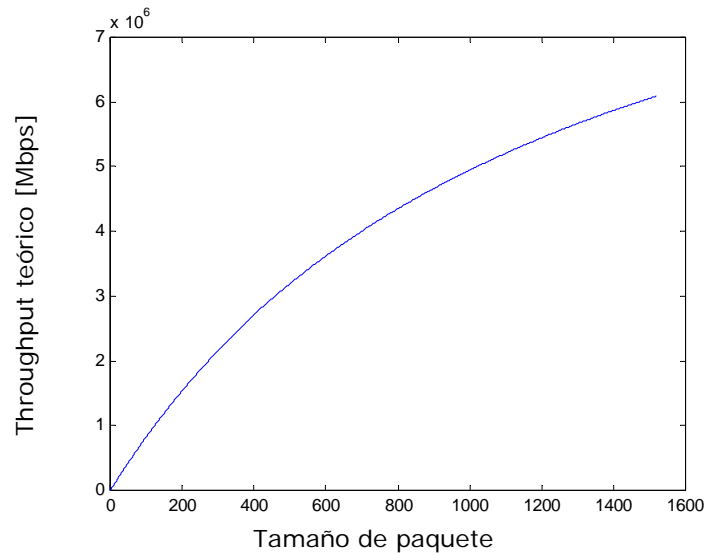


Tabla 3. Tasas máximas de transmisión [11] según tamaño de paquete para redes 802.11b

Tamaño de paquete	Máximo Frames/sec	Máximos Mbps
64	1066,91	0, 546
128	1015,62	1,040
256	928,222	1,901
512	791,503	3,242
1024	611,450	5,009
1280	548,925	5,621
1472	509,850	6,004

Es importante anotar que los cálculos realizados no hacen alusión al número de usuarios presentes dentro de la red, a la distancia, ni a la potencia del enlace.

2.3 CARACTERIZACIÓN DEL LUGAR

La selección y caracterización del lugar se hace por medio de los planos del recinto. Se selecciona un lugar para ubicar el Punto de Acceso; idealmente

éste deberá estar localizado en un lugar alto y libre de obstáculos intermedios, y se usará la misma localización para todas las pruebas.

Así mismo, se seleccionan los puntos de prueba para cada escenario en una variedad de localizaciones y distancias con referencia al Punto de Acceso. De modo que se realicen pruebas, de ser posible, en los tres ambientes que se propondrán más adelante cuando se traten los escenarios¹⁵. Además, se recomienda, que algunos de los puntos seleccionados se encuentren en los límites del área de prueba, y el punto más cercano se encuentre por encima de 1.60 metros de distancia al Punto de Acceso, debido a que algunos productos WLAN pueden producir bajas tasas de datos, en distancias menores a ésta.

Luego se selecciona un canal de prueba y se verifica que el ambiente de RF sobre el canal seleccionado esté limpio. Se puede usar un *sniffer*¹⁶ o un dispositivo de cliente para comprobar que no haya algún otro Punto de Acceso o red Ad-Hoc¹⁷ localizadas en el mismo canal a través del área de prueba. Para el estándar 802.11b y el 802.11g, significa que no haya canales traslapados.

El criterio clave al hacer las medidas es la repetibilidad, es decir que para cada producto bajo prueba, las localizaciones y el ambiente deben ser las mismas. Se recomienda, que de acuerdo a la disponibilidad de tiempo y del número de pruebas, en cada localización se realicen tres medidas haciendo pequeños cambios en la localización de la tarjeta para luego promediarlas reduciendo así

¹⁵ Ver sección 2.4

¹⁶ Herramienta Software que permite el monitoreo de red, permitiendo la captura de información destinada a otras máquinas.

¹⁷ Existen dos configuraciones de WLANs, la más básica, son dos o más PCs equipados con tarjetas inalámbricas, que se conectan, siempre que estén dentro del área una de la otra. Esto es llamado red peer-to-peer o ad-hoc. La otra es en modo infraestructura e involucra la instalación de un Punto de Acceso, el cual se puede conectar a una red cableada. La metodología propuesta asume una red en modo infraestructura, por ser la configuración mas común.

los efectos de *fading*¹⁸.

2.4 ESCENARIOS

Se deben crear escenarios propios de una red inalámbrica para la realización de las pruebas, según las posibles configuraciones que podría tener la red en lo que se refiere a número de usuarios y marca de tarjetas que se van a evaluar.

En redes inalámbricas la tasa de transmisión depende drásticamente del ambiente en que se encuentren los equipos, así como de la distancia de los mismos al Punto de Acceso. La presencia de personas, los objetos que se puedan considerar como obstrucción y la construcción en sí misma, también van a determinar su comportamiento. Los ambientes para las redes inalámbricas usualmente son clasificados en 3 categorías [1], de acuerdo a las condiciones de la construcción por ser una de las causas que tiene más influencia en el comportamiento y en la cobertura de la red:

Outdoor: Se consideran ambientes *Outdoor* aquellos lugares de área extensa, donde se tiene línea de vista entre el punto de acceso y el cliente. Por ejemplo las áreas públicas, corredores largos, edificios abiertos y en general campos abiertos.

Oficina abierta: Se considera oficina abierta aquellos lugares donde se tiene línea de vista entre el punto de acceso y el cliente ya que ambos se encuentran en el mismo cuarto, y generalmente se encuentran algunas pocas interferencias como paredes falsas, cubículos de oficina y pequeños corredores.

¹⁸ Pérdidas de potencia debida al desvanecimiento de la señal

Oficina cerrada: Se considera oficina cerrada aquellos lugares donde no se tiene línea de vista directa, y por el contrario se cuenta con muchas obstrucciones entre el punto de acceso y el cliente (construcciones, varias paredes de concreto).¹⁹

Aunque la metodología no acoge estos ambientes como clasificación fundamental para la organización de los escenarios, sí son tomados en cuenta para la ubicación en general de los puntos del cliente y en el análisis de resultados. Los escenarios tienen como variables principales la cantidad de usuarios, su distancia con respecto al punto de acceso y como se mencionó anteriormente su ubicación en los ambientes.

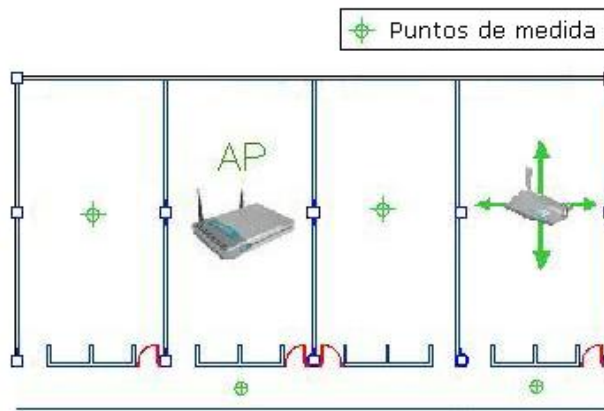
Las pruebas se inician con un solo usuario y se van incrementando en potencias de dos (1, 2, 4, 8...) o de alguna otra forma secuencial, hasta alcanzar el máximo número de tarjetas posibles de instalar²⁰. Se recomienda realizar las pruebas para un máximo de 8 usuarios para evitar jornadas tediosas en las campañas de medición.

Cuando se cuenta con un solo usuario, o cliente, este se desplaza alrededor de toda el área de cobertura, encontrándose a diferentes distancias del punto de acceso y bajo diferentes ambientes. El usuario se sitúa en cada uno de los recintos cerrados dentro del área de cobertura, alejándose cada vez más del punto de acceso. La tarjeta se ubica inicialmente en el medio del área y después en 4 puntos cardinales en relación a este primero y en línea recta con respecto al punto de acceso. Un ejemplo se muestra en la figura 3

¹⁹ Los ambientes oficina abierta y oficina cerrada corresponden con el término indoor, que hace referencia a la propagación dentro de edificios.

²⁰ Se debe aclarar que para cada configuración de usuarios el tráfico a emplear es de tipo unicast, teniendo un solo punto de acceso para todos los clientes.

Figura 3. Ubicación de los adaptadores de usuarios



Este usuario también debe desplazarse a través de los pasillos y demás áreas para experimentar las diferentes ubicaciones posibles y distancias con respecto al punto de acceso.

Al adicionar un segundo usuario en la red, se tomarán las medidas necesarias encontrándose los dos en el mismo recinto donde se encuentra el punto de acceso, en el lugar o recinto más alejado posible a éste y en varios puntos intermedios. Inicialmente se plantearon pruebas adicionales que implicaban proceder de la siguiente manera: dejar uno de los usuarios cerca al punto de acceso mientras que el otro va desplazándose a través de salones y pasillos progresivamente hasta llegar al punto(s) más lejano(s), ver Figura 4. El usuario que inicialmente había permanecido cerca del punto de acceso empieza a moverse hasta llegar hasta el lugar más lejano, Figura 5. Sin embargo, después de analizar los resultados, como se muestra el en capítulo 4²¹ éstas pruebas se pueden obviar para la evaluación.

Se debe tomar en cuenta los puntos medios, tanto dentro de los recintos como por pasillos y demás estancias. En todos estos sitios también se deben probar diferentes ubicaciones, según la infraestructura, de tal manera que se acoja al

²¹ Sección 4.2.2

modelo anteriormente descrito.

Figura 4. Disposición de los adaptadores de usuarios, con un usuario cercano

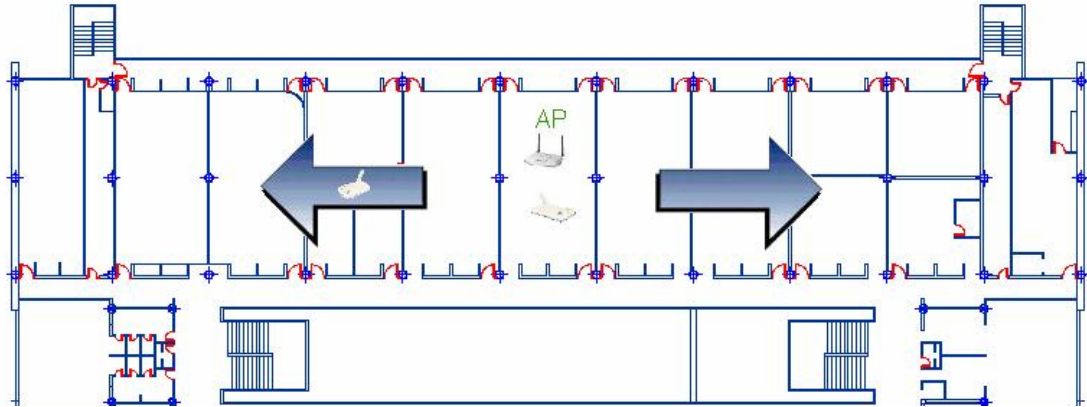
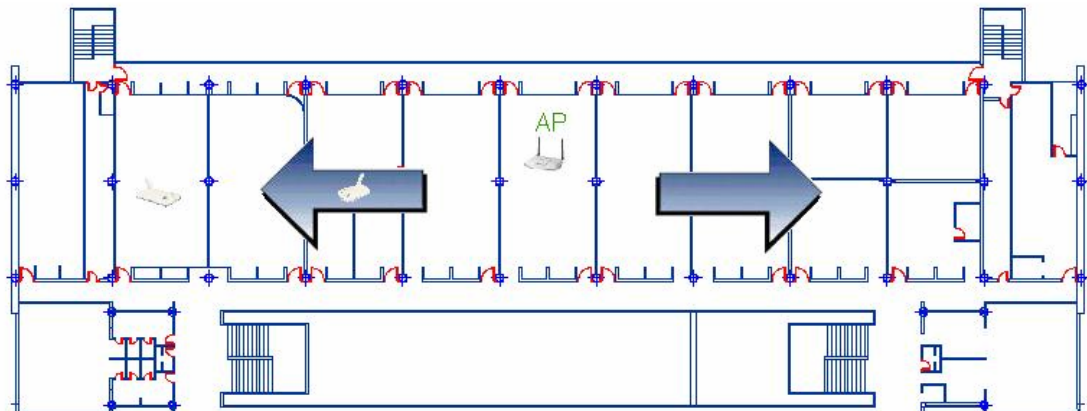


Figura 5. Disposición de los adaptadores de usuario, con un usuario lejano



Cuando se cuenta con 4 o más usuarios estos se deben posicionar nuevamente en el lugar más cercano y el más lejano al punto de acceso, y se deben distribuir a lo largo de toda el área, incluyendo ubicaciones en diferentes ambientes para una misma prueba. Es el caso de ubicar clientes tanto en recintos cerrados, como en pasillos y demás instancias del área.

2.5 PRUEBAS PROPUESTAS

A continuación se presentan los parámetros a medir según la metodología

propuesta, el propósito de la misma y una pequeña descripción. Se debe considerar que éstas pruebas deben realizarse para cada uno de los tamaños previstos y escenarios dados.

2.5.1 RSSI

Propósito Ésta prueba mide el nivel de intensidad de señal y la relación señal a ruido para diferentes escenarios.

Descripción Con una estación cliente conectada por medio inalámbrico al punto de acceso, se registra el nivel de señal y nivel de ruido presente en el adaptador WLAN.

Configuración Una representación esquemática de la prueba de RSSI se muestra en la Figura 6.

Procedimiento

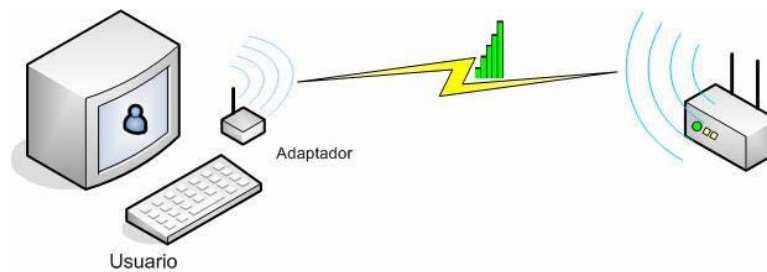
- Para cada adaptador o tarjeta WLAN, se ubica ésta en el lugar donde se desea registrar el RSSI y con la herramienta software se registra el nivel de señal y el nivel de ruido (SNR) que se está recibiendo del Punto de acceso.

- Se realiza la prueba para cuatro localizaciones más alrededor del punto de prueba en los cuatro puntos cardinales, desplazando la tarjeta una distancia aproximada de 15 centímetros²².

- Se realiza el mismo procedimiento para diferentes posiciones y número de obstrucciones.

²² Distancia cercana a la longitud de onda para la banda de frecuencia de 2.4GHz, que es aproximadamente 12 centímetros.

Figura 6. Configuración de la prueba RSSI



Variables

- Distancia
- Número de obstrucciones

Resultados Se calcula el promedio de RSSI y SNR de las cinco medidas para cada una de las posiciones y se registra este valor de la relación señal a ruido. Se grafica el nivel de señal y la relación señal a ruido para cada tipo de tarjeta, dependiendo de la distancia al Punto de Acceso y de la ubicación en el plano.

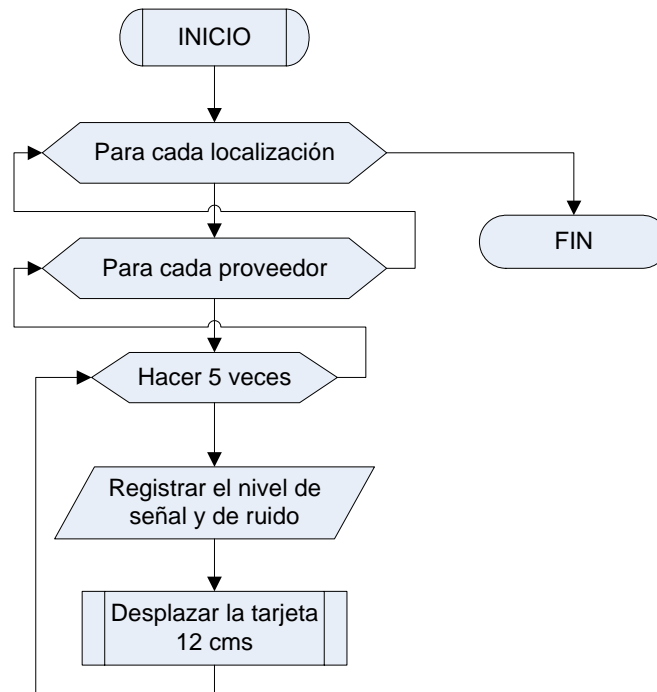
Diagrama de flujo El diagrama de flujo correspondiente a esta prueba se muestra en la Figura 7.

2.5.2 Throughput

Propósito Ésta prueba mide el *throughput* para diferentes escenarios.

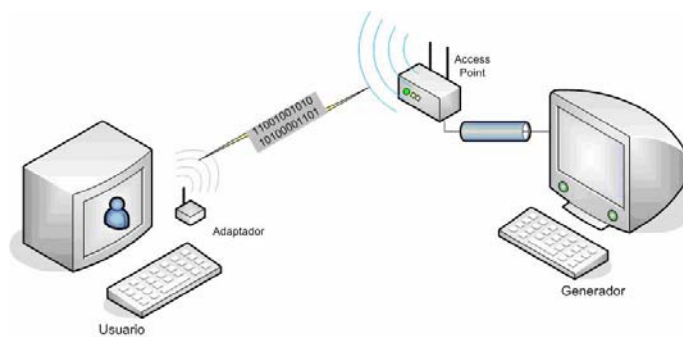
Descripción Se envía tráfico desde una estación generadora cableada que se conecta con el Punto de Acceso y se recibe con una estación por medio inalámbrico.

Figura 7. Diagrama de flujo para la prueba de RSSI



Configuración Una representación esquemática de la prueba de *throughput* se muestra en la Figura 8.

Figura 8. Configuración de la prueba del Throughput



Procedimiento

- Para cada tipo de tarjeta WLAN, se envía tráfico desde la estación cableada hacia una estación inalámbrica con la tasa máxima teórica de paquetes por segundo permitida por el estándar²³.
- Se mide el número de paquetes recibidos en la estación destino bajo prueba y se comprueba la pérdida comparándolo con el número de paquetes transmitidos.
- Si se presenta pérdida de paquetes, se reduce la tasa de envío en un 10%²⁴ y se repite la prueba. En el momento en que ocurran dos iteraciones consecutivas sin pérdida de paquetes, se toma como la tasa de *throughput* el valor más alto de la tasa entre estas dos iteraciones.
- Se realiza la prueba para los diferentes tamaños de paquete, número de usuarios y localizaciones.

Variables

- Número de usuarios.
- Tamaño del paquete.
- Distancia.

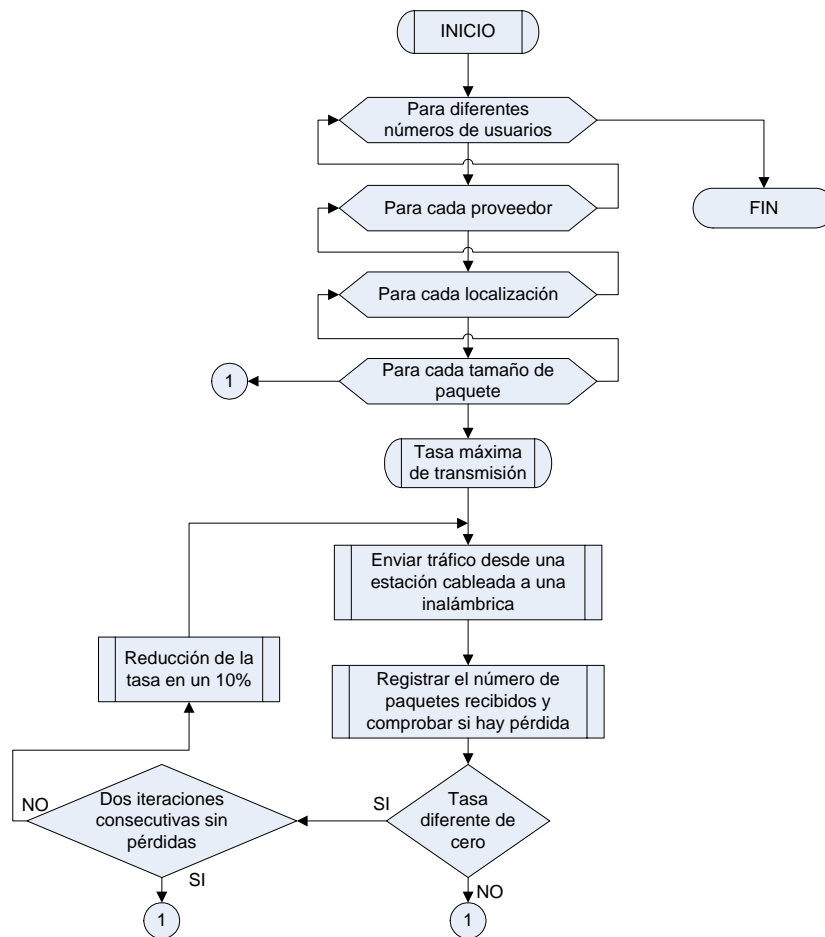
Resultados Para cada iteración, se registra el número de paquetes transmitidos y recibidos en cada estación. Para la tasa de *throughput*, se registra la tasa de paquetes y el porcentaje de la tasa máxima para los diferentes tamaños de paquete. Se grafican los resultados con respecto a la relación señal a ruido, para cada tamaño de paquete, y número de usuarios.

²³ Para conocer las tasas máximas teóricas revisar la Sección x.x.

²⁴ Se recomienda utilizar una granularidad del 10% como valor máximo.

Diagrama de flujo El diagrama de flujo correspondiente a esta prueba se muestra en la Figura 9.

Figura 9. Diagrama de flujo para la prueba de throughput



2.5.3 Tasa de bits erróneos (BER)

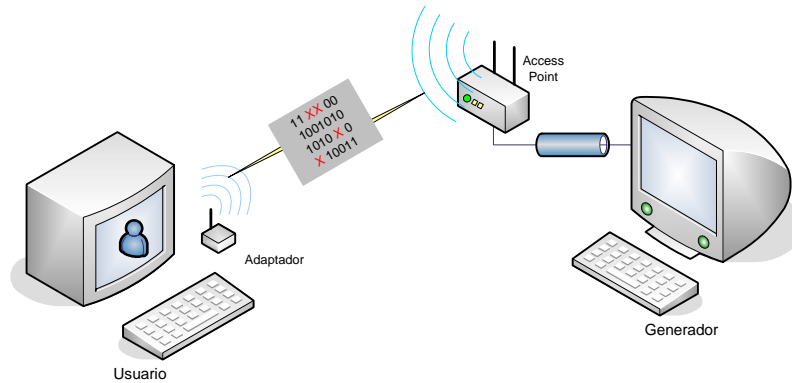
Propósito. Ésta prueba mide la tasa de bits erróneos (BER) para diferentes escenarios.

Descripción. Se envía tráfico desde una estación generadora de tráfico cableada que se conecta con el Punto de Acceso y se recibe con una estación

por medio inalámbrico.

Configuración. Una representación esquemática de la prueba de BER se muestra en la Figura 10.

Figura 10. Configuración de la prueba de BER



Procedimiento

- Se envía tráfico desde la estación cableada hacia una estación inalámbrica con la tasa máxima teórica de paquetes por segundo permitida por el estándar.
- Se mide el número de bits recibidos en la estación destino bajo prueba y se evalúan las pérdidas comparándolo con el número de bits transmitidos.
- Se reduce la tasa de envío en un 10% y se repite la prueba, hasta llegar al 10% de la tasa máxima teórica permitida.
- Se realiza la prueba para los diferentes tamaños de paquete, número de usuarios y localizaciones.

Variables

- Número de usuarios.
- Tamaño del paquete.
- Distancia.

Resultados Para cada iteración, se registra el número de paquetes transmitidos y recibidos en cada estación, así como el porcentaje de pérdidas en relación a la tasa máxima para los diferentes tamaños de paquete. Se grafican los resultados con respecto a la relación señal a ruido y/o distancia, para cada tamaño de paquete, y número de usuarios.

Diagrama de flujo El diagrama de flujo correspondiente a esta prueba se muestra en la Figura 11.

2.5.4 Latencia y *jitter*

Propósito En ésta prueba se miden los valores mínimo, máximo y promedio de latencia y *jitter*.

Descripción. Se envía tráfico desde una estación cableada fuente a una tasa para la cual no haya pérdidas a través del Punto de Acceso. Se mide la latencia y *jitter* mínimo, máximo y promedio.

Configuración. Una representación esquemática para la prueba de latencia se muestra en la Figura 12.

Figura 11. Diagrama de flujo para la prueba de BER

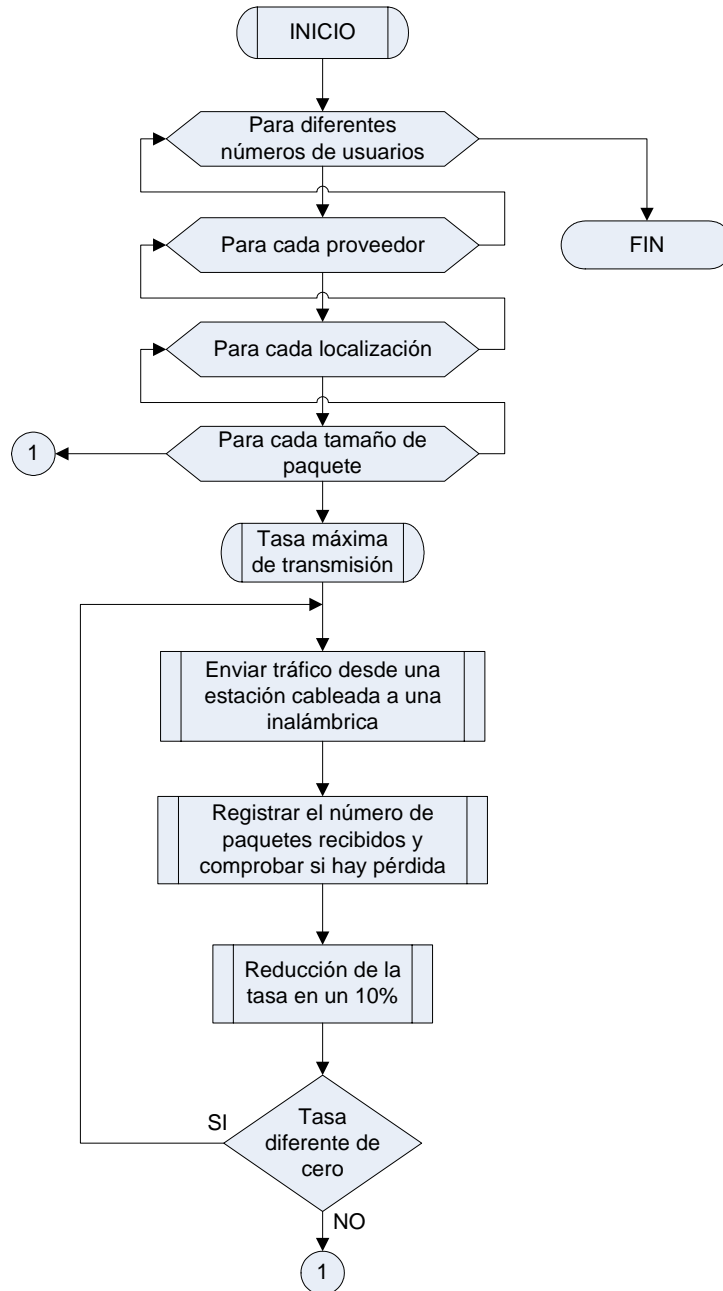
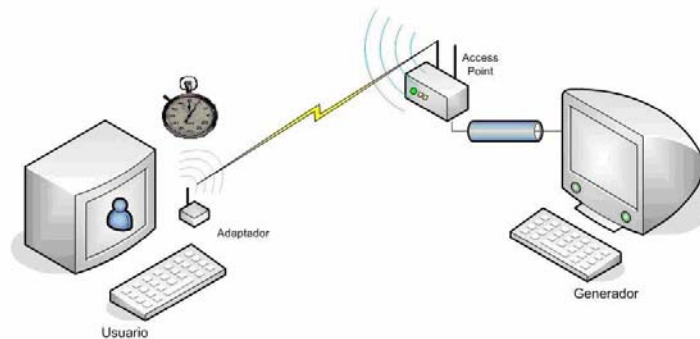


Figura 12. Configuración de la prueba de Latencia y jitter



Procedimiento

- Se envía tráfico desde una estación cableada fuente a través el Punto de Acceso, hacia una estación receptora inalámbrica a una tasa en la cual no haya pérdida de paquetes.
- Se miden los valores mínimo, máximo y se calcula el promedio de latencia y jitter para los diferentes tamaños de paquete, posición y número de usuarios establecidos.

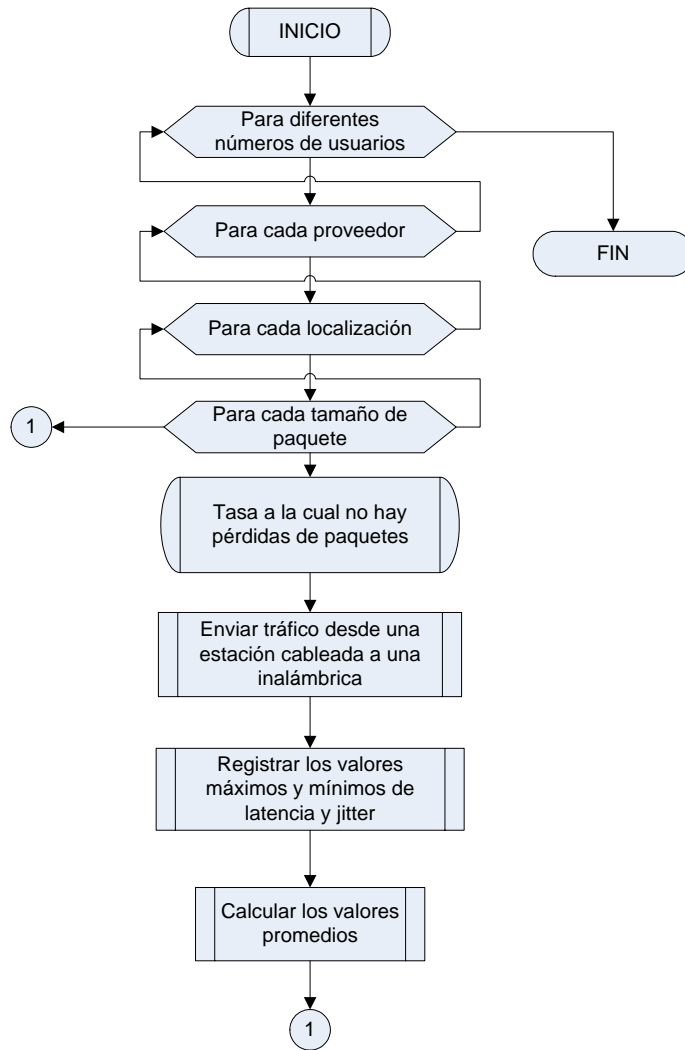
Variables

- Tasa de *throughput*.
- Tamaño del paquete.
- Números de usuario.

Resultados. Se reportan los valores mínimo, máximo y promedio de latencia y *jitter* para el receptor, así como el número de paquetes transmitidos y recibidos para los diferentes tamaños de paquete y número de usuarios.

Diagrama de flujo El diagrama de flujo correspondiente a esta prueba se muestra en la Figura 13.

Figura 13. Diagrama de flujo para la prueba de Latencia y jitter



3. IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA

3.1 CONSIDERACIONES GENERALES

Para la prueba y puesta en marcha de la metodología propuesta descrita en el capítulo anterior, se realizaron campañas de medición que registraron los valores de los parámetros propuestos.

3.1.1 Herramienta Software

La herramienta software utilizada, para la realización de las pruebas fue MGEN – *Multigenerator* versión 3.2, la cual fue seleccionada entre un conjunto de herramientas software encontradas en Internet, enfocadas a la toma de mediciones de parámetros de red. Éste sistema ofrece dos herramientas principales: *mgen* y *drec*, y algunos programas de utilidad como *mcalc*, el cual se encarga de la realización de algunos cálculos, después de tomados los datos.

Se encontró que gran parte de las herramientas que manejan medidas de desempeño utilizan el protocolo UDP, lo cual obedece a los planteamientos consignados en el capítulo anterior. Además, en la mayoría de los casos no se hace medición del throughput sino del ancho de banda de transmisión, el cual en este caso no es de gran interés.

A continuación se presenta una matriz con algunos de los programas encontrados, donde se marcan sus principales características.

Tabla 4. Matriz de herramientas software encontradas para la realizar las pruebas

PROGRAMA	Sistema Operativo	Comerciales	Tipo paquete		Mediciones					
			TCP	UDP	Throughput	Ancho de Banda	Perdidas	Latencia	Jitter	
MGEN [13]	Windows, Linux			X	X			X	X	X
Iperf [14]	Windows		X	X		X	X			X
Q Check [15]	Windows	X	X	X	X				X	
Netperf [16]	Windows, Linux		X	X	X				X	
Chariot [17]	Windows	X	X	X	X			X	X	X
Pathchart [18]	Linux			X		X	X	X		
Pchar [19]	Linux			X		X	X	X		
Treno [20]	Linux			X		X				

Después de identificar las características de cada una de las herramientas encontradas, se eligió MGEN, trabajando sobre el sistema operativo Linux Red Hat v.9.0, por ser este un programa que permite realizar la toma de medidas de desempeño de una red IP usando paquetes de tipo UDP/IP y en modo de tráfico *unicast* y *multicast*, además de ser de distribución libre. El MGEN genera patrones de tráfico en tiempo real, que pueden trabajar bajo diferentes configuraciones. Se usan archivos de comandos, *scripts*, para poder generar éstos patrones sobre el curso del tiempo, los cuales emulan los patrones de tráfico que se deseen dar.²⁵

3.1.1.1 MGEN

Se utilizaron archivos de escritura para la programación y automatización de las pruebas, y de este modo facilitar su desarrollo, en cada ubicación

²⁵ Para mayor información acerca de la herramienta revisar el Anexo A

establecida. Los *scripts* para el generador requieren el suministro de algunos parámetros para establecer la prueba, tales como, código de prueba, puerto origen y tiempo en horas y los minutos de inicio de la prueba, la cual tiene una duración de 47 min.

Por el lado del receptor el *script* también debe llevar el código de la prueba, además de la posición del cliente dentro del área, el puerto y la hora de inicio, que como es de suponerse, debe coincidir con la del generador cuando se trata de la misma prueba.

El receptor se prepara para recibir las transmisiones, sincronizando su reloj con el del generador, al inicio de cada tamaño de paquete. En la parte de recepción de los resultados el archivo de escritura muestra gran similitud al creado para el generador, la diferencia radica en que al final de cada prueba se corre la función *mcalc*, antes mencionada, y los resultados generados son guardados en un archivo de tipo texto, el cuál después es depurado para proporcionar los datos de tal forma que puedan ser introducidos a la base de datos creada.²⁶

Los datos entregados por *mcalc*, comprenden el número de paquetes recibidos, el retardo, la tasa de paquetes y datos recibidos, los paquetes perdidos y estadísticas de latencia y variación de latencia o *jitter*.

El documento texto que se crea a partir de estos datos, para ingresarlos a la base de datos, tiene el esquema de la tabla 5.

Tabla 5. Orden de resultado

Código			Tamaño de paquete	Tasa de transmisión	Latencia		Jitter		Paquete		Tasa de recibidos
Resultado	Posición	Prueba			Mín	Máx	Mín	Máx	Recibidos	Perdidos	

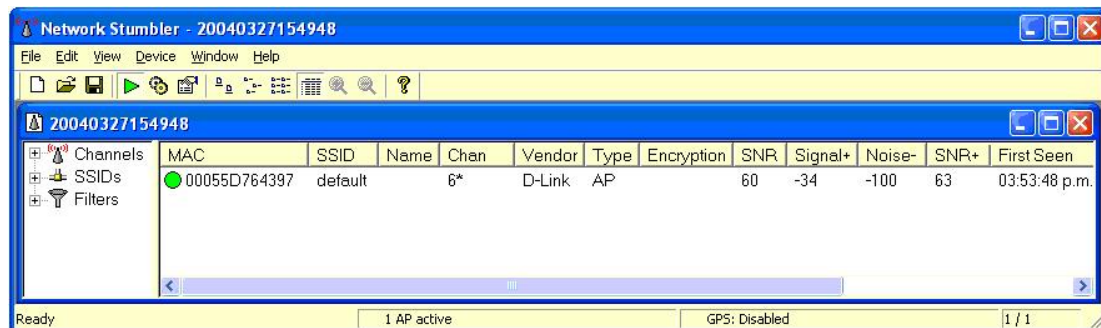
²⁶ En el Anexo B se encuentran los scripts creados para el desarrollo de las prueba.

3.1.1.2 Medición de Potencia

Como se especificó en la metodología planteada, se deben realizar mediciones de potencia que corresponden al nivel de intensidad observado del lado del usuario. En nuestro caso dado que se tienen 3 diferentes marcas de Tarjetas WLAN, fue necesario recurrir a las utilidades propias de las tarjetas para medir éste valor.

Por lo general, la medida de la potencia viene dada por las mismas tarjetas y en ocasiones traen su propia interfaz dependiendo del sistema operativo en que se instalen. En Linux versión Red Hat 9.0 y Kernel 2.4.20-8, las tarjetas de D'Link y Lucent/Orinoco muestran la intensidad de potencia, la relación señal a ruido y la calidad de enlace por medio del comando para la configuración de redes inalámbricas, *iwconfig*. Esta potencia se ratificó, y se promedió, con la entregada por Network Stumbler v0.3.30²⁷, ver Figura 14 y por la herramienta de configuración en el S.O Windows para el caso de las tarjetas Lucent/Orinoco, ver Figura 15 y 16.

Figura 14. Interfaz de Network Stumbler



²⁷ El Network Stumbler v0.3.30 es un programa que funciona sobre Windows XP para tarjetas que usan *chipset* hermes, entre ellas las tarjetas de marca Lucent/Orinoco y para D'link, éste programa permite hacer una supervisión del lugar proporcionando datos acerca de la dirección MAC del Access Point, el SSID, el fabricante del Access Point, así como valores de nivel de señal, nivel de ruido, y relación señal a ruido instantáneas, y los mejores valores obtenidos durante el tiempo de medición, ésta herramienta, además, permite exportar los datos obtenidos, para una posterior manipulación y adaptarle un receptor GPS (Sistema de Posicionamiento Global).

Figura 15. Interfaz de administración de la tarjeta Lucent/Orinoco

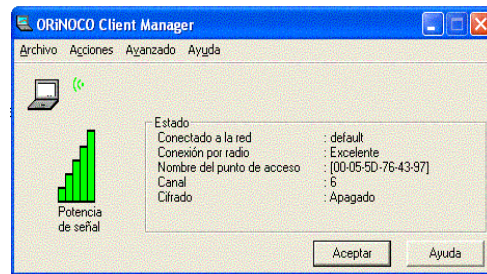
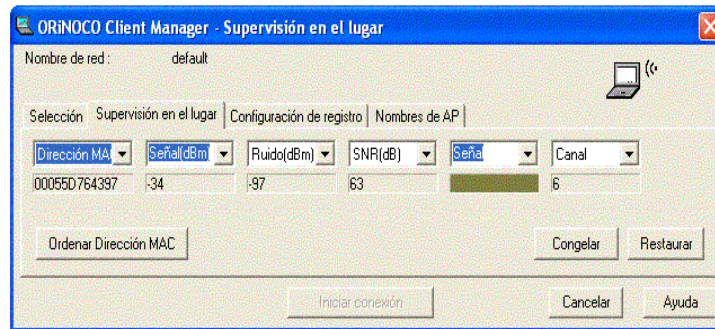


Figura 16. Interfaz de supervisión de la tarjeta Lucent/Orinoco



Para el caso de la potencia de 3Com se tomó el promedio de los valores obtenidos con los otros dos proveedores, ya que la herramienta de configuración en Windows únicamente daba una noción de la potencia mediante un diagrama de barras (ver Figura 17) y en Linux no proporcionaba ningún valor en éste sentido, con los adaptadores utilizados para su instalación.

3.1.2 Entorno de prueba

La implementación de la metodología se desarrolla en la red inalámbrica instalada en el segundo piso del edificio de alta tensión de la Universidad Industrial de Santander. En esta área se localizan varios laboratorios pertenecientes a la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y

Telecomunicaciones, entre estos encontramos dos laboratorios de redes ó salas de cómputo, un laboratorio de instrumentación electrónica, uno de comunicaciones, otro de sistemas digitales, y por último uno de electrónica general. Además se encuentran dos baños, un cuarto de servicio, un hall de llegada al piso y un corredor que interconecta los diferentes laboratorios.

Figura 17. Interfaz gráfica tarjeta 3Com



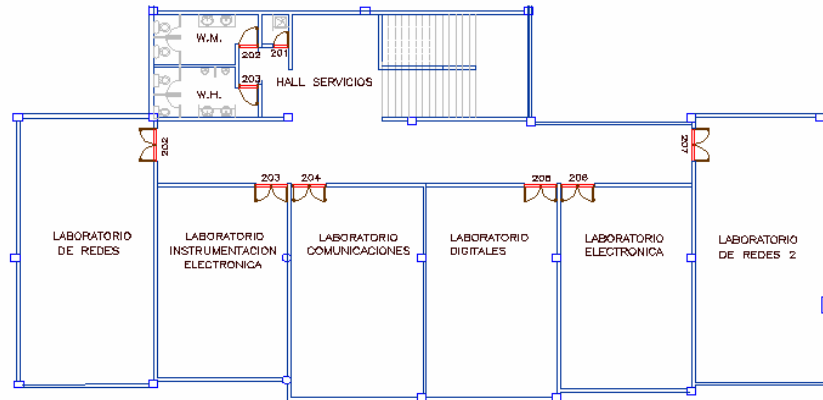
En los salones se cuenta con los equipos de cómputo, mesas de madera, armarios de madera y metal, sillas plásticas y demás instrumentos y sistemas de desarrollo propios de cada laboratorio.

El plano de la estructura se muestra a continuación, Figura 18.

3.1.3 Equipos de Prueba

Para la implementación de la metodología se cuenta con los siguientes equipos, pertenecientes a la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones.

Figura 18. Plano físico del lugar de prueba



- 8 tarjetas WLAN de 3 diferentes proveedores y 1 punto de acceso²⁸:
 - 1 Puntos de acceso D´LINK DWL-6000AP
 - 3 Tarjetas cliente de D´LINK DWL-120
 - 3 Tarjetas cliente de 3COM
 - 2 Tarjetas cliente de LUCENT/ORINOCO

Figura 19. Tarjetas utilizadas en la implementación de la metodología



En cada una de las 3 marcas se tienen las especificaciones de la Tabla 6.

²⁸ La referencias completas de estas tarjetas y demás equipos utilizados se especifican en el Anexo B, además de una descripción más detallada.

Tabla 6. Características de las tarjetas utilizadas

	Punto de enlace D'LINK	Tarjeta D'LINK	Tarjeta 3COM	Tarjetas ORINOCO
Tipo de sistema	IEEE 802.11a y 802.11b Wi-Fi.	IEEE 802.11b Wi-Fi	IEEE 802.11b Wi-Fi	IEEE 802.11b Wi- Fi.
Tipo de tarjeta	OFDM para 802.11a DSSS para 802.11b	DSSS	DSSS	DSSS
Tasa máxima	54Mbit/s para 802.11a 11Mbit/s para 802.11b	11Mbit/s	11Mbits/s	11 Mbit/s
Potencia de transmisión	20 dBm	15dBm	15dBm	15 dBm
Ganancia de Antena	2dBi	0 dBi	2dBm	2dBm

- Se utilizaron 9 equipos Optiplex GX 260 marca Dell²⁹ como se referencia en el Anexo B. Sus características se especifican a continuación:

Procesador: Pentium 4 de 2.4 Ghz

Memoria RAM: 512 MB

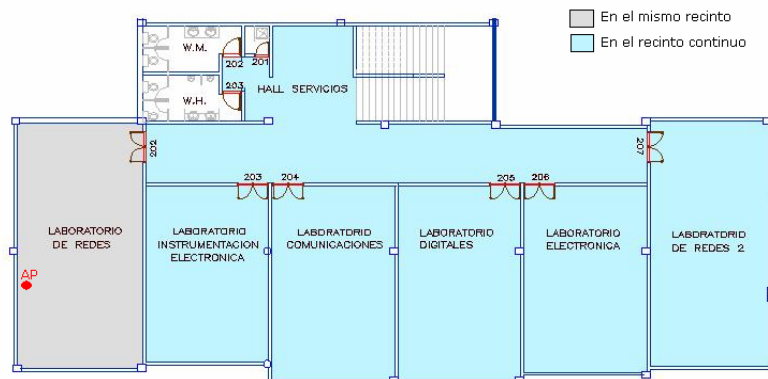
²⁹ Otra consideración que hay que tener en cuenta es la velocidad de los equipos de computo, se debe asegurar que estos no constituyan un cuello de botella para la realización de las pruebas, así como la velocidad de la tarjeta Ethernet en el caso del equipo utilizado como generador.

3.2 CAMPAÑAS DE MEDIDA

3.2.1 Escenarios. Como se mencionó anteriormente, se tomo como prueba la red inalámbrica del segundo piso del Edificio de alta tensión de la Universidad Industrial de Santander, el cual está constituido por un pasillo que comunica a los 6 salones, dos baños, un cuarto de servicio y un hall o estadero que comunica con las escaleras, tal como se muestra en la figura 20.

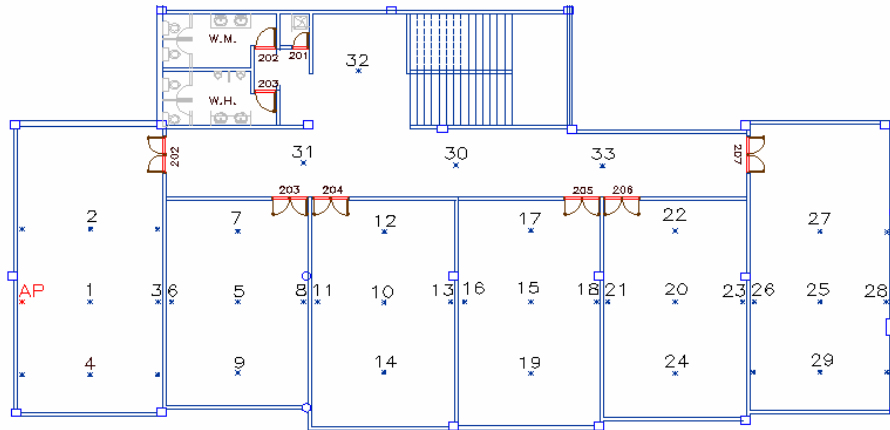
De acuerdo a la metodología propuesta se debe diferenciar en primera instancia los ambientes que se pueden presentar, como oficina abierta, cerrada o simplemente *outdoor*, y se debe ubicar el sitio de permanencia del punto de acceso, dado que su ubicación va a determinar el comportamiento de la red en gran medida, pero no es propósito de este proyecto proponer la ubicación más adecuada para este. Se escogió un punto extremo para aprovechar las diferentes obstrucciones y obtener mayor diversidad de distancias e intensidades de potencia.

Figura 20. Plano físico del lugar de prueba



Se comienza planteando las ubicaciones para los escenarios con un solo usuario, los cuales deben barrer toda el área de cobertura ubicándose en el punto medio de cada uno de los recintos y en cuatro puntos cardinales con respecto al el punto de acceso. La distribución de estos puntos se puede observar en la Figura 21.

Figura 21. Ubicaciones para un solo usuario



Como se puede observar la uniformidad de la infraestructura es de gran ayuda para ubicar los diferentes puntos en línea recta con respecto a el punto de acceso. Se consideraron un total de 33 ubicaciones tanto dentro de los salones como en el pasillo y el hall. Para facilitar la toma y la organización de las pruebas, los escenarios, la distribución de las tarjetas en estos, los proveedores y demás parámetros utilizados fueron debidamente numerados. Esta codificación se explicará más adelante cuando se hable del almacenamiento de los datos por medio de la base de datos.³⁰

Para la consideración de 2 usuarios se toma en cuenta primero la presencia de las dos tarjetas cliente en el mismo recinto donde se encuentra el punto de acceso, y luego, una de estas tarjetas se va desplazando hasta llegar a la ubicación más lejana. Estas pruebas conforman la primera parte de la prueba con la presencia de 2 usuarios y pertenecen a las 6 primeras distribuciones, ver Figura 22. Las pruebas para 2 usuarios se toman solo en el punto medio de cada salón.

³⁰ Una explicación más detallada se halla en el [anexo base de datos](#)

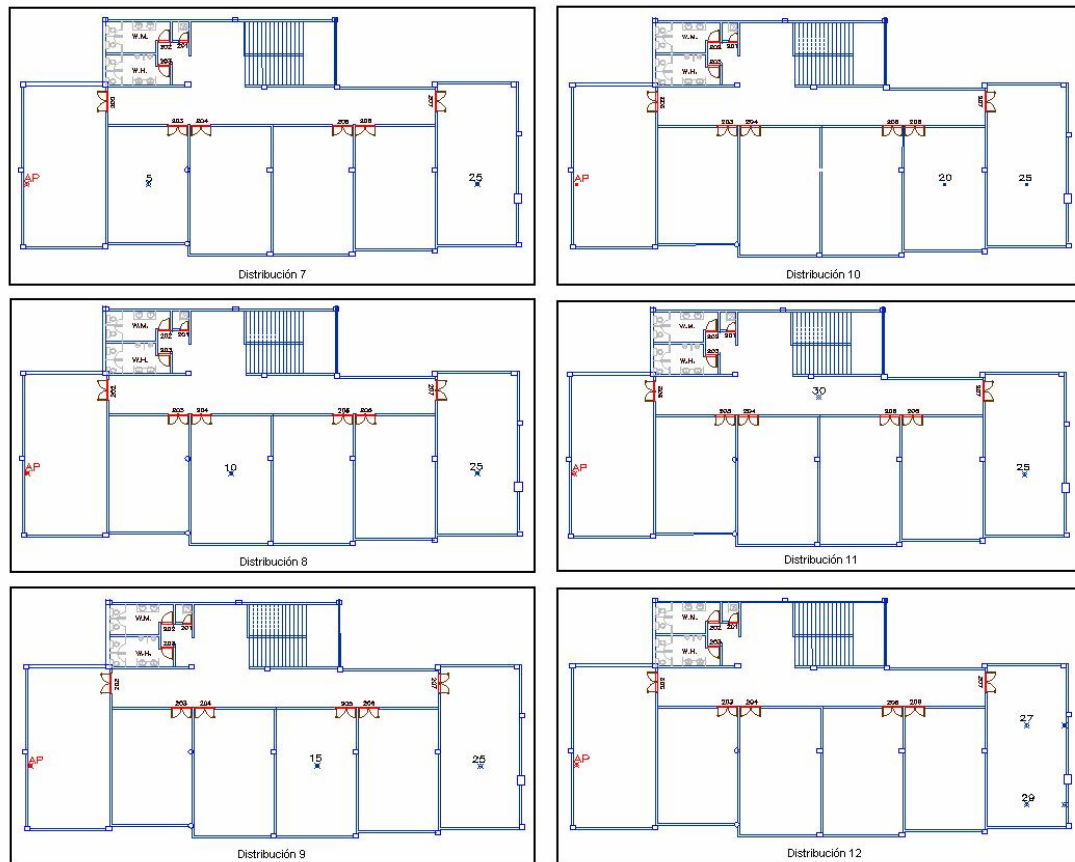
Figura 22. Distribuciones para dos usuarios, primera parte



La segunda parte de estos escenarios pertenece a aquellas pruebas donde la tarjeta inicialmente ubicada cerca del punto de acceso se empieza a desplazar hasta llegar al recinto más lejano. Estas distribuciones están numeradas de la séptima (7) a la decimosegunda (12) y se muestran en la Figura 23.

Para las pruebas en los puntos medios se tomaron tanto en salones como en el pasillo y en el hall, experimentando diferentes combinaciones. Estas constituyen la tercera parte, Figura 24.

Figura 23. Distribuciones para dos usuarios, segunda parte



Para los escenarios con 4 usuarios se ubican los 4 clientes en el mismo recinto donde se encuentra ubicado el punto de acceso, que fue considerado ambiente de oficina abierta, sin interferencias; y en el salón más distanciado de este.

También se toman distribuciones de las 4 tarjetas WLAN en diferentes salones del medio y en diferentes puntos del pasillo y en el hall, para poder considerar estas distribuciones de oficina cerrada. Estas

distribuciones se muestran a continuación, Figura 25 y asumen las mismas posiciones de los puntos creados para los escenarios con un solo usuario. De manera similar se distribuyen para 8 usuarios con la diferencia que se deben tomar posiciones adicionales para los dos primeros casos. Figura 26.

Figura 24. Distribuciones para dos usuarios, tercera parte

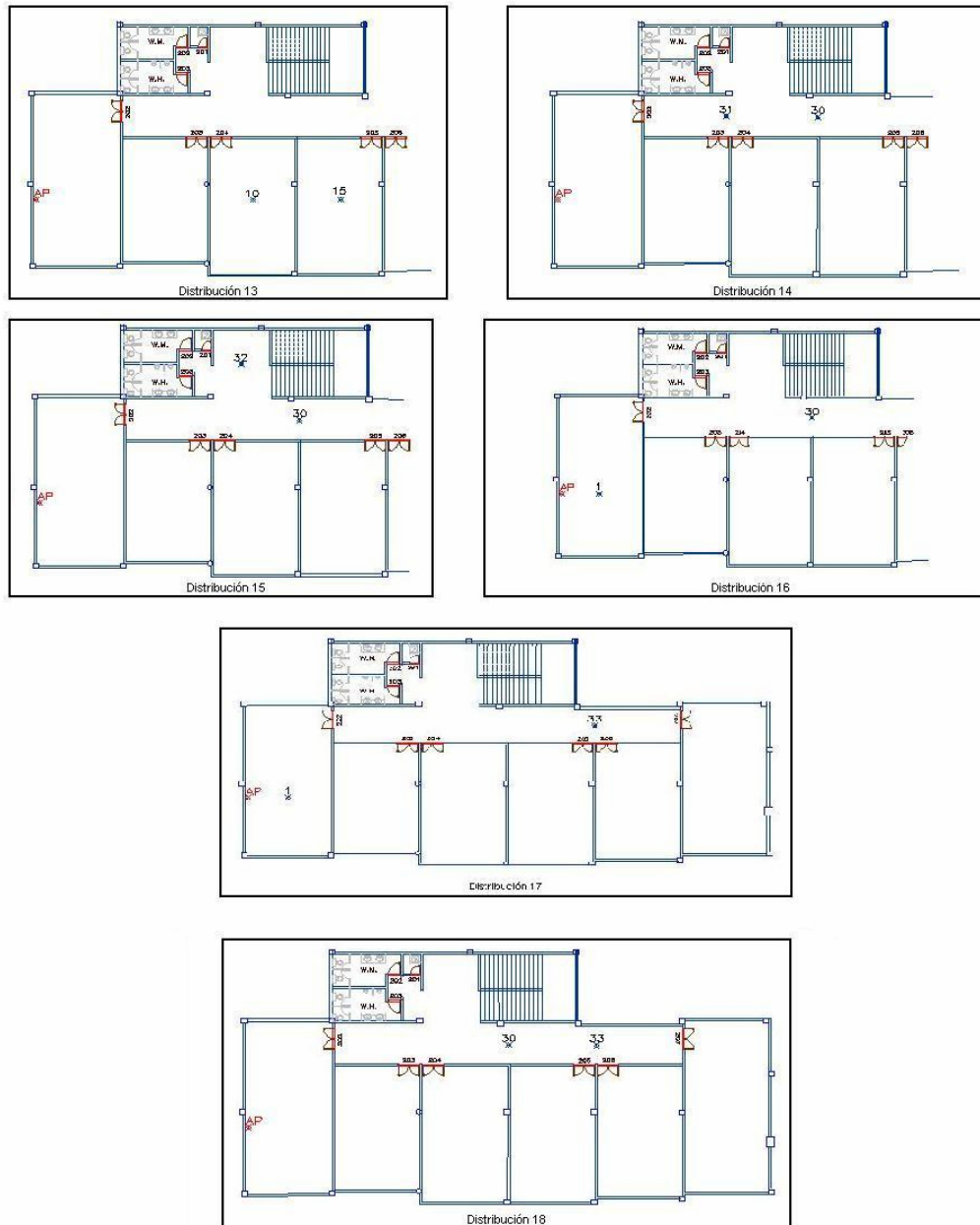


Figura 25. Distribuciones para 4 usuarios

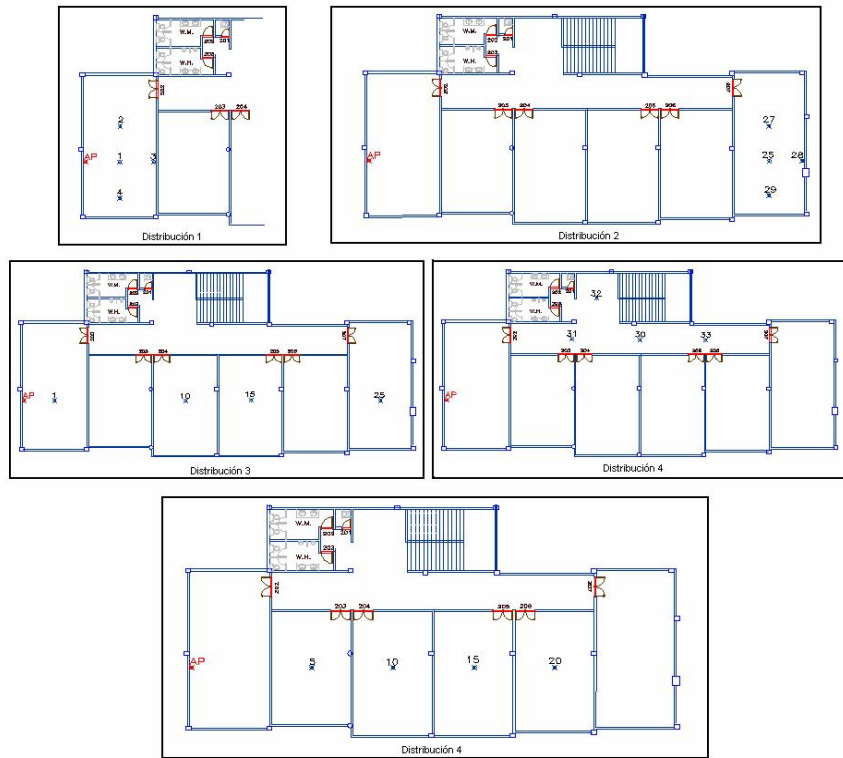
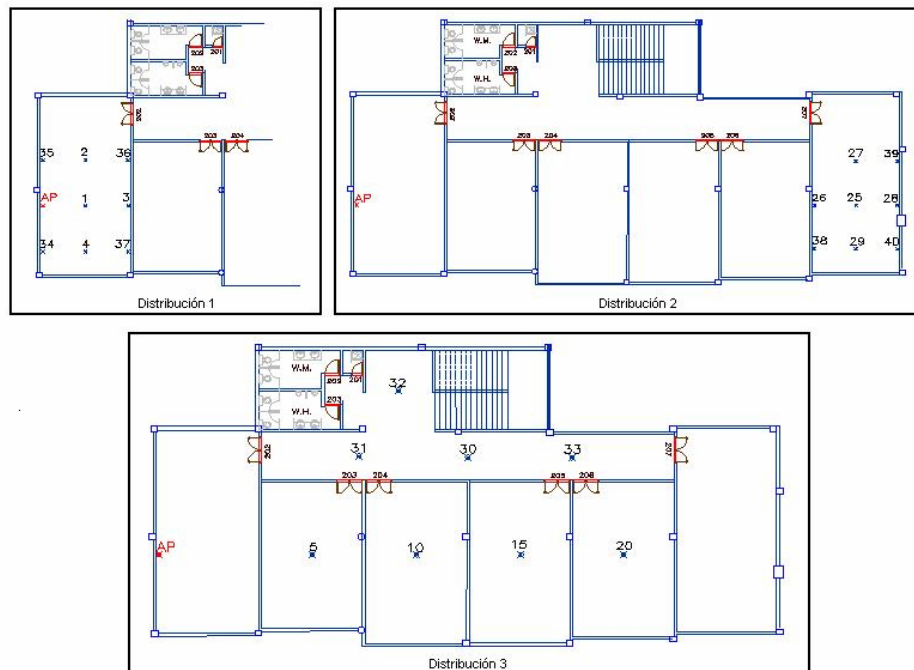


Figura 26. Distribuciones para ocho usuarios



Para los escenarios con uno y dos usuarios las pruebas se realizaron para cada marca de tarjeta por aparte, esto quiere decir, que se tienen 3 posibles escenarios diferentes para cada número de usuarios, con 33 distribuciones para un usuario y 18 para dos usuarios, conduciendo a 99 pruebas para un solo usuario y a 64 para dos. En el caso de 4 y 8 usuarios se mezclaban las tres marcas disponibles, resultando 5 escenarios para 4 usuarios y 3 para 8, lo que nos conduce a un total de 171 escenarios posibles. Ver tabla 7.

Tabla 7. Número de pruebas por usuarios

Número de Usuarios	Número de distribuciones	Marca	Total de Pruebas
1	33	3	99
2	18	3	18
4	5	(Todas)	5
8	3	(Todas)	3
TOTAL			171

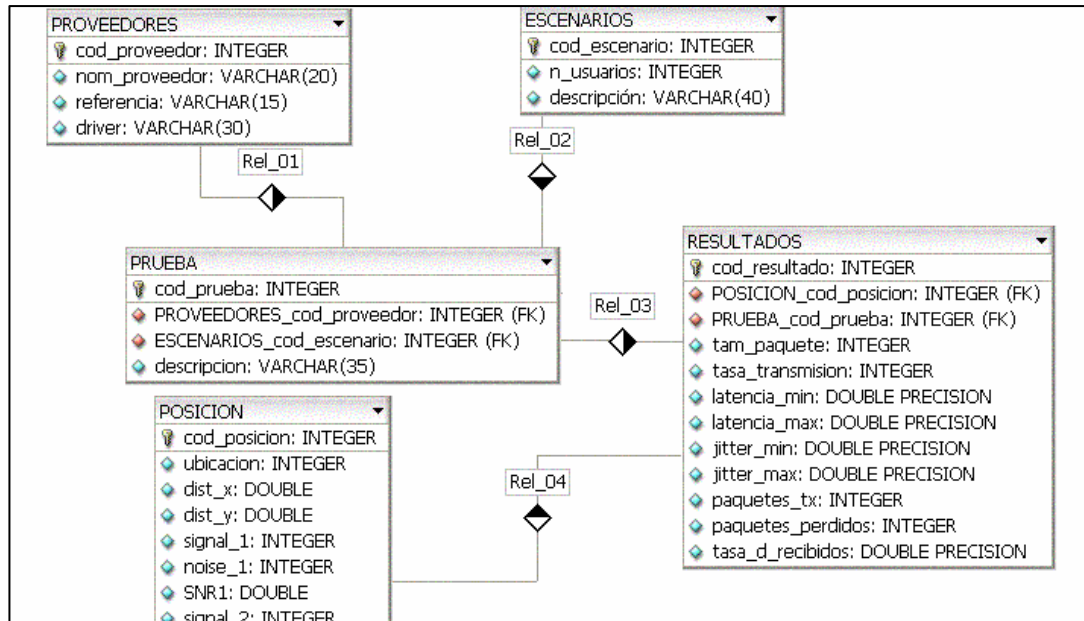
Para el desarrollo de estas pruebas se creó una agenda en concordancia con la disponibilidad de horario de los salones en horas nocturnas. La campaña de medidas se realizó en un total de 27 días sin incluir los días adicionales por la repetición de alguna prueba, dadas posibles fallas.³¹

3.2.2 Almacenamiento de los resultados. Para el almacenamiento de los datos se creó una base de datos utilizando DBDesigner 4, un sistema de distribución libre de base de datos que permite el diseño, modelamiento, creación y mantenimiento de bases de datos en un solo ambiente y MySQL

³¹ Dicha agenda su muestra en el Anexo A.

como gestor de bases de datos SQL³². A continuación se presenta el modelo relacional creado para la base de datos.³³

Figura 27. Modelo relacional utilizado en la base de datos en el entorno DBDesigner



³² Structured Query Language que es un lenguaje estándar de comunicación con bases de datos.

³³ Se recomienda utilizar éste mismo modelo para el uso de la metodología propuesta. Sin embargo, dado que la metodología no involucra este punto, se deja como recomendación. El manejo de la base de datos se muestra en el Anexo C.

4. RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACIÓN

En este capítulo se presentan los resultados de las campañas de mediciones descritas en el capítulo 3.2

Para continuar con el esquema establecido en el capítulo 2, la presentación de resultados se hace de acuerdo con los propósitos establecidos para cada prueba. El manejo de los resultados requirió, como se mencionó en el capítulo anterior, la utilización de una base de datos bajo un esquema MySQL, donde se permite la manipulación de datos de forma ágil. Los datos, entregados en forma de tablas de datos, en ocasiones fueron ordenados y manipulados en hojas de cálculo, y después se enviaron a la Herramienta de cálculo utilizada para la realización de las gráficas y algunos cálculos usando MATLAB v5.3³⁴.

4.1 RSSI – NIVEL DE INTENSIDAD DE SEÑAL RECIBIDA

Para las medidas de potencia (RSSI) y relación señal a ruido (SNR), se graficó con respecto a la ubicación de los puntos dentro del plano, tomando como referencia la localización del Punto de Acceso.

A continuación se presentan los resultados obtenidos para cada una de las 3 marcas de tarjetas, obtenidas por el promedio entre el punto propiamente referenciado y los cuatro puntos cardinales alrededor de éste. Para la intensidad de potencia se muestra una escala de color a la derecha de cada gráfica, donde las tonalidades rojas presentan los mayores niveles. Las medidas fueron tomadas en los puntos ya referenciados y se usó la interpolación cúbica para mostrar de esta forma la tendencia a lo largo de todo

³⁴ Se utilizó MATLAB, como herramienta matemática para la realización de cálculos y gráficas

el plano.

En total se tomaron 10 medidas en cada una de las 40 ubicaciones propuestas anteriormente, utilizadas en los diferentes escenarios. Las ubicaciones se muestran con la respectiva numeración utilizada en cada uno de los planos. Para cada marca de tarjetas se presentan cuatro gráficas. La primera muestra el nivel de intensidad de señal recibida (RSSI) sobre el plano en dos dimensiones, la segunda muestra el RSSI en 3 dimensiones para apreciar el ángulo de caída de potencia y las dos siguientes muestran la relación de señal a ruido nuevamente en dos dimensiones y en el ángulo ya establecido.

Figura 28 Nivel de Intensidad, Tarjeta D'Link, dos dimensiones

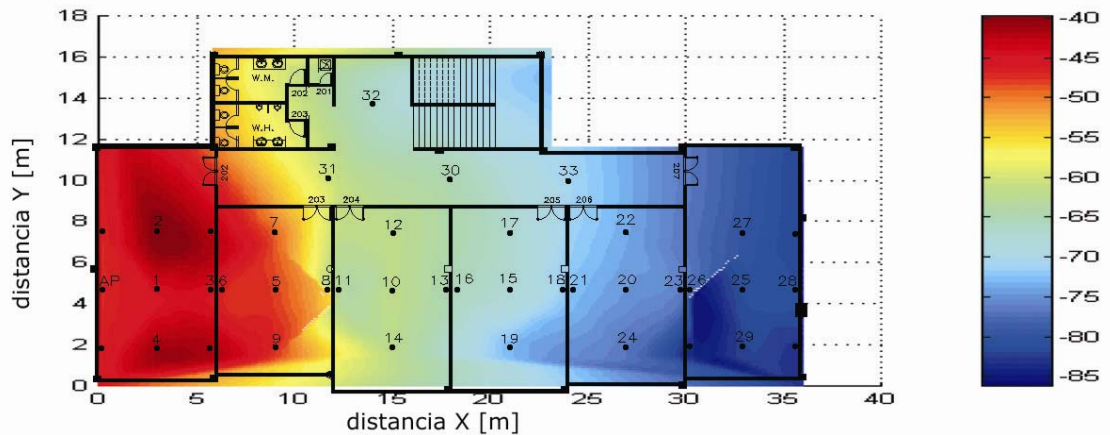


Figura 29 Relación señal a ruido, tarjeta D'link, dos dimensiones

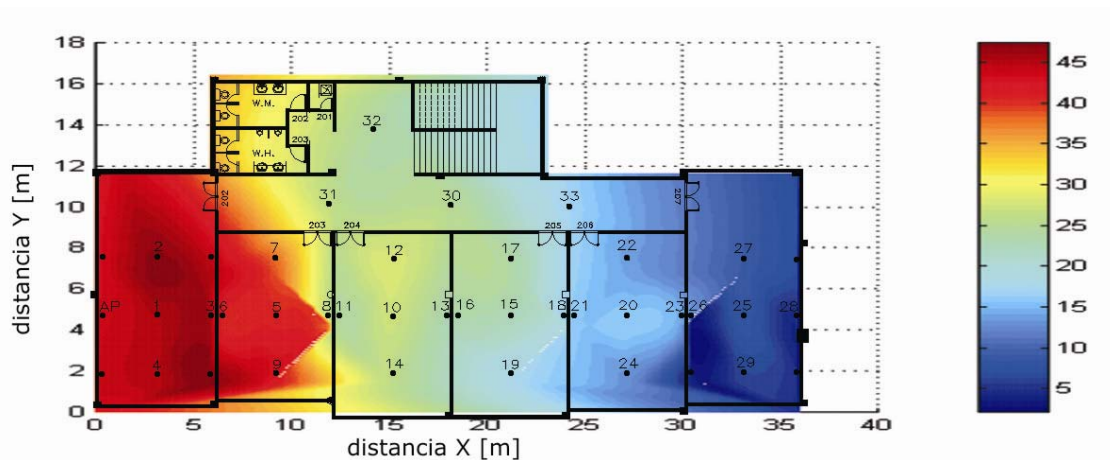


Figura 30 Nivel de Intensidad, Tarjeta 3 Com, dos dimensiones.

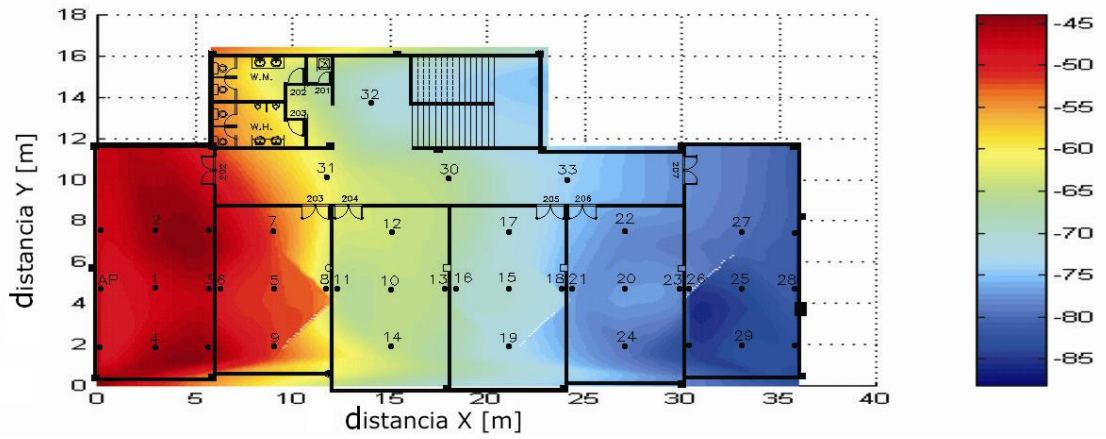


Figura 31 Relación señal a ruido, Tarjeta 3 Com, dos dimensiones.

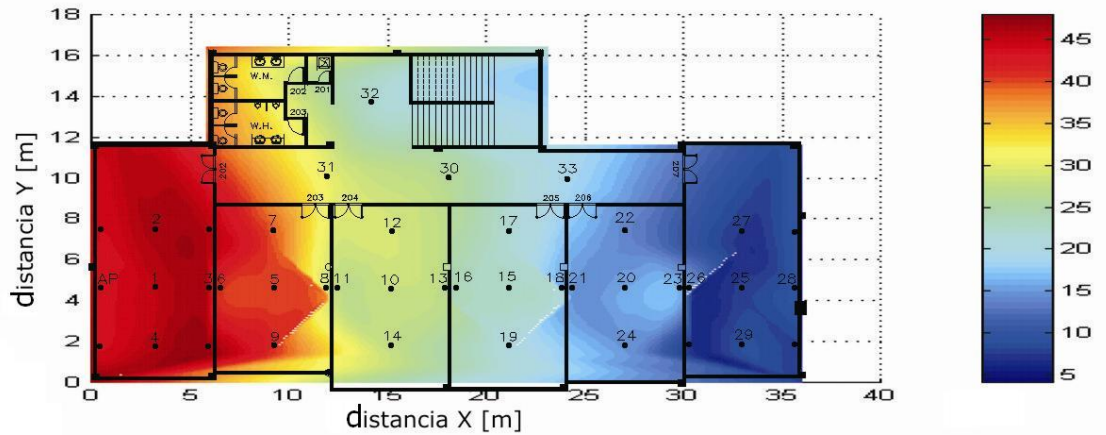


Figura 32 Nivel de Intensidad, Tarjeta Lucent/ Orinoco, dos dimensiones.

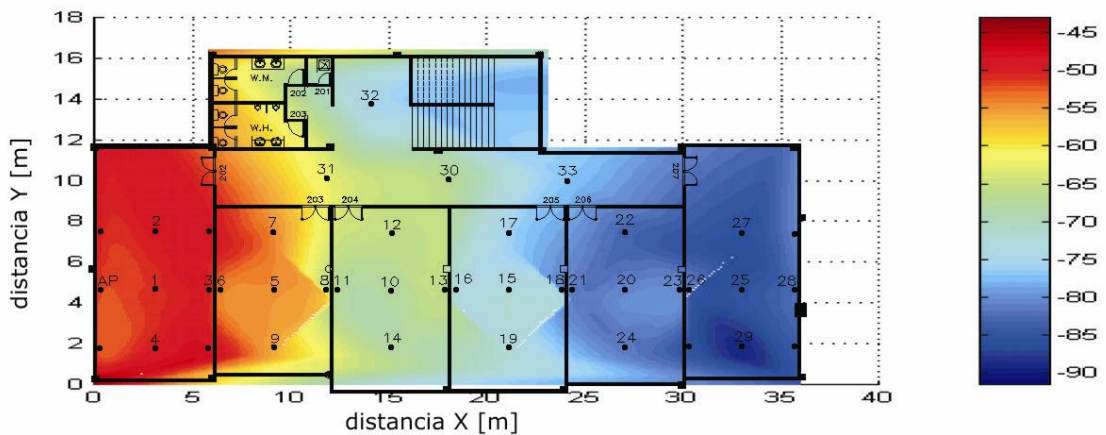
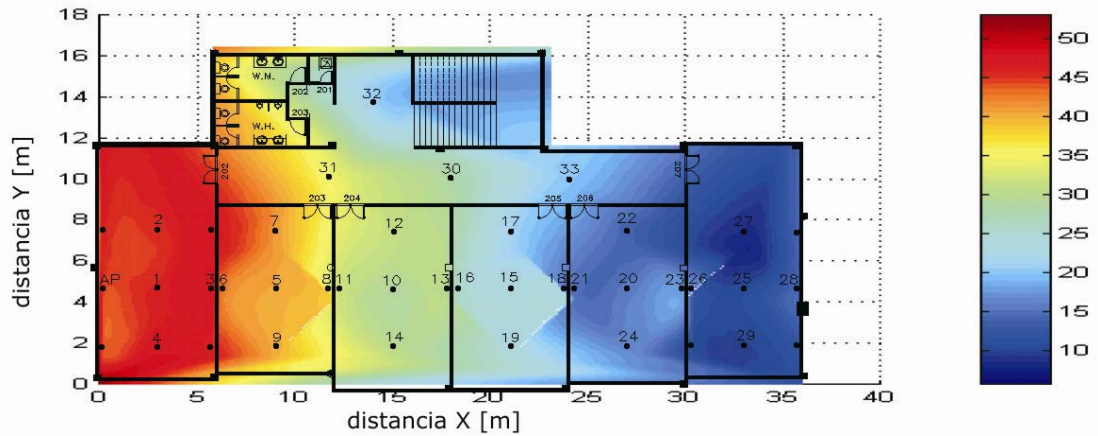


Figura 33 Relación señal a ruido, Tarjeta Lucent/Orinoco, dos dimensiones.



En las gráficas de potencia se puede evidenciar la pérdida de potencia a través de toda el área, como era de esperarse, en los pasillos y corredores con pocos muros y obstrucciones intermedias. Se puede apreciar una menor caída tanto de nivel de intensidad como de relación señal a ruido con respecto a la presentada a través de los salones o recintos separados cada uno por un muro.

Así, se observa que para los niveles de intensidad se obtiene un rango de valores entre -40 y -90 dBm, y una relación de señal a ruido entre 50 y 5 dB, dentro de un área cuya máxima distancia se encuentra alrededor de 36m y con 5 muros intermedios, donde se presenta aproximadamente una caída entre 5 y 6 dBm, como se plantea en los cálculos teóricos establecidos en la sección 2.2, ecuación (1). Esta disminución se puede apreciar mejor en la figura 35.

En general, la potencia dentro de cada recinto cerrado se mantiene dentro de un mismo rango de valores y las posiciones más cercanas al punto de acceso mayor intensidad, aunque se encuentran ciertos recintos en los que se registra un mayor nivel de intensidad en el punto central de éste que en las posiciones periféricas, debido a los efectos de propagación independientes de la distancia que también afectan la calidad de el enlace.

Las gráficas de los cálculos teóricos de potencia en comparación con los obtenidos se muestran en el Anexo D para las tarjetas D'Link y Orinoco, pues 3Com no referencia las especificaciones necesarias para dicho cálculo teórico.

Para poder observar mejor la caída de potencia a través de los salones, se grafica en la figura 34 solo aquellas posiciones que quedan haciendo en línea recta con el Punto de Acceso, figura 35, y se muestran con una línea verde punteada los muros de separación presentes a cada respectiva distancia.

Figura 34 Posiciones en línea recta con el punto de acceso

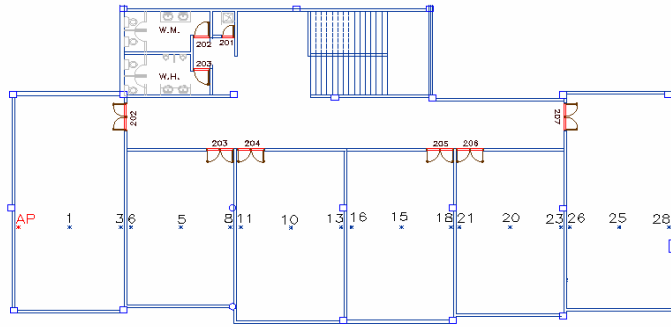
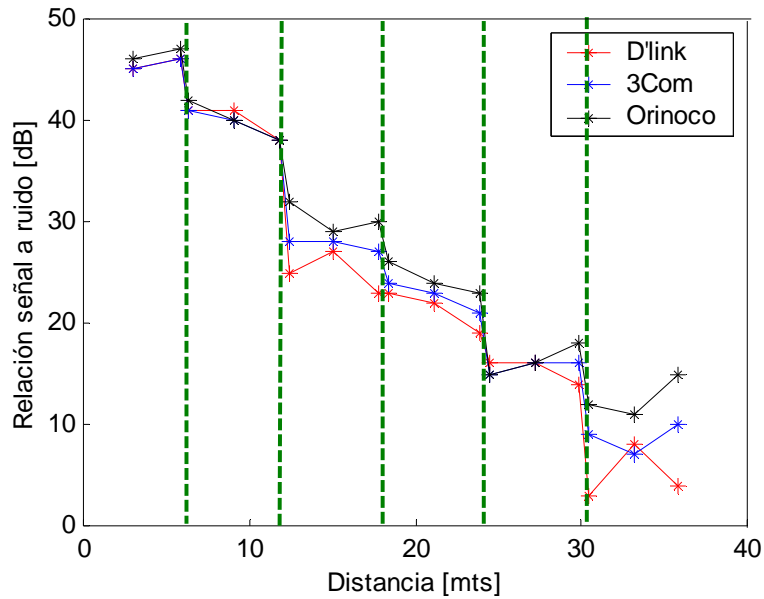


Figura 35 Relación señal a ruido



Como se puede observar después del quinto muro y a 30 mts de distancia, la

relación señal a ruido decae por debajo de los niveles de sensibilidad de las tarjetas, que está alrededor de los 16dB; estas posiciones corresponden al salón más alejado del punto de acceso, por lo que en estas posiciones no se asegura una transmisión a 11Mbps, estas especificaciones se presentan en el Anexo B. Aunque esta relación de señal se encuentra por debajo de los límites establecidos, se sigue manteniendo comunicación, por lo que esta área se consideraría dentro de la región de cobertura de la red. Debido a la similitud entre el comportamiento del nivel de intensidad de potencia y la relación señal a ruido los siguientes parámetros se muestran solo para la relación señal a ruido.

4.2 THROUGHPUT

Los resultados obtenidos para la prueba de *throughput*, se graficaron con respecto a la relación señal a ruido obtenida en cada punto. Esto se efectúa para cada tamaño de paquete, y para cada una de las marcas de tarjetas; además se presenta el *throughput* promedio para cada tamaño de paquete en los lugares en donde la potencia se encuentra superior al nivel de sensibilidad permitido.

4.2.1 Escenarios con un solo usuario

A continuación se muestran las gráficas correspondientes a la tarjetas D'link para un solo usuario, y el promedio de *throughput* para cada tamaño de paquete.

Figura 36 *Throughput*, tarjeta D'link, un usuario, para 64 y 128 Bytes

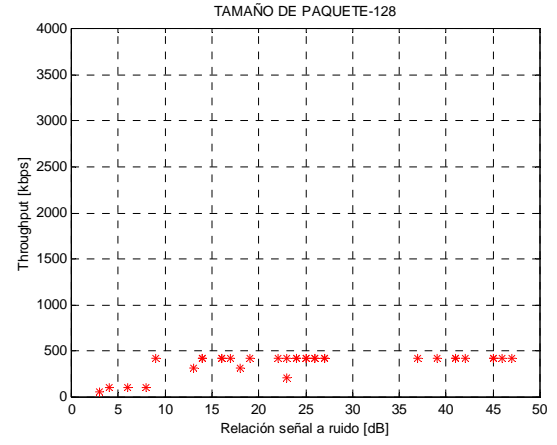
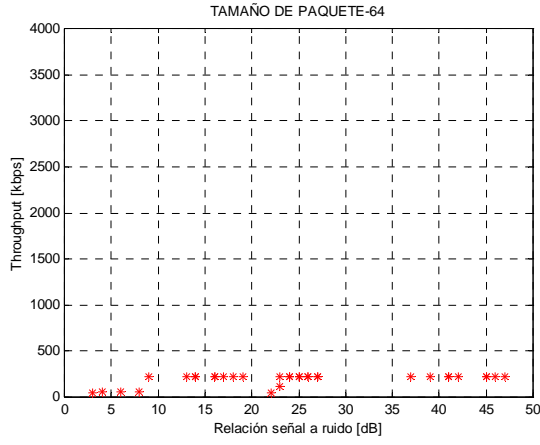


Figura 37 *Throughput*, tarjeta D'link, un usuario, para 256 y 512 Bytes

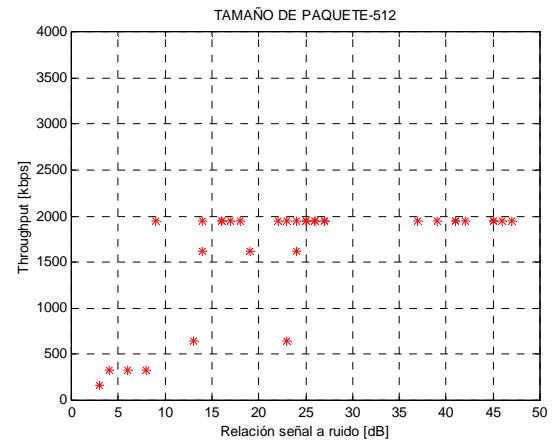
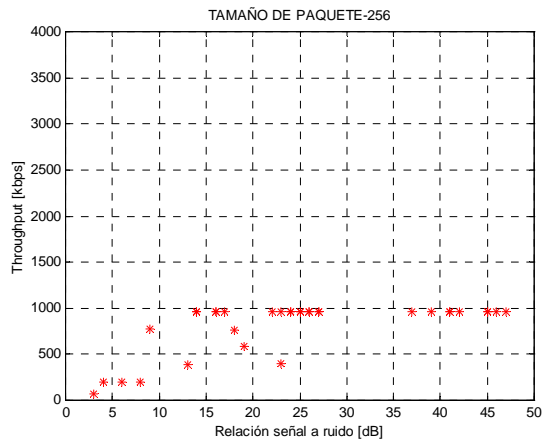


Figura 38 *Throughput*, tarjeta D'link, un usuario para 1024 y 1280 Bytes

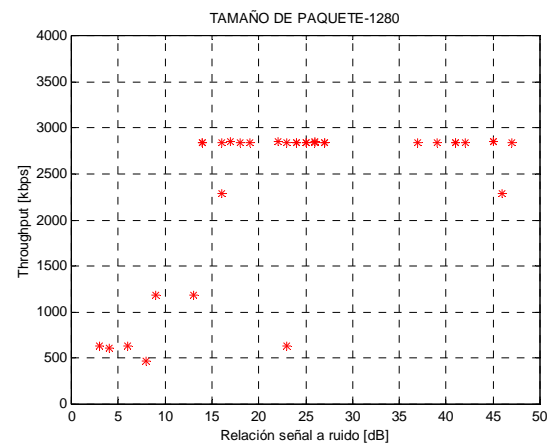
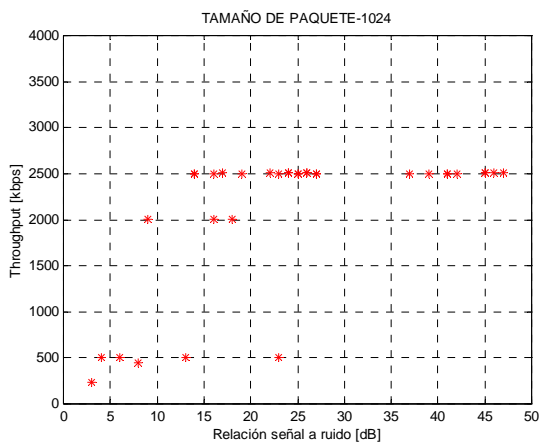


Figura 39 *Throughput*, tarjeta D'link, un usuario, para 1472 Bytes

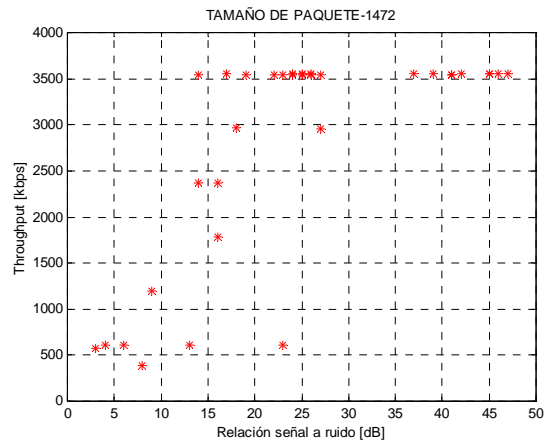


Figura 40 *Throughput*, tarjeta 3 COM, un usuario para 64 y 128 Bytes

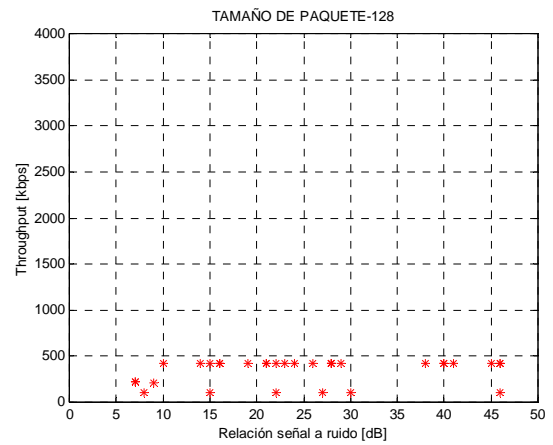
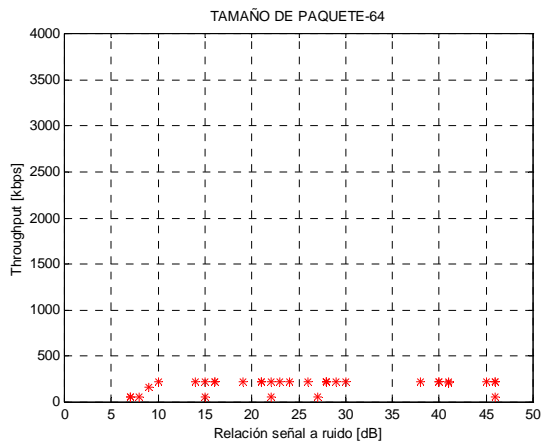


Figura 41 *Throughput*, tarjeta 3 COM, un usuario para 256 y 512 Bytes

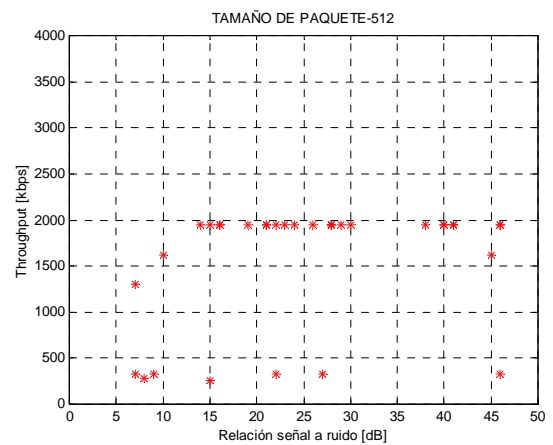
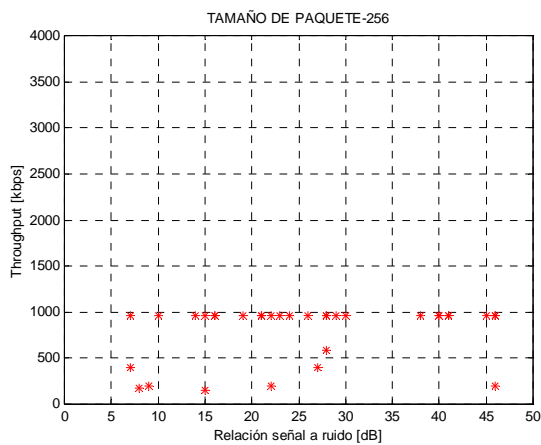


Figura 42 Throughput, tarjeta 3 COM, un usuario para 1024 y 1280 Bytes

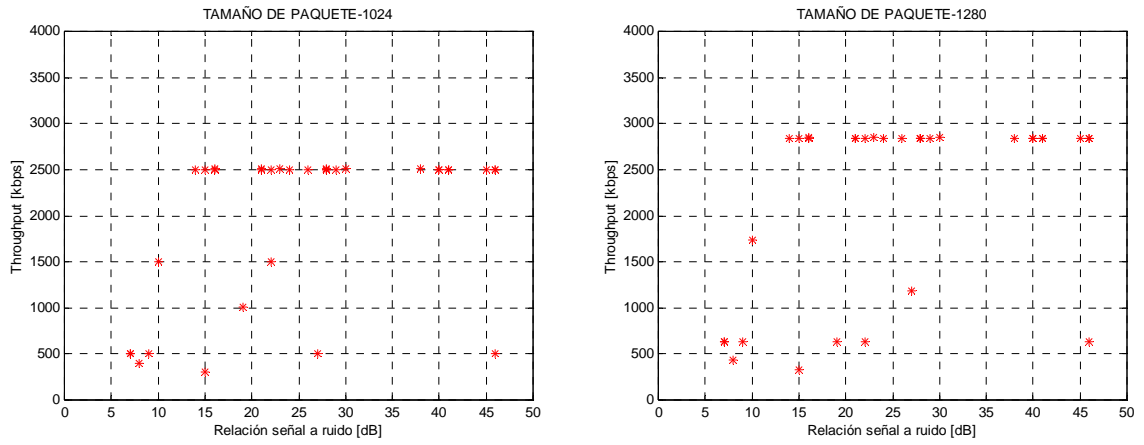
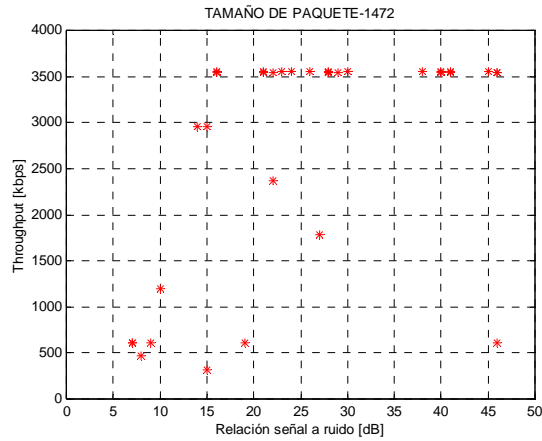


Figura 43 Throughput, tarjeta 3 COM, un usuario para 1472 Bytes



Las siguientes gráficas corresponden a tarjetas de Lucent/Orinoco

Figura 44 Throughput, tarjeta Orinoco, un usuario para 64 y 128 Bytes

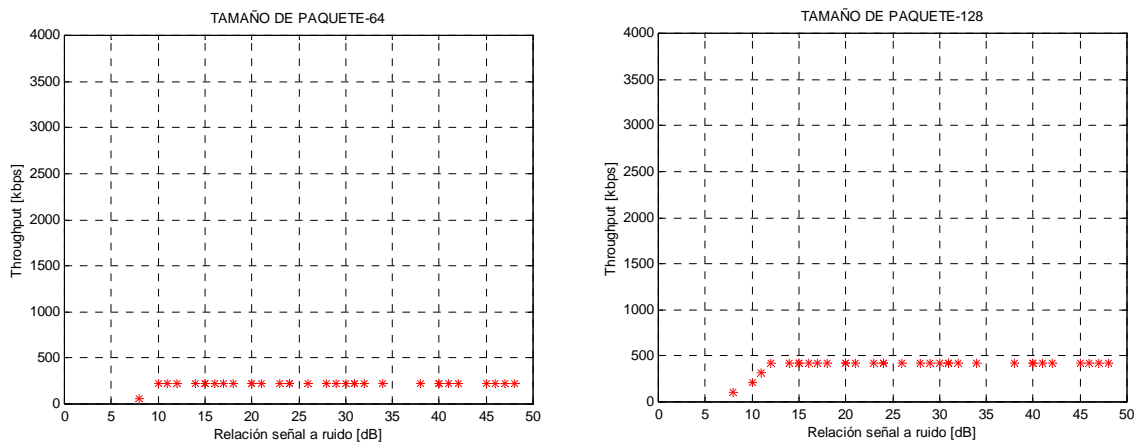


Figura 45 Throughput, tarjeta Orinoco, un usuario, para 256 y 512 Bytes

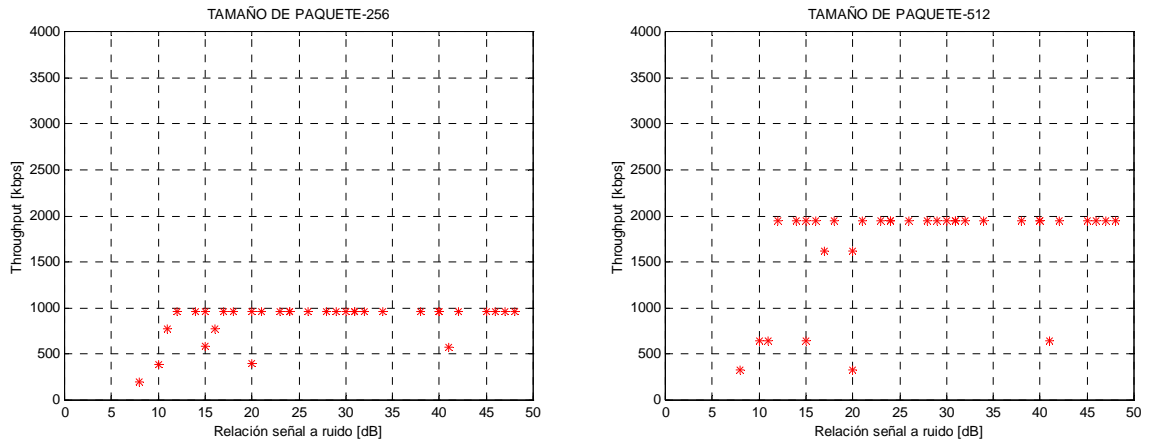


Figura 46 Throughput, tarjeta Orinoco, un usuario, para 1024 y 1280 Bytes

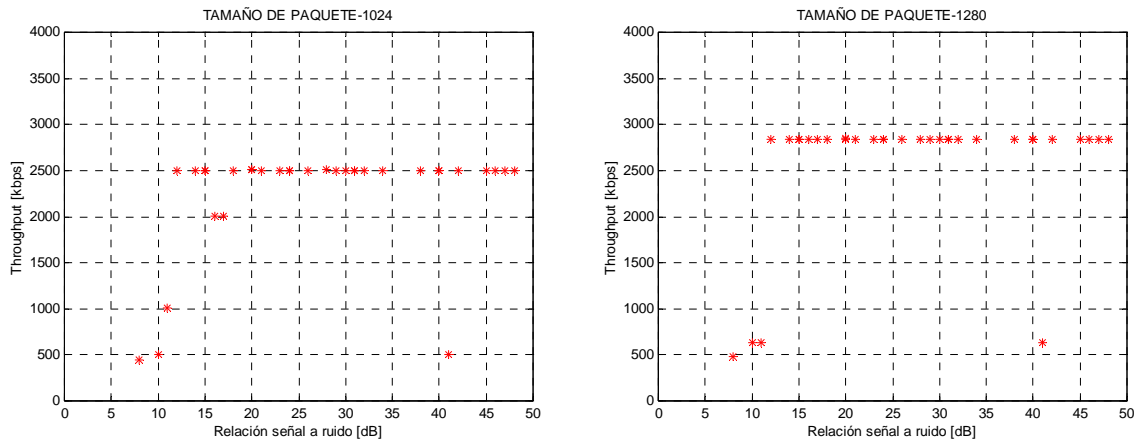
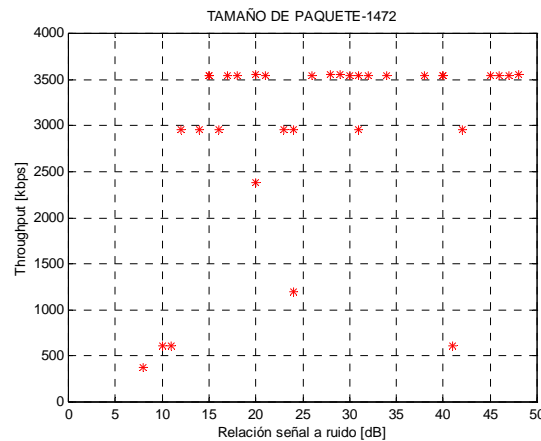


Figura 47 Throughput, tarjeta Orinoco, un usuario para 1472 Bytes



Las tasas de *throughput* encontradas para un usuario alcanzan un valor

máximo para cada tamaño de paquete, cuando la relación señal a ruido se mantiene en niveles altos y óptimos para la transmisión, alrededor de 16dB, como se mencionó en la sección 4.1; cuando este nivel decae por debajo de un umbral, la tasa de transmisión cae con este de manera abrupta para la mayoría de los casos. Las tasas de *throughput* producidas por las tres marcas empleadas son bastante cercanas y conservan un comportamiento parecido.

Las figuras 48 a 50 muestran el comportamiento de *throughput* sobre el área evaluada, para el máximo tamaño de paquete.

Figura 48 Distribución de *throughput* en el plano, tarjeta D'Link

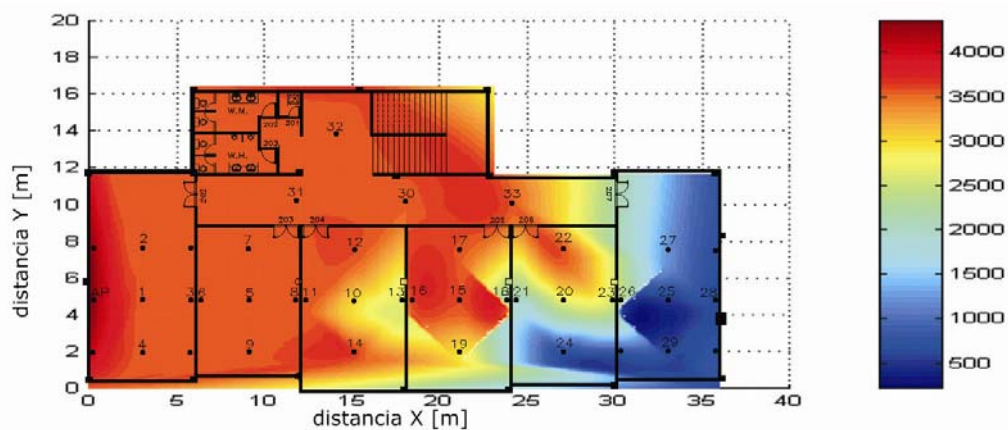


Figura 49 Distribución de *throughput* en el plano, tarjeta 3Com

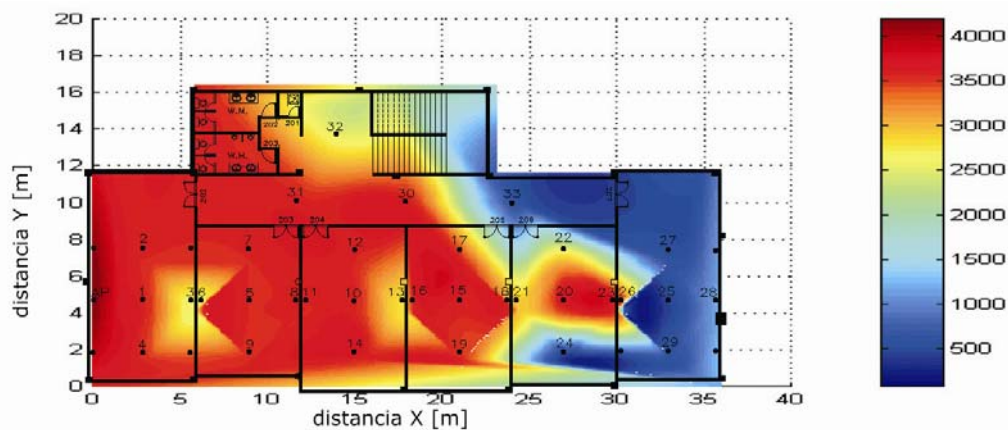
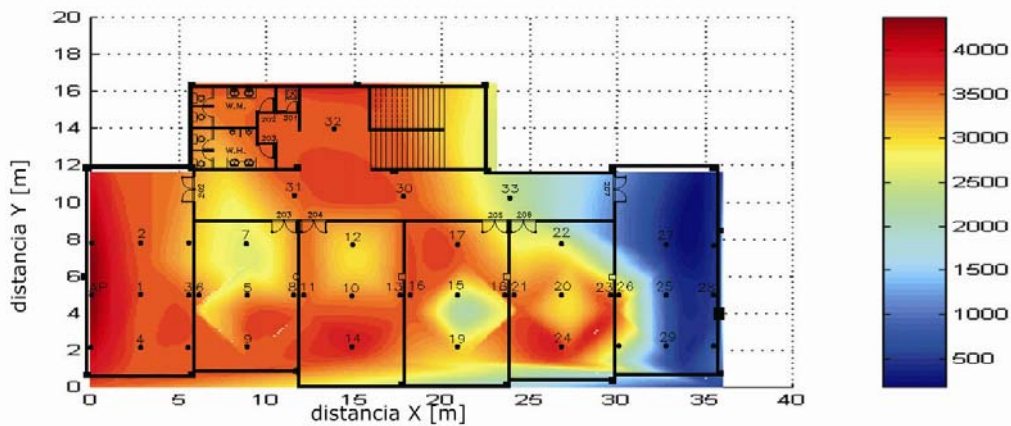


Figura 50 Distribución de *throughput* en el plano, tarjeta Orinoco

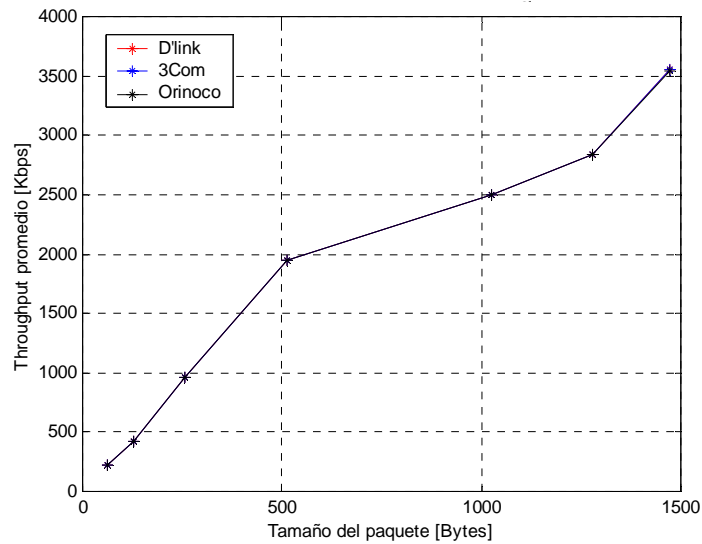


Como se puede notar, se tiene un nivel de uniformidad bastante bajo a través de todo el plano para todas de las tarjetas trabajadas. También se aprecian más claramente las regiones donde se presenta la caída del las tasas de *throughput* debido a la pérdida de SNR, encontrándose por debajo del margen de sensibilidad.

La variación de la tasa de *throughput* en relación con el tamaño de paquete se aprecia contrastando los promedios de la tasas para las 33 pruebas de un solo usuario por cada tarjeta, para niveles de potencia superiores a la sensibilidad, donde se observa un comportamiento bastante similar para las tres tarjetas, en lo que a mayor tamaño de paquete se obtienen tasas de *throughput* mayores.

Puesto que se sugirió una granularidad del 10% en la metodología, para la medición de *throughput*, las tasas encontradas no determinan una medición muy precisa del desempeño de las tarjetas, pero debido a la similitud de los resultados para las diferentes marcas y a todo los tamaños de paquetes se puede afirmar que la diferencia entre los valores es de máximo 5%, lo que no permite realizar una comparación válida entre cada marca de tarjeta. Debido a la similitud de las 3 gráficas solo se aprecia la de la tarjeta Orinoco.

Figura 51 Promedio de *throughput* vs. Tamaño de paquete para todas las tarjetas



Sin embargo, se establece que la tasa de *throughput* es directamente proporcional al tamaño de paquete empleado en la transmisión.

4.2.2 Escenarios con dos usuarios

Como se mencionó en la sección 2.4 inicialmente se planteó la realización de diversas pruebas para 2 usuarios que consistían en empezar con los 2 clientes en el mismo recinto del Punto de Acceso, luego uno de los clientes alejándose hasta el punto más extremo y luego el otro cliente paulatinamente. Sin embargo, dado los siguientes resultados preliminares se concluyó que para la metodología sería suficiente utilizar el mismo esquema usado para más de 4 usuarios.

Las gráficas se dividieron en 3 regiones que corresponden a las 3 configuraciones básicas. En primera instancia se grafican las posiciones en las que se encuentran las dos tarjetas en el mismo recinto del Punto de Acceso y solo una de ellas se va alejando (distribuciones de 1 a 6), seguidamente, región 2, se ordenan aquellas distribuciones en que la segunda tarjeta se va

desplazando hasta que las dos tarjetas se encuentran en el punto más lejano (distribuciones 7 a 11), y por último se encuentran todas las distribuciones correspondientes a posiciones intermedias correspondientes a la tercera región. Las figuras se muestran para cada marca de tarjeta WLAN. De las figuras 52 a la 63 se tiene las siguientes convenciones:

- ① Escenarios con una tarjeta en el mismo recinto del punto de acceso
- ② Escenarios con una tarjeta en el recinto más lejano
- ③ Escenarios con ambas tarjetas en los puntos medios

Gráficas según el escenario establecido, para tarjetas D'link

Figura 52 Throughput, tarjeta D'link, dos usuarios para 64 y 128 Bytes

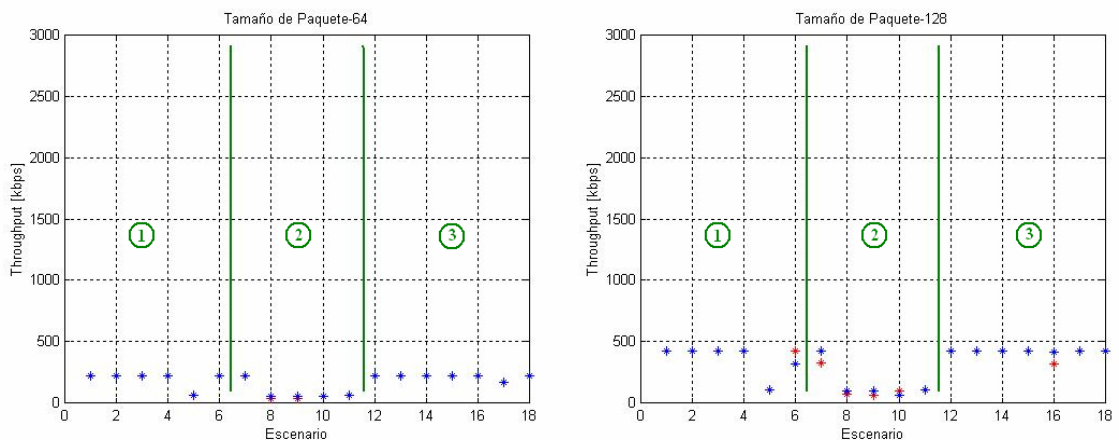


Figura 53 Throughput, tarjeta D'link, dos usuarios para 256 y 512 Bytes

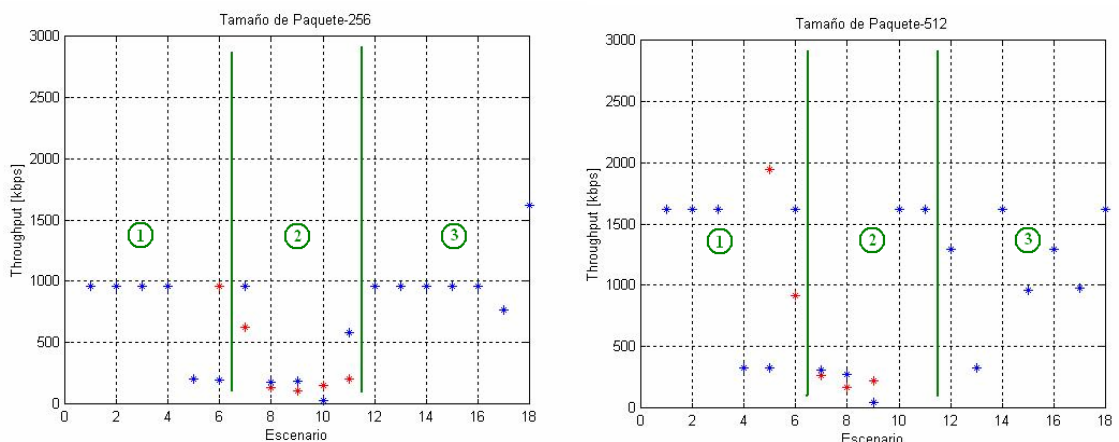


Figura 54 Throughput, tarjeta D'link, dos usuarios para 1024 y 1280 Bytes

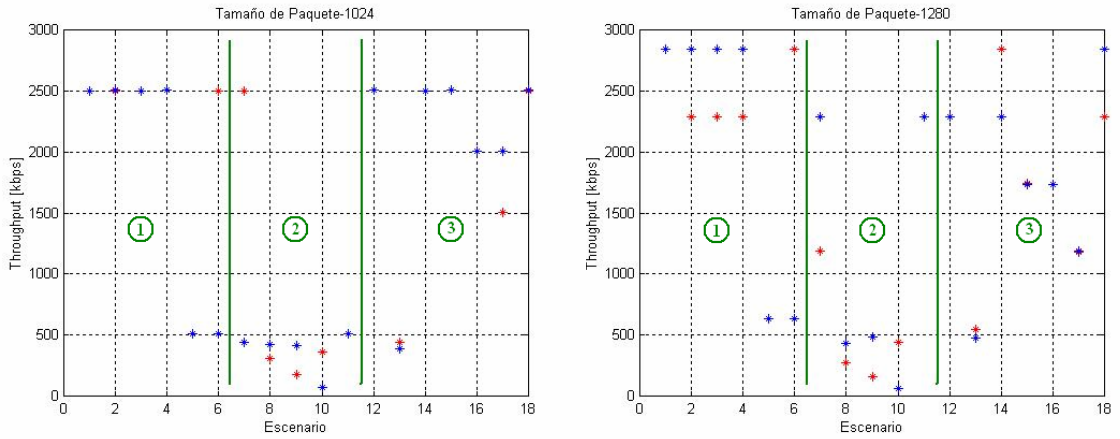
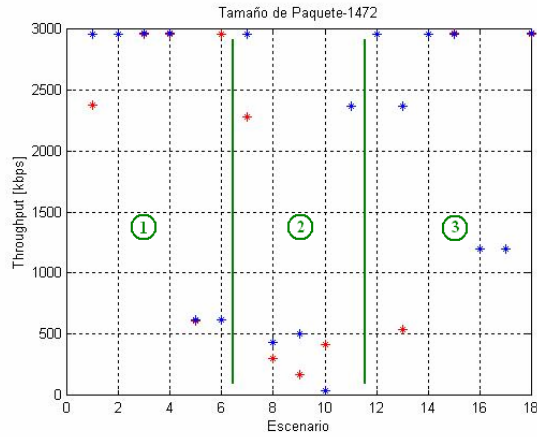


Figura 55 Throughput, tarjeta D'link, dos usuarios para 1472 Bytes



Las siguientes gráficas corresponden a las pruebas para las tarjetas 3 COM.

Figura 56 Throughput, tarjeta 3 COM, dos usuarios para 64 y 128 Bytes

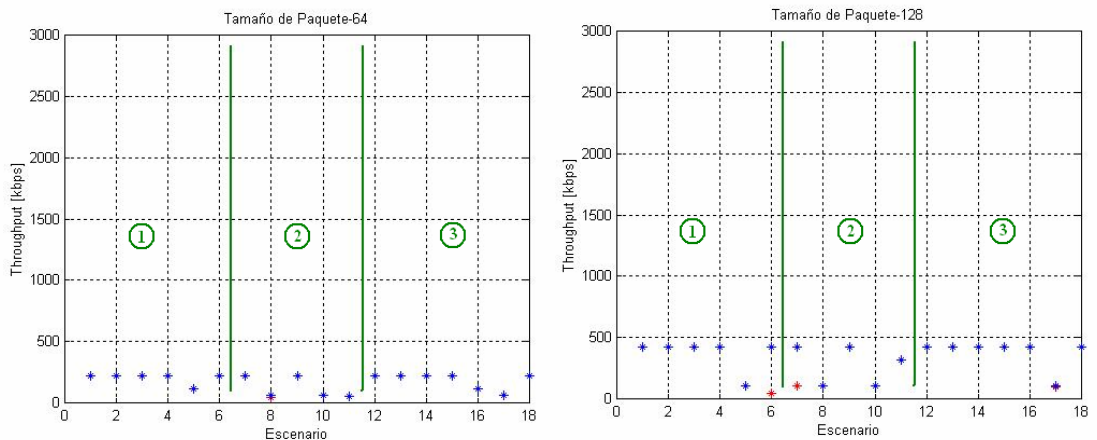


Figura 57 Throughput, tarjeta 3 COM, dos usuarios para 256 y 512 Bytes

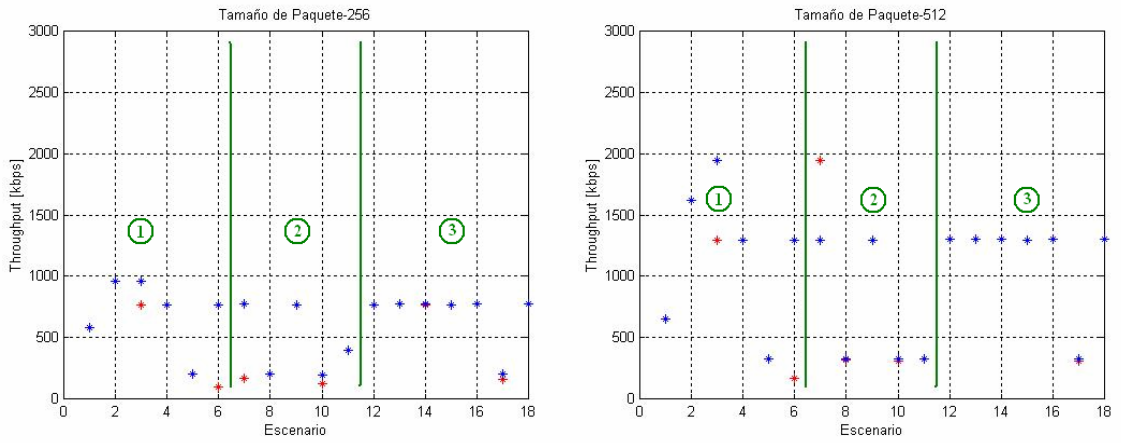


Figura 58 Throughput, tarjeta 3 COM, dos usuarios para 1024 y 1280 Bytes

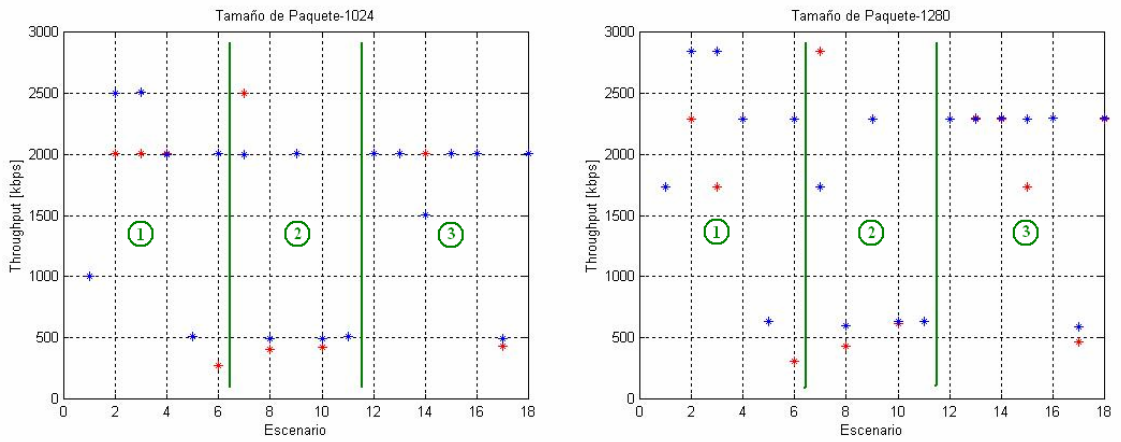
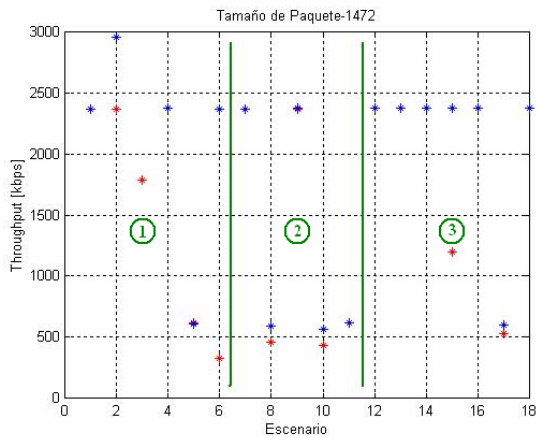


Figura 59 Throughput, tarjeta 3 COM, dos usuarios para 1472 Bytes



A continuación se presentan los resultados obtenidos para las tarjetas cliente de Lucent/Orinoco

Figura 60 Throughput, tarjeta Orinoco, dos usuarios para 64 y 128 Bytes

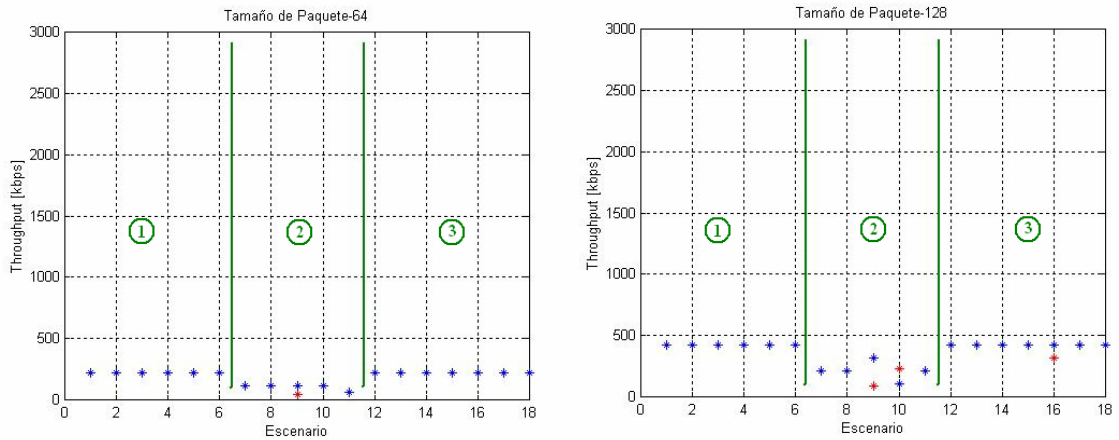


Figura 61 Throughput, tarjeta Orinoco, dos usuarios para 256 y 512 Bytes

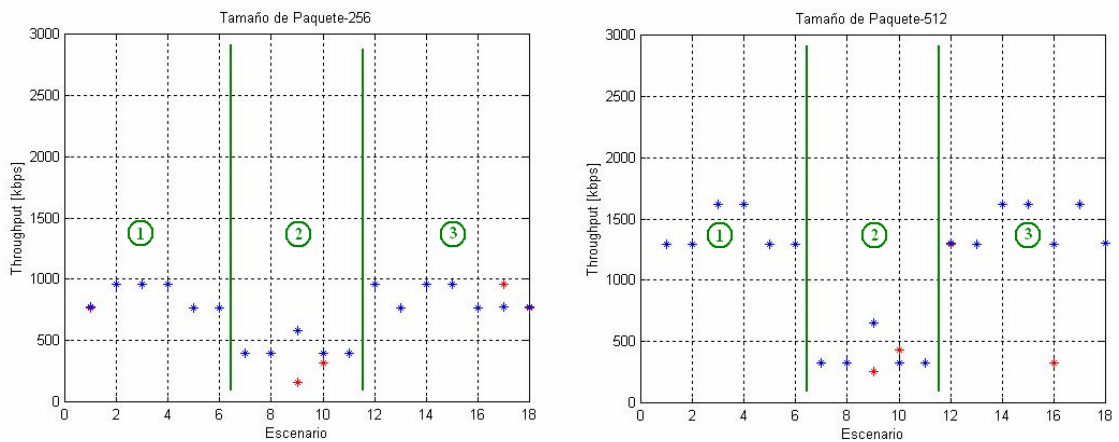


Figura 62 Throughput, tarjeta Orinoco, dos usuarios para 1024 y 1280 Bytes

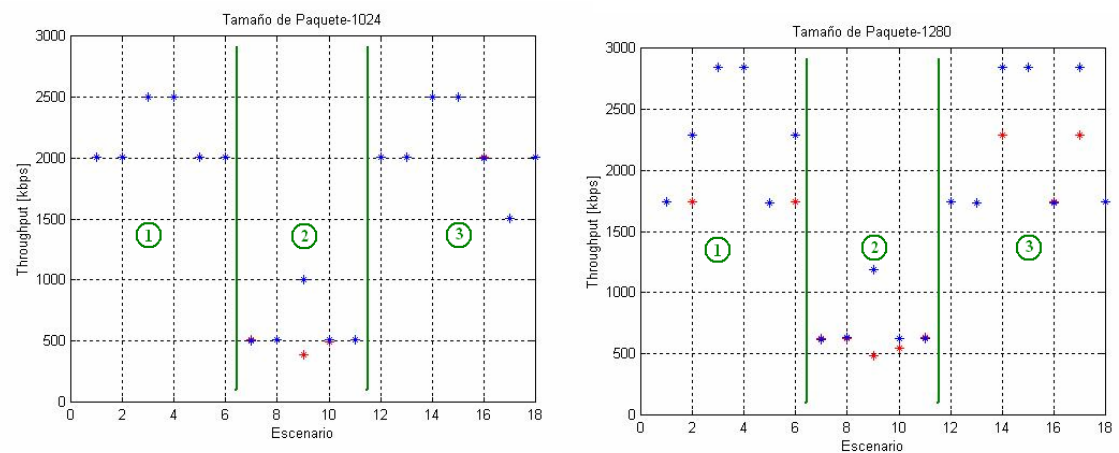
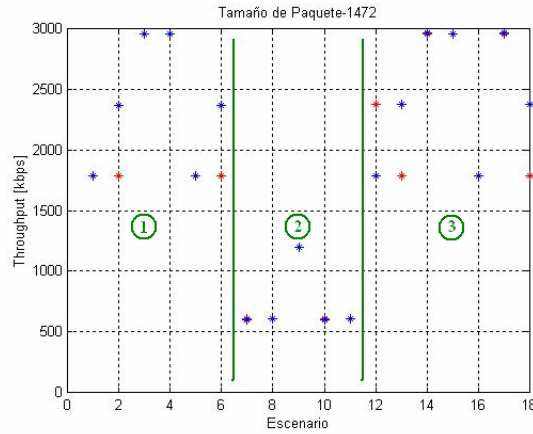


Figura 63 Throughput, tarjeta Orinoco, dos usuarios para 1472 Bytes



En la primera región se encuentra que el *throughput* decae, por lo general, para ambas tarjetas en una misma proporción y se presenta una dispersión de los datos con caídas fuertes debido a la granularidad con la que se desarrolló la metodología.

Tanto en la segunda, como en la tercera región se observa que cuando alguna de las dos tarjetas, por lo general la más lejana, se encuentra por debajo de los niveles de sensibilidad dados por los proveedores en ambas tarjetas se encuentra una baja abrupta del *throughput* debido a la autorregulación de la tasa de transmisión del Punto de Acceso.

Sin embargo, en relación a lo descrito en la sección 2.4, se observó una mejor tendencia de los resultados utilizando escenarios similares a los propuestos para cuatro y ocho usuarios. A continuación se presentan las gráficas correspondientes.³⁵

³⁵ Las gráficas restantes de esta prueba se presentan en el Anexo E

Figura 64 Throughput, tarjeta D'link, dos usuarios para 64 y 512 Bytes

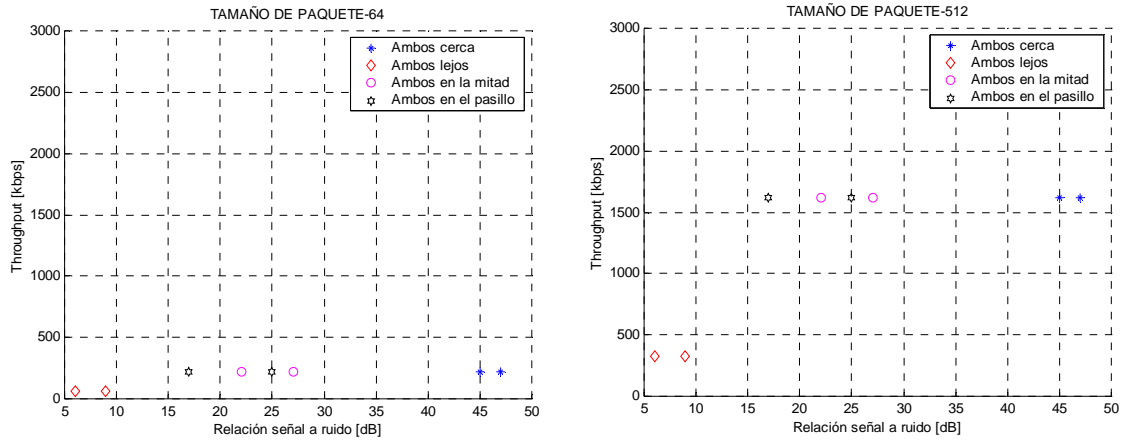
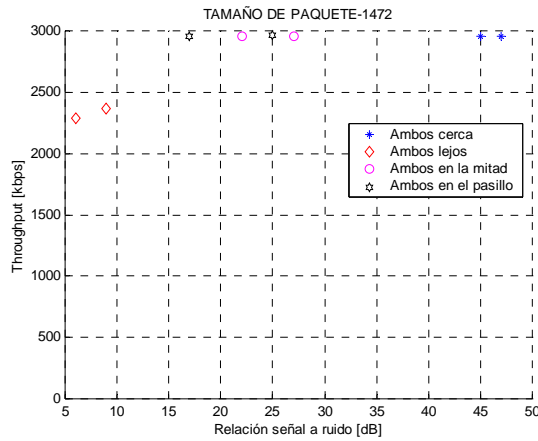
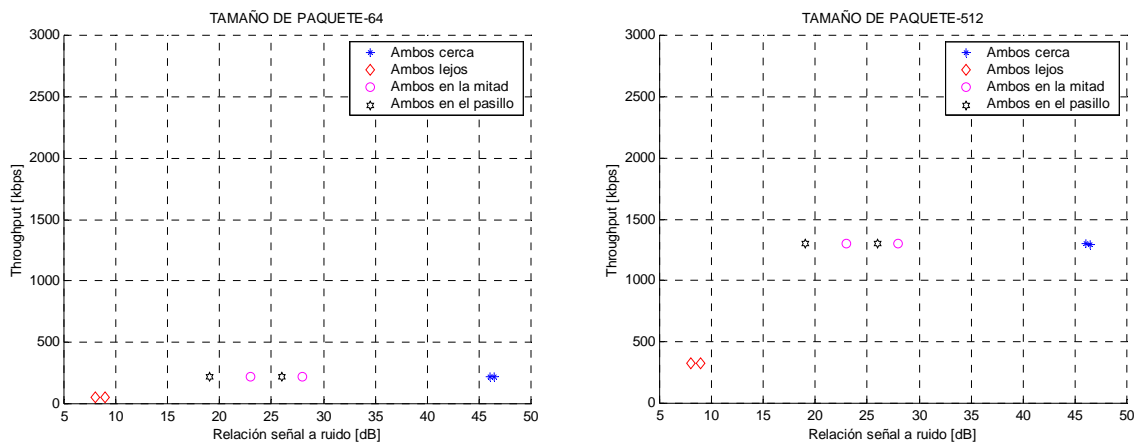


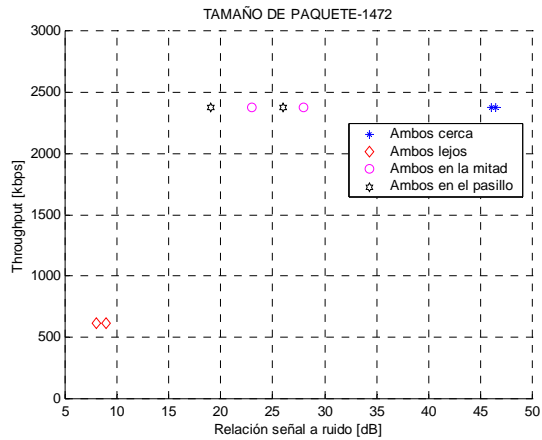
Figura 65 Throughput, tarjeta D'link, dos usuarios para 1472 Bytes



Resultados encontrados para la tarjeta 3COM

Figura 66 Throughput, tarjeta 3 Com, dos usuarios para 64 y 512 Bytes





Las gráficas resultantes para la tarjeta Orinoco se muestran en las siguientes figuras.

Figura 68 Throughput, tarjeta Orinoco, dos usuarios para 64 y 512 Bytes

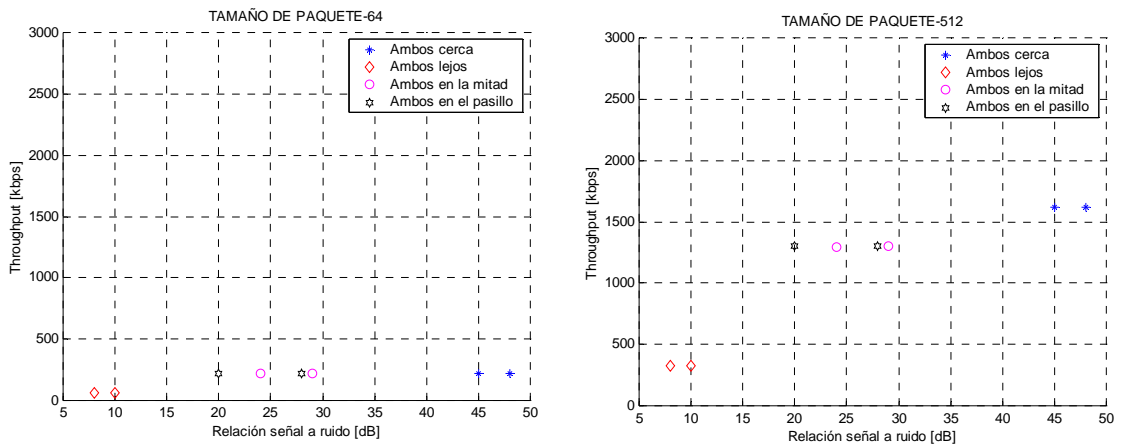
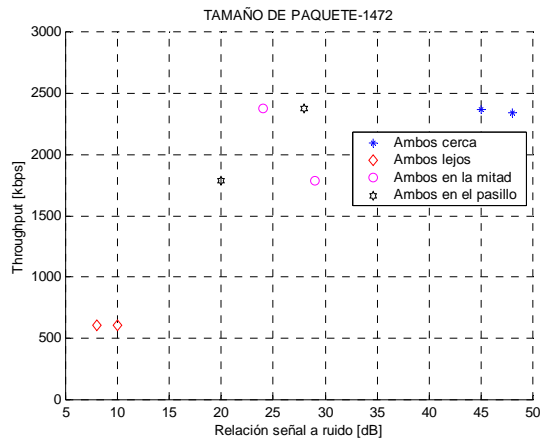


Figura 69 Throughput, tarjeta Orinoco, dos usuarios para 1473 Bytes



En las gráficas anteriores se establecen tendencias diferenciadas de forma más clara en la transmisión de paquetes pequeños y dispersándose más los datos para los tamaños grandes. En la primera parte se obtienen tasas de *throughput* altas y en general constantes para cada tamaño de paquete, bajando, en la segunda parte de dichas gráficas se observa que llegado cierto punto de lejanía de ambas tarjetas con respecto al Punto de Acceso las tasas bajan considerablemente. En la tercera parte se observa la misma tendencia que las distribuciones dentro de salones de las dos primeras parte, después de determinado punto de lejanía de ambas tarjetas se tiene la reducción de la tasa de *throughput*.

4.2.3 Escenarios con cuatros y ocho usuarios

Para cuatro usuarios se muestra la tasa de tráfico obtenido en cada uno de los 3 escenarios propuestos y los distintos tamaños de paquete. Los escenarios trabajados corresponden a:

- 3401 Las cuatro tarjetas en el recinto más cercano
- 3402 Las cuatro tarjetas en el recinto más lejano
- 3403-3405 Las tarjetas distribuidas en los puntos medios

Figura 70 *Throughput*, cuatro usuarios, para 64 y 128 Bytes.

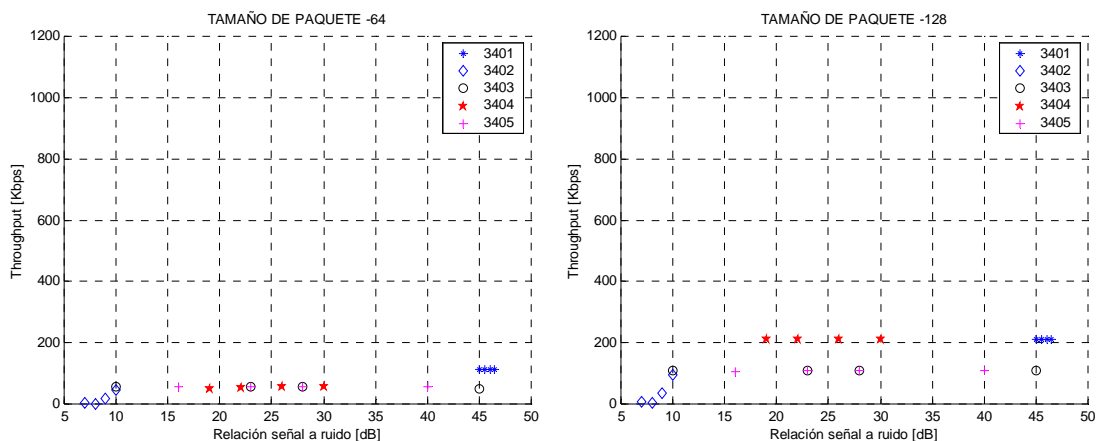


Figura 71 *Throughput*, cuatro usuarios, para 256 y 512 Bytes.

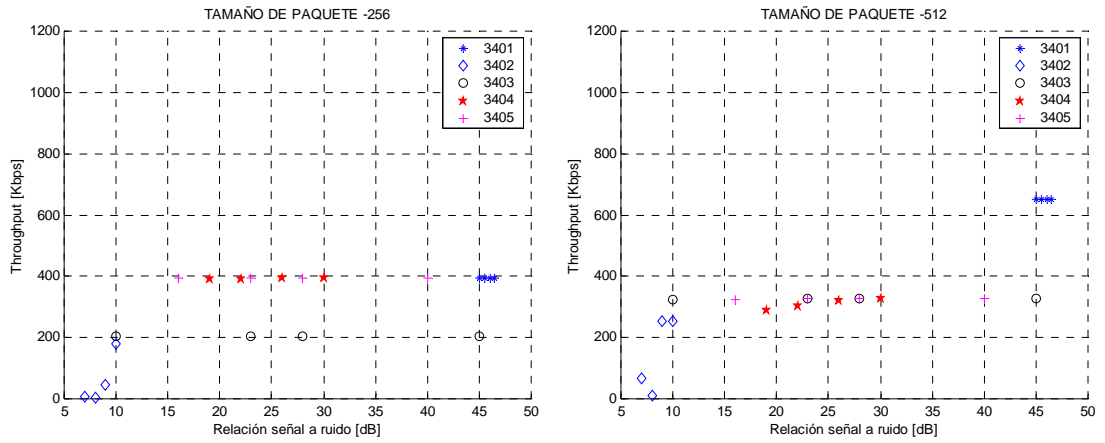


Figura 72 *Throughput*, cuatro usuarios, para 1024 y 1280 Bytes.

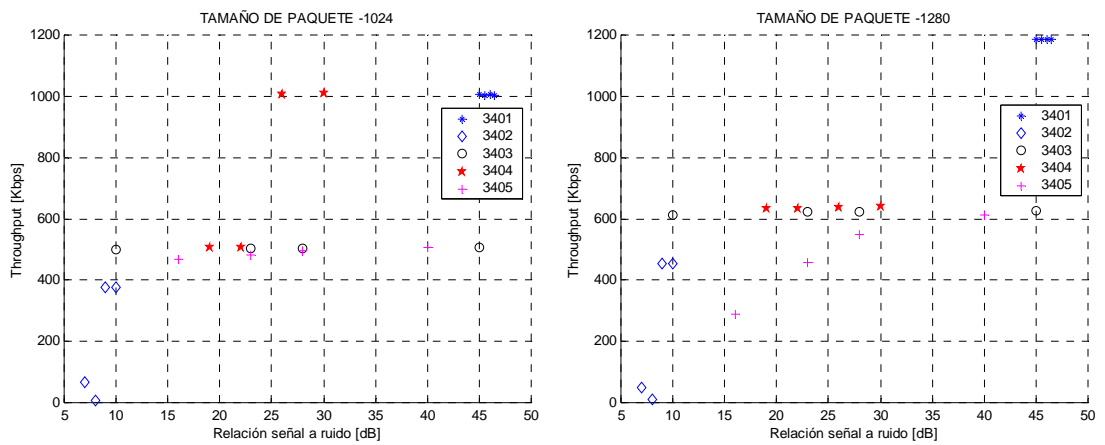
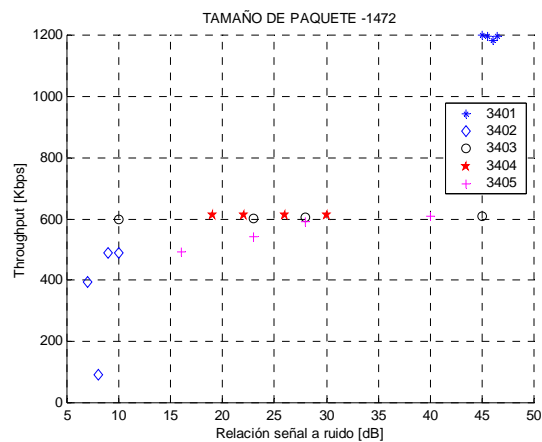


Figura 73 *Throughput*, cuatro usuarios, para 1472 Bytes.



De esta forma, se puede notar la diferencia entre el primer escenario, donde todos los usuarios se encuentran en el mismo recinto que el Punto de Acceso, que muestra por lo general, tasas de *throughput* más altas que en aquellos donde se encuentran distribuidos y con diferentes niveles de relación señal a ruido. En el segundo escenario, donde todas están alejadas también se ve la reducción de la tasa, aunque en ocasiones llega a presentar la misma tasa que en los escenarios distribuidos. A distancias intermedias se tiene ciertos rangos de la tasa de *throughput* bastante definidos, en los que en ocasiones varía con la relación señal a ruido.

Al igual que para los escenarios de cuatro usuarios, para los de ocho se pretende mostrar solo la tendencia de valores presentes en las tarjetas sin establecer relaciones con respecto a la intensidad de potencia, o a la relación señal a ruido, debido a que dependiendo del escenario se tendrán diferentes valores de estos dos parámetros para cada posición. A continuación se muestran las gráficas de *throughput* contra los escenarios para cada uno de los tamaños de paquete, donde se mezclan indistintamente las tres marcas de tarjetas, donde:

- 4401 Las ocho tarjetas en el recinto más cercano
- 4402 Las ocho tarjetas en el recinto más lejano
- 4403 Las ocho tarjetas distribuidos en el medio

Figura 74 Throughput, ocho usuarios, para 64 y 128 Bytes

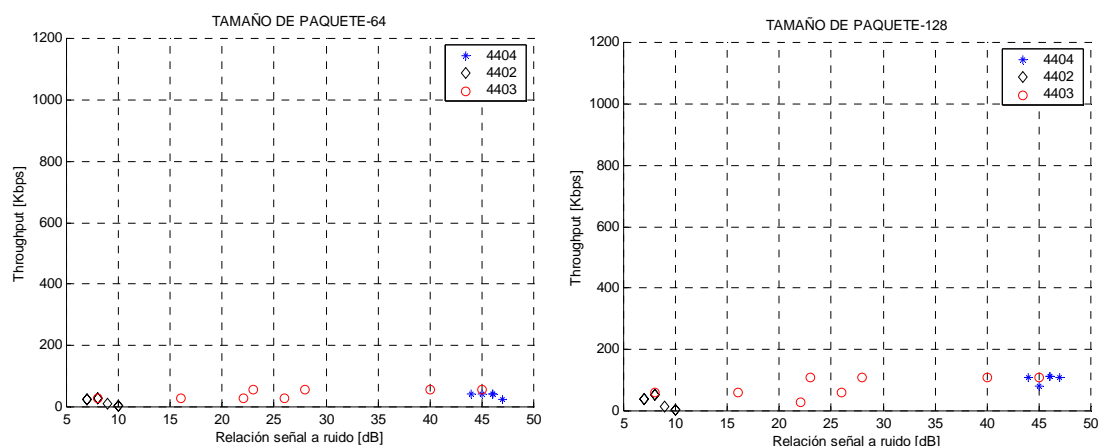


Figura 75 Throughput, ocho usuarios, para 256 Y 512 Bytes

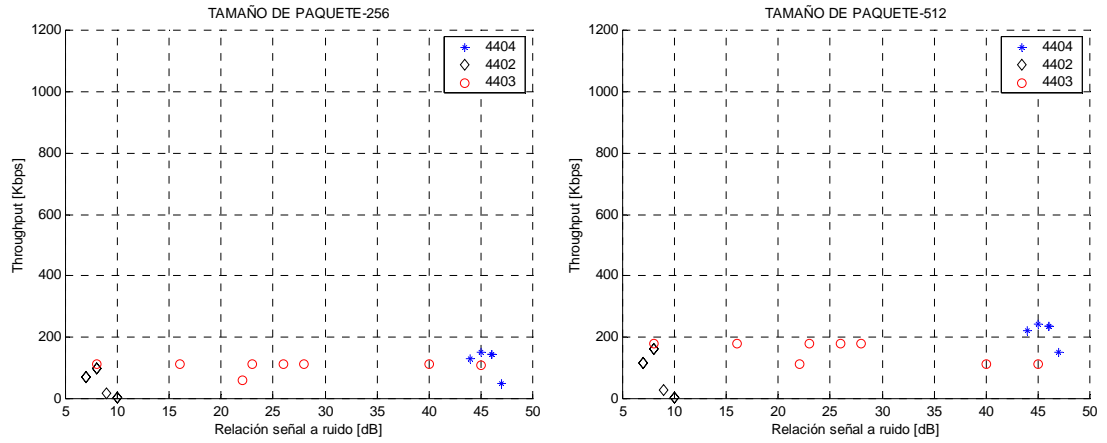


Figura 76 Throughput, ocho usuarios, para 1024 Y 1280 Bytes

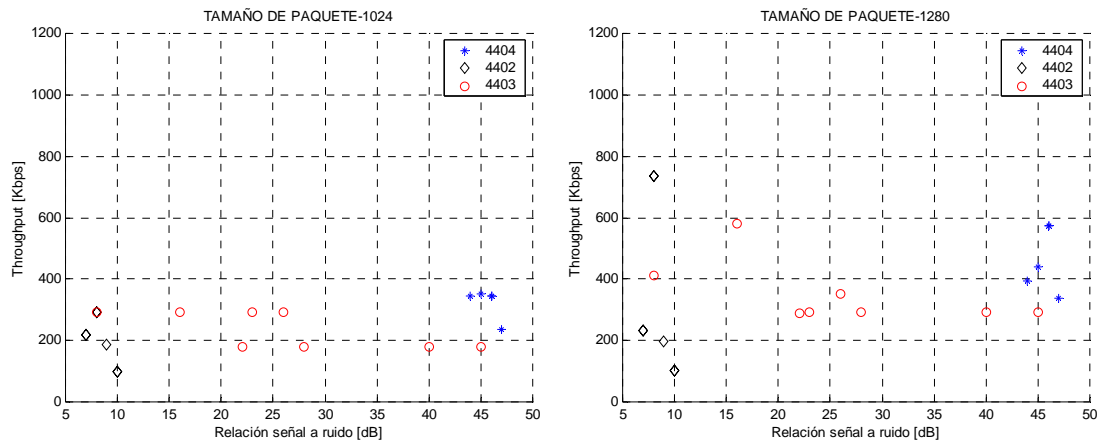
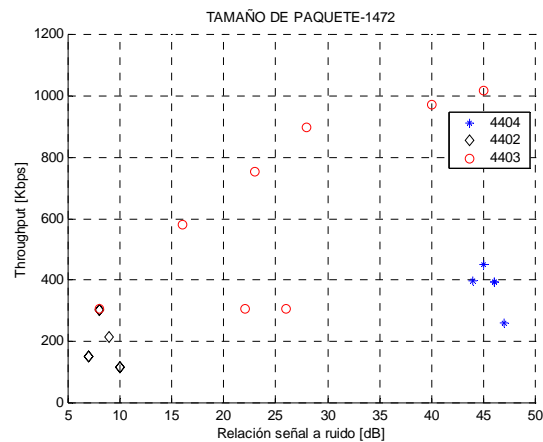


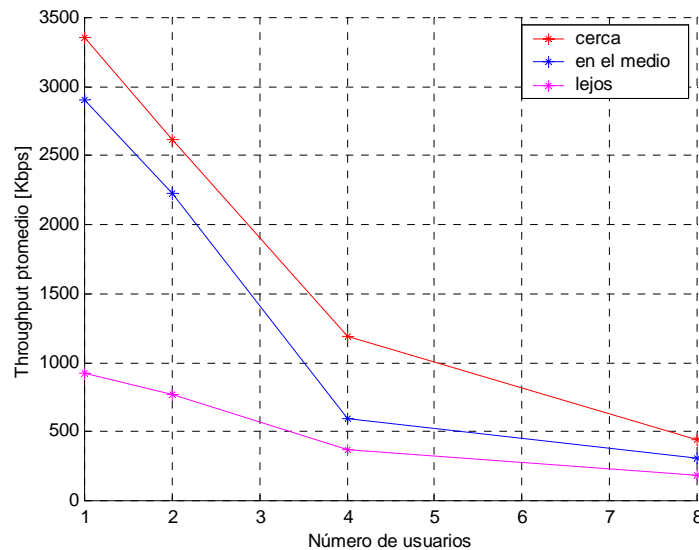
Figura 77 Throughput, ocho usuarios, para 1472 Bytes



La dispersión en los datos para los escenarios de cuatro y ocho usuarios se le atribuye a las pérdidas por trayectoria y a la disputa por el acceso al medio.

Para un análisis general de la variación de *throughput* con respecto al número de usuarios se presenta a continuación una gráfica donde se promedian los resultados de aquellas ubicaciones, según el número de usuarios, pertenecientes a aquellos escenarios donde las tarjetas se encuentran cerca del Punto de Acceso, en las distancias medias a este y por último, los escenarios donde se encuentran en el recinto o las ubicaciones más alejadas, para potencias superiores al nivel de sensibilidad.

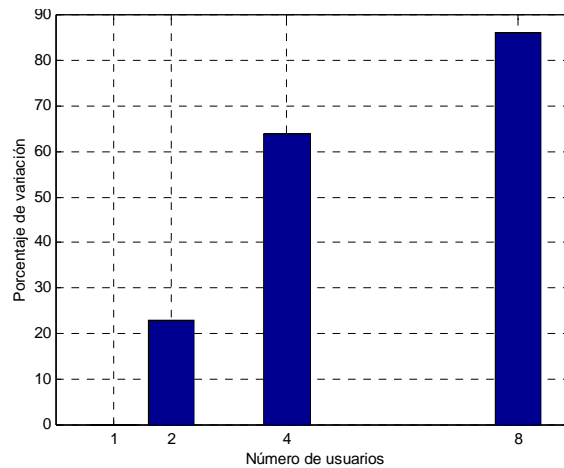
Figura 78 Variación de *Throughput* con respecto al número de usuarios



Como era de esperarse, las tasas de *throughput* alcanzadas para cada número de usuarios va disminuyendo a medida que este número aumenta; debido a que solo se tienen cuatro valores determinados no se puede alcanza a observar un comportamiento más general. Sin embargo, a continuación se presentan los porcentajes de variación de la tasa de *throughput* según el número de usuarios en relación con la tasa dada para un solo usuario (Figura 79), donde se puede corroborar que a medida que se incrementa el número de usuarios en una potencia de dos se observa un una reducción en el valor de la tasa de

throughput.

Figura 79 Disminución de la tasa de *throughput* en relación con la obtenida un solo usuario

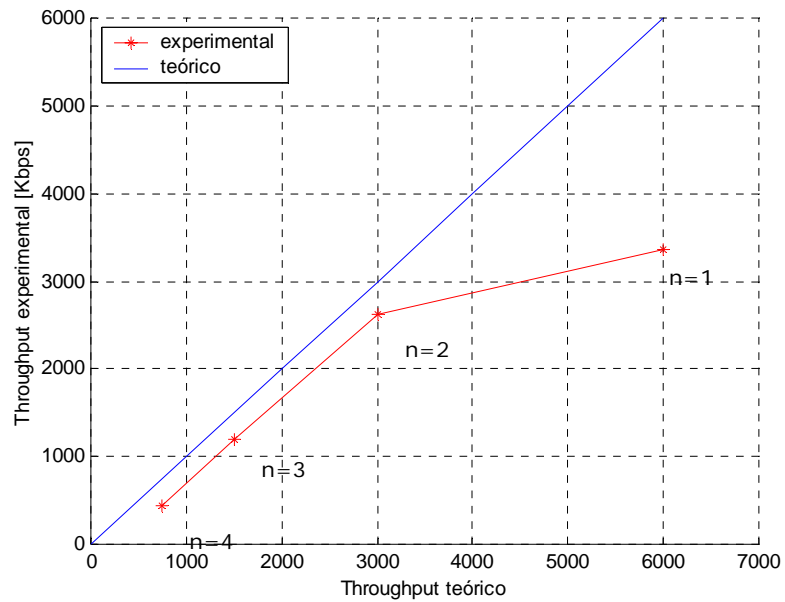


Debido a que en la literatura consultada no se encuentra una relación del comportamiento de *throughput* en relación con el número de usuarios³⁶ se esperaría que a medida que se incrementa el número de usuarios en la red, la máxima tasa de *throughput* tuviera una reducción en relación inversa con el aumento en el número de usuarios, es decir, la tasa estaría dada por el *throughput* máximo teórico por un solo usuario dividido entre el número de usuarios. Para examinar que tan cierta es esta suposición se graficó la tasa de *throughput* esperada para cada número de usuarios contra las tasas de *throughput* experimentales encontradas (Figura 80).

Tomando como cierto el supuesto del comportamiento teórico, se puede observar que para un solo usuario, donde se cuenta con el valor de tasa más alto, cercano a 6 Mbps, los valores obtenidos están muy por debajo, pues decaen casi a la mitad de este, cercanos a los 3.5 Mbps.

³⁶ En [11] no se tiene en cuenta el número de usuario para la realización del cálculo teórico de la tasa de *throughput*

Figura 80 *Throughput* esperado vs. *Throughput* obtenido



Donde, n = número de usuarios

Al contrario de lo que se esperaría, para dos, cuatro y ocho usuarios las tasas no presentan una diferencia tan grande, resultado que contrasta con lo esperado por la lógica común; algunas pruebas se repitieron para corroborar éste comportamiento y de hecho se obtuvieron valores muy cercanos a los ya obtenidos. De igual forma, si observamos de nuevo la figura 78, se demuestra la misma tendencia para los tres ambientes propuestos. Los autores del presente proyecto, atribuimos este comportamiento a las funciones de la capa de acceso al medio del estándar 802.11b, en la cual el arbitramento del canal es muy complejo; pero, debido a la ya mencionada falta de documentación correspondiente a estudios que relacionen el estándar con el número de usuarios no nos atrevemos a asegurar dicho comportamiento, y más bien lo dejamos como una propuesta interesante para estudios posteriores.

4.3 TASA DE BITS PERDIDOS (BER)

Para la presentación de los resultados de la tasa de bits errados se muestran sólo aquellos obtenidos para el menor y el mayor tamaño de paquete, con el fin de establecer el rango de porcentaje de pérdidas. El porcentaje se establece multiplicando por 100 el cociente entre el número de bits perdidos y el total de bits enviados.

4.3.1 Escenarios con un solo usuario.

A continuación se presentan, para cada una de las marcas de tarjetas, transmitiendo a su tasa máxima teórica, los resultados del porcentaje de BER para el menor y el mayor tamaño de paquete, es decir a 1066 pps³⁷ y 502 pps respectivamente. Figura 81.

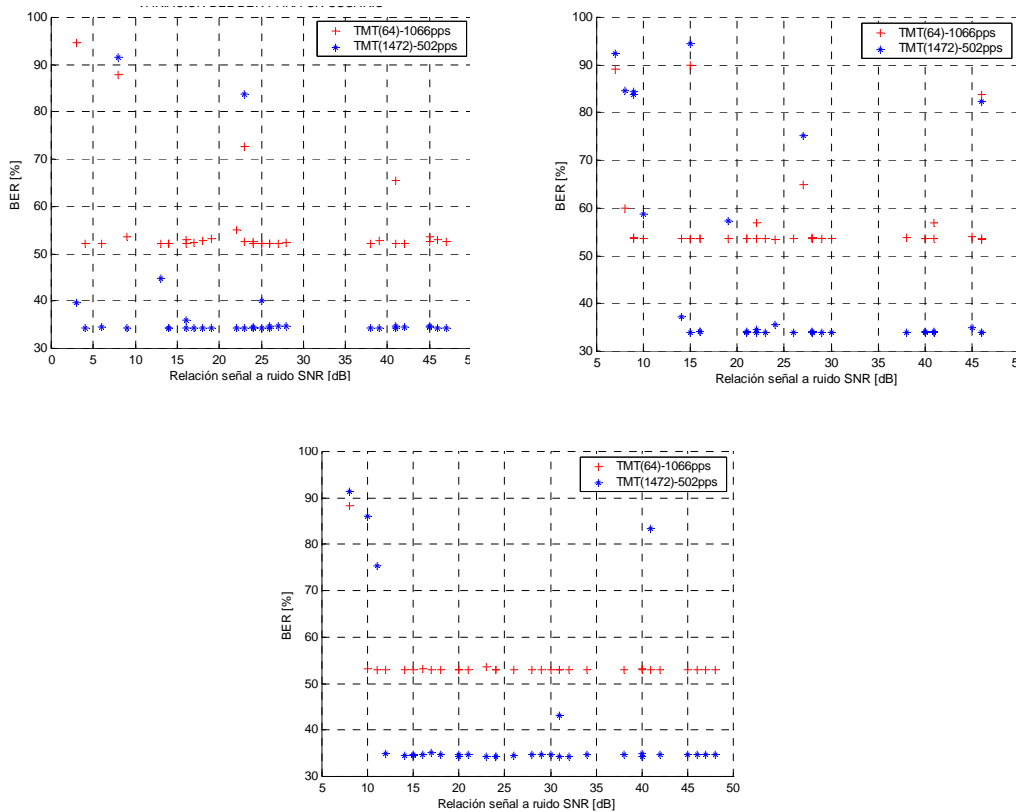
Para un mejor análisis de la relación de la tasa de bits errados (BER), en los escenarios con un solo usuario, se presentarán el promedio de los bits errados para cada tamaño de paquete. Este promedio se calcula sobre las 33 pruebas realizadas, para cada marca de tarjeta, y para cada porcentaje de disminución en relación a la máxima tasa teórica, evaluada para cada tamaño de paquete.

Las gráficas con la presencia de todos los puntos y el promedio respectivo de las mismas se presenta en el Anexo E. Las gráficas correspondientes a las tres marcas utilizadas en función del tamaño de paquete y el valor de la relación señal a ruido (SNR) se muestran en la figura 82.

Figura 81 BER, tarjetas D'link (izquierda), 3COM (derecha) y Orinoco (abajo) un

³⁷ Pps - paquetes por segundo.

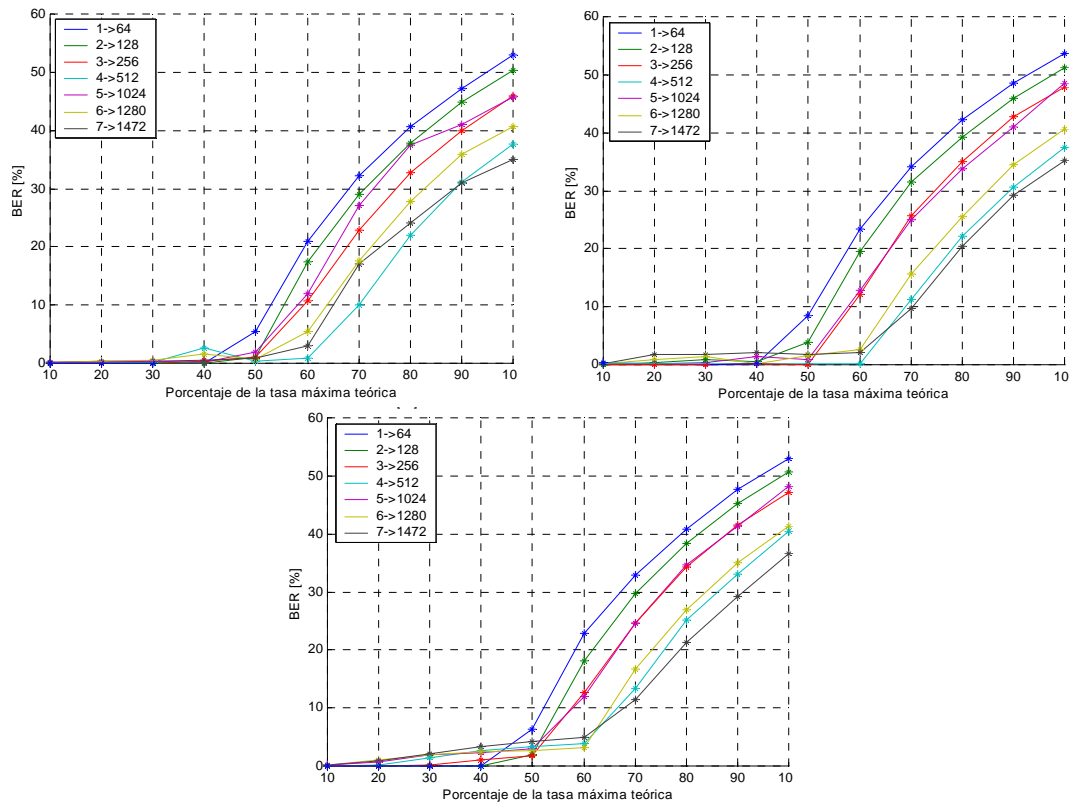
usuario, para 64 y 1472 Bytes.



El comportamiento evidencia que a medida que se incrementa el tamaño de paquete enviado, en general, las pérdidas disminuyen para todos los porcentajes de disminución de la tasa máxima.

Haciendo referencia al plano horizontal, y esperando un porcentaje de pérdida cercano a cero para aquellas tasas donde se llega a *throughput*, se puede observar que para el menor tamaño de paquete, es decir 64 Bytes, se alcanza un porcentaje bajo de pérdidas cuando se ha reducido la tasa de envío teórica en un 40%, mientras que para el mayor tamaño de paquete (1472 Bytes) se alcanza un porcentaje bajo de pérdidas a un 60%. Lo que conduce nuevamente a señalar que a medida que el tamaño de paquete es mayor se alcanza la tasa de *throughput* con un porcentaje mayor en relación a la tasa teórica.

Figura 82 ER, tarjetas D'link (izquierda), 3COM (derecha) y Orinoco (abajo) un usuario, en relación al SNR



4.3.2 Escenarios con dos usuarios.

Para el análisis del BER en los escenarios con dos usuarios se presentan solo alguna de estas tasas según la distancia al Punto de Acceso, representativas del porcentaje de pérdidas en las zonas establecidas dentro del área, con el fin de poder establecer tendencias más claras. Además, solo se mostrarán para el menor y el mayor tamaño de paquete³⁸.

Figura 83 BER, tarjeta D'link, dos usuarios, por escenarios, para 64 y 1472 Bytes

³⁸ Las gráficas para los demás tamaños se encuentran en el anexo graficas

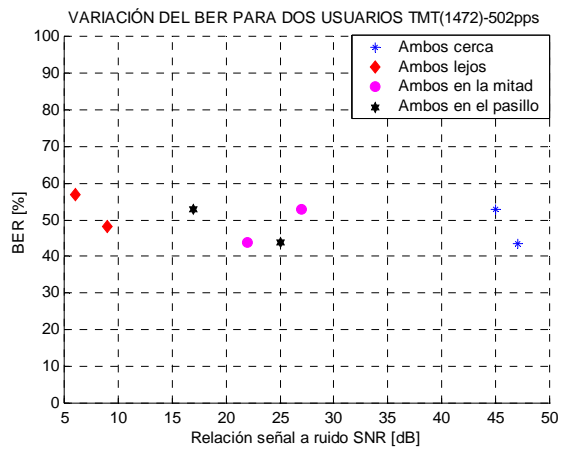
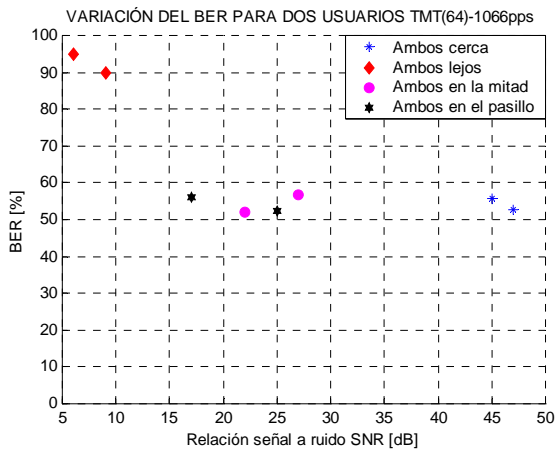


Figura 84 BER, tarjeta 3 COM, dos usuarios, por escenarios, para 64 y 1472 Bytes

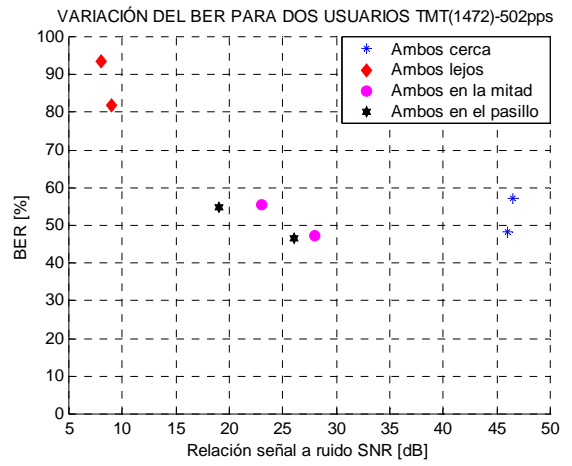
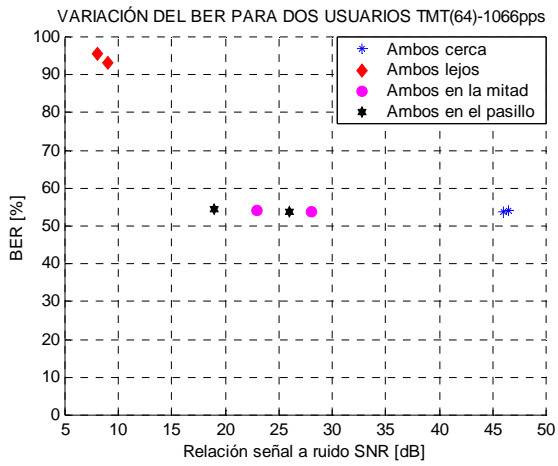
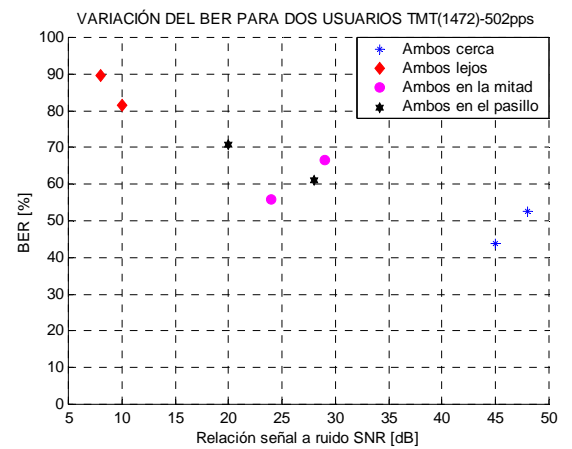
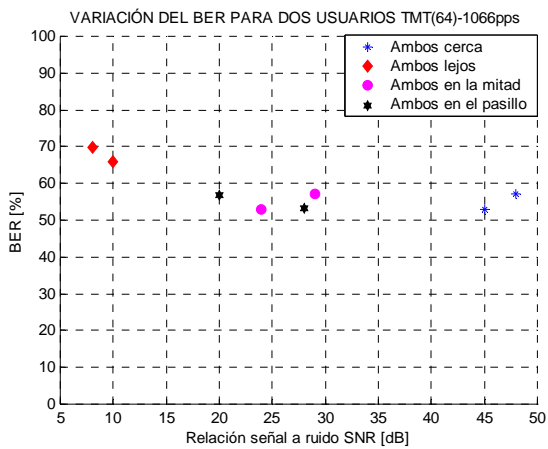


Figura 85 BER, tarjeta Orinoco, dos usuarios, por escenarios, para 64 y 1472 Bytes



Nuevamente se evidencia que para valores superiores a 16 dB de relación señal a ruido no se presentan porcentajes de pérdidas altos, es decir, cuando las tarjetas se encuentran en el recinto más cercano o en las ubicaciones del medio. También se puede apreciar que al transmitir paquetes más largos disminuyen las pérdidas considerablemente. Como se puede apreciar en las gráficas anteriores, las pérdidas para los escenarios con dos usuarios nunca se encuentran por debajo del 40% para ninguna de las 3 marcas de tarjetas utilizadas.

4.3.3 Escenarios con cuatro y ocho usuarios. Como se mostrará más adelante, para cuatro usuarios el porcentaje de pérdidas para aquellos escenarios donde se encuentran las tarjetas bastante alejadas del Punto de Acceso es muy cercano al 100 por ciento. Sin embargo, aquellas tarjetas, que se encuentran bastante cerca del este punto siguen presentado pérdidas bastante altas a su tasa máxima teórica de transmisión, nunca menor del 70%, para todos los tamaños de paquete. Para consideraciones de estas pérdidas solo se mostrará la tasa máxima del menor y del mayor tamaño de paquetes trabajados, de tal suerte que se pueda evidenciar en la mayoría de los casos la reducción de los porcentajes de pérdidas a un mayor tamaño de paquete.

Para las figuras 86 y 87 se tiene en cuenta los siguientes escenarios³⁹:

- 3401 Las cuatro tarjetas en el recinto más cercano
- 3402 Las cuatro tarjetas en el recinto más lejano
- 3403-3405 Las tarjetas distribuidas en los puntos medios

³⁹ Ver sección 2.4

Figura 86 BER, todas las tarjetas, cuatro usuarios, para 64 Bytes

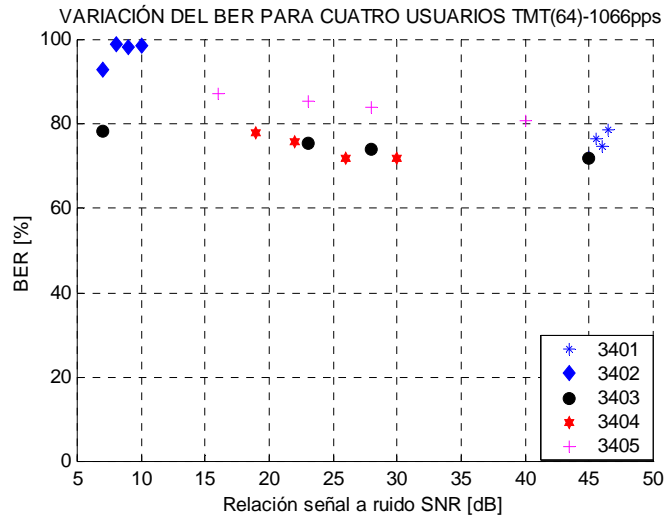
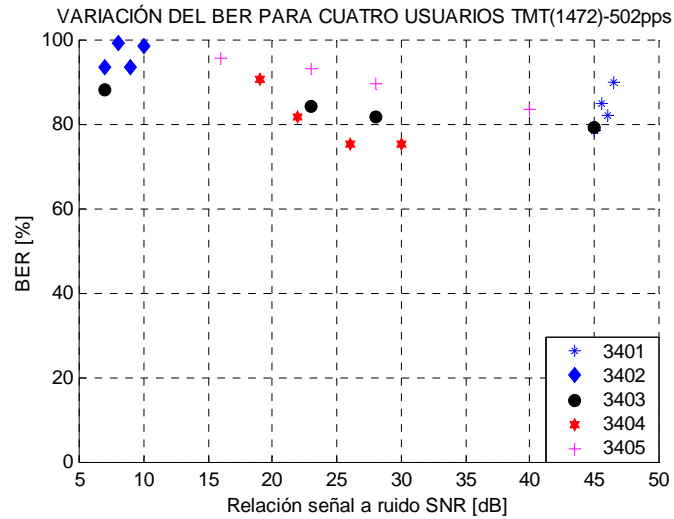


Figura 87 BER, todas las tarjetas, cuatro usuarios, para 1472 Bytes



Debido a que las pruebas realizadas para ocho usuarios transmitiendo a las tasas teóricas calculadas en el capítulo 2 de esta tesis, producían pérdidas del ciento por ciento para los escenarios en los que varias tarjetas poseían bajo nivel de potencia, se procedió a transmitir iniciando con la mitad de la tasa teórica de transmisión para poder obtener las tasas de *throughput*, lo que condujo a que no se pudieran determinar las tasas de pérdidas de bits para la tasa teórica tomada para menos usuarios. Sin embargo a continuación se presentan las gráficas correspondientes a las pérdidas para la máxima tasa tomada, donde:

- 4401 Las ocho tarjetas en el recinto más cercano
- 4402 Las ocho tarjetas en el recinto más lejano
- 4403 Las ocho tarjetas distribuidas en los puntos medios

Figura 88 BER , todas las tarjetas, ocho usuarios, a 64 Bytes y 633 pps.

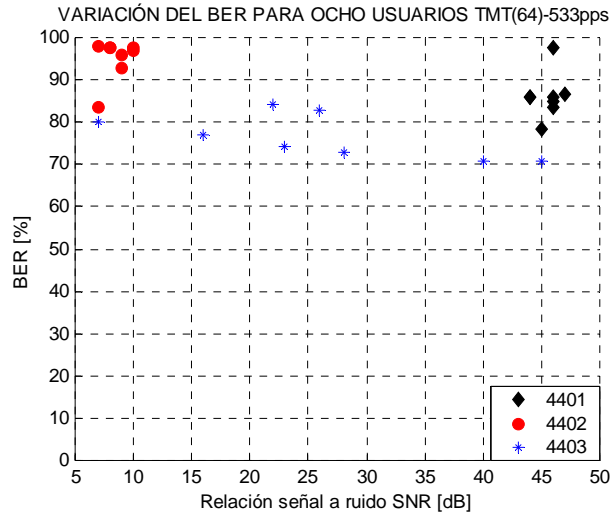
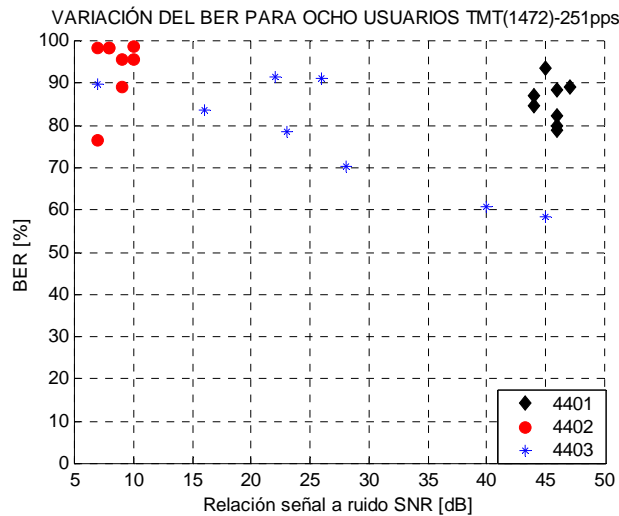
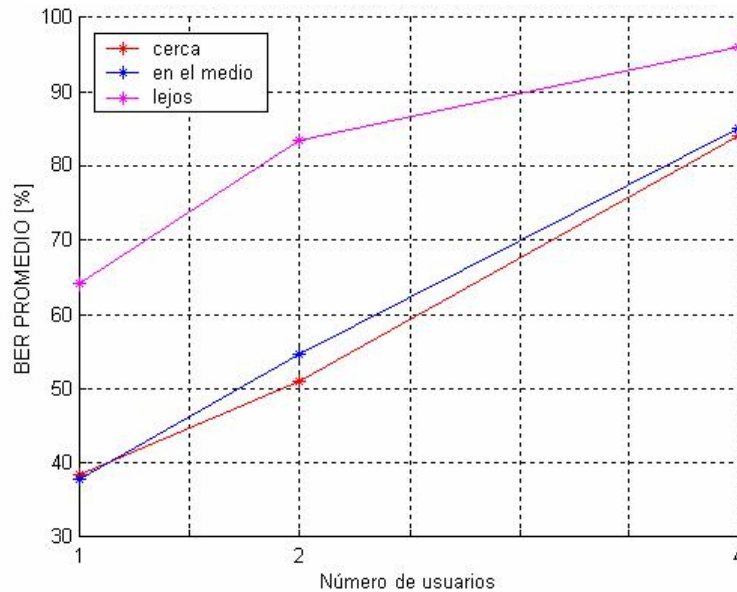


Figura 89 BER , todas las tarjetas, ocho usuarios, a 1472 Bytes y 251pps.



Teniendo en cuenta los resultados del porcentaje de la variación del BER para un, dos y cuatro usuarios, considerando la distancia de estos en relación al Punto de Acceso ,tal como se planteo para la tasa de *throughput* para 8 usuarios

Figura 90 Porcentaje promedio de variación según número de usuarios



Así, en las ubicaciones donde se presentan niveles de señal óptimos para la transmisión a 11Mbps se encuentran valores bastante cercanos y un comportamiento similar, mientras que para las ubicaciones con niveles de señal inferiores a la sensibilidad de los dispositivos se presenta un aumento bastante considerable en la tasa de bits errados y un comportamiento diferente.

4.4 LATENCIA Y JITTER

Como se expuso en el capítulo 2, para la toma de medidas de latencia y *jitter* se consideraron las medidas de los valores mínimos y máximos de estas, así como el promedio. Estos valores hacen referencia al retardo que experimentan los datos en llegar desde el punto generador a la(s) tarjeta(s) cliente, por tal motivo es de especial interés la sincronización entre las máquinas que intervienen en el desarrollo de la prueba. Para este fin se introdujo una comando en el *script* generador utilizado, donde al inicio de cada prueba total las estaciones cliente se sincronizaban con la estación generadora.

Sin embargo, en las medidas tomadas para las pruebas de latencia y *jitter* no se encuentran tendencias claras con respecto a la relación señal a ruido, pues estas medidas son de gran variabilidad a través del tiempo y en una misma prueba se presentan rangos de valores bastante amplios. Por este motivo se realiza un promedio sobre todas las pruebas realizadas teniendo en cuenta el tamaño de paquete, pues se corroboró que según el número de usuarios en la red no se presentaba tendencia alguna. Los resultados de estos análisis se presentan en el Anexo E.

En las figuras 91, 92 y 93, se muestran dichos promedios para cada una de las marcas con que se trabajó, y su respectiva ecuación de aproximación. Cabe anotar que estos retardos pertenecen a los generados por la transmisión entre el Punto de Acceso y la(s) tarjeta(s), ya que el generador fue conectado al Punto de Acceso por medio de tecnología Ethernet, en donde los retardos generados son despreciables en comparación a la tecnología inalámbrica.

Figura 91 Latencia y *Jitter*, tarjeta D'link, múltiples usuarios, con respecto al tamaño de paquete

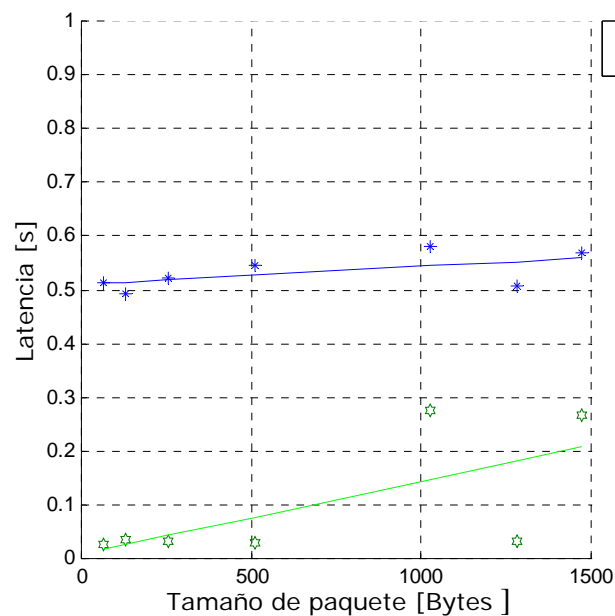


Figura 92 Latencia y *Jitter*, tarjeta 3 COM, múltiples usuarios, con respecto al tamaño de paquete

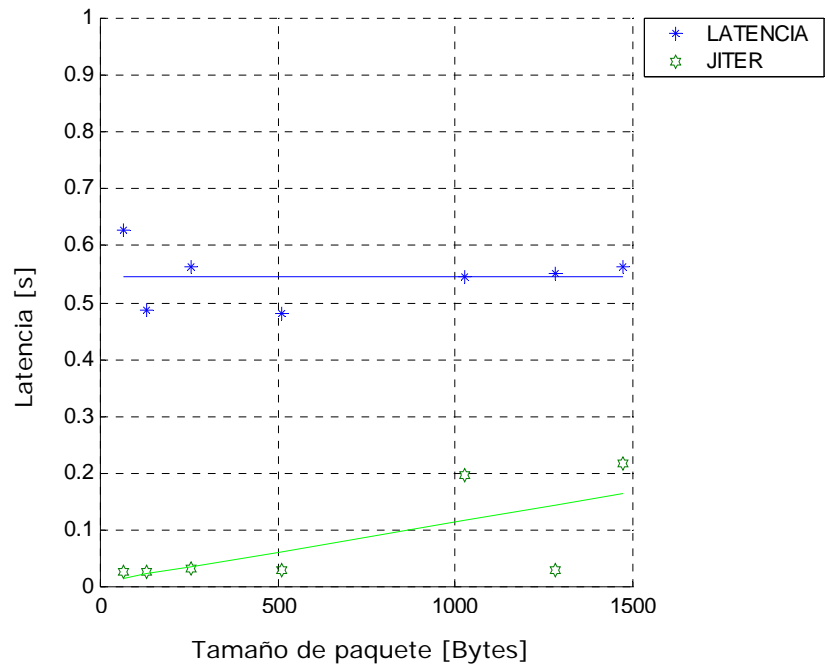
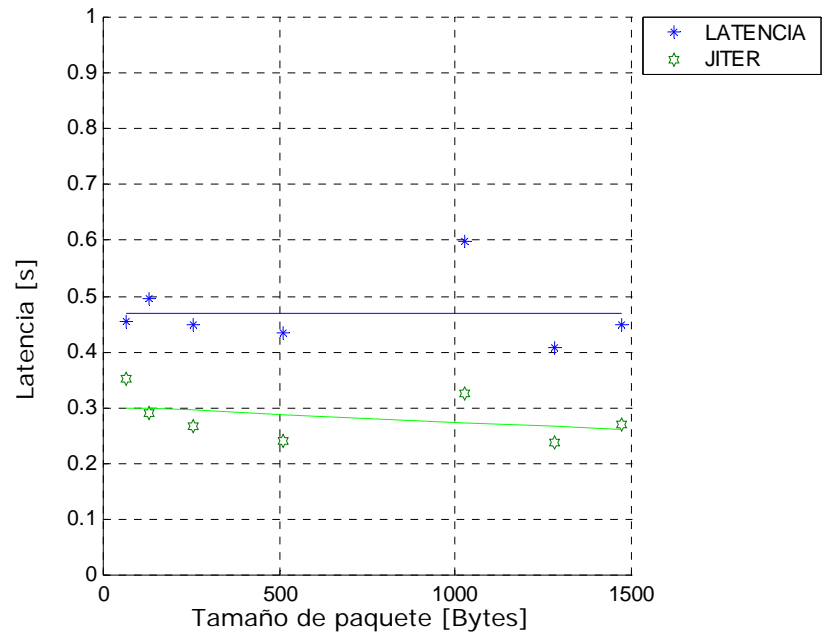


Figura 93 Latencia y *Jitter*, tarjeta Orinoco, múltiples usuarios, con respecto al tamaño de paquete



Como se puede observar, para las tres marcas, el promedio de la latencia se encuentra aproximadamente en 500ms, sin presentar mayores cambios al variar el tamaño de paquete. Como era de esperarse, este valor se encuentra muy por encima de los retardos presentados por las redes cableadas, limitando el uso de redes WLAN IEEE 802.11b en ciertas aplicaciones. En relación al *jitter* encontramos tiempos menores que para el caso de la latencia, presentando aumento de este para la transmisión de paquetes grandes para el caso de D'Link y 3 COM, y una inesperada disminución para el caso de Orinoco.

Otros estudios realizados anteriormente presentan resultados igual de variantes que los anteriormente presentados, donde estas dos medidas no muestran comportamientos especiales bajo los parámetros trabajados, [21].

5. CONCLUSIONES

Este documento presenta una metodología para la evaluación del desempeño de redes inalámbricas 802.11b, basada en la creación de diferentes escenarios en el área de prueba, además de la variación en el número de usuarios de la red y la ubicación de estos dentro del área de cobertura de dicha red. La evaluación se desarrolla a la luz de parámetros como la el nivel de intensidad de señal recibida (RSSI), la relación señal a ruido (SNR), el *throughput*, la pérdida de paquetes, la latencia y el *jitter*, por considerarse parámetros propios de cualquier red, que suministran información relevante sobre su comportamiento.

En la implementación la metodología se realizó una extensa campaña de medidas sobre la red inalámbrica de prueba como parte esencial de este trabajo. Los resultados de estas han sido ampliamente mostrados con el propósito de revelar de manera clara el comportamiento de la red en prueba, de tal suerte que se constate la validez de la metodología planteada y se logren determinar las principales características de una red inalámbrica.

Partiendo de una visión sencilla sobre los conceptos de redes inalámbricas y otros trabajos desarrollados anteriormente, la metodología propuesta se fundamenta en la medición de parámetros propios de cualquier red que ponen en manifiesto su comportamiento.

La potencia, referenciada en la relación señal a ruido (SNR), fue tomada como escala de comparación para los demás parámetros elegidos para la evaluación. La tasa de *throughput* se consideró como parámetro principal de valoración ya que es este el que determina la tasa de transmisión de datos real que se puede presentar a través del enlace inalámbrico vista desde el usuario.

Los escenarios creados dentro de la metodología reflejan en los resultados una forma útil de presentación de las medidas de acuerdo a una clasificación de los dispositivos a analizar, según su ubicación en tres regiones diferenciadas dependiendo de la distancia al punto de acceso.

Un gran número de pruebas realizadas, gracias a la metodología propuesta, lograron resaltar las características importantes de las WLANs en relación a los parámetros sugeridos bajo varias cargas de red y diferentes escenarios. Después de un análisis de los resultados a continuación se mencionan los más representativos:

- Como era de esperarse a través del área de cobertura, se presenta una caída del nivel de intensidad de potencia y de la relación señal a ruido a medida que las tarjetas cliente se alejan del Punto de Acceso, ocasionando caídas más abruptas de estos niveles en las separaciones por muros, las cuales estuvieron en el orden de 6 dbm. De igual forma, se puede percibir que a lo largo de corredores sin obstrucciones los niveles de potencia tienen una caída menos pronunciada.
- La tecnología 802.11b, ofrece un área de cobertura de aproximadamente de 30mts *indoor* y 120mts en ambientes *outdoor* con una tasa de transmisión de 11Mbps. Sin embargo el área de cobertura de la red de prueba estaba limitada por la infraestructura de los planos. Asumiendo que se contaba con un ambiente *indoor* de oficina cerrada se corroboró que efectivamente el límite al cual los dispositivos manejaban tasas de 11Mbps cercano a los 30mts.
- La tasa de transmisión sin pérdidas, o throughput encontrado para las tres marcas de tarjetas utilizadas, muestran valores bastante cercanos, para niveles de intensidad y de relación señal a ruido superiores al nivel

de sensibilidad de las tarjetas. Para aquellos valores que se encuentran por debajo de este valor las tasas decaen abruptamente debido al ajuste de la tasa de transmisión de los dispositivos. Para cada tamaño de paquete se obtuvo una tasa de throughput diferente que va aumentando con el tamaño de paquete. Los valores de throughput están comprendidos entre los 220 y los 3500 Kbps. Esto se debe a que a medida que se aumenta el tamaño de paquete el porcentaje de carga efectiva en relación al tamaño del paquete se hace mayor y produce tasas de throughput más altas.

- Al incrementarse el número de usuarios de la red las tasas de throughput percibidas en las tarjetas decaen de manera considerable en los tres casos en que fueron trabajados los datos según la cercanía al Punto de Acceso. Se podría pensar que la relación de la tasa de throughput según el número de usuarios debería decaer de manera inversa al número de estos, pero según los resultados, el presente trabajo comprobó que la caída de estas tasas se presentaba muy por debajo de esta suposición, en especial para los escenarios con un solo usuario.
- Las tasas de throughput encontradas para todos los casos distan bastante de las tasas teóricas esperadas y calculadas según [11]. Se encontraron tasas de bits erróneos de más del 30% para el mayor tamaño de paquete trabajado e y tasas superiores cuando se incrementa el número de usuarios.
- Cuando los dispositivos no se encuentran en el rango de sensibilidad requerido para 11Mbps, las tasas de bits errados se incrementan debido a que se opera a una tasa de transmisión menor, por lo tanto los cálculos teóricos utilizados en esta tesis no serían los correspondientes.

- Se pudo comprobar que las medidas de latencia y *jitter* no se ven afectadas por el tamaño de paquete ni por el número de usuarios, tampoco se percibe relación alguna en cuanto a los niveles de potencia. Muy por el contrario se obtiene valores bastante dispersos y en relación a las redes cableadas bastante alto, en promedio alrededor de los 500ms para la latencia y de 250ms para el *jitter*. Dejando ver que estas redes no son idóneas para aplicaciones altamente sensibles al tiempo, como el caso de multimedia, la cual requiere latencias menores a 400ms y *jitter* inferiores a 125ms, para obtener una calidad de video aceptable.

Para finalizar, dejamos en manos de los interesados un desarrollo que les permitirá en primera instancia, conocer el nivel de desempeño de sus redes inalámbricas y en otros casos comparar los equipos de proveedores en soluciones WLAN 802.11b.

6. RECOMENDACIONES

Debido a la gran acogida de la tecnología inalámbrica y la poca información experimental que se encuentra disponible en cuanto a esta se refiere, se puede considerar un terreno poco explorado, por lo cual este proyecto deja abiertos muchos interrogantes respecto a varios factores que no fueron considerados dentro de la metodología. A continuación se sugieren varias líneas de trabajo en las que se podría seguir investigando.

- Uno de los factores que no fueron tenidos en cuenta dentro de la evaluación y que se debe considerar para redes inalámbricas de mayor tamaño, es la posible presencia de más de un Punto de Acceso, lo cual podría ocasionar cierta interferencia.
- Se recomienda realizar un estudio más detallado sobre la implicación del número de usuarios dentro de una red inalámbrica; la metodología propuesta concibe éste parámetro para la evaluación, pero según los resultados obtenidos no se observa relación directa entre la tasa máxima teórica de throughput y el número de usuarios.
- Para facilitar la evaluación de una red inalámbrica, se recomienda realizar un paralelo entre herramientas software que permitan simular una red WLAN 802.11b, y los resultados obtenidos con la implementación para corroborar y ajustar los obtenidos con la herramienta.
- Se propone un estudio más riguroso sobre el nivel de intensidad de señal recibida (RSSI) y/o la relación señal a ruido (SNR), que permita, mediante alguna técnica predecir dicho parámetro y compararlo con resultados experimentales.

REFERENCIAS

- [1] ATHEROS COMMUNICATIONS. Methodology for testing Wireless LAN Performance [on line]. 2003. Disponible en Internet: <http://www.atheros.com/pt/papers.html>.
- [2] MAEDA, Y; TAKAYA, K; KUWABARA, N. "Experimental Investigation of Propagation Characteristics of 2.4 GHz ISM-Band Wireless LAN in Various Indoor Environments", IEICE Transactions in Communications, Vol. E82-B, No. 10, Oct 1999.
- [3] XYLOMENOS, G; POLYZOS, G. C. "Internet Protocol Performance Over Networks Using Wireless Links," IEEE Network, Vol. 13, Iss 4, Pág. 55-63, 1999.
- [4] _____ . _____ "TCP And UDP Performance Over A Wireless LAN" Eighteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communication Societies, Proceeding. (INFOCOM '99), Vol. 2, Pag 429-446, 1999.
- [5] BING, B. "Measured Performance of the IEEE 802.11 Wireless LAN," Local Computer Network, 1999. Conference on (LCN '99). Pág. 34-42. 1999.
- [6] DUCHAMP, D.; Reynolds, N. "Measured Performance of a Wireless LAN" Local Computer Networks, 1992.
- [7] DEMIR, T; KOMAR, C; ERSOY, C. "Measured Performance of an IEEE 802.11 Wireless LAN," Proceeding of the Fifteenth International Symposium on Computer and Information Sciences, Istanbul, Turkey.

Pág 246-254, Oct 2000.

- [8] PRASAD, A.R.; PRASAD, N.R; KAMERMAN, A.; MOELARD, H; EIKELENBOOM, A. "Indoor Gíreles LANs Deployment" Vehicular Technology Conference Proceeding, 2000. IEEE 51st, (VTC 2000-Spring Tokio.), Vol 2, Pág. 1562-1566, 2000.

- [9] KAMERMAN, A.; ABEN, G. "Throughput performance of wireless LANs operating at 2.4 and 5 GHz," Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2000, The 11th IEEE International Symposium on, (PIMRC 2000), Vol. 1, Pág. 190-195, 2000.

- [10] SPURGEON, Charles. Ethernet : The definitive guide. Estados Unidos: O'Reilly & Associates, 2000. ISBN 1-56592-660-9.

- [11] JUN, Jabgeun; PEDDABACHAGARI, Pushkin; SICHITIU, Mihail. "Theoretical Maximun Throughput of IEEE 802.11 and its aplications".

- [12] TANENBAUN, Andrew S. REDES DE COMPUTADORAS, Tercera Edición, Prentice Hall Hispanoamericana S.A., 1997.

- [13] NAVY General Purpose Electronic Test Equipment (GPETE) Program and MARINE CORPS Test Measurement and Diagnostic Equipment (TMDE) Programs. MGEN
http://tang.itd.nrl.navy.mil/5522/mgen/mgen_index.html

- [14] GATES, Mark; TIRULAMA Ajay; FERGUSON Jim; DUGAN, Jon; QIN, Feng; GIBAS, Kevin. IPERF. National Laboratory for Applied Network, Research National Center for Supercomputing Applications, University of Illinois at Urbana-Champaign. 2003 <http://dast.nlanr.net/Projects/Iperf/>

- [15] NETIQ CORPORATION. QCheck. Copyright © 1993 - 2003 NetIQ and/or its suppliers, 3553 North First Street, San Jose, CA 95134, U.S.A. All rights reserved <http://www.netiq.com/qcheck/default.asp>
- [16] INFORMATION NETWORKS DIVISION HEWLETT-PACKARD. Netperf revision 2.1 Company February 15, 1996 <http://www.netperf.org/netperf/NetperfPage.html>
- [17] NETIQ CORPORATION Chariot Copyright © 1993 - 2003 NetIQ and/or its suppliers, 3553 North First Street, San Jose, CA 95134, U.S.A. All rights reserved <http://www.netiq.com/products/chr/default.asp>
- [18] JACOBSON, Van. Pathchart. LBL's Network Research Group. <http://www.caida.org/tools/utilities/others/pathchar/>
- [19] SANDIA NATIONAL LABORATORIOS, U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. Pchar "Copyright (c) 1995, 1996, 1997, 1998 The Regents of the University of California." <http://packages.debian.org/stable/net/pchar>
- [20] PITTSBURGH SUPERCOMPUTING CENTER (PSC), CARNEGIE MELLON UNIVERSITY, UNIVERSITY OF PITTSBURGH. Treno URL: <http://www.psc.edu/general/help/assistance.html>. Revised: Agosto, 2002.
- [21] MERAT, Frank ; LIBERATORE, Vincenzo. "An Analysis of Energy-Efficient Voice Over IP Communication in Wireless Networks", Case Western Reserve University., Marzo 2004

BIBLIOGRAFÍA

ANSI/IEEE Std 802.11. Ed 1999.

ATHEROS COMMUNICATIONS. Methodology for testing Wireless LAN Performance [on line]. 2003. Disponible en Internet: Available of the World Wide Web: <<http://www.atheros.com/pt/papers.html>>.

BING, Benny. Measured Performance of the IEEE 802.11 Wireless LAN Local Computer Networks. Conference on. (LCN '99). 1999.

DEMIR, T; KOMAR, C y ERSOY, C. Measured Performance of an IEEE 802.11 Wireless LAN Proceeding of the Fifteenth International Symposium on Computer and Information Sciences, Istanbul, Turkey. Pág 246-254, Oct de 2000.

DUCHAMP, D.; Reynolds, N. Measured Performance of a Wireless LAN Local Computer Networks, 1992.

GATES, Mark et al. IPERF. National Laboratory for Applied Network, Research National Center for Supercomputing Applications, University of Illinois at Urbana-Champaign. 2003 Available of the World Wide Web: <<http://dast.nlanr.net/Projects/Iperf/>>

HENTY, Benjamin. Throughput Measurements and Empirical Models for IEEE 802.11b Wireless LAN (WLAN) Installations, Instituto Politécnico de Virginia, Agosto 9, 2001.

INFORMATION NETWORKS DIVISION HEWLETT-PACKARD. Netperf revision 2.1 Company Feb. 15, 1996. Available of the World Wide Web: <<http://www.netperf.org/netperf/NetperfPage.html>>

JACOBSON, Van. Pathchart. LBL's Network Research Group. Available of the World Wide Web: <<http://www.caida.org/tools/utilities/others/pathchar/>>

JUN, Jabgeun; PEDDABACHAGARI, Pushkin; SICHITIU, Mihail. "Theoretical Maximun Throughput of IEEE 802.11 and its aplications".

KAMERMAN, A.; ABEN, G. Throughput performance of wireless LANs operating at 2.4 and 5 GHz Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2000, The 11th IEEE International Symposium on, (PIMRC 2000), Vol. 1, Pág. 190-195, 2000.

MAEDA, Y; TAKAYA, K; KUWABARA,N. "Experimental Investigation of Propoagation Characteristics of 2.4 GHz. ISM-Band Gireles LAN in Various Indoor Enviroments", IEICE Transactions in Communications, Vol. E82-B, No. 10, Oct 1999.

MINISTERIO DE COMUNICACIONES. Comentarios a la primera versión del cuaderno de políticas sobre Tecnologías Wi-Fi y Bandas de Radioeléctricas sin

licencia. Septiembre de 2003.

NAVY General Purpose Electronic Test Equipment (GPETE) Program and MARINE CORPS Test Measurement and Diagnostic Equipment (TMDE) Programs. MGEN, Available of the World Wide Web: <http://tang.itd.nrl.navy.mil/5522/mgen/mgen_index.html>

MERAT, Frank ; LIBERATORE, Vincenzo. An Analysis of Energy-Efficient Voice Over IP Communication in Wireless Networks. Case Western Reserve University., Marzo 2004

NETIQ CORPORATION. QCheck. Copyright © 1993 - 2003 NetIQ and/or its suppliers, 3553 North First Street, San Jose, CA 95134, U.S.A. All rights reserved Available of the World Wide Web: <<http://www.netiq.com/qcheck/default.asp>>

_____ . _____ Chariot Copyright © 1993 - 2003 NetIQ and/or its suppliers, 3553 North First Street, San Jose, CA 95134, U.S.A. All rights reserved Available of the World Wide Web: <<http://www.netiq.com/products/chr/default.asp>>

PITTSBURGH SUPERCOMPUTING CENTER (PSC), CARNEGIE MELLON UNIVERSITY, UNIVERSITY OF PITTSBURGH. Treno Available of the World Wide Web: <<http://www.psc.edu/general/help/assistance.html>> Revised: Agosto, 2002.

PRASAD, A. et al.. Indoor Gíreles LANs Deployment. Vehicular Technology Conference Proceeding, 2000. IEEE 51st, (VTC 2000-Spring Tokio.), Vol 2, Pág. 1562-1566, 2000

REID, Neil; SEIDE Ron. 802.11 (Wi-Fi) Networking Handbook. Mc Graw Hill/Osborne. Capítulos 2, 5, 8 y 13.

ROEDER, Konrad; FRANK D.; OHRTMAN, Jr. Wi-Fi Handbook Building 802.11b Wireless Networks. McGraw-Hill. ISBN: 0-07-141251-4.

SANDIA NATIONAL LABORATORIOS, U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. Pchar "Copyright (c) 1995, 1996, 1997, 1998 The Regents of the University of California." Available of the World Wide Web: <<http://packages.debian.org/stable/net/pchar>>

SPURGEON, Charles. Ethernet: The definitive guide. Estados Unidos: O'Reilly & Associates, 2000. ISBN 1-56592-660-9.

STALLING, William. COMUNICACIONES Y REDES DE COMPUTADORES, Sexta Edición, Pearson Educación S.A., 2000.

TANENBAUN, Andrew S. REDES DE COMPUTADORAS, Tercera Edición, Prentice Hall Hispanoamericana S.A., 1997.

WLANA - The Wireless LAN Alliance. Introduction to Wireless LANs [on line].
Disponible en Internet: Available of the World Wide Web:
<<http://www.wlana.org>.>

XYLOMENOS, G.; Polyzos, G. C. Internet Protocol Performance Over
Networks UIT Gíreles Links. IEEE Network, Vol. 13, Iss 4, Pág. 55-63, 1999

_____. _____ TCP and UDP Performance over a Wireless LAN. Universidad
de California, San Diego. IEEE 1999.

ANEXO A. Consideraciones de la metodología

A continuación se presentan los pasos necesarios para la instalación de las tarjetas o adaptadores inalámbricos utilizados para la implementación de la metodología, así como también la guía de la herramienta software MGEN y los *scripts* utilizados para la realización de las pruebas, así como la agenda seguida.

1 INSTALACIÓN DE LOS ADAPTADORES INALÁMBRICOS

Las tarjetas utilizadas se conectan vía USB, las marcas de estas tarjetas son: D'Link, 3COM, y Orinoco, estas tres marcas presentan los instaladores para las diferentes versiones de sistemas operativos, Windows 98, Windows milenium y Windows XP, pero los fabricantes no han desarrollado los *drivers* para Linux, en especial para Linux Red Hat 9.0 que fue el utilizado en este proyecto.

Para la realización de las pruebas fue necesario buscar por medio de Internet los *drivers* necesarios para instalar dichas tarjetas; cabe señalar que estos *driver* son desarrollados por personas que realizan un estudio a las características de las tarjetas, pero no tienen un conocimiento completo, por lo cual, el *driver* realizado puede funcionar adecuadamente, o presentar fallas. El proceso de la búsqueda del *driver* fue bastante largo, ya se tubo que probar varios *drivers*.

Se encontraron dos clases diferentes, los *drivers* que se instalan como tipo módulo, y los *drivers* que modifican el kernel de el sistema operativo, este segundo es bastante complicado, y requiere mayor conocimiento del sistema operativo. Dentro de los módulos se encuentran los que se instalan manualmente, y los que se instalan como paquetes RMP, estos paquetes instalan automáticamente todo lo necesario y son la manera mas sencilla de utilizarlos.

La instalación de las diferentes tarjetas se realizó de la siguiente manera:

1.1 Tarjeta D´Link

Los instaladores de las tarjetas D'Link vienen en un formato comprimido *.tar*, el nombre de el instalador es Linux-wlan-ng-0.2.1-pre15.tar y puede ser bajado directamente de Internet en <http://www.linux-wlan.com> este se basa principalmente en el chip Interstil prims2.5 y funciona correctamente en Linux Red Hat 9.0. La construcción se realiza de la siguiente forma, a través un terminal y se descomprime el archivo:

tar zxvf Linux-wlan-ng-0.2.1-pre15.tar.gz

luego se ejecuta el comando para reconstruir el kernel

make config

Se escoge el *driver* para USB y se proporciona la dirección del kernel, después de haber contestado todas las preguntas hechas por el *driver* se ejecuta el comando.

Make all

y

Make install

Estos comando se realizan estando como root, con esto ya esta instalado el modulo prism2.5, para verificar que este instalado se puede utilizar el comando

Lsmod

Y verificar que aparezca el modulo, luego se reinicia el Linux, puede utilizarse el comando

Reboot

Después que reinicia se entra de nuevo a una ventana de Terminal y se configura la red con el modo que se vaya a trabajar, ya sea infraestructura (managed), o en modo ad-hoc y con el *essid* de la red que debe ser la misma que tiene configurada el punto de acceso. La dirección de red también debe coincidir con la de el punto de acceso.

```
Ifconfig eth0 down
```

```
Iwconfig wlan0 essid default mode managed
```

```
Ifconfig wlan0 192.168.xxx.xxx up
```

1.2 Tarjeta 3COM

Para la instalación de las tarjetas 3COM se utilizo el *driver* at76c503-0.11.tar el cual se puede descargar en la Web en el sitio

<http://atmelwlandriver.sourceforge.net> y para instalarlo primero se descomprime el archivo, de la siguiente manera:

```
Tar zxvf at76c503-0.11.tar
```

Una vez descomprimido, entramos en el directorio en que se descomprimió y ejecutamos los comandos:

```
make  
y  
make install
```

Con esto la tarjeta se encuentra instalada y se puede verificar que el módulo este cargado con el comando

```
Lsmod
```

Donde deben aparecer algo similar a

```
at76c503-rfmd      38656  0 (unused)  
at76c503          34004  0 [at76c503-rfmd]  
usbdfu            9144   0 [at76c503-rfmd]
```

Se necesita reiniciar el computador para poder utilizar la tarjeta, una vez reiniciado procedemos a bajar la interfaz de red alamburada y subir la red inalámbrica, de la siguiente forma

```
Ifconfig eth0 down  
Iwconfig wlan0 essid default mode managed  
Ifconfig wlan0 192.168.xxx.xxx up
```

Donde eth0 se refiere a la interfaz de red alamburada y wlan0 se refiere a a interfaz de red inalámbrica, el comando ifconfig configura las interfaces de red y el comando iwconfig configura redes inalámbricas, el essid se refiere al nombre de la red, y debe coincidir con el nombre del essid configurado en el punto de acceso para que estos se puedan comunicar y mode es el modo de conexión que puede ser managed para una conexión en modo infraestructura o por medio de punto de acceso o el modo ad-hoc para una conexión entre host y sin necesidad de un punto de acceso.

De esta forma la tarjeta ya esta lista para ser usada, y solo se requiere de hacer un sencillo ping al access point para verificar la conexión, y de lo contrario, se revisan los pasos anteriores y se realizan de nuevo.

1.3 Tarjeta Orinoco

Para la instalación de la tarjeta Orinoco se utilizó un paquete RMP similar a los que se utilizan para instalar Linux, el cual sirve para instalar automáticamente lo necesario en el computador para que la tarjeta funcione correctamente, este driver se llama `orinoco-usb-0.2.2-18.i386.rpm` y se puede obtener en la Web en el sitio <http://folk.uio.no/oeysteio/orinoco-usb/RPMS/RH9/kernel-2.4.20-28.9/orinoco-usb-0.2.2-18.i386.rpm>, y este solo funciona para Linux Red Hat 9.0, no funciona para versiones anteriores de Linux, para un correcto funcionamiento se debe tener el computador conectado a Internet por medio de la red cableada, ya que este driver se conecta a la Web y baja una actualización para el firmware de la tarjeta inalámbrica y si no se actualiza este firmware, la tarjeta no funciona correctamente.

Para instalar la tarjeta sencillamente se escribe

```
rmp -Uvh Orinoco-usb-0.2.2-18.i386..rpm
```

en una ventana Terminal de Linux, el automáticamente descarga de la web los archivos necesarios y los instala, luego se reinicia el computador y se baja la interfaz de red cableada y se sube la interfaz inalámbrica

```
Ifconfig eth0 down  
Iwconfig wlan0 mode managed  
Ifconfig wlan0 192.168.xxx.xxx. up
```

Donde `eth0` se refiere a la red alamburada y `wlan0` se refiere a la red inalámbrica, `mode managed` se utiliza para ser conectado en modo infraestructura o por medio de un access point y `iwconfig` se usa para configurar redes inalámbricas, los comandos `down` y `up` se usan para bajar y subir respectivamente las interfaces.

2 MGEN Multigenerador

El MGEN es un multigenerador de patrones de tráfico que permite medir el desempeño de una red usando tráfico unicast y multicast UDP/IP. Existen dos versiones representativas:

1. La versión 3.2 la cual funciona en sistemas operativos Linux y Unix, consta de dos módulos; El módulo denominado ***mgen*** que es el generador de tráfico y el módulo ***drec*** que es el receptor de tráfico, esta versión presenta una interfaz gráfica que facilita la puesta en marcha del programa.

2. La versión para Windows, tiene un solo módulo llamado *mgen* que funciona como generador y receptor, esta versión solo se ejecuta en forma de línea de comandos.

Tanto el *mgen* como el *drec* funcionan a través de *scripts*, donde se programan el flujos, el tamaño de paquete, la tasa de transmisión y la hora de inicio. Para efectos de sincronización de de los equipos receptores con el equipo generador se hizo uso del comando *rdate*, el cual hace parte del sistema operativo Linux.

Los *scripts* utilizados para realizar las pruebas sobre la red inalámbrica fueron los siguientes:

2.1 Script utilizado como Generador

Para la programación del equipo utilizado como generador de tráfico se utilizó un script que permitía programar el *mgen* para ser ejecutado en horas determinadas, y sincronizado de forma que cada cuarenta segundos ejecute una prueba durante treinta segundos y luego use los diez minutos restantes para ejecutar los cálculos necesarios y guarde los resultados en un archivo de texto.

```
#!/bin/bash
echo "CODIGO DE LA PRUEBA(escenario proveedor distribucion)"; read cod;
echo "PUERTO"; read puerto1;
echo "HORA DE INICIO HH:MM"; read hora; read minutos;
num=1;
puerto2=$((puerto1+2000));
segundos=00;
diferencia=0;
valor_tamao="64:128:256:512:1024:1280:1472:"
IFS=:
for tamao in $valor_tamao
do
  case $tamao in
    64) tasa=1066;;
    128) tasa=1015;;
    256) tasa=928;;
    512) tasa=791;;
    1024) tasa=611;;
    1280) tasa=548;;
    1472) tasa=502;;
  esac
esac
```

```

case $tamao in
  64) cods=1;;
  128) cods=2;;
  256) cods=3;;
  512) cods=4;;
  1024) cods=5;;
  1280) cods=6;;
  1472) cods=7;;
esac
diferencia=$((tasa/10));
tasa1=$tasa;
echo " " > /home/Resultados/prueba$cod$cods
while test $num -le 10
do
  tasa=$tasa1;
  echo "HORA: $hora:$minutos:$segundos"
  echo "HORA: $hora:$minutos:$segundos" >> /home/Resultados/prueba$cod$cods
  echo "TAMAÍ½ DE PAQUETE: $tamao" >> /home/Resultados/prueba$cod$cods
  echo "TASA: $tasa" >> /home/Resultados/prueba$cod$cods

  echo "PORT $puerto2" > /home/mscript

  echo "000000 1 ON 192.168.45.201:$puerto1 PERIODIC $tasa $tamao" >> /home/mscript
  echo "030000 1 OFF" >> /home/mscript
  echo "031000 EXIT " >> /home/mscript

  /home/MGENv3/MGEN/.mgen -i eth0 -S $hora:$minutos:$segundos /home/mscript >>
/home/Resultados/prueba$cod$cods

  tasa1=$((tasa-diferencia));
  segundos=$((segundos+40));
  if test $segundos -ge 60
  then
    minutos=$((minutos+1));
    segundos=$((segundos-60));
    if test $minutos -ge 60
    then
      hora=$((hora+1));
      minutos=0;
      if test $hora -ge 24
      then
        hora=0;
      fi
    fi
  fi
  num=$((num+1));
done
num=1;
done

```

También se utilizó un generador modificado para la prueba de 8 computadores debido a que las tasas de transmisión utilizadas presentaban pérdidas del

100%, por lo cual se hizo necesario reducir las tasas de transmisión iniciales a la mitad para poder hallar el througput, se utilizó la mitad de las tasas teoricas.

2.2 Script para el Receptor

```
#!/bin/bash
echo "CODIGO DE LA PRUEBA"; read cod;
echo "CODIGO DE LA POSICION"; read cod_posicion;
>/home/Resultados/BD/resultados$cod.txt
echo "HORA DE INICIO HH:MM"; read hora; read minutos;
num=1;
diferencia=0;
valor_tamao="64:128:256:512:1024:1280:1518:"
IFS=:
for tamao in $valor_tamao
do
  case $tamao in
    64) tasa=1066;;
    128) tasa=1015;;
    256) tasa=928;;
    512) tasa=791;;
    1024) tasa=611;;
    1280) tasa=548;;
    1518) tasa=500;;
  esac
  case $tamao in
    64) cods=1;;
    128) cods=2;;
    256) cods=3;;
    512) cods=4;;
    1024) cods=5;;
    1280) cods=6;;
    1518) cods=7;;
  esac
  diferencia=$((tasa/10));
  tasa1=$tasa;
  echo " " > /home/Resultados/prueba$cod$cods
  while test $num -le 10
  do
    tasa=$tasa1;
    echo "HORA: $hora:$minutos"
    echo "HORA: $hora:$minutos" >> /home/Resultados/prueba$cod$cods
    echo "TAMAÑO DE PAQUETE: $tamao" >> /home/Resultados/prueba$cod$cods
    echo "TASA: $tasa" >> /home/Resultados/prueba$cod$cods
  done
done
```

```

echo "030000      EXIT" > /home/rscript

/home/MGENv3/MGEN/./drec -p 2557 -i wlan0 -S $hora:$minutos:00 /home/rscript
/home/Resultados/logfile

/home/MGENv3/MGEN/./mcalc /home/Resultados/logfile >>
/home/Resultados/prueba$cod$cods

echo " " >> /home/Resultados/prueba$cod$cods

tasa1=$((tasa-diferencia));
minutos=$((minutos+1));
if test $minutos -ge 60
then
    hora=$((hora+1));
    minutos=0;
    if test $hora -ge 24
    then
        hora=0;
    fi
fi
num=$((num+1));
done
num=1;

num1=0;
>/home/Resultados/BD/cod_resul.txt
>/home/Resultados/BD/cod_prueba.txt
>/home/Resultados/BD/cod_posicion.txt
while test $num1 -le 9
do
    echo " $cod$cod_posicion$cods$num1" >>/home/Resultados/BD/cod_resul.txt
    num1=$((num1+1));
    echo " $cod" >>/home/Resultados/BD/cod_prueba.txt
    echo " $cod_posicion" >>/home/Resultados/BD/cod_posicion.txt
done

grep 'TAMAÑO DE PAQUETE:' /home/Resultados/prueba$cod$cods
>/home/Resultados/BD/tam_paquete.txt
grep 'TASA:' /home/Resultados/prueba$cod$cods >/home/Resultados/BD/tasa.txt
grep 'MCALC: Min. data latency : ' /home/Resultados/prueba$cod$cods
>/home/Resultados/BD/latencia_min.txt
grep 'MCALC: Max. data latency : ' /home/Resultados/prueba$cod$cods
>/home/Resultados/BD/latencia_max.txt
grep 'MCALC: Min. latency variation : ' /home/Resultados/prueba$cod$cods
>/home/Resultados/BD/jitter_min.txt
grep 'MCALC: Max. latency variation : ' /home/Resultados/prueba$cod$cods
>/home/Resultados/BD/jitter_max.txt
grep 'MCALC: Total packets received : ' /home/Resultados/prueba$cod$cods
>/home/Resultados/BD/paquetes_recibidos.txt
grep 'MCALC: Est. num pkts dropped : ' /home/Resultados/prueba$cod$cods
>/home/Resultados/BD/paquetes_perdidos.txt
cut -b 20-25 /home/Resultados/BD/tam_paquete.txt >/home/Resultados/BD/tam_paquete1.txt

```

```

cut -b 6-11 /home/Resultados/BD/tasa.txt >/home/Resultados/BD/tasa1.txt
cut -b 38-44 /home/Resultados/BD/latencia_min.txt >/home/Resultados/BD/latencia_min1.txt
cut -b 38-44 /home/Resultados/BD/latencia_max.txt >/home/Resultados/BD/latencia_max1.txt
cut -b 38-44 /home/Resultados/BD/jitter_min.txt >/home/Resultados/BD/jitter_min1.txt
cut -b 38-44 /home/Resultados/BD/jitter_max.txt >/home/Resultados/BD/jitter_max1.txt
cut          -b          34-40          /home/Resultados/BD/paquetes_recibidos.txt
>/home/Resultados/BD/paquetes_recibidos1.txt
cut          -b          34-40          /home/Resultados/BD/paquetes_perdidos.txt
>/home/Resultados/BD/paquetes_perdidos1.txt

paste      -d','      /home/Resultados/BD/sentencias.txt      /home/Resultados/BD/cod_resul.txt
/home/Resultados/BD/cod_posicion.txt      /home/Resultados/BD/cod_prueba.txt
/home/Resultados/BD/tam_paquete1.txt      /home/Resultados/BD/tasa1.txt
/home/Resultados/BD/latencia_min1.txt      /home/Resultados/BD/latencia_max1.txt
/home/Resultados/BD/jitter_min1.txt      /home/Resultados/BD/jitter_max1.txt
/home/Resultados/BD/paquetes_recibidos1.txt      /home/Resultados/BD/paquetes_perdidos1.txt
>>/home/Resultados/BD/resultados1.txt /home/Resultados/BD/sentencias2.txt
done

```

3 AGENDA DE PRUEBAS

A continuación se presentan el cronograma utilizado para la realización de las pruebas, donde se especifica el número de la sesión el número de pruebas por día, los salones necesarios y la posición de cada una de las tarjetas.

Sesión: 1

Numero de Pruebas: 7

Salones utilizados: 207,207

Ct: código tarjeta Cp: código posición

		PC1		PC2		PC3		PC4		PC5		PC6		PC7		PC8	
		Ct	cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp
Hora	Prueba	2	01	3	02	1	03	3	04	2	34	2	35	1	36	1	37
19:00	4401	4401		4401		4401		4401		4401		4401		4401		4401	
19:50	3401	3401		3401		3401		3401									
20:40	1103					1103											
21:30	1201	1201															
22:20	1304							1304									1104
23:10	1302			1302													1303
24:00	2301			2301				2301									

Sesión: 2

Numero de Pruebas: 7
 Salones utilizados: 202,205,207
 Ct: código tarjeta Cp: código posición

		PC1		PC2		PC3		PC4		PC5		PC6		PC7		PC8	
		Ct	cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp
Hora	Prueba	2	13	1	31	2	33	3	30	3	33	1	19	2	15	2	25
19:00	2209													2209		2209	
19:50	1131			1131													
20:40	1233					1233											
21:30	2318							2318		2318							
22:20	1333									1333							
23:10	1119											1119					
24:00	1104	1104															

Sesión: 3
 Numero de Pruebas: 7
 Salones utilizados: 202,204,207
 Ct: código tarjeta Cp: código posición

		PC1		PC2		PC3		PC4		PC5		PC6		PC7		PC8	
		Ct	cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp
Hora	Prueba	1	29	1	25	2	03	1	10	3	01	3	20	2	25	2	30
19:00	1129	1129															
19:50	1203					1203											
20:40	2108			2108				2108									
21:30	2305									2305	2305						
22:20	2211												2211		2211		
23:10	1110							1110									
24:00	1320											1320					

Sesión: 4
 Numero de Pruebas: 7
 Salones utilizados: 202,204,205,207
 Ct: código tarjeta Cp: código posición

		PC1		PC2		PC3		PC4		PC5		PC6		PC7		PC8	
		Ct	cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp
Hora	Prueba	2	10	2	15	3	21	3	22	2	1	1	5	1	25	1	
19:00	2213	2213		2213													
19:50	1215			1215													
20:40	2203									2203							
21:30	2107											2107	2107				
22:20	1111															1111	
23:10	1321					1321											
24:00	1322							1322									

Sesión: 5

Numero de Pruebas: 8

Salones utilizados: 202,204,207

Ct: código tarjeta Cp: código posición

		PC1		PC2		PC3		PC4		PC5		PC6		PC7		PC8	
		Ct	cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp
Hora	Prueba	2	13	2	27	2	29	1	26	1	01	1	10	3	03	3	19
19:00	1213	1213															
19:50	2212			2212		2212											
20:40	1227			1227													
21:30	1229					1229											
22:20	1226							1226									
23:10	2103									2103		2103					
24:00	1319																1319
1:50	1303													1303			

Sesión: 6

Numero de Pruebas: 8

Salones utilizados: 202,203,204,205,207

Ct: código tarjeta Cp: código posición

		PC1		PC2		PC3		PC4		PC5		PC6		PC7		PC8	
		Ct	cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp
Hora	Prueba	2	33	2	01	3	10	3	15	1	06	1	07	1	08	2	15
19:00	2217	2217		2217													
19:50	2313					2313		2313									
20:40	1106									1106							
21:30	1107											1107					
22:20	1108													1108			
23:10	1315							1315									
24:00	1310					1310											
1:50	2204			2204													2204

Sesión: 7

Numero de Pruebas: 7

Salones utilizados: 202,203,207

Ct: código tarjeta Cp: código posición

		PC1		PC2		PC3		PC4		PC5		PC6		PC7		PC8	
		Ct	cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp
Hora	Prueba	1	30	1	31	1	32	3	25	3	05	2	04	2	02	2	09
19:00	2114	2114		2114													
19:50	2115	2115				2115											
20:40	2307							2307		2307							
21:30	2201											2201		2201			
22:20	1305									1305							
23:10	1209																1209

24:00	1132			1132					
-------	------	--	--	------	--	--	--	--	--

Sesión: 8

Numero de Pruebas: 6

Salones utilizados: 202,204,207

Ct: código tarjeta Cp: código posición

		PC1		PC2		PC3		PC4		PC5		PC6		PC7		PC8	
		Ct	cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp
Hora	Prueba			1	30	2	30	2	12	1	1	1	25	3	25	3	30
19:00	2311													2311		2311	
19:50	1130			1130													
20:40	1230					1230											
21:30	1212							1212									
22:20	2106									2106		2106					
23:10	1325												1325				

Sesión: 9

Numero de Pruebas: 8

Salones utilizados: 202,203,204,205,206,207

Ct: código tarjeta Cp: código posición

		PC1		PC2		PC3		PC4		PC5		PC6		PC7		PC8	
		Ct	cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp
Hora	Prueba	1	01	1	05	3	10	1	15	2	20	3	25	2	30	2	31
19:00	4403	4403		4403		4403		4403		4403		4403		4403		4403	
19:50	2104	2104						2104									
20:40	2308					2308						2308					
21:30	1101	1101															
22:20	1115							1115									
23:10	2214												2214		2214		
24:00	1105			1105													
1:50	2102	2102		2102													

Sesión: 10

Numero de Pruebas: 6

Salones utilizados: 207,203

Ct: código tarjeta Cp: código posición

		PC1		PC2		PC3		PC4		PC5		PC6		PC7		PC8	
		Ct	cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp
Hora	Prueba	3	01	3	10	1	15	1	25	2	30	1	20	2	32	2	24
19:00	3403	3403		3403		3403		3403									
19:50	1224																1224
20:40	2215									2215				2215			
21:30	1232												1232				
22:20	2110							2110				2110					
23:10	2303	2303		2303													

Sesión: 11

Numero de Pruebas: 4

Salones utilizados: 207,203

Ct: código tarjeta Cp: código posición

		PC1		PC2		PC3		PC4		PC5		PC6		PC7		PC8	
		Ct	cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp
Hora	Prueba	2	30	2	33	1	05	1	10	1	15	2	20	3	23	3	24
19:00	2218	2218		2218													
19:50	1323													1323			
20:40	1324															1324	
21:30	3405					3405		3405		3405		3405					

Sesión: 12

Numero de Pruebas: 5

Salones utilizados: 207,203

Ct: código tarjeta Cp: código posición

		PC1		PC2		PC3		PC4		PC5		PC6		PC7		PC8	
		Ct	cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp
Hora	Prueba	2	01	2	25	2	05	3	01	3	33	1	20	1	25	1	02
19:00	2206	2206		2206													
19:50	2202	2202				2202											
20:40	2317							2317		2317							
21:30	1120											1120					
22:20	1102															1102	

Sesión: 13

Numero de Pruebas: 8

Salones utilizados: 207,203

Ct: código tarjeta Cp: código posición

		PC1		PC2		PC3		PC4		PC5		PC6		PC7		PC8	
		Ct	cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp
Hora	Prueba	2	5	2	25	3	30	3	31	1	15	1	25	2	16	1	01
19:00	2207	2207		2207													
19:50	2314					2314		2314									
20:40	2109									2109		2109					
21:30	1216													1216			
22:20	2105											2105				2105	
23:10	1225			1225													
24:00	1330					1330											
1:50	1331							1331									

Sesión: 14

Numero de Pruebas: 7

Salones utilizados: 207,203

Ct: código tarjeta Cp: código posición

		PC1		PC2		PC3		PC4		PC5		PC6		PC7		PC8	
		Ct	cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp
Hora	Prueba	3	01	3	30	2	17	2	02	2	10	2	25	1	12	1	13
19:00	2316	2316		2316													
19:50	1217					1217											
20:40	1202							1202									
21:30	1301	1301															
22:20	2208									2208		2208					
23:10	1112													1112			
24:00	1113															1113	

Sesión: 15

Numero de Pruebas: 6

Salones utilizados: 207,203

Ct: código tarjeta Cp: código posición

		PC1		PC2		PC3		PC4		PC5		PC6		PC7		PC8	
		Ct	cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp
Hora	Prueba	3	01	3	15	2	01	2	20	1	09	1	14	2	11	1	18
19:00	2304	2304		2304													
19:50	2205					2205		2205									
20:40	1109									1109							
21:30	1114											1114					
22:20	1211													1211			
23:10	1118															1118	

Sesión: 16

Numero de Pruebas: 5

Salones utilizados: 207,203

Ct: código tarjeta Cp: código posición

		PC1		PC2		PC3		PC4		PC5		PC6		PC7		PC8	
		Ct	cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp
Hora	Prueba	3	01	3	05	1	16	1	27	1	29	2	20	2	25	2	31
19:00	2302	2302		2302													
19:50	1116					1116											
20:40	2210											2210		2210			
21:30	2112							2112		2112							
22:20	1231															1231	

Sesión: 17

Numero de Pruebas: 7

Salones utilizados: 207,203

Ct: código tarjeta Cp: código posición

		PC1		PC2		PC3		PC4		PC5		PC6		PC7		PC8	
		Ct	cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp
Hora	Prueba	3	15	3	25	1	17	1	21	1	28	2	06	2	07	2	04
19:00	2309	2309		2309													
19:50	1206											1206					
20:40	1128									1128							
21:30	1204															1204	
22:20	1207													1207			
23:10	1117					1117											
24:00	1121							1121									

Sesión: 18

Numero de Pruebas: 5

Salones utilizados: 207,203

Ct: código tarjeta Cp: código posición

		PC1		PC2		PC3		PC4		PC5		PC6		PC7		PC8	
		Ct	cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp
Hora	Prueba	1	31	1	33	2	07	3	18	3	32						
19:00	1126	1126															
19:50	1133			1133													
20:40	1318							1318									
21:30	1332									1332							
22:20	1207					1207											

Sesión: 19

Numero de Pruebas: 5

Salones utilizados: 207,203

Ct: código tarjeta Cp: código posición

		PC1		PC2		PC3		PC4		PC5		PC6		PC7		PC8	
		Ct	cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp
Hora	Prueba	1	25	1	30	2	08	2	14	3	06	3	07				
19:00	2111	2111		2111													
19:50	1208					1208											
20:40	1214							1214									
21:30	1306									1306							
22:20	1306											1306					

Sesión: 20

Numero de Pruebas: 4

Salones utilizados: 207,203

Ct: código tarjeta Cp: código posición

		PC1		PC2		PC3		PC4		PC5		PC6		PC7		PC8	
		Ct	cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp
Hora	Prueba	1	1	1	30	1	22	3	12	3	13						
19:00	2116	2116		2116				1312									
19:50	1312							1312									
20:40	1313									1313							
21:30	1122					1122											

Sesión: 21

Numero de Pruebas: 8

Salones utilizados: 207,203

Ct: código tarjeta Cp: código posición

		PC1		PC2		PC3		PC4		PC5		PC6		PC7		PC8	
		Ct	cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp
Hora	Prueba	1	2	1	4	3	11	3	14	2	21	2	22				
19:00	2101	2101		2101													
19:50	1311					1311											
20:40	1314							1314									
21:30	1221									1221							
22:20	1222											1222					

Sesión: 22

Numero de Pruebas: 4

Salones utilizados: 207,203

Ct: código tarjeta Cp: código posición

		PC1		PC2		PC3		PC4		PC5		PC6		PC7		PC8	
		Ct	cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp
Hora	Prueba	1	10	1	15	3	20	3	25	2	18	2	19				
19:00	2113	2113		2113													
19:50	2310					2310		2310									
20:40	1218									1218							
21:30	1219											1219					

Sesión: 23

Numero de Pruebas: 6

Salones utilizados: 207,203

Ct: código tarjeta Cp: código posición

		PC1		PC2		PC3		PC4		PC5		PC6		PC7		PC8	
		Ct	cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp
Hora	Prueba	1	25	1	26	3	27	3	28	3	29	2	38	3	39	3	40
19:00	4402	4402		4402		4402		4402		4402		4402		4402		4402	
19:50	1328							1328									
20:40	1125	1125															
21:30	1327					1327											
22:20	2312					2312				2312							
23:10	1329									1329							

Sesión: 24

Numero de Pruebas: 5

Salones utilizados: 207,203

Ct: código tarjeta Cp: código posición

		PC1		PC2		PC3		PC4		PC5		PC6		PC7		PC8	
		Ct	cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp
Hora	Prueba	2	5	2	10	1	15	2	20	3	30	1	31	3	32	1	33
19:00	4404	4404		4404		4404		4404		4404		4404		4404		4404	
19:50	1210			1210													
20:40	1220							1220									
21:30	1205	1205															
22:20	2315									2315				2315			

Sesión: 25

Numero de Pruebas: 6

Salones utilizados: 207,203

Ct: código tarjeta Cp: código posición

		PC1		PC2		PC3		PC4		PC5		PC6		PC7		PC8	
		Ct	cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp
Hora	Prueba	1	25	1	27	2	28	2	29	3	08	3	09	1	1	1	33
19:00	3402	3402		3402		3402		3402									
19:50	1308									1308							
20:40	1309											1309					
21:30	2117													2117		2117	
22:20	1228					1228											
23:10	1127			1127													

Sesión: 26

Numero de Pruebas: 5

Salones utilizados: 207,203

Ct: código tarjeta Cp: código posición

		PC1		PC2		PC3		PC4		PC5		PC6		PC7		PC8	
		Ct	cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp
Hora	Prueba	1	30	2	31	2	32	1	33	3	16	3	17	3	23		
19:00	3404	3404		3404		3404		3404									
19:50	2118	2118						2118									
20:40	1316									1316							
21:30	1317											1317					
22:20	1323													1323			

Sesión: 27

Numero de Pruebas: 3

Salones utilizados: 207,203

Ct: código tarjeta Cp: código posición

		PC1		PC2		PC3		PC4		PC5		PC6		PC7		PC8	
		Ct	cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp
Hora	Prueba	3	24	3	26	1	1	1	30	1	23						
19:00	1324	1324															
19:50	1326			1326													
20:40	1223									1223							

ANEXO B. Especificaciones de los equipos utilizados

A continuación se listan las especificaciones y referencias de los equipos utilizados en la red inalámbrica de la Universidad Industrial de Santander para la puesta en marcha de la prueba de la metodología.

1 PUNTO DE ACCESO

El punto de acceso o *Access Point* utilizado en las pruebas fue, DLINK AIRPRO DWL – 6000AP el cual cuenta con las siguientes características:

Modo de acceso dual, es decir que puede conectar una red 802.11a conectándose a 54 Mbps y una red 802.11b, conectándose a 11Mbps o 22Mbps, además este dispositivo mantiene una conexión transparente con los dispositivos, brindando así el servicio de *roaming*. También construye un puente entre una red alamburada y una red inalámbrica por lo cual tiene un puerto Ethernet 10/100.

Para conexión a 54 Mbps la frecuencia utilizada por el punto de acceso es de 5 Ghz y para conexión 11 Mbps y 22 Mbps la frecuencia es 2.4 Ghz.

Características y beneficios

- Soporta multiples acces point
- Compatible con 802.11a y 802.11b
- Potencia de transmisión ajustable
- Escalamiento de Tasa dinámica
- Rango de 900 *feet* (dependiendo del ambiente)
- Soporta encriptación de 64/128/152/256 bits
- Consistente con las regulaciones regionales de frecuencia
- Modulación DSSS (*Direct Secuence Spread Spectrum*)
- Soporta modulación PBCC (*Packet Binary Convolution Code*)
- Utiliza OFDM (*Ortogonal División Frecuency Multiplexing*)
- Fácil configuración basada en la Web
- Nivel de seguridad de usuario

Las características se especifican en la siguiente tabla.

Tabla 7. Características generales del punto de acceso. :

Standards	IEEE 802.11b IEEE 802.11a IEEE 802.3 and IEEE 802.3u
Ports	(1) 10/100Base-T Ethernet, RJ-45 (UTP) (1) Power – 5.0V DC, 2.5A
Network Management	Web-Based Interface SNMP Management
Network Architecture	Supports Infrastructure Mode (Communications to wired networks via Access Points with Roaming)
Diagnostic LED	Power 100M Link/Act 10M Link/Act 11a WLAN 11b WLAN
Range	Indoors – up to 328 feet (100 meters) Outdoors – up to 1,312 feet (400 meters)
Temperature	Operating: 0°C to 40°C (32°F to 104°F) Storing: -25°C to 65°C (-77°F to 140°F)
Humidity	5%-95%, non-condensing
EMI/Safety	IEEE 802.11a - EMC: EN 301 489-1 and -17, EN 60950 DFS/TPC : 301 893 Draft IEEE 802.11b – EMC: EN 300 328, EN 300 826, EN 60950
Operating Voltage	3.3V± -10%
Physical Dimensions:	L = 23.5 cm W = 15.9 cm H = 3.8 cm

802.11a Specifications	
Data Rates	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps
Data Security	64, 128, 154-bit WEP (Wired Equivalent Privacy) Encryption Access Control List based on MAC Address
Antenna Type	5dBi dipole antenna with diversity
Available Channels	Subject to local regulatory restrictions
Frequency Range	5.150 – 5.825 GHz
Modulation Technology	Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)
Modulation Techniques	BPSK QPSK 16 QAM 64 QAM
802.11b Specifications	
Data Rates	1, 2, 5.5, 11, 22Mbps
Data Security	64, 128, 256-bit WEP (Wired Equivalent Privacy) Encryption
Antenna Type	2dBi antenna with diversity
Available Channels	Subject to local regulatory restrictions
Frequency Range	2.4 – 2.4835 GHz
Modulation Technology	Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)
Modulation Techniques	CCK DQPSK DBSK

2 TARJETAS DE CLIENTE

2.1 Tarjeta Dlink

Se utilizaron 3 tarjetas Dlink air DWL-120 la cual funciona en dos modos, modo Ad-hoc y modo Infraestructura, se garantiza la compatibilidad con cualquier producto que cumpla con el estándar IEEE 802.11b

Las características generales de este productos son las siguientes

Data Security

- 64/128-bit WEP (Wired Equivalent Privacy) Encryption

Data Rate & Modulation

- 11 Mbps: CCK
- 5.5 Mbps: CCK
- 2 Mbps: DQPSK
- 1 Mbps: DBPSK

Range

- Indoors – per cell, up to 230 feet
- Outdoors – per cell, up to 984 feet

Diagnostic LED

- Power

Media Access Control

- CSMA/CA with ACK

Current Consumption

- 350mA

Operating Voltage

- 5.0V \pm 5%

Transmit Power

- 13dBm @ Nominal Temp Range

Receive Sensitivity**Nominal Temp Range**

- 11 Mbps 10-5 BER @-80 dBm, minimum

Network Architecture

- Supports Ad-Hoc Mode (Peer-to-Peer without Access Point) or Infrastructure Mode (Communications to wired networks via Access Points with Roaming)

2.2 Tarjeta 3Com

Se utilizaron 3 tarjetas 3com OfficeConnect 11 Mbps 3crshew696 las características de estas tarjetas son las siguientes:

Tabla 8. Características tarjeta 3Com

Feature	Benefit
Reliable	
Dynamic rate shifting	Speeds dynamically shift between 11, 5.5, 2, and 1 Mbps, in busy conditions, to achieve the fastest possible connections.
Range	
Range	Up to 100 m (328 ft) on 3CRSHPW196 and 3CRSHPW796, and up to 300 m (984 ft) on 3CRSHPW796; for indoor use only.*
Compatible	
Wi-Fi certified	Ensures interoperability with all Wi-Fi certified products from other vendors.
Secure	
Encryption	Uses 40/64-bit and 104/128-bit WEP encryption, helping to keep all of your wireless transmissions private.

Especificaciones:

<p>Standards Conformance Wi-Fi certified IEEE 802.11b USB 1.1 (for USB adapter only)</p>	<p>Security 40/64-bit and 104/128-bit WEP encryption</p>	<p>3CRSHPW196 (extended): 105.2 mm x 54 mm x 5 mm 3CRSHEW696: 100 mm x 71 mm x 20 mm</p>
<p>Frequency Range Channels 1-13: 2.401-2.483 GHz Channels 10-13: 2.451-2.483 GHz Channels 5-7: 2.421-2.453 GHz</p>	<p>Drivers/Supported Operating Systems NDIS 5: Windows 2000, Me, 98 SE NDIS 5.1: Windows XP</p>	<p>Environmental Operating Ranges Temperature: 0 to 50° C Humidity: 10 to 95%</p>
<p>Data Rates 1, 2, 5.5, and 11 Mbps (supports dynamic rate shifting)</p>	<p>Safety and Electromagnetic Conformance Safety: UL/CSA 60950, EN 60950 Radio: FCC Part 15.247, RSS-210, EN 300 328-2 EMC: FCC Part 15 Subpart B, EN 301 489-17 SAR: FCC OET Bulletin 65, RSS-102, prEN 50371</p>	<p>Status LEDs <i>PC Cards</i> Power=solid on Activity=fast blink <i>USB Adapter</i> Power=solid on Activity=blink</p>
<p>Computer Slot Type 3CRSHPW196 PC Card: Type II 16-bit PC Card 3CRSHPW796 PC Card: Type II 32-bit PC Card 3CRSHEW696: USB Port</p>	<p>Physical Dimensions 3CRSHPW796: 113.3 mm x 54 mm x 5 mm 3CRSHPW196 (retracted): 85.6 mm x 54 mm x 5 mm</p>	<p>Warranty One-year hardware warranty</p>
<p>Operating Voltage 3.0V-3.6V</p>		

2.3 Tarjeta Orinoco

Se utilizaron 2 tarjetas Lucent Technologies Orinoco USB que poseen las siguientes características:

- Conecta un computador en un grupo de trabajo punto a punto o infraestructura
- Certificado por la WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance) lo cual quiere decir que tiene compatibilidad con otros vendedores de productos WLAN
- Completa compatibilidad con otras LAN basada en DSSS (Direct Secuence Spread Spectrum)
- Compatible con USB rev. 1.1

Soporta las siguientes características:

- Mecanismo de selección de tasa automática de transmisión en el rango de 11,5.5,2,1 Mbit/s
- Selección de la frecuencia del canal (2.4Ghz)
- Roaming sobre múltiples canales
- Manejo de potencia
- Encriptación de datos WEP (Wired Equivalent Privacy)
 - Silver
 - 128 bit RC4 encryption (Gold)
-

Especificaciones físicas:

Dimensions	(LxWxH)	63 x 89 x 145 mm
Weight		170 gram
Cable length		100 cm
Temperature & Humidity		
Operation		0° to 40° C ¹
Transit		-20° to 75° C maximum humidity 95% (no condensation allowed)
Storage		-20° to 75° C

1. Although the USB Client may still operate in the range of -20° to 70°C, operation outside the range of 0° to 40° C may no longer be according to specifications.

Características de potencia:

Doze Mode	10 mA
Receive Mode	245 mA (Nominal)
Transmit Mode	360 mA (Nominal)
Power Supply	5 V

Características de red:

Compatibility	<ul style="list-style-type: none"> ■ IEEE 802.11 Standard for Wireless LANS (DSSS) ■ Wi-Fi (Wireless Fidelity) certified by the Wireless Ethernet Compatibility Alliance (WECA). ■ Universal Serial Bus Revision 1.1. specification
Host Operating System	Microsoft Windows® 98, ME and 2000: <ul style="list-style-type: none"> ■ NDIS5 Miniport Driver
Media Access Protocol	CSMA/CA (Collision Avoidance) with Acknowledgment (ACK)

Características de radio

R-F Frequency Band	2.4 GHz (2400-2500 MHz)			
Supported sub-channels	1	2412		
	2	2417		
	3	2422		
	4	2427		
	5	2432		
	6	2437		
	7	2442		
	8	2447		
	9	2452		
	10	2457		
	11	2462		
Modulation Technique	Direct Sequence Spread Spectrum CCK 11 & 5.5 Mb/s, DQPSK for 2 Mb/s and DBPSK for 1 Mb/s			
Spreading	11-chip Barker Sequence			
Bit Error Rate (BER)	Better than 10 ⁻⁵			
Nominal Output Power	15 dBm			
Encryption	64-bit Wired Equivalent Privacy (WEP) - Silver 128-bit (RC4) - Gold			
Range / Transmit Rate	11 Mb/s	5.5 Mb/s	2 Mb/s	1 Mb/s
Open Office Environment	160 m (525 ft.)	270 m (885 ft.)	400 m (1300 ft.)	550 m (1750 ft.)
Semi-Open Office Environment	50 m (165 ft.)	70 m (230 ft.)	90 m (300 ft.)	115 m (375 ft.)
Closed Office	25 m (80 ft.)	35 m (115 ft.)	40 m (130 ft.)	50 m (165 ft.)
Receiver Sensitivity	-83 dBm	-87 dBm	-91 dBm	-94 dBm
Delay Spread (FER of <1%)	65 ns	225 ns	400 ns	500 ns

3 EQUIPOS DE COMPUTO

Se utilizaron 9 equipos de computo para la pruebas, todos con las mismas características:

Fabricante: Dell Computer corporation
modelos : Dell Optiplex Gx 260
Procesador: Pentium 4 de 2.4 Ghz
Memoria RAM: 512 MB
Disco duro: 20MB
Sistema operativos: linux red hat 9.0

ANEXO C. Base de datos

1 CONCEPTOS GENERALES

Una base de datos se puede definir como un conjunto de información relacionada que se encuentra agrupada ó estructurada. Desde el punto de vista de la informática, la base de datos es un sistema formado por un conjunto de datos almacenados en discos que permiten el acceso directo a ellos y un conjunto de programas que manipulen ese conjunto de datos.

Algunas definiciones de bases de datos:

- Base de Datos: es la colección de datos aparentes usados por el sistema de aplicaciones de una determinada empresa.
- Base de Datos: es un conjunto de información relacionada que se encuentra agrupada o estructurada. Un archivo por sí mismo no constituye una base de datos, sino más bien la forma en que está organizada la información es la que da origen a la base de datos.
- Base de Datos: colección de datos organizada para dar servicio a muchas aplicaciones al mismo tiempo al combinar los datos de manera que aparezcan estar en una sola ubicación.

Requerimientos de las bases de datos:

Requerimientos administrativos: se requiere mucho más para el desarrollo de sistemas de bases de datos que únicamente seleccionar un modelo lógico de base de datos. La bases de datos es una disciplina organizacional, un método, más que una herramienta o una tecnología. Requiere de un cambio conceptual y organizacional.

Elementos claves de organización en un ambiente de Bases de Datos

Sistema de administración de base de datos

Administración de información

Tecnología de administración de base de datos

Usuarios

Planeación de información y tecnología de modelaje

Características de las bases de datos:

Una base de datos contiene entidades de información que están relacionadas vía organización y asociación. La arquitectura lógica de una base de datos se define mediante un esquema que representa las definiciones de las relaciones entre las entidades de información. La arquitectura física de una base de datos depende de la configuración del hardware residente. Sin embargo, tanto el esquema (descripción lógica como la organización (descripción física) deben adecuarse para satisfacer los requerimientos funcionales y de comportamiento para el acceso al análisis y creación de informes.

Ventajas en el uso de bases de datos:

La utilización de bases de datos como plataforma para el desarrollo de Sistemas de Aplicación en las organizaciones se ha incrementado notablemente en los últimos años, se debe a las ventajas que ofrece su utilización, algunas de las cuales se comentarán a continuación:

- Globalización de la información: permite a los diferentes usuarios considerar la información como un recurso corporativo que carece de dueños específicos.
- Eliminación de información inconsistente: si existen dos o más archivos con la misma información, los cambios que se hagan a éstos deberán hacerse a todas las copias del archivo de facturas.
- Permite compartir información.
- Permite mantener la integridad en la información: la integridad de la información es una de sus cualidades altamente deseable y tiene por objetivo que sólo se almacena la información correcta.
- Independencia de datos: el concepto de independencia de datos es quizás el que más ha ayudado a la rápida proliferación del desarrollo de Sistemas de Bases de Datos. La independencia de datos implica un divorcio entre programas y datos.

El sistema manejador de bases de datos (DBMS)

Es un conjunto de programas que se encargan de manejar la creación y todos los accesos a las bases de datos. Se compone de un lenguaje de definición de datos, de un lenguaje de manipulación de datos y de un lenguaje de consulta.

Una de las ventajas del DBMS es que puede ser invocado desde programas de aplicación que pertenecen a Sistemas Transaccionales escritos en algún lenguaje de alto nivel, para la creación o actualización de las bases de datos, o bien para efectos de consulta a través de lenguajes propios que tienen las bases de datos o lenguajes de cuarta generación.

Ambiente moderno de base de datos:

La tecnología de las bases de datos pueden eliminar de un tajo muchos problemas creados por la organización tradicional de archivos. Una definición más rigurosa de bases de datos dice que es una colección de datos organizada para dar servicios eficientemente a muchas aplicaciones al centralizar los datos y minimizar aquellos que son redundantes. En vez de separar los datos en archivos para cada aplicación, los datos son almacenados físicamente para aparecer a los usuarios como almacenados en una sola ubicación: una sola base de datos sirve a muchas aplicaciones. Por ejemplo, en vez de que una corporación almacene los datos de personal en sistemas de información separados y archivos separados para personal, nominas y prestaciones, la corporación podría crear una sola base de datos para Recursos Humanos.

2. DISEÑO DE UNA BASE DE DATOS

Existen distintos modos de organizar la información y representar las relaciones entre los datos en una base de datos. Los Sistemas administradores de bases de datos convencionales usan uno de los tres modelos lógicos de bases de datos para hacer seguimiento de las entidades, atributos y relaciones. Los tres modelos lógicos principalmente de bases de datos son el jerárquico, de redes y el relacional. Cada modelo lógico tiene ciertas ventajas de procesamiento y también ciertas ventajas de negocios.

- **Modelo jerárquico de datos:**
Una clase de modelo lógico de bases de datos que tiene una estructura arborescente. Un registro subdivide en segmentos que se interconectan en relaciones padre e hijo y muchos más. Los primeros sistemas administradores de bases de datos eran jerárquicos. Puede representar dos tipos de relaciones entre los datos: relaciones de uno a uno y relaciones de uno a muchos
- **Modelo de datos en red:**
Es una variación del modelo de datos jerárquico. De hecho las bases de datos pueden traducirse de jerárquicas a en redes y viceversa con el objeto de optimizar la velocidad y la conveniencia del procesamiento. Mientras que las estructuras jerárquicas describen relaciones de muchos a muchos.
- **Modelo relacional de datos:**
Es el más reciente de estos modelos, supera algunas de las limitaciones de los otros dos anteriores. El modelo relacional de datos representa todos los datos en la base de datos como sencillas tablas de dos dimensiones llamadas relaciones. Las tablas son semejantes a los archivos planos, pero la información en más de un archivo puede ser fácilmente extraída y combinada.

3. CREACIÓN DE UNA BASE DE DATOS

Para crear una base se deben realizar dos ejercicios de diseño: un diseño lógico y uno físico. El diseño lógico de una base de datos es un modelo abstracto de la base de datos desde una perspectiva de negocios, mientras que el diseño físico muestra como la base de datos se ordena en realidad en los dispositivos de almacenamiento de acceso directo. El diseño físico de la base de datos es llevado a cabo por los especialistas en bases de datos, mientras que el diseño lógico requiere de una descripción detallada de las necesidades de información de los negocios actuales y de los usuarios finales de la base. Idealmente, el diseño de la base será una parte del esfuerzo global de la planeación de datos a nivel institucional.

El diseño lógico de la base de datos describe como los elementos en la base de datos han de quedar agrupados. El proceso de diseño identifica las relaciones

entre los elementos de datos y la manera más eficiente de agruparlos para cumplir con los requerimientos de información. El proceso también identifica elementos redundantes y los agrupamientos de los elementos de datos que se requieren para programas de aplicaciones específicos. Los grupos de datos son organizados, refinados y agilizados hasta que una imagen lógica general de las relaciones entre todos los elementos en la base de datos surja.

Bases de datos documentales:

Son las derivadas de la necesidad de disponer de toda la información en el puesto de trabajo y de minimizar los tiempos del acceso a aquellas informaciones que, si bien se utilizan con frecuencia, no están estructuradas convenientemente. Esto se debe a que la procedencia de la información es muy variada (informes, notas diversas, periódicos, revistas, muchos más).

Bases de datos distribuidas:

Es aquella que se almacena en más de un lugar físico. Partes de la base de datos se almacena físicamente en un lugar y otras partes se almacenan y mantienen en otros lugares. Existen dos maneras de distribuir una base de datos. La base de datos central puede ser particionada de manera que cada procesador remoto tenga los datos necesarios sobre los clientes para servir a su área local. Los cambios en los archivos pueden ser justificados en la base de datos central sobre las bases de lotes, en general por la noche. Otra estrategia también requiere de la actualización de la base central de datos en horas no laborables.

Aun otra posibilidad (una que se emplea en bases de datos grandes) es mantener solo un índice central de nombres y almacenar localmente los registros completos.

Los sistemas distribuidos reducen la vulnerabilidad de un lugar único central y voluminoso. Permiten incremento en la potencia de los sistemas al adquirir mini computadoras que son más pequeñas y baratas. Finalmente incrementan el servicio y la posibilidad de respuesta de los usuarios locales. Los sistemas distribuidos, sin embargo, dependen de la alta calidad de las líneas de telecomunicaciones, las cuales a su vez son vulnerables. Además, las bases de datos locales pueden algunas veces alejarse de las normas y las definiciones de los datos centrales y hacen surgir problemas de seguridad al distribuir ampliamente el acceso a datos de alta sensibilidad.

Bases de datos orientadas a objetos e hipermedia:

Estas son capaces de almacenar tanto procesos como datos. Por éste motivo las bases orientadas al objeto deben poder almacenar información no convencional (como imágenes estáticas o en movimiento, colecciones de sonidos, entre otros). Este tipo de bases de datos deriva directamente de la llamada programación orientada a objetos, típica, por ejemplo del lenguaje C/C++.

Entre las ventajas de las bases de datos orientadas al objeto destaca la posibilidad de tratar los casos excepcionales, que suelen ser la mayoría en la

práctica cotidiana, en lugar de tratar de insertar la realidad en unos patrones rígidos que violentan para hacerla coincidir con los esquemas utilizados. Además, nadie pone en duda que es más cómodo manejar objetos de entorno, que trabajar, por ejemplo, con tablas, esquemas, cuadros, muchos más.

4. SISTEMA DE GESTIÓN DE BASE DE DATOS

Sistema desarrollado que hace posible acceder a datos integrados que atraviesan los límites operacionales, funcionales u organizacionales de una empresa.

Objetivos en el uso de un sistema de gestión de base de datos:

- Oportunidad, asociado a la eficiencia y eficacia.
- Disponibilidad, permitiendo la accesibilidad de datos
- Consistencias (oportunidad + disponibilidad), como calidad de datos
- Evolución, para adaptarse al entorno
- Integridad, en el nivel de los datos así como el sistema.

Objetivos del sistema de gestión de base de datos que podemos identificar son:

- Independencia de datos
- Accesibilidad limitada
- Datos al día y sin redundancias
- Consistencia
- Interfaz única
- Entrada directa a los datos
- Recuperación por diferentes accesos
- Función completa de interrogantes
- Estandarización
- Seguridad

Productos Asociados A Los Sistema De Gestión De Base De Datos:

Existen cuatro productos básicos en los Sistema de Gestión de Base de Datos para sistemas Host (propietarios). Estos son:

- Repositorio / diccionario / directorio / enciclopedia
- Desarrollador de aplicaciones (Prototipo, Lenguaje(s) de programación, basado en interpretes).
- Lenguaje de consulta
- Lenguaje reporteador

Tomado de:

CAMPBELI, Mary. base IV Guía de Autoenseñanza. España. Editorial McGraw Hill – Interamericana. 1990. pp110/111,121/122,161,169, 179-191/192.

HARWRYSZKIEWYCZ, I T. Análisis y diseño de base de datos. Editorial Megabyte. Noriega Editores. México. 1994. pp29/31

LAUDON, Kenneth C. Administración de los sistemas de información. 3ra. Edición. México. 1996. pp 271/295

Aprende computación. Editorial océano. España. Pp36/39 Búsquedas en
 Internet: monografias.com/trabajos5/tipbases/tipbases.shtml
 monografias.com/trabajos5/basede/basede.shtml
 monografias.com/trabajos5/desor/desor.shtml
 inei.gob.pe/cpi/bancopub/libfree/lib607/cap01.htm
 elizabethpeguero.8m.com/enza.htm
 learnthenet.com/spanish/glossary/database.htm
 ipyme.org/sie/

<http://www.monografias.com/trabajos7/bada/bada.shtml>

A continuación, se van presentar algunos conceptos generales en el desarrollo de la base de datos luego la forma de presentación de éstas utilizadas por DBDesigner, el entorno gráfico del mismo y los procedimientos de consulta de la base de datos.

En este proyecto se utilizó el modelo relacional de datos propuesto por E. F Codd, basada en una estructura de datos simple y uniforme, la relación. Una relación puede ser de tres tipos:

TIPO	EJEMPLO
uno a uno (1:1)	un hombre se casa con una mujer
Uno a muchos (1:n)	un escritor puede escribir muchos libros
Muchos a muchos (n:m)	una tienda de libros tiene muchos libros, así como los libros están en muchas tiendas de libros

Estas relaciones unen dos entidades; entendiéndose por entidad un elemento con características propias, al que se le extraen los atributos más importantes, si ésta posee dos o mas atributos que lo relacionan con otra entidad, debe generarse una representación de esa relación por fuera del modelo de la entidad.

En general las entidades se representan como tablas, en donde los atributos son las columnas que la componen y las tuplas o registros son las filas.

Los atributos o datos pueden ser de diferentes tipos, integer, serial, text, double, varchar, etc. En general son los tipos de datos que soportan los lenguajes de programación mas comunes tales como C, java, visual Basic, etc

Por ejemplo

PROVEEDORES			
cod_proveedor	nom_proveedor	referencia	driver
1	DLINK	DWL-120d	linux-wlan-ng-0.2.1-pre15.tar.
2	3Com	3CRSHEW696	at76c503-0.11.tar.gz
3	ORINOCO	01UT24415277	orinoco-usb-0.2.2-18.i386.rpm
4	indiferente	indiferente	Indiferente

Las características mas importantes de una relación son: no tiene tuplas duplicadas, el orden de las mismas no tiene importancia, en la intersección de una fila y una columna no pueden haber varios valores, es decir debe ser atómico, toda relación debe tener un identificador o llave, hay tres tipos de llaves, la primera en importancia es la *llave principal o primaria* y es aquella que no tiene valores duplicados, puede ser un atributo o un conjunto de ellos. La segunda es la *llave candidata*, es aquella que a pesar de no tener valores duplicados no fue establecida como llave primaria. La tercera es la *llave foránea* la cual proviene de otras relaciones que conformaron la tabla.

Una vez definidos los elementos que conforman la base de datos se continuará con la descripción del proceso de diseño. El primer paso de diseño es identificar las entidades y establecer los atributos de cada una de ellas. Luego se analiza el tipo de relación que las une, en éste paso se deben tener en cuenta criterios de normalización de la base de datos. Un diseño correctamente normalizado permite que se utilice el espacio de almacenamiento mas eficientemente, que se elimine datos inconsistentes y redundantes y que se facilite la carga de mantenimiento. La normalización esencialmente es el proceso de tomar una tabla ancha o con muchas columnas y de pocas filas y reajustarla como varias tablas estrechas pero con muchas filas.

Algunos criterios de normalización son:

- ★ Las entidades entre las que hay relación uno a uno se deben fusionar en una sola entidad, esto se hace añadiendo una columna más en donde se establece la relación.
- ★ Una vez hecho esto se establece la llave primaria y se identifican las llaves candidatas.
- ★ Las interrelaciones uno a muchos se transforman en atributo y llave foránea de la tabla que representa la entidad situada del lado de la interrelación que corresponde a muchos.

- ★ Las interrelaciones muchos a muchos entre dos entidades pasan a ser una tercera tabla con llaves foráneas procedentes de ambas entidades. Estas llaves foráneas deberán formar parte de la llave foránea de la tabla de la que se convierte la interrelación, cuando corresponda.

En el entorno de DBDesigner los elementos son representados como se muestran a continuación.

Figura 1. Representación de los elementos en DBDesigner

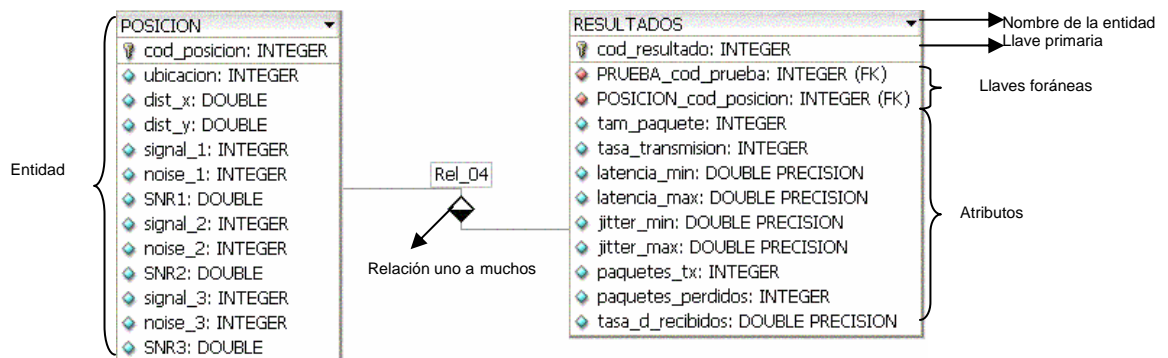
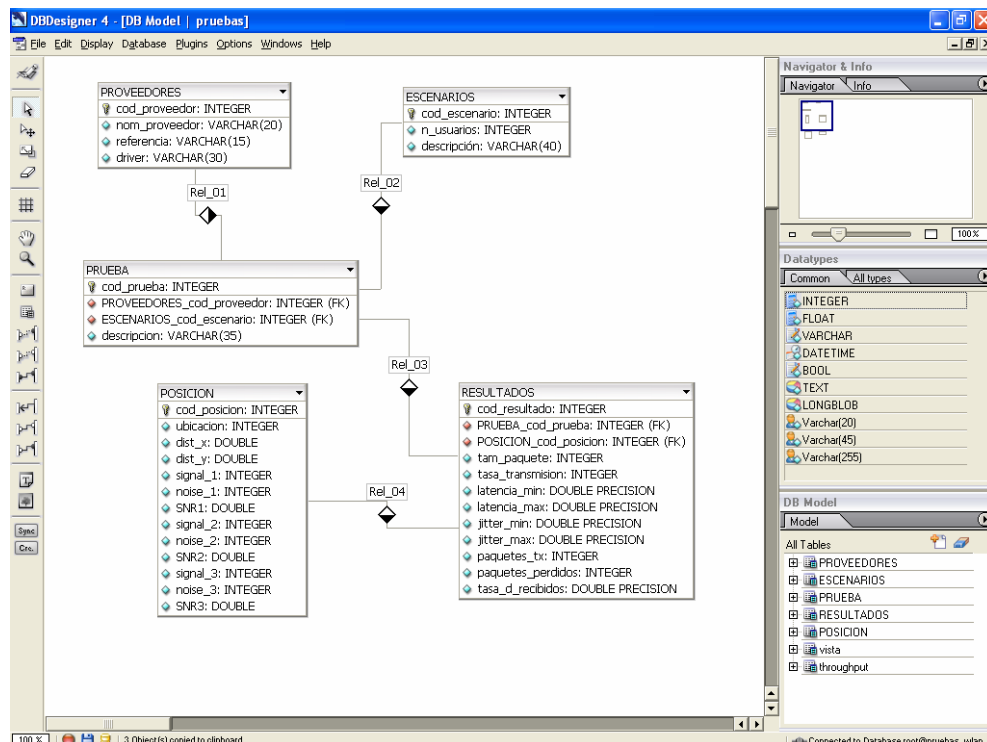


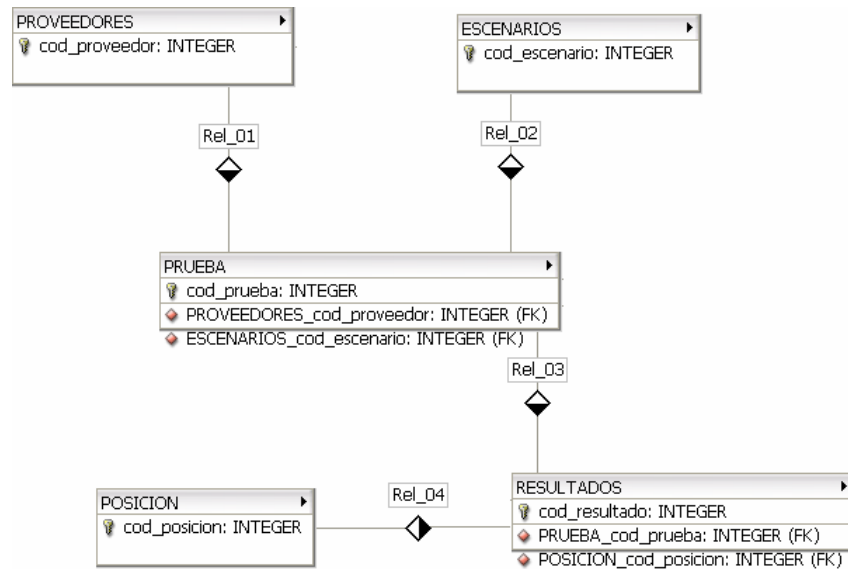
Figura 2 Entorno DBDesigner y modelo utilizado en el proyecto



5. DESCRIPCIÓN DEL MODELO UTILIZADO

Como se observa en la figura xx el modelo utilizado consta de 5 entidades y cuatro relaciones:

PROVEEDORES
ESCENARIOS
PRUEBA
RESULTADOS
POSICION



Esto se podría leer de la siguiente manera:

Los resultados almacenados (17570) corresponden a los obtenidos de cada una de las pruebas en las diferentes posiciones. Entonces cada resultado tendría asociado una llave primaria, que es el código del resultado, único para cada registro, y dos llaves foráneas que corresponden al código de la prueba (161 pruebas en total) y un código de la posición (40 posiciones), además de estas llaves tiene almacenado, por supuesto los diferentes atributos tales como tamaño del paquete, paquetes recibidos, paquetes perdidos, tasa de paquetes recibidos, entre otros. Cabe resaltar que algunas pruebas involucran varias ubicaciones simultáneas en el plano.

Los valores de las llaves foráneas nos permiten obtener información sobre la prueba y la posición. Con el código de la posición se puede saber la ubicación en el plano de cada punto, los valores RSSI, nivel de ruido y relación señal a ruido para los tres proveedores, así como una descripción de la ubicación referenciada por el número del salón.

Con el código de la prueba se obtiene información acerca del proveedor, y del código del escenario, así como la distribución de los computadores utilizados en cada una de las pruebas, por ejemplo para la prueba con código 2114 tendría como código de proveedor el número 1, como código del escenario en número

```
SELECT distinct(PRUEBA_cod_prueba), POSICION_cod_posicion FROM RESULTADOS order by PRUEBA_cod_prueba
```

El select puede ser utilizado en combinación de varios comandos adicionales tales como:

Select count, select avg, select sum, select distinct, select max, select min, select trunc, select as, select sqrt, select abs, select pow y varias funciones trigonométricas muy útiles en el manejo de base de datos con valores numéricos como nuestro caso

El comando **insert** o de inserción se utiliza para añadir un registro en la base de datos

- **Insert into** [nombre de la tabla] ([atributos]) **values** ([valores de los atributos])

Ejemplo:

```
INSERT INTO RESULTADOS (cod_resultado, POSICION_cod_posicion, PRUEBA_cod_prueba, tam_paquete, tasa_transmision, latencia_min, latencia_max, jitter_min, jitter_max, paquetes_tx, paquetes_perdidos, tasa_d_recibidos) VALUES ( 11060610, 06, 1106, 64, 1066, 0.001, 86399.999, 86399.999, 86399.999, 11015, 11767, 255.352 );
```

El comando **update** o de actualización se utiliza para alguna característica de un registro o grupo de registros

```
Update [nombre de la tabla] set [nombre del atributo] = [valor del atributo] where [condición]
```

Ejemplo:

```
UPDATE RESULTADOS set latencia_min=86400-latencia_min where latencia_min>86000;
```

Con **delete** se pueden borrar registros completos que cumplan ciertas condiciones

```
Delete from [nombre de la tabla] where [atributo] = [valor del atributo]
```

Ejemplo:

DELETE FROM PRUEBA where cod_prueba>4000

Con **create table** se genera una nueva estructura de tabla vacía con valores hinciales o sin ellos

Create table [nombre de la tabla] ([nombre del atributo1][tipo del atributo1]... ,[definición llave primaria] [, definición de llave foránea]) [AS SELECT (expresión)]

```
CREATE TABLE PRUEBA (cod_prueba INTEGER UNSIGNED NOT NULL
AUTO_INCREMENT, PROVEEDORES_cod_proveedor INTEGER UNSIGNED NOT
NULL,
ESCENARIOS_cod_escenario INTEGER UNSIGNED NOT NULL, descripcion
VARCHAR(35) NULL, PRIMARY KEY(cod_prueba) );
```

Hay ciertos comandos que facilitan la búsqueda de valores dentro de una tabla y que son utilizados con where los básicos son > < = between x and y, like etc Algunos comando especiales son group by, join table, alter table 2 y como descripción una leyenda que dice posiciones 30 y 31. y como es de entenderse, cada un de los códigos de proveedor y de escenario hace referencia a un registro en las tablas PROVEEDORES y ESCENARIOS, respectivamente. Con información muy general de las tarjetas y del driver a utilizar, para el caso de los proveedores. En la tabla de escenarios se encuentran valores del número de usuarios y una breve descripción de ellos.

Ahora se mostrarán los comandos SQL (Structured Query Language⁴⁰) utilizados con la base de datos.

Empezando por **select**, este comando es utilizado para consultar o recuperar información de la base de datos. Puede añadirse alguna condición y escoger el orden de presentación de los datos

- **Select** [atributos que se quieren consultar] **from** [nombre de la tabla] **where** [condición] **order by** [atributo]

Por ejemplo:

La herramienta de diseño DBDesigner tiene como opción adicional cargar archivo de extensión sql al hacer clic derecho en el tablero de edición de comando y ejecutarlos sobre la base de datos, de éste modo se trabajó en la base da datos de este proyecto, los resultados de cada prueba eran exportados a un archivo de texto en Linux luego éstos se grababan en Windows, se cambiaban de extensión sy simplemente se ejecutaban sobre la base de datos.

⁴⁰ SQL es un lenguaje de cuarto nivel utilizado para recuperar y actualizar datos con base en peticiones

ANEXO D. Consideraciones del enlace

Los dos principales parámetros que determinan la calidad del enlace son la relación señal a ruido y la sensibilidad del receptor, como se muestra a continuación.

Sensibilidad de receptor

El receptor tiene un umbral mínimo de energía recibida (en el conector de la tarjeta) para el que la señal tiene que alcanzar una cierta tasa de bits. Si la energía de señal es más baja que la permitida para cierta tasa de bits, ésta será decrementada o decrementará el desempeño. Lo que significa que es mejor un receptor con un valor de umbral bajo. Algunos valores típicos de sensibilidad de receptor:

Tarjetas Orinoco: 11Mbps => -83 dBm ; 5.5Mbps => -87 dBm; 2Mbps=> -91 dBm; 1Mbps=> -94 dBm.

D'link=>11Mbps 10^{-5} BER -80dBm mínimo

(Estos son valores dados por el proveedor).

Relación Señal a Ruido (Signal to Noise Ratio)

La sensibilidad del receptor no es el único parámetro para el receptor, también se tiene en cuenta la proporción señal a ruido. Esta es la diferencia de energía mínima a alcanzar entre la señal recibida deseada y el ruido (ruido termal, ruido industrial debido por ejemplo a hornos a microondas, ruido de interferencia debido a otra WLAN en la misma banda de frecuencia). Está definido como:

$$\text{Relación Señal/Ruido [dB]} = 10 * \text{Log} (\text{nivel de Señal [W]} / \text{nivel de ruido [W]})$$

Si el nivel de señal es más alto que el ruido, la relación señal/ruido será positiva. Si la señal está oculta en el ruido, la proporción será negativa. Para poder trabajar en una cierta proporción de datos el sistema necesita una mínima proporción S/N, por ejemplo para las tarjetas Luncent/Orinoco se tienen los siguientes valores:

11Mbps => 16 dB; 5.5 Mbps => 11 dB; 2 Mbps => 7 dB ; 1 Mbps => 4 dB

Si el nivel de ruido es muy bajo entonces el sistema estará más limitado por la sensibilidad del receptor que por la proporción S/N. Si el nivel de ruido es alto entonces será la proporción Señal/Ruido que contará para alcanzar una proporción de datos dada. Si el nivel de ruido es alto necesitaremos más energía recibida. En condiciones normales sin ninguna otra WLAN en la frecuencia y sin ruido industrial el nivel de ruido será de alrededor de -100dBm. Por ejemplo, para alcanzar una proporción de datos de 11 Mbps con una tarjeta Lucent/Orinoco 802.11b podríamos necesitar una energía recibida de 16dB más alta (S/N ratio) por lo que un nivel de $-100+16=-84$ dBm pero en realidad la sensibilidad mínima del receptor está en -82 dBm. más alto que -84. Significa que en este caso la sensibilidad mínima del receptor es el factor limitante para el sistema.

Existe otro parámetro que limita la calidad del enlace, éste es la variación del retardo entre las ondas que se reflejan, como se indica a continuación:

Reflexiones y distorsión de retardo (delay spread)

Las ondas de radio se reflejan en los obstáculos que encuentran. En el lado del receptor se recibe al mismo tiempo la onda directa (si está en línea de vista) y ondas reflejadas. Esto conduce a energía cancelada en ciertas frecuencias y también una diferencia de tiempo entre los diferentes componentes recibidos que hacen que la señal recibida se difunda en el dominio de tiempo. La consecuencia en el sistema es perjudicial y lleva a disminuir el desempeño (errores de transmisión). Para reducir este efecto el receptor tiene lo que llamamos un ecualizador que contrarresta estas faltas. De todas formas esto tiene una capacidad limitada y los proveedores dan el límite de delay spread para alcanzar un nivel de error mínimo en una cierta proporción de datos: Tarjeta Lucent/Orinoco 802.11b, valores delay spread para una proporción de error de frame (FER) menor que 1%:

11Mbps => 65 ns; 5.5 Mbps => 225ns; 2 Mbps => 400ns; 1Mbps => 500 ns

La diferencia de tiempo para una reflexión puede ser fácilmente calculada como viaje de onda de radio a la velocidad de la luz (300'000'000 m/s):

$$\text{Diferencia de tiempo [s]} = \frac{\text{Longitud de diferencia entre ruta directa y ruta reflejada [m]}}{300'000'000}$$

Por lo que una diferencia de tiempo de 50 nanosegundos corresponde a una diferencia de longitud de ruta de 15 metros. Para minimizar la proporción de reflexión es mejor usar antenas directivas, estar en línea de vista. Otra posibilidad es usar también antenas de polarización de onda circular (antenas

helicoidales) que cancelan bastante bien las primeras reflexiones.

Sin embargo predecir cual es la relación señal a ruido de un adaptador inalámbrico en unas condiciones determinadas suele ser objeto de muchos estudios, a continuación se nombrarán algunos de los factores más importantes para hacer éste calculo:

Energía

La energía de salida del dispositivo electrónico es expresada en Watts o en las unidades relativas a Decibel comparadas con milliwatts (dBm).

$$[dBm] = 10 * \log\left(\frac{P}{0.001}\right)$$

Las tarjetas Orinoco transmiten a 15dBm es decir tiene como energía de salida 30mW.

Las tarjetas D'Link transmiten a 13dBm a un rango de temperatura nominal es decir alrededor de 20mW.

Antena

La ganancia de antena está normalmente dada en decibeles isotrópicos [dBi]. Es la ganancia de energía en comparación con una antena isotrópica.

Algunas antenas tienen su ganancia expresada en [dBd], que es la ganancia comparada con una antena dipolo. En este caso tienes que sumar 2.14 para obtener la ganancia correspondiente en [dBi].

Cuanto más ganancia tenga la antena mayor es la directividad (energía enviada en una dirección preferida).

Las antenas que vienen con los kits WLAN generalmente no tienen mucha ganancia (2.14 dBi).

La ganancia de antena es la misma para recibir y transmitir

Las tarjetas cliente de D'Link tiene una antena dipolo externa a 0dBi.

El access point de D'Link tiene una antena dipolo de 2dBi con diversidad.

Energía irradiada

La energía irradiada puede ser fácilmente computada (en dBm):

Energía irradiada [dBm] = Energía de transmisor [dBm] - pérdida de

cable⁴¹[dB] + ganancia de antena[dBi]

El límite legal de energía irradiada (EIRP) para WLAN es generalmente puesto a 100mW (= +20dBm) pero depende de las regulaciones del país.

En Colombia, la resolución 797 de 2001, del ministerio de comunicaciones establece que en la banda de 2,400 a 2,483.5 MHz pueden operar libremente aparatos de telecomunicación inalámbricos para enlaces radioeléctricos punto a punto entre equipos electrónicos, dispositivos periféricos, computadoras y redes LAN, que no excedan una potencia de 100mW. Este límite de potencia coincide con el permitido en Europa para la operación de los sistemas 802.11b, es decir, que ya es posible operar en Colombia sistemas Wi-Fi bajo esta limitante⁴².

Pérdidas por trayectoria

★ PÉRDIDAS POR ESPACIO LIBRE EN 2.45 GHz

Es la pérdida de energía por el recorrido de onda en espacio libre, es decir cuando el receptor y el transmisor se encuentran en línea de vista y no hay perturbaciones en la zona de Fresnel.

propagación en espacio libre⁴³

$$P_r = P_t \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$$

las pérdidas en espacio libre entre dos antenas isotrópicas es P_t/P_r . Sustituyendo la longitud de onda por c/f se obtiene

$$L_p = \left(\frac{4\pi}{c} \right)^2 f^2 d^2$$

esta ecuación se utiliza mas frecuentemente en forma logarítmica

$$32.6 + 20*\log(F [\text{Mhz}]) + 20*\log(D [\text{km}])$$

⁴¹ Estas pérdidas se tienen en cuenta cuando se utilizan antenas adicionales a las que vienen con el kit inalámbrico

⁴² MINISTERIO DE COMUNICACIONES. Comentarios a la primera versión del cuaderno de políticas sobre Tecnologías Wi-Fi y Bandas de Radioeléctricas sin licencia. Septiembre de 2003

⁴³ esta es la referencia VHF/UHF/Microwave Radio Propagation: A Primer for Digital Experimenters. Barry McLarnon, VE3JF 2696 Regina St. Ottawa, ON K2B 6Y1 ve3jf@tapr.org <http://www.tapr.org/tapr/pdf/dcc97.ve3jf.pdf>

★ PÉRDIDAS INDOOR

El cálculo de las pérdidas indoor es un poco más complicado ya que depende de muchos factores, así como los materiales de la construcción, los muebles y los ocupantes del lugar.

Las pérdidas indoor a una frecuencia de 2.4GHz se pueden calcular por la siguiente fórmula:

$$\text{Pérdidas por trayectoria indoor}(2.4\text{GHz}) = 55\text{dB} + 0.3 \frac{\text{dB}}{\text{d[metros]}}$$

Margen de debilitamiento del enlace

Es la diferencia, en dB, entre la magnitud de la señal recibida en el receptor y el nivel de señal mínimo requerido para que la comunicación sea confiable. En otras palabras, es la cantidad de señal que se recibe por encima del nivel de sensibilidad del receptor. Obviamente entre mayor sea el margen de debilitamiento mejor es el enlace. Una buena aproximación para este valor es entre 20 y 30 dB.

Pérdidas por cables y conectores

Se consideran en caso de usar antenas adicionales a las que vienen con los adaptadores y los puntos de acceso. Dependen del tipo de cable, su espesor y su longitud. Una buena aproximación es asumir que son de 0.5 dB por conexión.

Atenuación

El trayecto de las ondas puede verse afectado por diversos obstáculos. Por ejemplo, la atenuación producida por una pared de oficina es de 6dB⁴⁴.

Presupuesto de enlace (Link budget)

En un enlace 802.11 típico es necesario realizar dos cálculos de enlace: el del enlace del Access Point al adaptador cliente, y el del enlace del adaptador cliente al Access point. El cálculo de enlace, o Link budget es el cálculo de toda

⁴⁴Existen múltiples estudios sobre atenuación en interiores y los valores específicos pueden variar de un autor a otro. Este dato fue tomado del libro Wi-Fi Handbook, referencia [11] en la bibliografía.

la cadena de transmisión, aquí se tienen en cuenta algunas de las posibles pérdidas y ganancias de potencia transmitida a lo largo de la trayectoria, de modo tal que se puede predecir el nivel de potencia recibida en una zona específica a una cierta distancia del punto de acceso.

La condición de funcionamiento del enlace es que el total: Total Transmisor + Total Propagación + Total Receptor debe ser mayor que 0 . El resto da el margen del sistema. A continuación se presentan los cálculos pertinentes para las tarjetas D'link y Lucent/Orinoco, debido a que los datos de fabricante para la tarjeta 3Com no se encuentran disponibles.

En la tabla D.1 se muestra el cálculo del enlace de subida o up-link, es decir entre el adaptador inalámbrico y el Punto de Acceso. En la Tabla D.2 se muestra el cálculo entre el Punto de Acceso y la tarjeta cliente.

Cabe aclarar que éstas reglas son teóricas. Representa el máximo alcanzable para un sistema. En realidad tendremos interferencias (otras redes WLAN, bluetooth), ruido industrial (hornos a microondas), pérdidas atmosféricas (humedad del aire, dispersión, refracción), antena mal orientada, reflexiones, que afectarán el desempeño. Por lo tanto es necesario tomar un suficiente margen de seguridad (5-6 dB o más en distancias grandes).

Tabla 1. Cálculo de enlace entre el adaptador inalámbrico y el AP

Orinoco	D´link	DESCRIPCIÓN
(+) 15 dBm	(+) 13 dBm	Máxima potencia emitida incluyendo la potencia de salida y la ganancia de la antena en el adaptador.
- 55dBm - (0.3 dB/[d])	- 55 dBm - (0.3 dB/[d])	Las pérdidas por trayectoria en un ambiente indoor, donde d es la distancia en metros al access point
(-) 6*n dB	(-)6*n dB	Pérdidas por atenuación producidas por los n muros entre las salas. Por lo general se toma el peor de los casos que es cuando el haz recibido es el que se propaga en línea recta con el Access Point a través de los muros.
(+) 2dBi	(+) 2 dBi	Ganancia de la antena del punto de acceso.
(-) 20 dB	(-) 20 dB	Margen de debilitamiento del enlace.

-58 -0.3/d -6*n [dBm]	-60 -0.3/d - 6*n [dBm]	Nivel de señal recibida.
-88 [dBm]	-90 [dBm]	Peor caso (a 30 mts)

Tabla 2. Cálculo de enlace entre el adaptador inalámbrico y el AP

Orinoco	D'link	DESCRIPCIÓN
(+) 20 dBm	(+) 20 dBm	Máxima potencia emitida incluyendo la potencia de salida y la ganancia de la antena en el access point.
(-) 55 dBm +(0.3 dB/[d])	(-) 55 dBm +(0.3 dB/[d])	Las pérdidas por trayectoria en un ambiente indoor, donde d es la distancia en metros al adaptador.
(-) 6*n dB	(-) 6*n dB	Pérdidas por atenuación producidas por los n muros entre las salas. Por lo general se toma el peor de los casos que es cuando el haz recibido es el que se propaga en línea recta con el Access Point a través de los muros.
(+) 2dBi	(+) 0dBi	Ganancia de la antena de los adaptadores
(-) 20 dB	(-) 20 dB	Margen de debilitamiento del enlace.
-53 -0.3/d -6*n [dBm]	-55 -0.3/d -6*n [dBm]	Nivel de señal recibida.
-83 [dBm]	-85 [dBm]	Peor caso (a 30 mts)

En la figura D.1 se presentan los resultados obtenidos experimentalmente y los teóricos para las tarjetas de Lucent/Orinoco y D'link, para aquellos puntos que se encuentran en línea recta con el Punto de Acceso. En la figura D.2 se presentan los respectivos errores.

Como se puede observar en las Figuras D.1 y D.2 en el primer salón el modelo que se utilizó no es el más apropiado ya que se presentan más errores, sin embargo no se puede considerar un modelo de espacio libre porque en éste se toman en cuenta ciertas consideraciones que no atienden la infraestructura del lugar, ni el tipo de antena.

Figura 1 Grafica de distancia contra RSSI

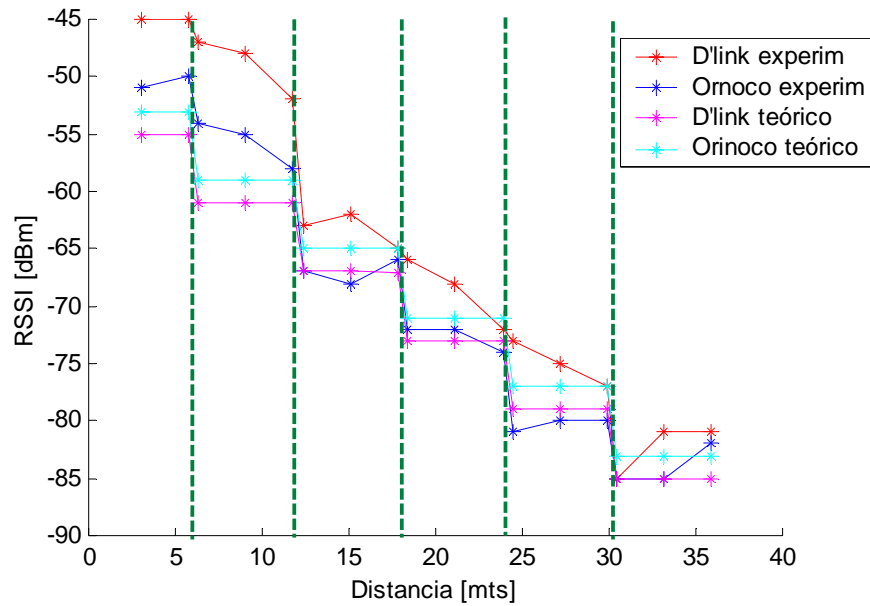
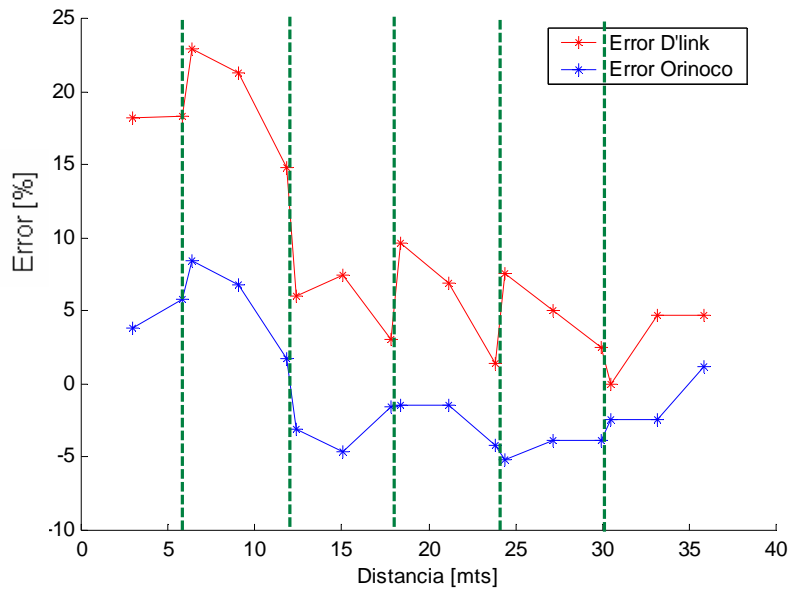


Figura 2 Grafica de distancia contra % de error



Referencias, documentación

Una excelente explicación de propagación de ondas de radio por VE3JF (radio amateur): VHF/UHF/Microwave Radio Propagation: A Primer for Digital Experimenters

S.R. Saunders: Antennas and propagation for wireless communication systems, Wiley 1999

ANEXO E Gráficas Complementarias

En este anexo se exponen aquellas gráficas aunque no son del todo relevantes para el estudio si muestran una caracterización del comportamiento de la red de prueba.

1. THORUGHPUT

1.1 TROUGHPUT Dos usuarios

Tarjeta D´Link

Figura 1 Throughput, tarjeta D´link, dos usuarios para 64 y 128 Bytes

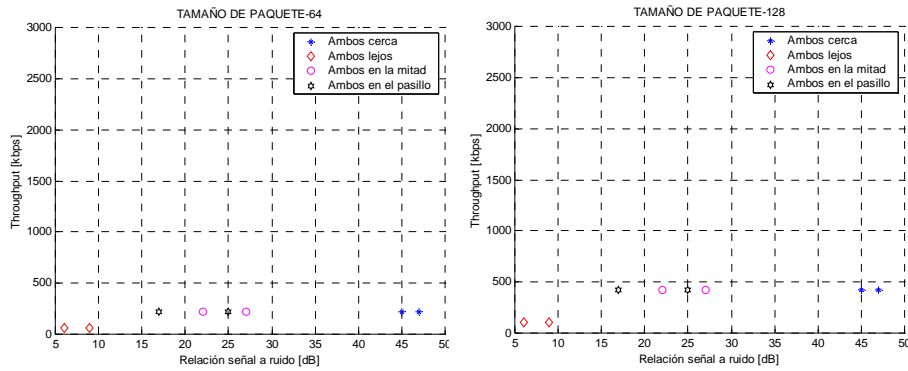


Figura 2 Throughput, tarjeta D´link, dos usuarios para 256 y 512 Bytes

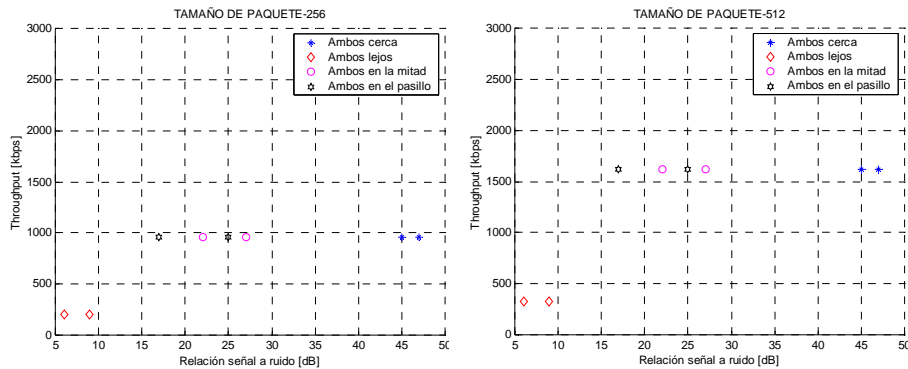
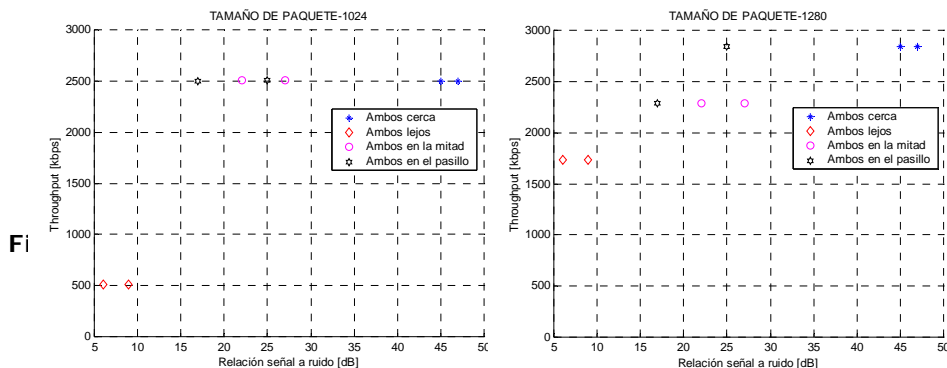
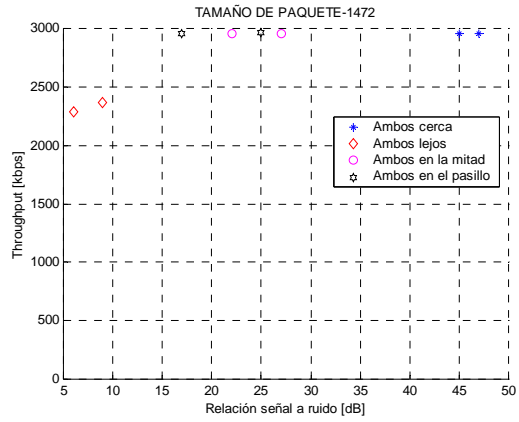


Figura 3 Throughput, tarjeta D´link, dos usuarios para 1024 y 1280 Bytes



Fi



Tarjeta 3COM

Figura 5 Throughput, tarjeta 3 Com, dos usuarios para 64 y 128 Bytes

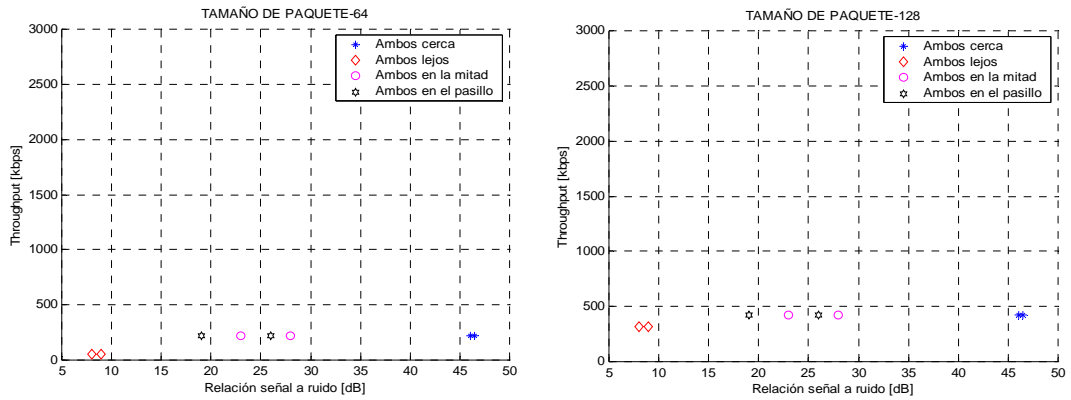


Figura 6 Throughput, tarjeta 3 Com, dos usuarios para 256 y 512 Bytes

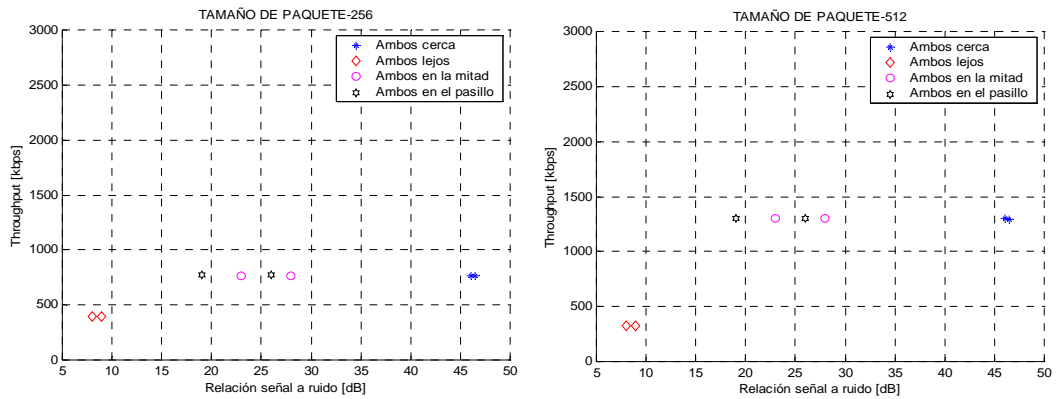


Figura 7 Throughput, tarjeta 3 Com, dos usuarios para 1024 y 1280 Bytes

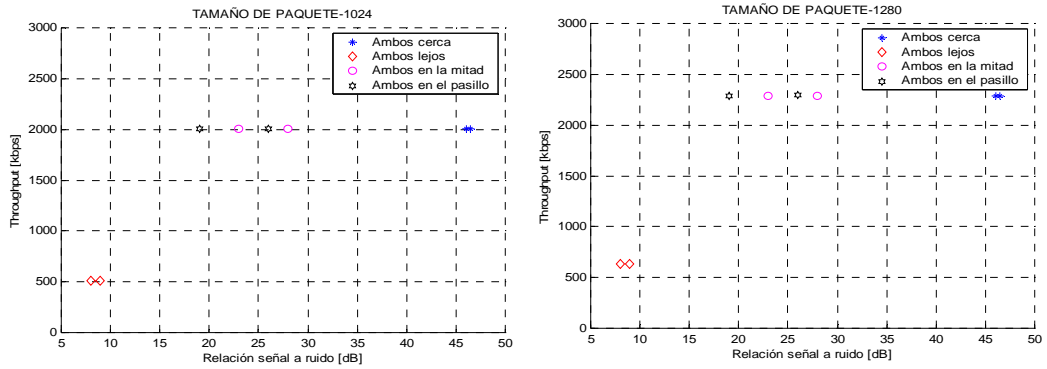
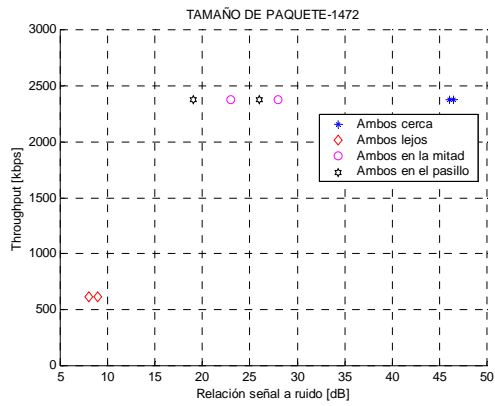


Figura 8 Throughput, tarjeta 3 Com, dos usuarios para 1472 Bytes



Tarjeta Orinoco

Figura 9 Throughput, tarjeta Orinoco, dos usuarios para 64 y 128 Bytes

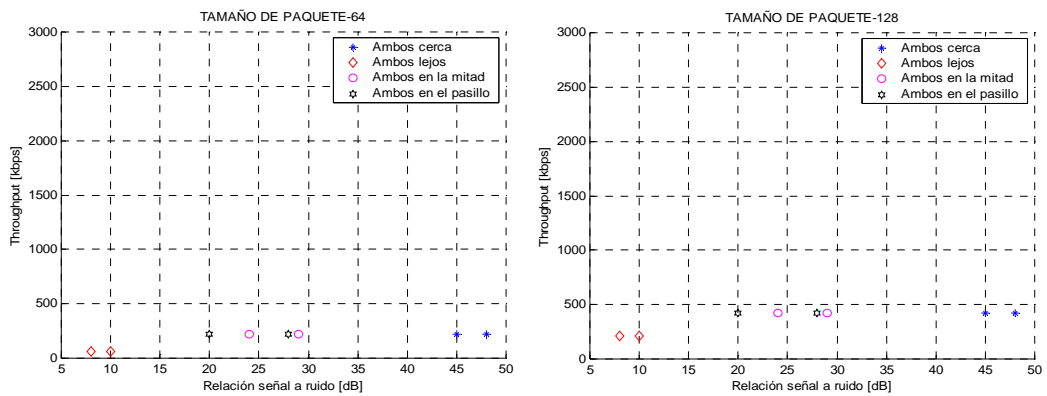


Figura 10 Throughput, tarjeta Orinoco, dos usuarios para 256 y 512 Bytes

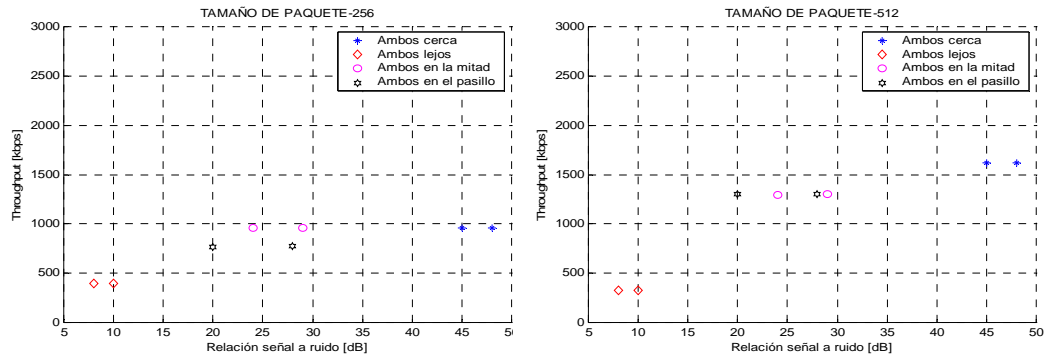


Figura 11 Throughput, tarjeta Orinoco, dos usuarios para 1024 y 1280 Bytes

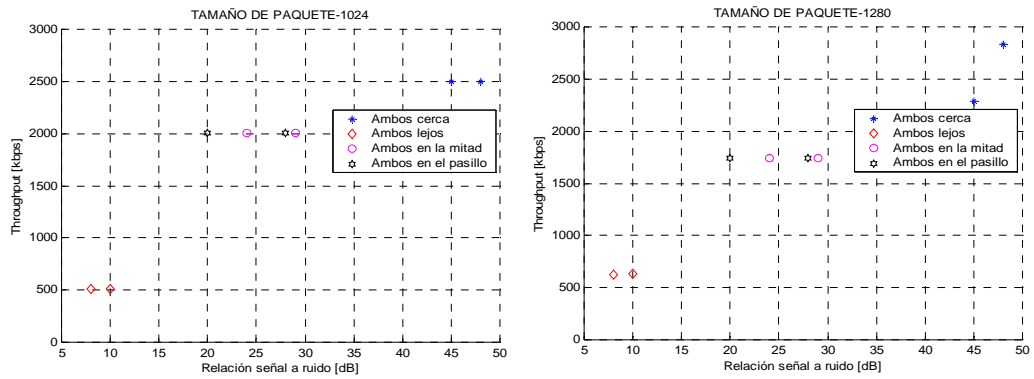
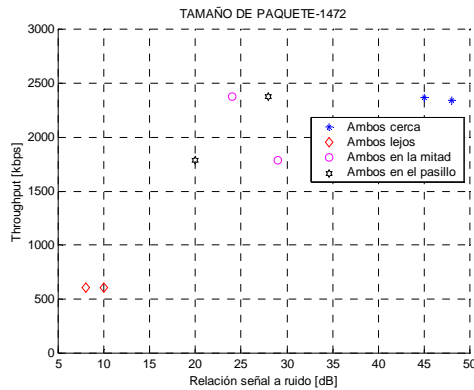


Figura 12 Throughput, tarjeta Orinoco, dos usuarios para 1473 Bytes



2. BER

2.1 BER Un solo usuario

Tarjeta D´Link

Figura 13 BER , tarjeta D´Link, un usuario, para 64 y 128 Bytes

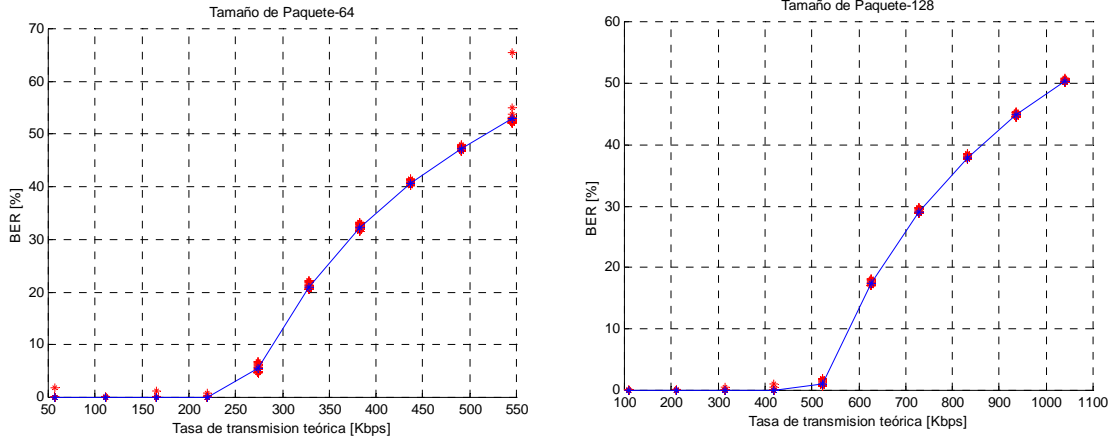


Figura 14 BER , tarjeta D´Link, un usuario, para 256 y 512 Bytes

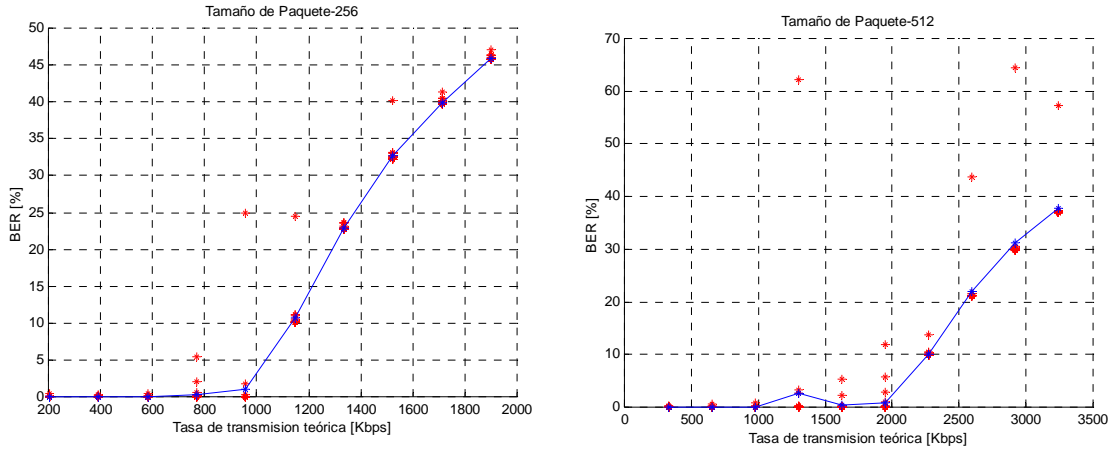


Figura 15 BER , tarjeta D´Link, un usuario, para 1024 y 1280 Bytes

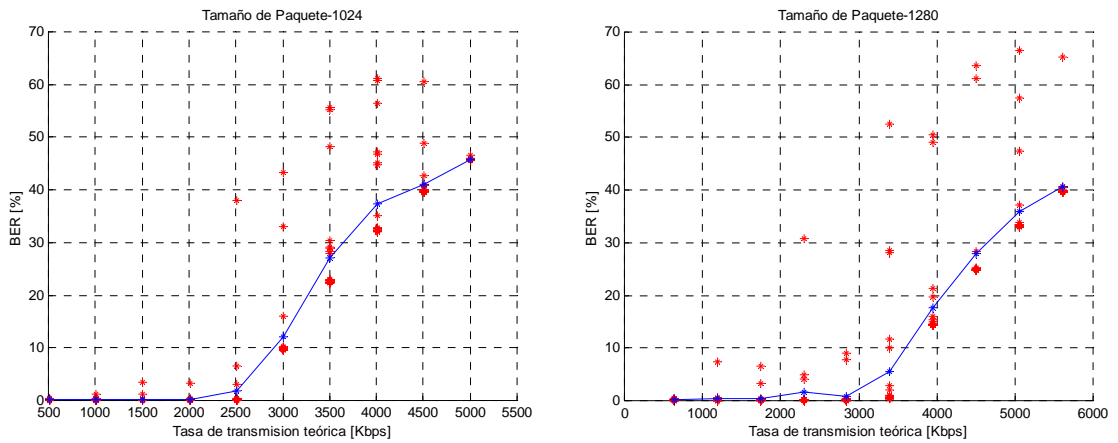


Figura 16 BER , tarjeta D´Link, un usuario, para 1472 Bytes

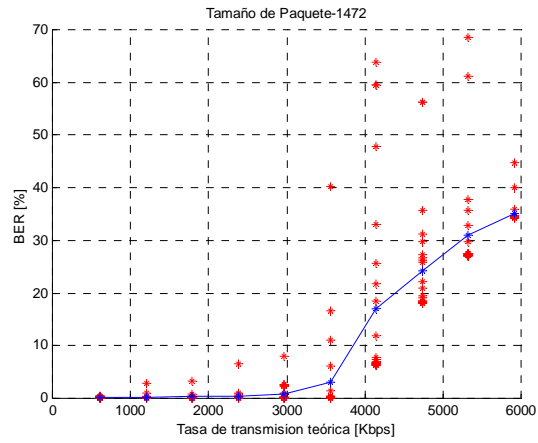
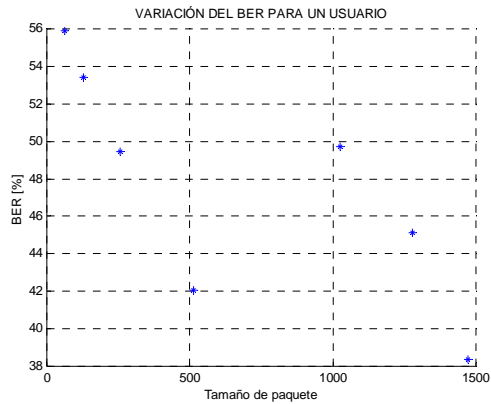


Figura 17 BER , tarjeta D´Link, un usuario, promedio



Tarjeta 3 COM

Figura 18 BER , tarjeta 3 COM, un usuario, para 64 y 128 Bytes

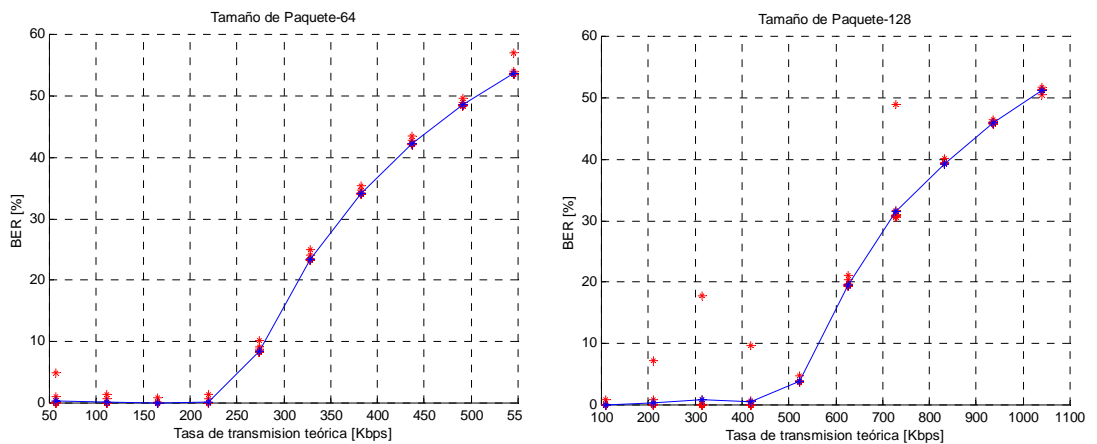


Figura 19 BER , tarjeta 3 COM, un usuario, para 256 y 512 Bytes

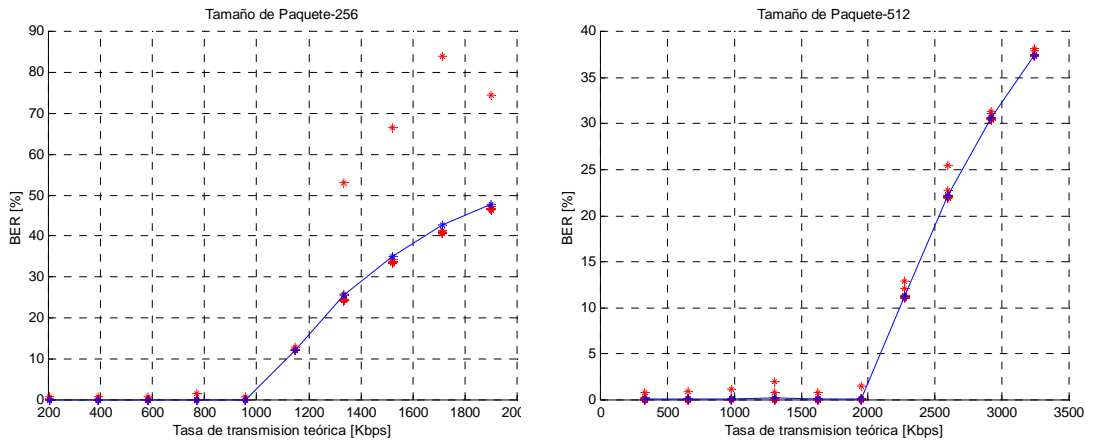


Figura 20 BER , tarjeta 3 COM, un usuario, para 1024 y 1280 Bytes

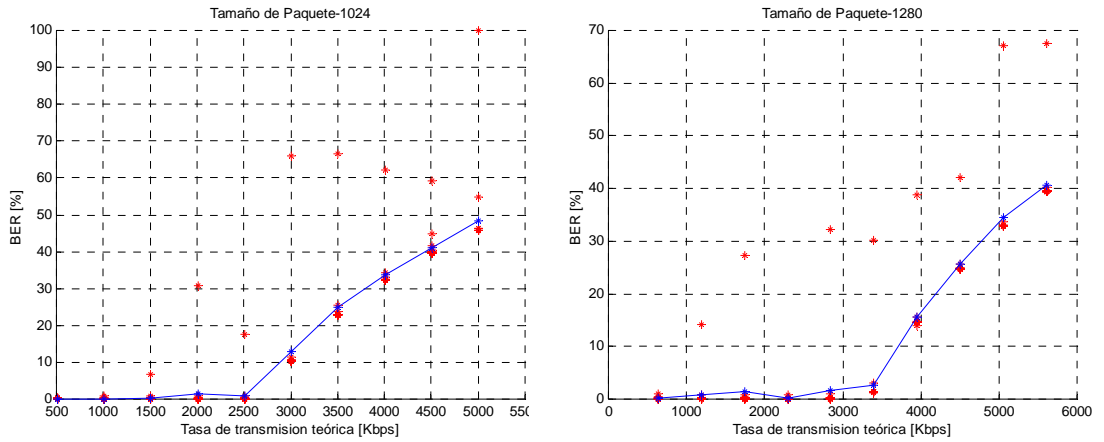


Figura 21 BER , tarjeta 3 COM, un usuario, para 1472 Bytes

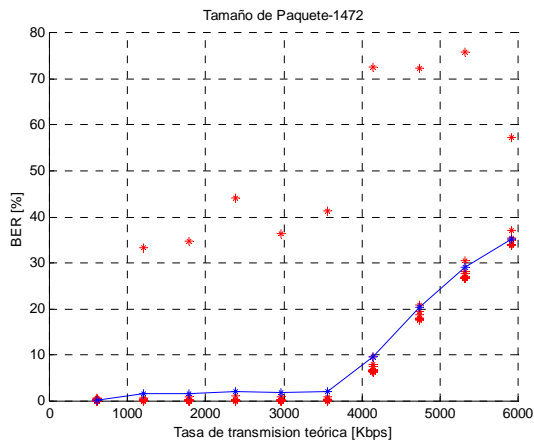
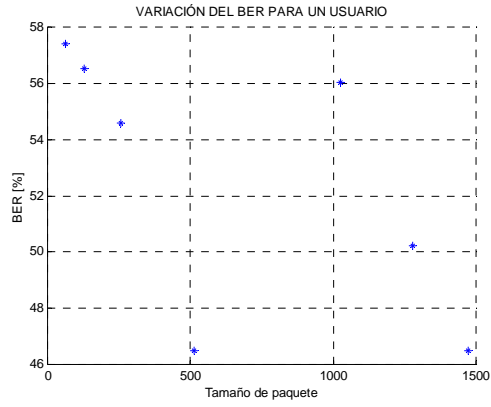


Figura 22 BER , tarjeta 3 COM, un usuario, promedio



Tarjeta Orinoco

Figura 23 BER , tarjeta Orinoco3 COM, un usuario, para 64 y 128 Bytes

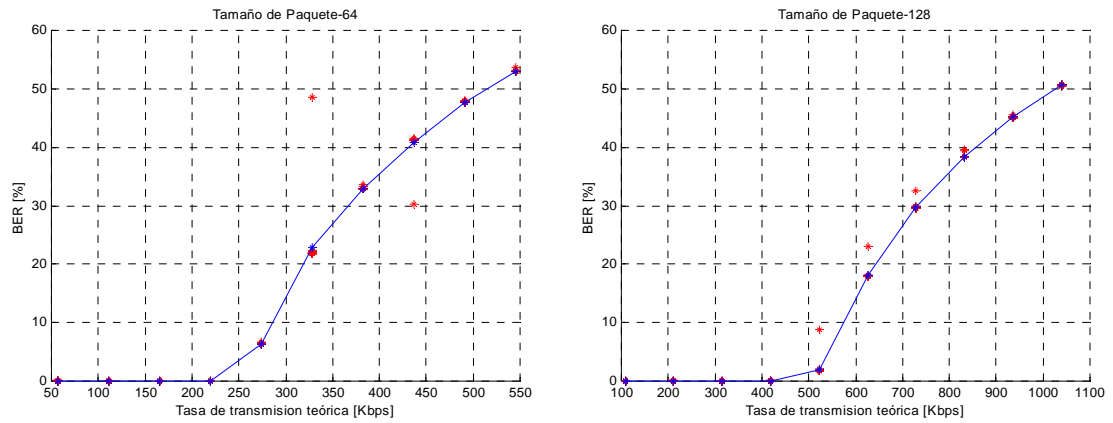


Figura 24 BER , tarjeta Orinoco, un usuario, para 256 y 512 Bytes

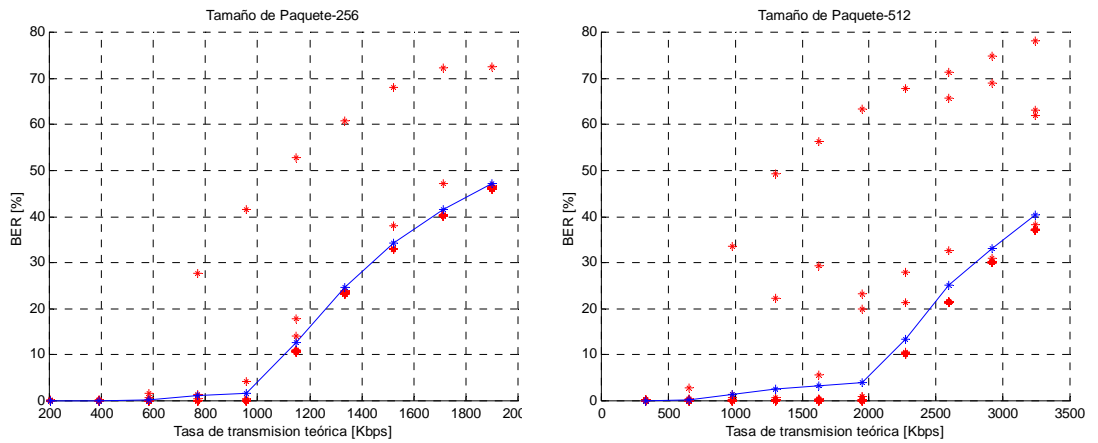


Figura 25 BER , tarjeta Orinoco, un usuario, para 1024 y 1280 Bytes

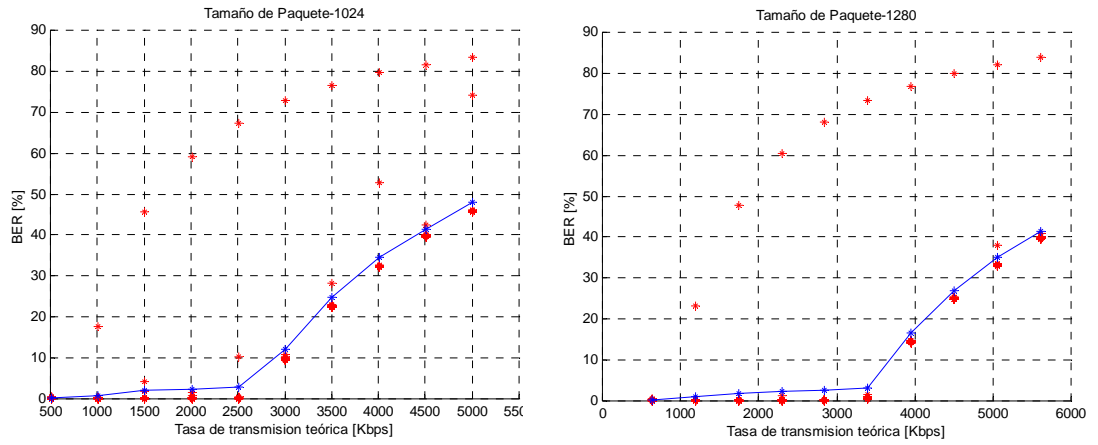


Figura 26 BER , tarjeta Orinoco, un usuario, para 1472 Bytes

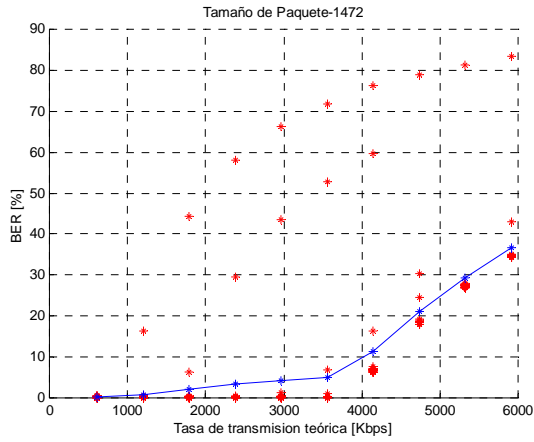
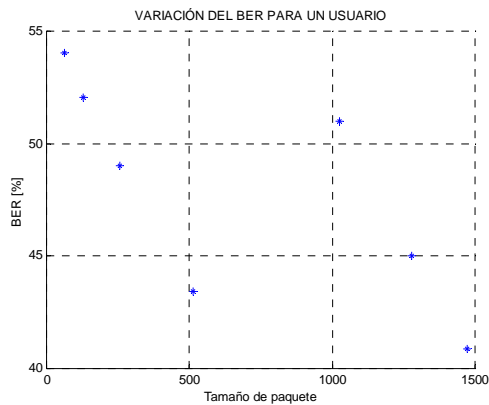


Figura 27 BER , tarjeta Orinoco, un usuario, promedio



2.2 BER Dos usuarios

Tarjeta D`Link

Figura 28 Variación del BER vs SNR para dos usuarios 64 Y 128 bytes

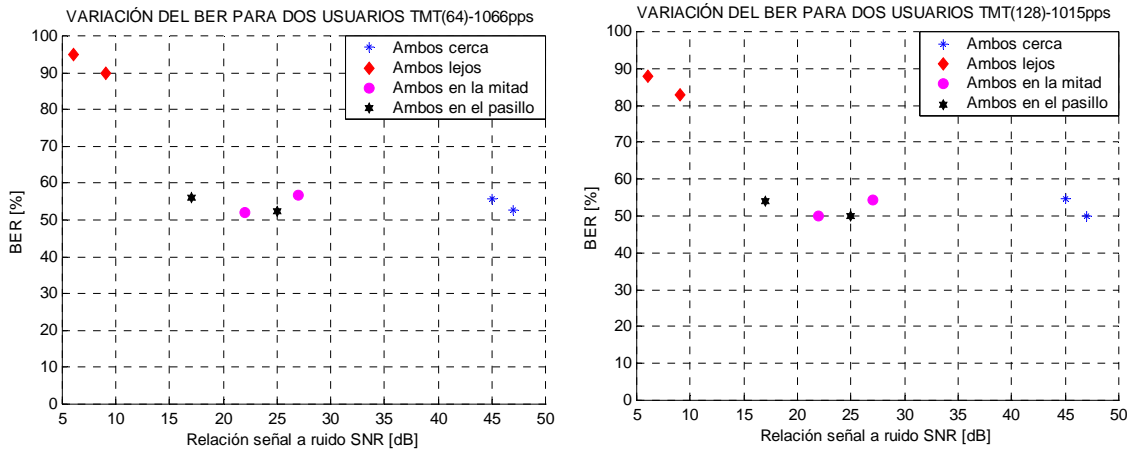


Figura 29 Variación del BER vs SNR para dos usuarios 256 Y 512 bytes

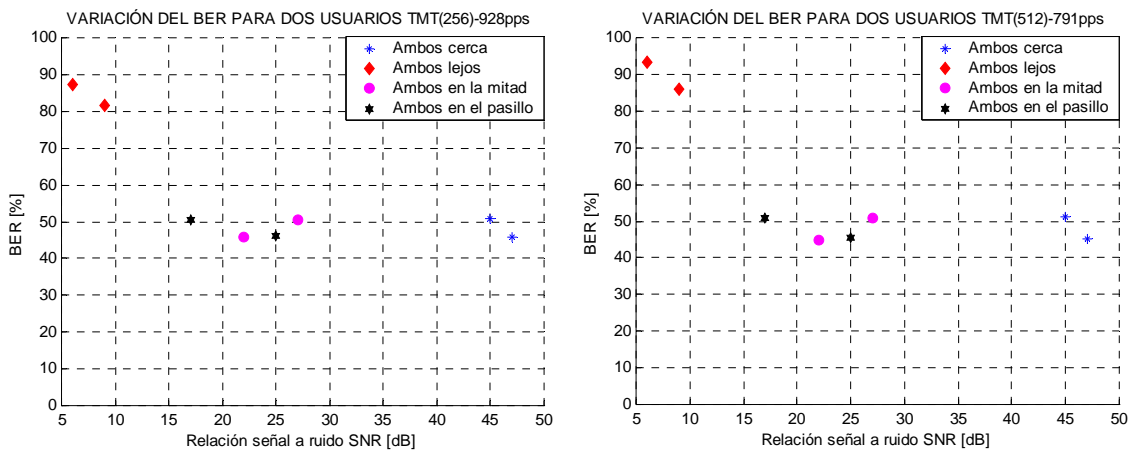


Figura 30 Variación del BER vs SNR para dos usuarios 1024 Y 1280 bytes

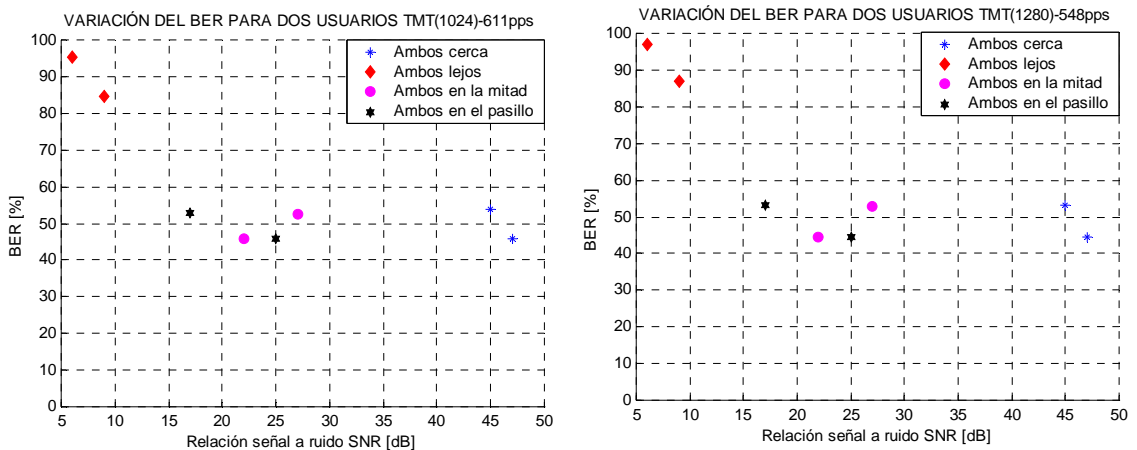
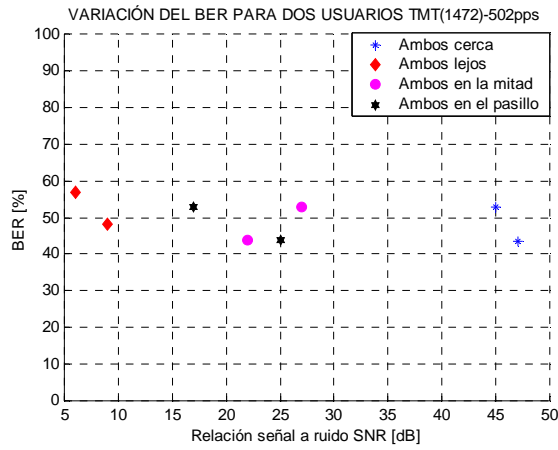


Figura 31 Variación del BER vs SNR para dos usuarios 1472 bytes



Tarjeta 3 COM

Figura 32 Variación del BER vs SNR para dos usuarios 64 Y 128 bytes

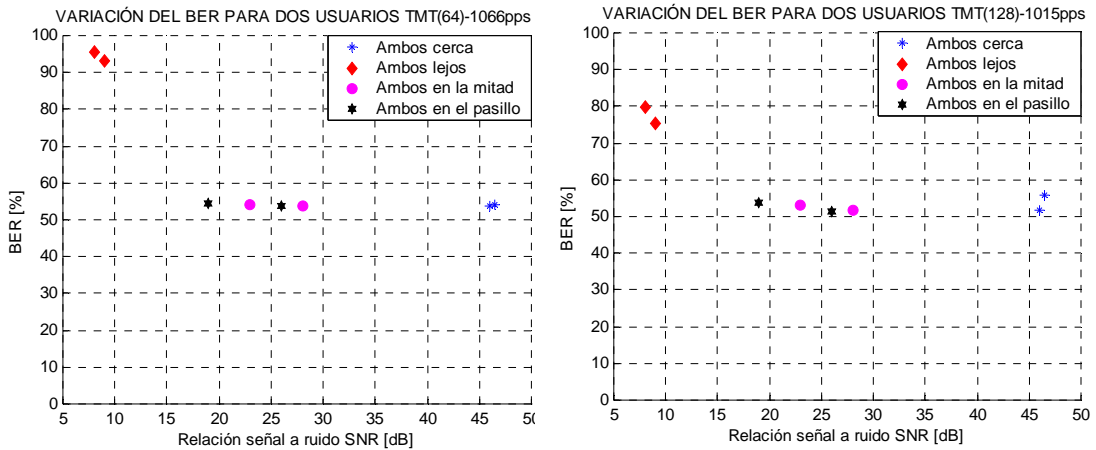
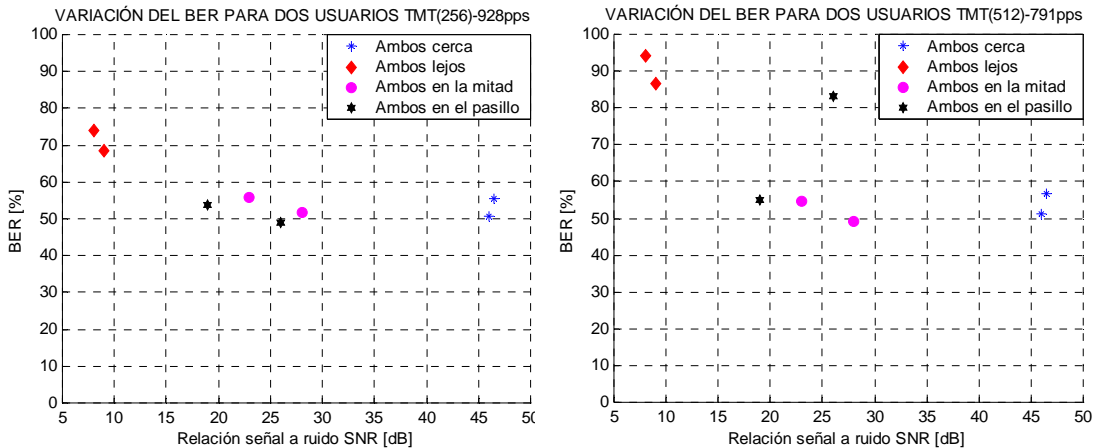


Figura 33 Variación del BER vs SNR para dos usuarios 256 Y 512 bytes



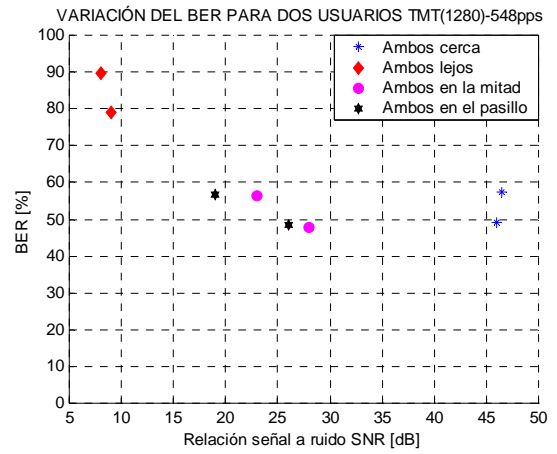
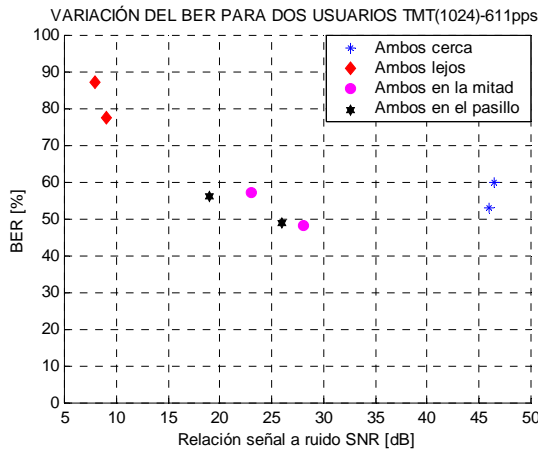
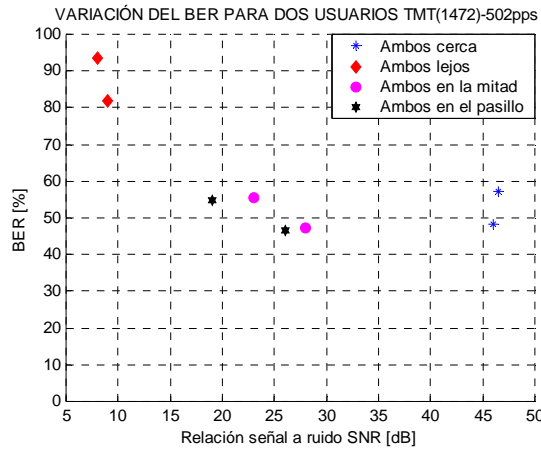


Figura 35 Variación del BER vs SNR para dos usuarios 1472 bytes



Tarjeta Orinoco

Figura 36 Variación del BER vs SNR para dos usuarios 64 Y 128 bytes

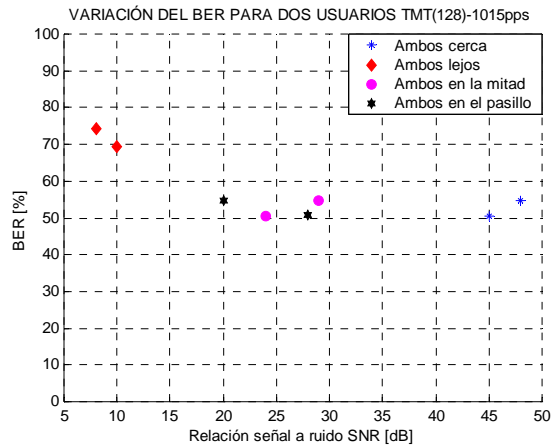
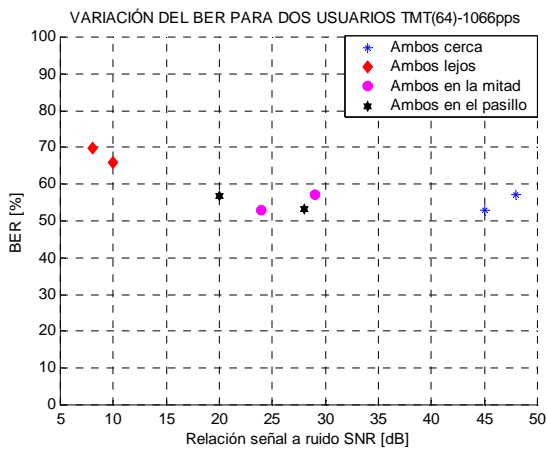


Figura 37 Variación del BER vs SNR para dos usuarios 256 Y 512 bytes

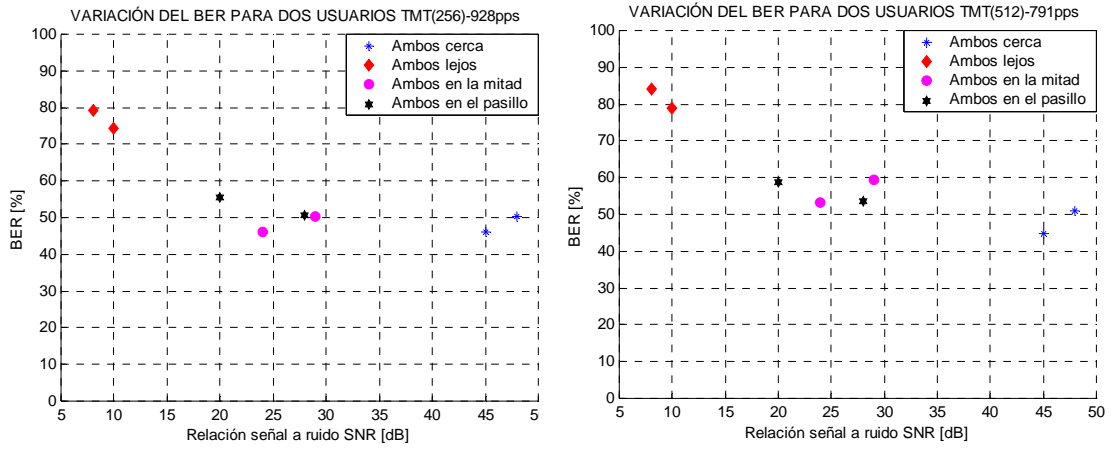


Figura 38 Variación del BER vs SNR para dos usuarios 1024 Y 1280 bytes

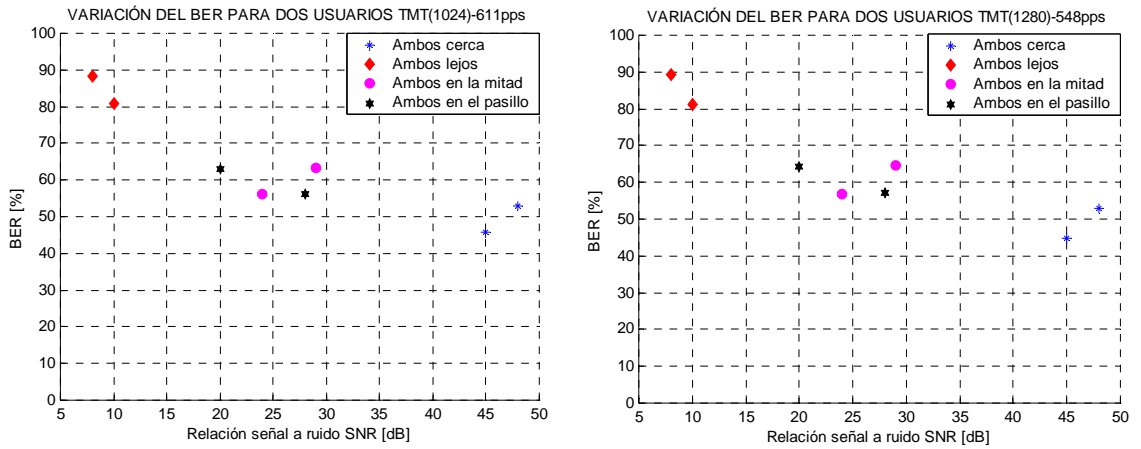
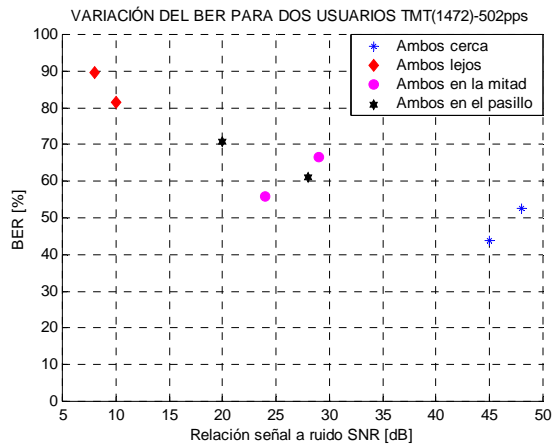


Figura 39 Variación del BER vs SNR para dos usuarios 1472 bytes



2.3 BER Cuatro usuarios

Figura 40 Variación del BER vs SNR para cuatro usuarios 64 Y 128 bytes

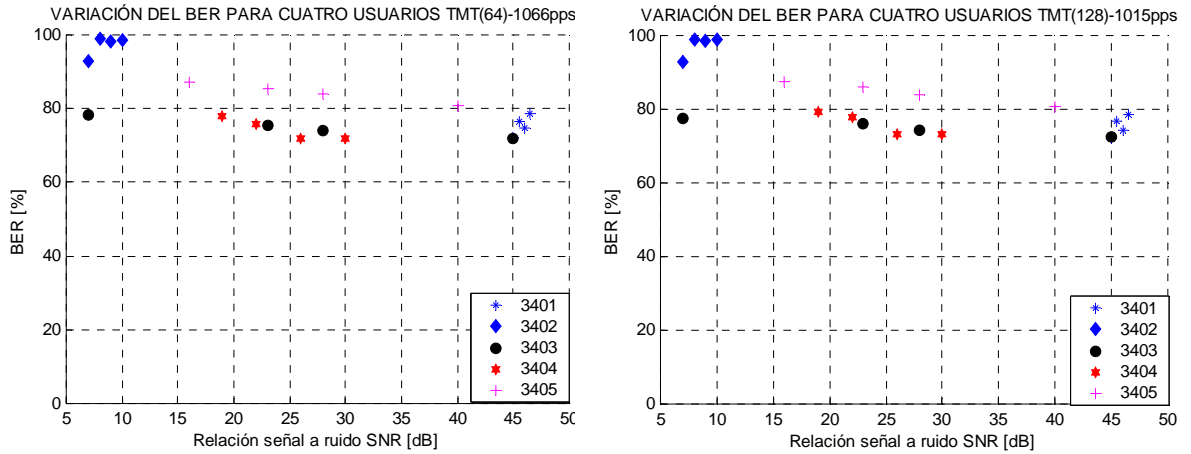


Figura 41 Variación del BER vs SNR para cuatro usuarios 256 Y 512 bytes

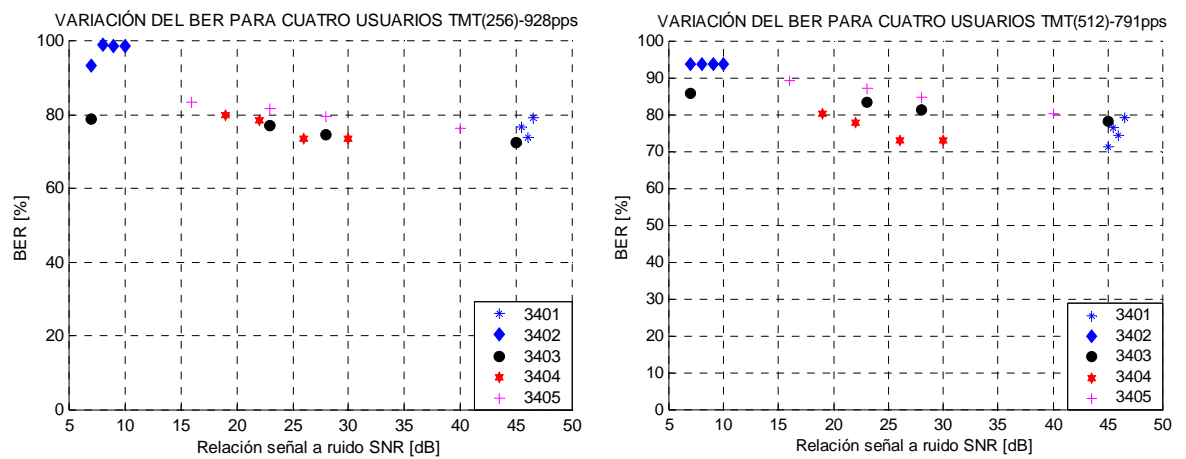


Figura 42 Variación del BER vs SNR para cuatro usuarios 1024 Y 1280 bytes

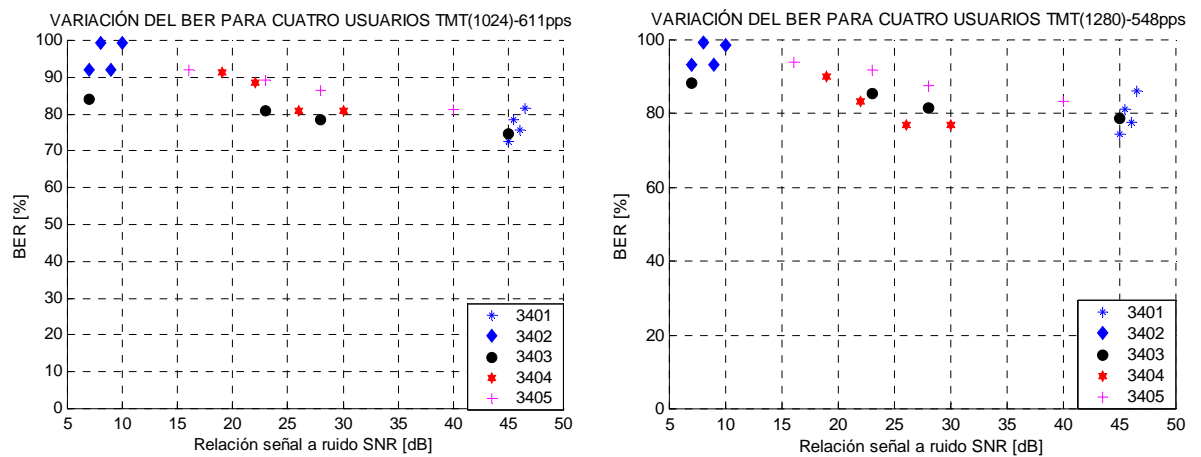
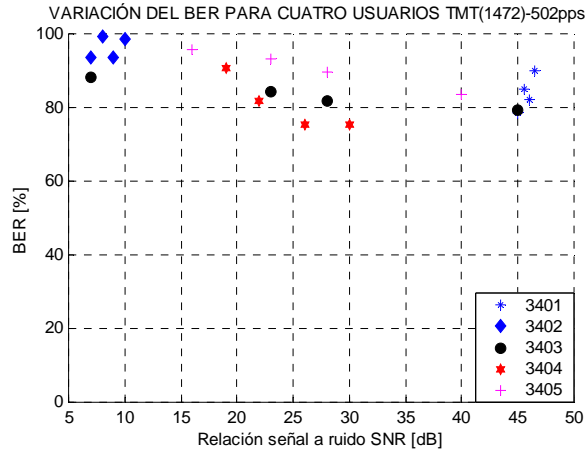


Figura 43 Variación del BER vs SNR para cuatro usuarios 1472 bytes



2.4 BER Ocho usuarios

Figura 44 Variación del BER vs SNR para ocho usuarios 64 Y 128 bytes

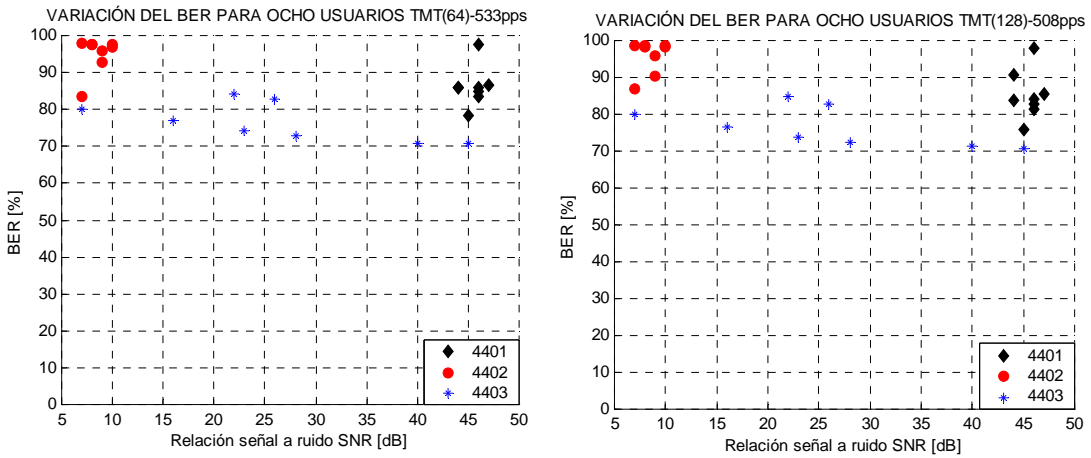


Figura 45 Variación del BER vs SNR para ocho usuarios 256 Y 512 bytes

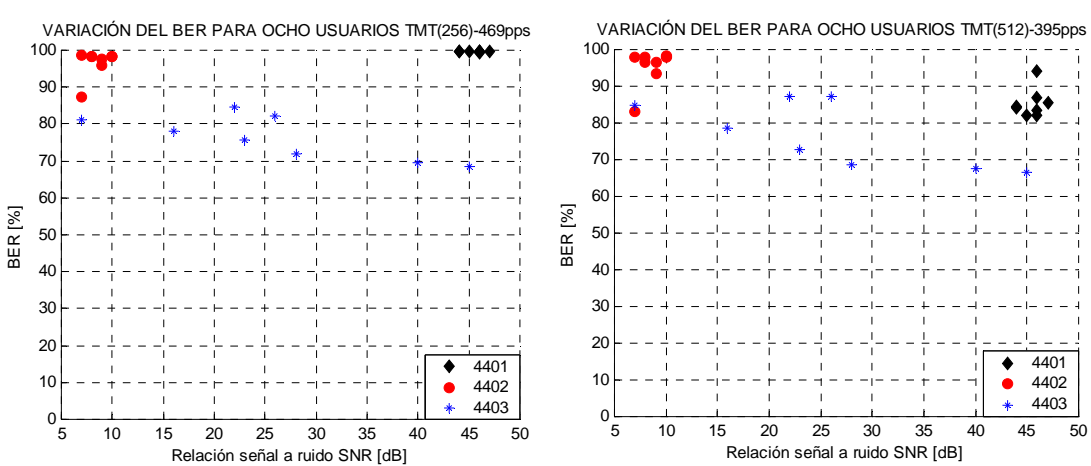


Figura 46 Variación del BER vs SNR para ocho usuarios 1024 Y 1280 bytes

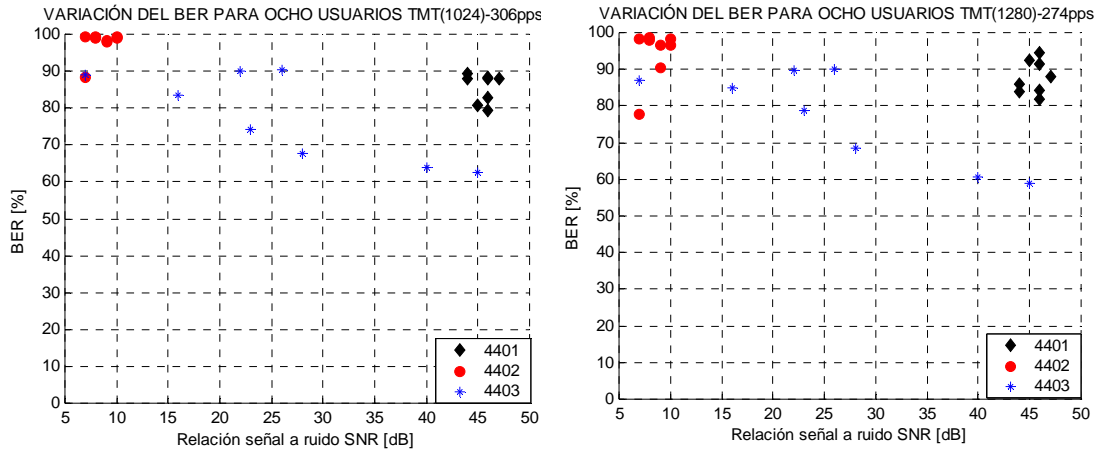
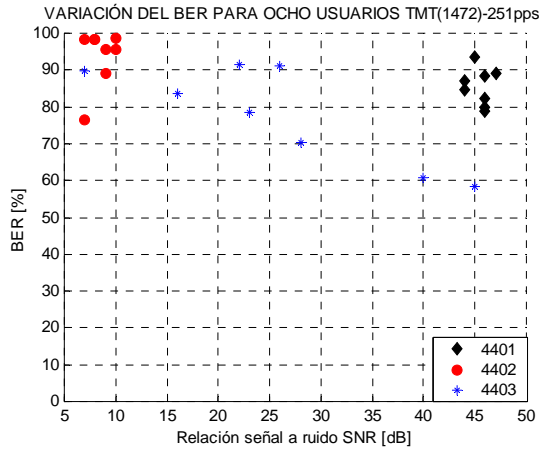


Figura 47 Variación del BER vs SNR para ocho usuarios 1472 bytes



3 LATENCIA Y JITTER

3.1 LATENCIA por nivel de señal

Figura 48 Latencia vs nivel de señal para todos los tamaños de paquetes

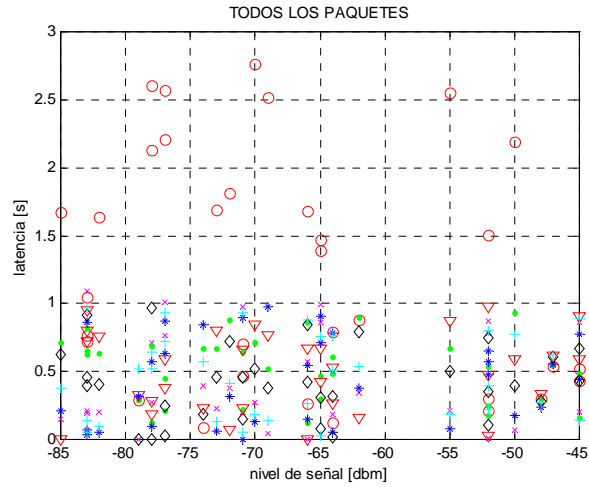


Figura 49 Latencia vs nivel de señal para tamaños de paquete de 64 y 128 bytes

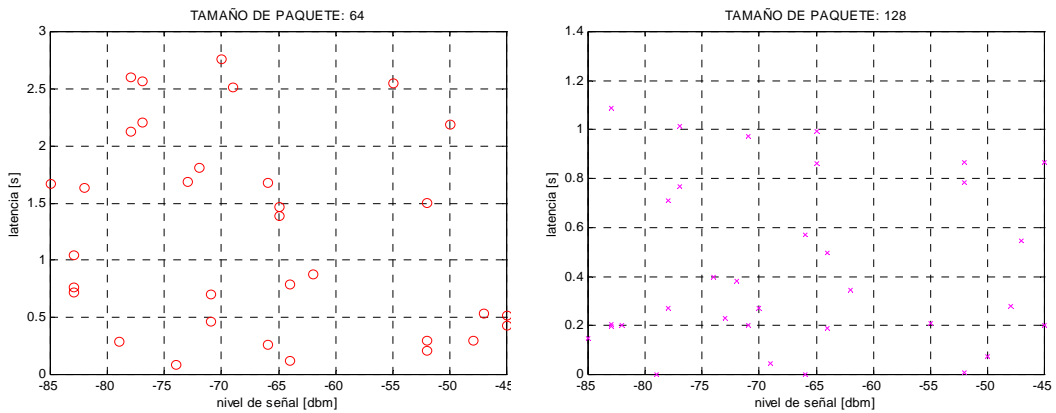


Figura 50 Latencia vs nivel de señal para tamaños de paquete de 256 y 512 bytes

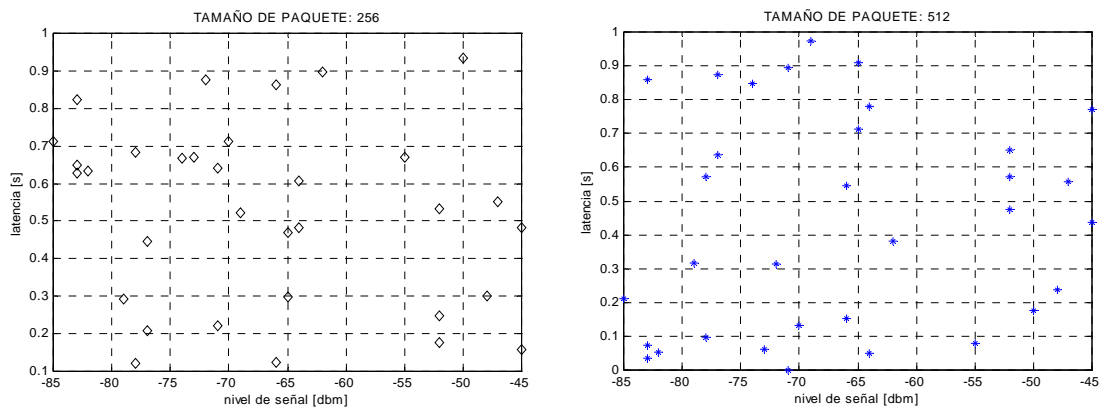


Figura 51 Latencia vs nivel de señal para tamaños de paquete de 1024 y 1280

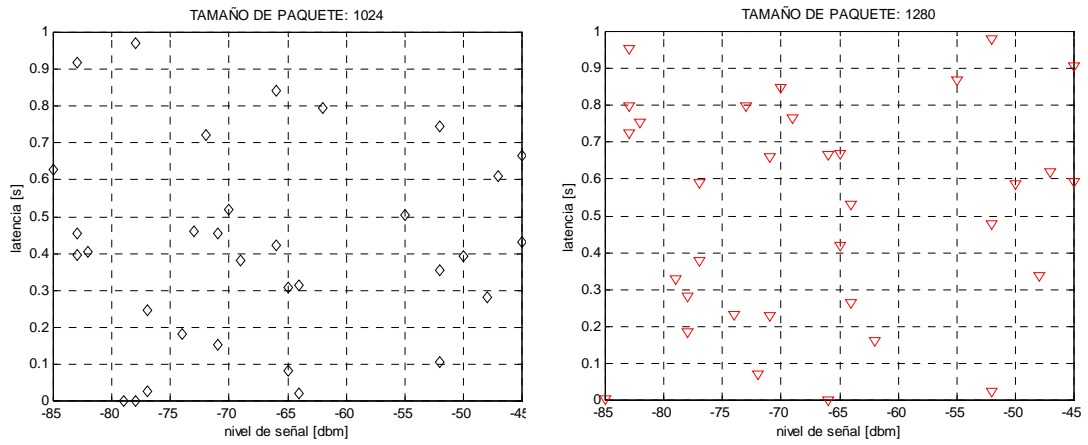
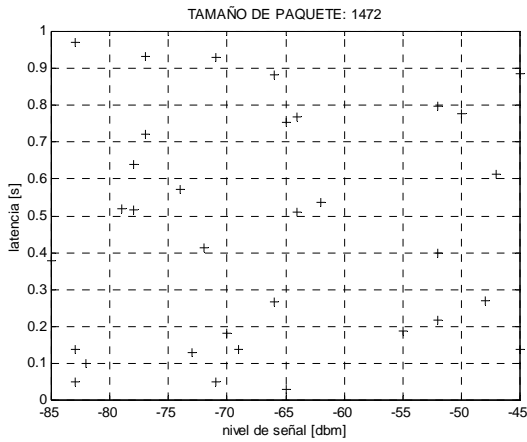
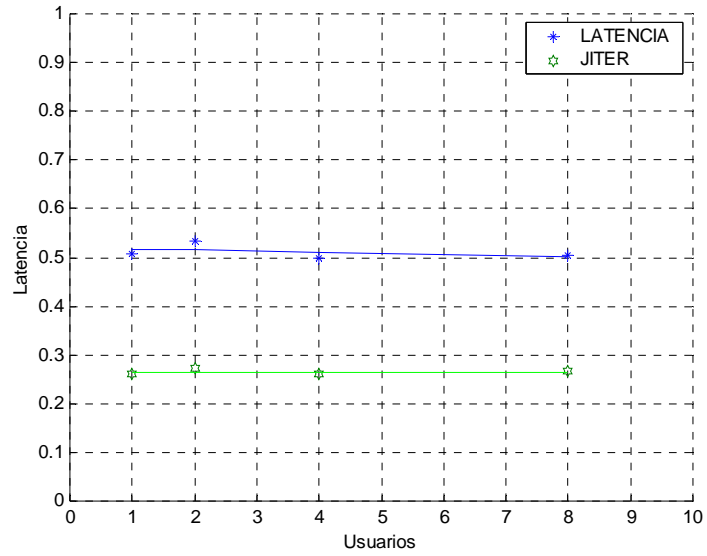


Figura 52 Latencia vs nivel de señal para tamaños de paquete de 1472



3.2 LATENCIA Y JITTER po número de usuarios

Figura 53 Latencia y Jitter promedio vs número de usuarios para todas las pruebas



3.3 LATENCIA Y JITTER por tamaño de paquete

figura 54 Latencia vs tamaño de paquete para todas las pruebas

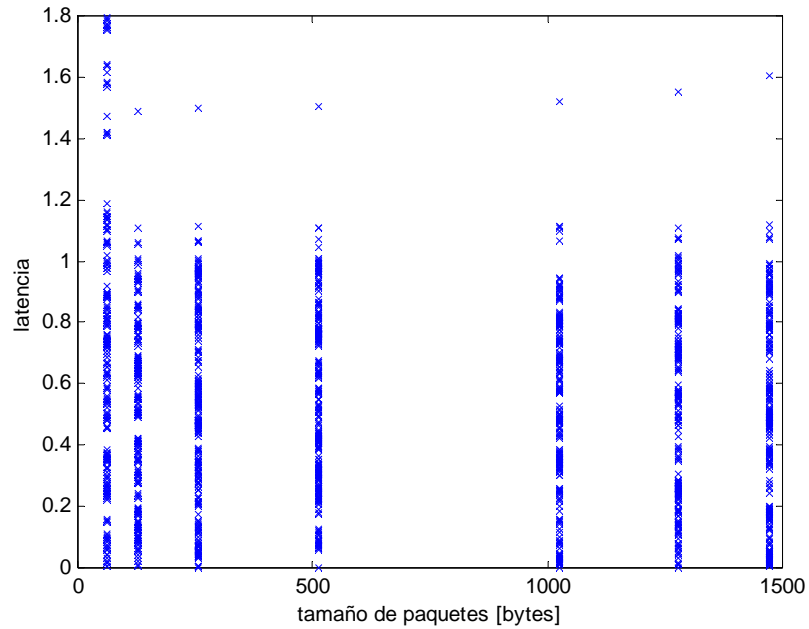


Figura 55 Jitter vs tamaño de paquete para todas las pruebas

