



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**PROYECTO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

AUTOR: CALVOPIÑA DELGADO, KATHERINE CRISTINA

**TEMA: EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL NUEVO ALGORITMO
DE TCP INALÁMBRICO EN AMBIENTES IN-DOOR Y OUT-DOOR
SOBRE LAS TECNOLOGÍAS WIFI Y WIMAX**

**DIRECTOR: ING. LARA, ROMAN
CODIRECTOR: DR. OLMEDO, GONZALO**

SANGOLQUÍ, JULIO 2014

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE**INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES****CERTIFICACIÓN**

Ing. Román Lara

Dr. Gonzalo Olmedo

Se certifica que el presente proyecto de grado titulado “Evaluación del desempeño del nuevo algoritmo de TCP inalámbrico en ambientes in-door y out-door sobre las tecnologías WiFi y WiMAX”, realizado por la Srta. Katherine Cristina Calvopiña Delgado, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE.

Debido a que se trata de un trabajo de investigación recomiendan su publicación.

Sangolquí, 18 de Julio del 2014.

Ing. Román Lara
DIRECTOR

Dr. Gonzalo Olmedo
CODIRECTOR

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

KATHERINE CRISTINA CALVOPIÑA DELGADO

DECLARO QUE:

El proyecto de grado denominado “Evaluación del desempeño del nuevo algoritmo de TCP inalámbrico en ambientes *in-door* y *out-door* sobre las tecnologías WiFi y WiMAX”, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie, de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, 18 de Julio del 2014.

Katherine Cristina Calvopiña Delgado

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

KATHERINE CRISTINA CALVOPÍÑA DELGADO

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo “Evaluación del desempeño del nuevo algoritmo de TCP inalámbrico en ambientes *in-door* y *out-door* sobre las tecnologías WiFi y WiMAX”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 18 de Julio de 2014

Katherine Cristina Calvopiña Delgado

DEDICATORIA

A mis padres Rita y Rafael

por haberme dado la vida y todo su apoyo.

A mi abuelita Olga

por su cuidado, su cariño y sus bendiciones.

A toda mi familia

por su confianza y su afecto.

AGRADECIMIENTO

A Dios por haberme permitido la vida, todo lo que me rodea y haberme dado las capacidades y la fuerza para culminar esta etapa.

A mis padres principalmente Rita y Rafael, les agradezco por haberme dado la vida, su apoyo, sus consejos, su ejemplo de profesionales y por haber inculcado en mí los valores que forjan la persona que soy hoy, en especial a mi madre por ser el pilar fundamental en mi vida.

Agradezco a toda mi familia, a mis tías, tíos, primos, quienes con su compañía, su alegría, sus palabras, su protección, complementan mi vida.

Un agradecimiento especial a mi abuelita Olga quien fue una madre que con su sola presencia llenaba la vida de todos, enriqueció la vida de sus hijos y nietos con su experiencia, su cariño y sus valores, gracias por ser el más grande ejemplo de amor y lealtad.

A Marco Alejandro por su amor, apoyo y comprensión durante el camino hacia esta meta.

A mis compañeros y amigos con quienes compartí las horas de clase y la vida en la universidad por los buenos momentos, las risas, las tristezas y las alegrías compartidas.

Agradezco a los ingenieros Román Lara y Gonzalo Olmedo, por haberme encaminado a esta investigación, por haberme brindado sus conocimientos y apoyo para lograr realizar el trabajo presentado cumpliendo con éxito los objetivos planteados.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Justificación e importancia	2
1.3. Alcance.	4
1.4. Objetivos.....	5
1.4.1. General.....	5
1.4.2. Específicos	5
CAPÍTULO II	7
FUNDAMENTO TEÓRICO	7
2.1. Protocolo de Control de Transmisión TCP.....	7
2.1.1. Características generales de TCP.....	7
2.1.2. Funcionamiento del protocolo	8
2.1.3. Formato del segmento TCP	10
2.1.4. Cálculo de RTT.....	11
2.2. Antecedentes de nuevos algoritmos de TCP	12
2.2.1. TCP en medios inalámbricos	15
2.3. Redes WiMAX	18
2.3.1. Características de funcionamiento 802.16-2009.....	18
2.3.2. Componentes	20
2.4. Redes WiFi	20
2.4.1. Características de funcionamiento del estándar 802.11b/g.....	21
2.4.2. Componentes	21
CAPITULO III	22
MATERIALES Y MÉTODOS	22
3.1. Inyectores de Tráfico	22
3.1.1. D-ITG	22
3.1.2. J-perf	23

3.1.3.	Elección del software inyector de tráfico	23
3.2.	Definición de escenarios de prueba	24
3.2.1.	Escenario <i>out-door</i> para pruebas con tecnología <i>WiFi</i>	25
3.2.2.	Escenario <i>in-door</i> para pruebas con tecnología <i>WiFi</i>	34
3.2.3.	Escenario <i>out-door</i> para pruebas con tecnología <i>WiMAX</i>	35
3.3.	Plan de pruebas experimentales	39
3.4.	Manejo de los datos obtenidos a partir de las pruebas experimentales	39
CAPITULO IV		45
ANÁLISIS DE RESULTADOS DE QoS Y RENDIMIENTO		45
4.1.	Resultados inyección de tráfico en ambientes <i>out-door</i> con	45
	tecnología <i>WiFi</i>	45
4.1.1.	Resultados obtenidos en cuanto a <i>Throughput</i>	46
4.1.1.1.	Pruebas 100 metros.....	46
4.1.1.2.	Pruebas 150 metros	47
4.1.1.3.	Pruebas 230 metros	48
4.1.1.4.	Pruebas 260 metros	50
4.1.2.	Resultados en cuanto a <i>jitter</i>	52
4.1.2.1.	Pruebas a 100 metros.....	52
4.1.2.2.	Pruebas a 150 metros.....	52
4.1.2.3.	Pruebas a 230 metros.....	53
4.1.2.4.	Pruebas a 260 metros.....	54
4.1.3.	Resultados en cuanto a <i>delay</i>	55
4.1.3.1.	Pruebas a 100 metros.....	55
4.1.3.2.	Pruebas a 150 metros.....	56
4.1.3.3.	Pruebas a 230 metros.....	57
4.1.3.4.	Pruebas a 260 metros.....	58
4.2.	Resultados en cuanto a <i>Throughput</i> de la inyección de tráfico en ambientes <i>in-door</i> con tecnología <i>WiFi</i>	59
4.2.1.	Prueba 6 metros <i>in-door</i>	59
4.2.2.	Prueba 12 metros <i>in-door</i>	60

4.3.	Resultados de la inyección de tráfico en ambientes <i>out-door</i> con tecnología WiMAX	61
4.3.1.	Resultados obtenidos en cuanto a <i>Throughput</i>	62
4.3.1.1.	Prueba a 253 metros (Laboratorios - MED)	62
4.3.1.2.	Prueba a 312 metros (Laboratorios - Mecánica).....	63
4.3.1.3.	Prueba a 364 metros (Laboratorios – Ed. Administrativo).....	64
4.3.1.4.	Prueba a 414 metros (Laboratorios - Coliseo).....	65
4.3.1.5.	Prueba a 427 metros (Laboratorios – Centro Médico)	66
4.3.1.6.	Prueba a 826 metros (Laboratorios - Transportes)	67
4.3.2.	Resultados obtenidos en cuanto a <i>jitter</i>	70
4.3.2.1.	Prueba a 253 metros (Laboratorios - MED)	70
4.3.2.2.	Prueba a 312 metros (Laboratorios - Mecánica).....	71
4.3.2.3.	Prueba a 364 metros (Laboratorios – Ed. Administrativo).....	72
4.3.2.4.	Prueba a 414 metros (Laboratorios - Coliseo).....	72
4.3.2.5.	Prueba a 427 metros (Laboratorios – Centro Médico)	73
4.3.2.6.	Prueba a 826 metros (Laboratorios - Transportes)	74
4.3.3.	Resultados obtenidos en cuanto a <i>delay</i>	75
4.3.3.1.	Prueba a 253 metros (Laboratorios - MED)	75
4.3.3.2.	Prueba a 312 metros (Laboratorios - Mecánica).....	76
4.3.3.3.	Prueba a 364 metros (Laboratorios – Ed. Administrativo).....	77
4.3.3.4.	Prueba a 414 metros (Laboratorios - Coliseo).....	78
4.3.3.5.	Prueba a 427 metros (Laboratorios – Centro Médico)	79
4.3.3.6.	Prueba a 826 metros (Laboratorios - Transportes)	80
4.4.	Resultados por distancias pruebas en ambientes <i>out-door</i> con tecnología WiFi.	81
4.4.1.	Resultados en cuanto a <i>Throughput</i>	81
4.4.1.1.	Prueba 1: 2500 pps de 512 bytes	81
4.4.1.2.	Prueba 2: 1500 pps de 512 bytes	82
4.4.1.3.	Prueba 3: 1500 pps de 1024 bytes	83
4.4.1.4.	Prueba 4: 1000 pps de 1500 bytes	84
4.4.2.	Resultados en cuanto a <i>jitter</i>	85
4.4.2.1.	Prueba 1: 2500 pps de 512 bytes	85
4.4.2.2.	Prueba 2: 1500 pps de 512 bytes	86

4.4.2.3.	Prueba 3: 1500 pps de 1024 bytes	87
4.4.2.4.	Prueba 4: 1000 pps de 1500 bytes	88
4.4.3.	Resultados en cuanto a <i>delay</i>	89
4.4.3.1.	Prueba 1: 2500 pps de 512 bytes	89
4.4.3.2.	Prueba 2: 1500 pps de 512 bytes	90
4.4.3.3.	Prueba 3: 1500 pps de 1024 bytes	91
4.4.3.4.	Prueba 4: 1000 pps de 1500 bytes	92
4.4.4.	Tablas comparativas porcentuales de TCP NACK con respecto a TCP genérico con tecnología WiFi.....	93
4.5.	Análisis de resultados por pruebas. WiMAX <i>out-door</i>	95
4.5.1.	Resultados en cuanto a <i>Throughput</i>	95
4.5.1.1.	Prueba 1: 2500 pps de 512 bytes	95
4.5.1.2.	Prueba 2: 1500 pps de 512 bytes	96
4.5.1.3.	Prueba 3: 1500 pps de 1024 bytes	97
4.5.1.4.	Prueba 4: 1000 pps de 1500 bytes	98
4.5.2.	Resultados en cuanto a <i>jitter</i>	99
4.5.2.1.	Prueba 1: 2500 pps de 512 bytes	99
4.5.2.2.	Prueba 2: 1500 pps de 512 bytes	100
4.5.2.3.	Prueba 3: 1500 pps de 1024 bytes	102
4.5.2.4.	Prueba 4: 1000 pps de 1500 bytes	103
4.5.3.	Resultados en cuanto a <i>delay</i>	104
4.5.3.1.	Prueba 1: 2500 pps de 512 bytes	104
4.5.3.2.	Prueba 2: 1500 pps de 512 bytes	105
4.5.3.3.	Prueba 3: 1500 pps de 1024 bytes	106
4.5.3.4.	Prueba 4: 1000 pps de 1500 bytes	107
4.5.4.	Tablas comparativas porcentuales de TCP NACK con respecto a TCP genérico, con tecnología WiMAX.....	108
4.6.	Gráficas comparativas de <i>Throughput</i> entre los TCP experimentados en WiFi.	110
4.7.	Gráficas comparativas de <i>Throughput</i> entre los TCP experimentados en WiMAX.	113
4.8.	Gráficas comparativas de <i>Delay</i> entre los TCP experimentados en WiFi.	115

4.9. Gráficas comparativas de *Delay* entre los TCP experimentados en
 WiMAX. 117

CAPITULO V 122

DISCUSIÓN..... 122

5.1. Conclusiones 122

5.2. Recomendaciones 124

BIBLIOGRAFÍA 125

ANEXOS **¡Error! Marcador no definido.**

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de un segmento TCP	11
Figura 2. Modelo de Referencia del Std. 802.16-2009	19
Figura 3. Escenario de pruebas <i>Out-door</i>	25
Figura 4. Power Station 2.....	26
Figura 5. Interfaz de configuración, Link Setup	27
Figura 6. Interfaz de configuración, Network	28
Figura 7. Interfaz D-ITG, Define Flow Emisor.	29
Figura 8. Interfaz D-ITG, Settings Emisor.....	30
Figura 9. Interfaz D-ITG, Define Flow Receptor.....	31
Figura 10. Ubicación de la transmisión a 100 metros de distancia.....	32
Figura 11. Ubicación de la transmisión a 150 metros de distancia.....	33
Figura 12. Ubicación de la transmisión a 230 metros de distancia.....	33
Figura 13. Ubicación de la transmisión a 260 metros de distancia.....	34
Figura 14. Escenario de pruebas <i>In-door</i>	34
Figura 15. Estructura general del escenario de pruebas Out-door con tecnología WiMAX.....	35
Figura 16. Estructura general de la transmisión para las pruebas con tecnología WiMAX.....	37
Figura 17. Ubicación de los lugares de ubicación de los CPE's.	37
Figura 18. Ubicación de los lugares de ubicación de los CPE's.....	38
Figura 19. Boxplot Throughput pruebas WiFi <i>out-door</i> 100m.....	40
Figura 20. Boxplot Throughput pruebas WiFi <i>out-door</i> 150m.....	40
Figura 21. Boxplot Throughput pruebas WiFi <i>out-door</i> 230m.....	41
Figura 22. Boxplot Throughput pruebas WiFi <i>out-door</i> 260m.....	41
Figura 23. Boxplot Throughput pruebas WiMAX <i>out-door</i> 253m.....	42
Figura 24. Boxplot Throughput pruebas WiMAX <i>out-door</i> 312m.....	42

Figura 25. Boxplot Throughput pruebas WiMAX <i>out-door</i> 364m.	43
Figura 26. Boxplot Throughput pruebas WiMAX <i>out-door</i> 414m.	43
Figura 27. Boxplot Throughput pruebas WiMAX <i>out-door</i> 427m.	44
Figura 28. Boxplot Throughput pruebas WiMAX <i>out-door</i> 826m.	44
Figura 29. <i>Throughput</i> , prueba de recepción WiFi a 100 m.	47
Figura 30. <i>Throughput</i> , prueba de recepción WiFi a 150 m.	48
Figura 31. <i>Throughput</i> prueba de recepción WiFi a 230 m.	49
Figura 32. <i>Throughput</i> prueba de recepción WiFi a 260 m.	51
Figura 33. <i>Jitter</i> prueba de recepción WiFi a 100 m.	52
Figura 34. <i>Jitter</i> prueba de recepción WiFi a 150 m.	53
Figura 35. <i>Jitter</i> prueba de recepción WiFi a 230 m.	54
Figura 36. <i>Jitter</i> prueba de recepción WiFi a 260 m.	55
Figura 37. <i>Delay</i> prueba de recepción WiFi a 100 m.	56
Figura 38. <i>Delay</i> prueba de recepción WiFi a 150 m.	57
Figura 39. <i>Delay</i> prueba de recepción WiFi a 230 m.	58
Figura 40. <i>Delay</i> prueba de recepción WiFi a 260 m.	59
Figura 41. <i>Throughput</i> prueba de recepción WiFi a 6 m.	60
Figura 42. <i>Throughput</i> prueba de recepción WiFi a 12 m.	61
Figura 43. <i>Throughput</i> prueba de recepción WiMAX a 253 m.	63
Figura 44. Figura de resultados prueba de recepción WiMAX a 312 m.	64
Figura 45. <i>Throughput</i> prueba de recepción WiFi a 364 m.	65
Figura 46. <i>Throughput</i> prueba de recepción WiMAX a 414 m.	66
Figura 47. <i>Throughput</i> prueba de recepción WiMAX a 427 m.	67
Figura 48. <i>Throughput</i> prueba de recepción WiMAX a 826 m.	68
Figura 49. <i>Jitter</i> prueba de recepción WiMAX a 312 m.	70
Figura 50. <i>Jitter</i> prueba de recepción WiMAX a 312 m.	71
Figura 51. <i>Jitter</i> prueba de recepción WiMAX a 312 m.	72
Figura 52. <i>Jitter</i> prueba de recepción WiMAX a 414 m.	73
Figura 53. <i>Jitter</i> prueba de recepción WiMAX a 427 m.	74
Figura 54. <i>Jitter</i> prueba de recepción WiMAX a 826 m.	75
Figura 55. <i>Delay</i> prueba de recepción WiMAX a 253 m.	76
Figura 56. <i>Delay</i> prueba de recepción WiMAX a 312 m.	77

Figura 57. <i>Delay</i> prueba de recepción WiMAX a 364 m.....	78
Figura 58. <i>Delay</i> prueba de recepción WiMAX a 414 m.....	79
Figura 59. <i>Delay</i> prueba de recepción WiMAX a 427 m.....	80
Figura 60. <i>Delay</i> prueba de recepción WiMAX a 826 m.....	81
Figura 61. <i>Throughput</i> vs Distancia RX WiFi, Prueba 1	82
Figura 62. <i>Throughput</i> vs Distancia RX WiFi, Prueba 2	83
Figura 63. <i>Throughput</i> vs Distancia RX WiFi, Prueba 3	84
Figura 64. <i>Throughput</i> vs Distancia RX WiFi, Prueba 4	85
Figura 65. Jitter vs Distancia RX WiFi, Prueba 1	86
Figura 66. Jitter vs Distancia RX WiFi, Prueba 2	87
Figura 67. Jitter vs Distancia RX WiFi, Prueba 3	88
Figura 68. Jitter vs Distancia RX WiFi, Prueba 4	89
Figura 69. <i>Delay</i> vs Distancia RX WiFi, Prueba 1	90
Figura 70. <i>Delay</i> vs Distancia RX WiFi, Prueba 2	91
Figura 71. <i>Delay</i> vs Distancia RX WiFi, Prueba 3	92
Figura 72. <i>Delay</i> vs Distancia RX WiFi, Prueba 4	93
Figura 73. <i>Throughput</i> vs Distancia RX WiMAX, Prueba 1	96
Figura 74. <i>Throughput</i> vs Distancia RX WiMAX, Prueba 2	97
Figura 75. <i>Throughput</i> vs Distancia RX WiMAX, Prueba 3	98
Figura 76. <i>Throughput</i> vs Distancia RX WiMAX, Prueba 4	99
Figura 77. Jitter vs Distancia RX WiMAX, Prueba 1	100
Figura 78. Jitter vs Distancia RX WiMAX, Prueba 2	101
Figura 79. Jitter vs Distancia RX WiMAX, Prueba 3	103
Figura 80. Jitter vs Distancia RX WiMAX, Prueba 4	104
Figura 81. <i>Delay</i> vs Distancia RX WiMAX, Prueba 1	105
Figura 82. <i>Delay</i> vs Distancia RX WiMAX, Prueba 2	106
Figura 83. <i>Delay</i> vs Distancia RX WiMAX, Prueba 3	107
Figura 84. <i>Delay</i> vs Distancia RX WiMAX, Prueba 4	108
Figura 85. Prueba 1 WiFi - Gráfica comparativa <i>throughput</i>	111
Figura 86. Prueba 2 WiFi - Gráfica comparativa <i>throughput</i>	111
Figura 87. Prueba 3 WiFi - Gráfica comparativa <i>throughput</i>	112
Figura 88. Prueba 4 WiFi - Gráfica comparativa <i>throughput</i>	112

Figura 89. Prueba 1 WiMAX - Gráfica comparativa <i>throughput</i>	113
Figura 90. Prueba 2 WiMAX - Gráfica comparativa <i>throughput</i>	113
Figura 91. Prueba 3 WiMAX - Gráfica comparativa <i>throughput</i>	114
Figura 92. Prueba 4 WiMAX - Gráfica comparativa <i>throughput</i>	114
Figura 93. Prueba 1 WiFi - Gráfica comparativa <i>delay</i>	115
Figura 94. Prueba 2 WiFi - Gráfica comparativa <i>delay</i>	115
Figura 95. Prueba 3 WiFi - Gráfica comparativa <i>delay</i>	116
Figura 96. Prueba 4 WiFi - Gráfica comparativa <i>delay</i>	116
Figura 97. Prueba 1 WiMAX - Gráfica comparativa <i>delay</i>	117
Figura 98. Prueba 2 WiMAX - Gráfica comparativa <i>delay</i>	117
Figura 99. Prueba 3 WiMAX - Gráfica comparativa <i>delay</i>	118
Figura 100. Prueba 4 WiMAX - Gráfica comparativa <i>delay</i>	118
Figura 101. Ganancia porcentual de delay, Prueba 1 WiFi.....	119
Figura 102. Ganancia porcentual de delay, Prueba 2 WiFi.....	119
Figura 103. Ganancia porcentual de delay, Prueba 3 WiFi.....	119
Figura 104. Ganancia porcentual de delay, Prueba 4 WiFi.....	120
Figura 105. Ganancia porcentual de delay, Prueba 1 WiMAX.....	120
Figura 106. Ganancia porcentual de delay, Prueba 2 WiMAX.....	120
Figura 107. Ganancia porcentual de delay, Prueba 3 WiMAX.....	121
Figura 108. Ganancia porcentual de delay, Prueba 4 WiMAX.....	121

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características generales del estándar 802.11b	21
Tabla 2. Especificaciones	26
Tabla 3 Parámetros configurados en Link Setup	26
Tabla 4. Parámetros configurados en Network	28
Tabla 5. Configuración para la transmisión de datos con la herramienta D-ITG.	30
Tabla 6. Parámetros a configurar en la interfaz D-ITG para el terminal receptor	31
Tabla 7. Ubicación de la antena y del receptor a las diferentes distancias	32
Tabla 8. Plan de direcciones IP para la red WiMAX	36
Tabla 9. Distancias entre los puntos de ubicación de los CPE's.....	37
Tabla 10. Distancias entre los puntos de ubicación de los CPE's.....	38
Tabla 11. Enlaces realizados para las transmisiones WiMAX.....	39
Tabla 12. <i>Throughput</i> obtenido prueba de recepción WiFi a 100 m.....	47
Tabla 13. <i>Throughput</i> obtenido prueba de recepción WiFi 150 m	48
Tabla 14. <i>Throughput</i> obtenido prueba de recepción WiFi 230 m.	50
Tabla 15. <i>Throughput</i> obtenido prueba de recepción WiFi 260 m.	50
Tabla 16. Porcentajes de ganancias de <i>Throughput</i> a diferentes distancias.....	51
Tabla 17. <i>Jitter</i> obtenido prueba de recepción WiFi 100 m.....	52
Tabla 18. <i>Jitter</i> obtenido prueba de recepción WiFi 150 m.....	53
Tabla 19. <i>Jitter</i> obtenido prueba de recepción WiFi 230 m.....	54
Tabla 20. <i>Jitter</i> obtenido prueba de recepción WiFi 260 m.....	55
Tabla 21. <i>Throughput</i> obtenido prueba de recepción WiFi 6 m.	60
Tabla 22. <i>Throughput</i> obtenido prueba de recepción WiFi 12 m.	61
Tabla 23. <i>Throughput</i> obtenido prueba de recepción WiMAX 253 m.	63
Tabla 24. <i>Throughput</i> obtenido prueba de recepción WiMAX a 312 m.....	64
Tabla 25. <i>Throughput</i> obtenido prueba de recepción WiFi 364 m.	65
Tabla 26. <i>Throughput</i> obtenido prueba de recepción WiMAX 414 m.	66

Tabla 27. <i>Throughput</i> obtenido prueba de recepción WiMAX 427 m.	67
Tabla 28. <i>Throughput</i> obtenidos prueba de recepción WiMAX 826 m.....	68
Tabla 29. Ganancias porcentuales en <i>Throughput</i> de TCP NACK frente a TCP genérico	69
Tabla 30. Jitter obtenido, prueba de recepción WiMAX 312 m.	70
Tabla 31. <i>Jitter</i> obtenido, prueba de recepción WiMAX 312 m.....	71
Tabla 32. <i>Jitter</i> obtenido, prueba de recepción WiMAX 312 m.....	72
Tabla 33. Jitter obtenido, prueba de recepción WiMAX 414 m.	73
Tabla 34. <i>Jitter</i> obtenido, prueba de recepción WiMAX 427 m.....	74
Tabla 35. Jitter obtenido, prueba de recepción WiMAX 826 m.	75
Tabla 36. <i>Throughput</i> a diferentes distancias RX WiFi, Prueba 1.....	82
Tabla 37. <i>Throughput</i> a diferentes distancias RX WiFi, Prueba 2.....	83
Tabla 38. <i>Throughput</i> a diferentes distancias RX WiFi, Prueba 3.....	84
Tabla 39. <i>Throughput</i> a diferentes distancias RX WiFi, Prueba 4.....	85
Tabla 40. Jitter a diferentes distancias RX WiFi, Prueba 1.....	86
Tabla 41. Jitter a diferentes distancias RX WiFi, Prueba 2.....	87
Tabla 42. Jitter a diferentes distancias RX WiFi, Prueba 3.....	88
Tabla 43. Jitter a diferentes distancias RX WiFi, Prueba 4.....	89
Tabla 44. <i>Throughput</i> a diferentes distancias RX WiMAX, Prueba 1.....	96
Tabla 45. <i>Throughput</i> a diferentes distancias RX WiMAX, Prueba 2.....	97
Tabla 46. <i>Throughput</i> a diferentes distancias RX WiMAX, Prueba 3.....	98
Tabla 47. <i>Throughput</i> a diferentes distancias RX WiMAX, Prueba 4.....	99
Tabla 48. Jitter a diferentes distancias RX WiMAX, Prueba 1.....	100
Tabla 49. Jitter a diferentes distancias RX WiMAX, Prueba 2.....	101
Tabla 50. Jitter a diferentes distancias RX WiMAX, Prueba 3.....	102
Tabla 51. Jitter a diferentes distancias RX WiMAX, Prueba 4.....	104

RESUMEN

El presente proyecto consiste en la evaluación del desempeño del nuevo algoritmo de TCP inalámbrico en ambientes in-door y out-door en las instalaciones del campus de la ESPE Sangolquí, sobre las tecnologías WiFi y sobre la red WiMAX. Las pruebas se desarrollaron en ambientes y condiciones reales, utilizando el kernel con la modificación correspondiente al nuevo algoritmo de TCP, mediante una máquina virtual con el sistema operativo LINUX en su distribución UBUNTU, para la transmisión de datos bajo tecnología WiFi se estableció una conexión entre dos terminales a través de un AP out-door ubicado en la torre de los laboratorios de Electrónica del Campus, para las pruebas in-door se utilizó el AP correspondiente y para las pruebas bajo la tecnología WiMAX se utilizó un modelo de red compuesto por una Estación Base (BS) ARBA550 de Alentia Systems y varios terminales de usuario (CPE) o Estaciones Suscriptoras (SS). Se realizaron pruebas con cuatro diferentes bandwidth variando el tamaño de los paquetes y el número de paquetes por segundo, para evaluar de esta manera las condiciones de una transmisión óptima, a diferentes distancias y bajo diferentes condiciones y tecnologías. Se establecieron las condiciones óptimas en las que se obtuvieron los mejores resultados en cuanto a *Throughput*, bajo las tecnologías WiFi y WiMAX dejando referencia de los efectos positivos que presenta la implementación del nuevo algoritmo de TCP inalámbrico.

Palabras claves

1. TCP inalámbrico
2. Nuevo algoritmo
3. WiFi
4. WiMAX

ABSTRACT

This project involves evaluating the performance of the new algorithm of TCP in wireless in-door and out-door environments on the campus of the ESPE Sangolquí on WiFi and WiMAX technologies network. The tests were carried out in real conditions and environments using the kernel with a corresponding change to the new algorithm of TCP, using a virtual machine with the operating system LINUX UBUNTU distribution for low data transmission technology WiFi connection was established between two terminals through an out-door AP located in the tower of the Electronic Campus laboratories for tests in the corresponding AP-door was used for testing and low technology WiMAX network model compound was used by a Base (BS) ARBA550 Albentia Systems Station and multiple user terminals (CPE) or Underwriters Station (SS). Tests were conducted with four different bandwidth varying the packet size and the number of packets per second, thus to evaluate the optimal transmission conditions at different distacias and under different conditions and technologies. Optimal conditions in which the best results were obtained in terms Throughput under the WiFi and WiMAX reference leaving the positive effects has the implementation of the new algorithm were established wireless TCP.

Keywords

1. Wireless TCP
2. New algorithm
3. WiFi
4. WiMAX

PRÓLOGO

Las comunicaciones inalámbricas han tenido un despliegue muy grande en la actualidad por lo que los protocolos que utiliza para la comunicación como TCP no han sido adaptados del todo para su óptimo desempeño en este medio, al haber sido desarrollados para redes cableadas. En un trabajo previo fue concebido un nuevo algoritmo que utiliza acknowledgments negativos, el presente artículo pretende describir las pruebas de evaluación del algoritmo, en ambientes reales para llegar a determinar las ventajas y desventajas de su funcionamiento. Las pruebas de inyección de tráfico para la correspondiente evaluación y comparación del nuevo algoritmo de TCP inalámbrico propuesto con respecto a TCP genérico, se realizaron mediante los protocolos WiFi y WiMAX en ambientes in-door y out-door a diferentes distancias en un ambiente real, dentro del campus de la ESPE Sangolquí. La modificación fue incorporada en una máquina virtual bajo el sistema operativo UBUNTU, las inyecciones de tráfico fueron realizadas a través de la herramienta D-ITG, la misma que proporcionó los datos que sirven de base para llegar a las conclusiones correspondientes en los diferentes ambientes y distancias en donde se obtienen tanto mejoras y ventajas como disminución en el rendimiento en comparación a TCP genérico. Los parámetros en los que se basa la evaluación y comparación son el Throughput, Delay y Jitter, mediante los cuales se logra obtener una visión general del comportamiento del algoritmo en transmisiones reales y bajo la tecnología WiFi y WiMAX, evidenciando que la modificación del algoritmo TCP NACK+15 es en general y en varios aspectos el que mejores resultados mostró en comparación con TCP genérico.

El propósito fundamental del presente proyecto es evaluar el desempeño del nuevo algoritmo de TCP inalámbrico, mediante pruebas experimentales realizadas en el Campus Sangolquí de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, bajo la tecnología WiFi y WiMAX. Para ello el presente proyecto está organizado en cinco capítulos que son descritos a continuación.

En el capítulo 1, se detallan los antecedentes, la justificación e importancia que motivan la realización del proyecto, así como también el alcance que tiene el presente proyecto y los objetivos tanto generales como específicos que se buscan con el mismo.

En el capítulo 2, se realiza una recolección de información correspondiente al protocolo de control de transmisión TCP, sus características, funcionamiento, su comportamiento en medios inalámbricos, se mencionan las características de WiFi y WiMAX.

En el capítulo 3, se describen los materiales y métodos utilizados en el desarrollo de las pruebas experimentales, como el software utilizado y los escenarios en los que se desarrollaron, tanto en WiFi como en WiMAX, y el manejo de los datos obtenidos.

En el capítulo 4, se presentan los resultados obtenidos en las diferentes variaciones que se realizaron en las pruebas experimentales, con respecto a los parámetros de *throughput*, *delay* y *jitter*, mostrando las gráficas en función de las diferentes distancias en las que se probó así como en función de las variaciones del número y tamaño de paquetes, en las dos tecnologías probadas.

En el capítulo 5, se presenta las conclusiones y recomendaciones que han surgido del análisis y revisión de resultados obtenidos a partir de las pruebas realizadas.

GLOSARIO

A

AP Access Point, punto de acceso

B

BSA: Basic Service Area, Area básica de servicio

BSS: Basic Service Set, Conjunto de servicios básicos

C

CC: Congestion Coherence, Algoritmo de TCP

CWR: Muestra la recepción de un segmento con ECE activo

D

DDA: Delayed Duplicate Acknowledgments, nuevo algoritmo de TCP

D-ITG: Distributed Internet Traffic Generator, software inyector de tráfico

E

ECE: Realiza notificaciones ECN, bandera

ECN: Explicit Congestion Notification, nuevo algoritmo de TCP

ELN: Explicit Loss Notification, nuevo algoritmo de TCP

F

FTP: File Transfer Protocol, Protocolo de transferencia de archivos

H

HTTP: Hypertext Transfer Protocol, Protocolo de internet

O

OWD: One Way Delay, un sentido de envío de datos, configuración D-ITG

R

RTS: Indica el restablecimiento de la conexión con un host que haya fallado

S

SMTP: Simple Mail Transfer Protocol

SRTT: Smoothed Round Trip Time

SSH: Secure Shell,

SYN: Muestra Connection request o accept

T

TCP: Transport Control Protocol, Protocolo de Control de Transporte

U

URG: Indica si existe desplazamiento en bytes de datos urgentes

W

WEP: Wireless Equivalency Protocol, tipo de seguridad o encriptación

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes.

En la actualidad las redes inalámbricas ofrecen al usuario la ventaja de movilidad dentro de la cobertura de la red, además la facilidad de prescindir de un cable a la hora de la conexión por lo que se convierten en una solución atractiva para implementar.

TCP, es uno de los protocolos fundamentales en Internet, que está diseñado para ser utilizado con gran fiabilidad en conexiones host-to-host en redes de conmutación de paquetes informáticos de comunicación y en los sistemas interconectados de dichas redes [1]. TCP garantiza que los datos, sean entregados en su destino sin errores y en orden.

La mayoría de las aplicaciones de Internet hoy en día son soportadas por TCP, como navegadores, intercambio de ficheros, clientes FTP, etc. y protocolos de aplicación HTTP, SMTP, SSH y FTP[2]. Es el protocolo de transporte utilizado generalmente en redes inalámbricas, ya que permite entregar los datos, realizando el control de flujo y congestión [3]. TCP maneja ciertos algoritmos para realizar el control de congestión de datos, adaptándose tanto al retardo como al ancho de banda de la red, sin embargo en redes inalámbricas se presentan pérdidas significativas de paquetes, generalmente por dos razones, porque existe congestión en la red y porque

se evidencia una tasa de errores (BER) sustancial, lo que causa que el sistema baje las velocidades de transmisión reduciendo su rendimiento. El protocolo de transporte maneja un mecanismo, en el que, el transmisor da un seguimiento a los tiempos de ida y vuelta (RTT) de los paquetes enviados, determinando de esta manera el tiempo de espera estándar [5].

El nuevo algoritmo de TCP desarrollado en un proyecto previo [6] y en el que se basa la presente investigación, utiliza acknowledgments negativos pretendiendo aumentar las tasas de transferencias y optimizar el mecanismo de control de congestión, manejando de manera correcta este problema muy común en redes inalámbricas.

Con respecto al nuevo algoritmo de TCP se han realizado proyectos anteriores de investigación para comprobar su funcionamiento utilizando diferentes escenarios como son:

- Simulaciones en *ns-2*, es decir utilizando un canal ideal.
- Utilizando un cliente-servidor con el *kernel* modificado para TCP, emulando el canal de comunicaciones.

Se están realizando proyectos paralelos con diferentes ambientes de prueba:

- Creación de un sistema emulador de ambiente en el que se puede controlar características como: ruido, distorsión e interferencia, para evaluar el nuevo algoritmo de TCP.
- Enlace inalámbrico de larga distancia inter-islas en la región insular.

Estos proyectos tienen como objetivo en común la evaluación del desempeño del nuevo algoritmo de TCP desarrollado, el mismo que se obtuvo mediante modificaciones en el *kernel* de Linux, pero en ambientes totalmente diferentes.

1.2. Justificación e importancia

Hoy en día el desarrollo de las redes inalámbricas es de gran importancia, por lo que tecnologías como WiFi y WiMAX necesitan desplegarse alcanzando mayor

eficiencia en su protocolo de transporte TCP para brindar al usuario confiabilidad y rapidez en su comunicación y transmisión de datos.

Las redes inalámbricas utilizan un medio de transmisión en el que se presentan señales no deseadas tales como ruido, dispersión e interferencia, además se presenta el problema de la atenuación, por lo que son frecuentes los casos de pérdida de unidades informativas, o errores como desconexiones temporales y segmentos perdidos.

El principal problema con TCP en redes inalámbricas es la manera en la que el algoritmo de congestión trabaja, ya que no distingue las pérdidas aleatorias, de las pérdidas de congestión, dando como respuesta o resultado la disminución de la velocidad de transmisión, esto implica una disminución del rendimiento de la red, con el propósito de aligerar la transmisión en la red, cuando lo más coherente para solucionar el problema en estos casos sería aumentar la velocidad de la retransmisión [2], por lo que en la investigación previa realizada, se propone el envío de acuses de recibo negativos *NACK*, es decir que el receptor informará cuando exista un segmento erróneo, con el propósito de que se retransmita, pero sin reducir la ventana de congestión [6].

En [6] se desarrolló un nuevo mecanismo de control que busca contribuir a mejorar la eficiencia de las comunicaciones no guiadas, con el propósito de evitar mayores pérdidas de paquetes y a su vez ofrecer a los usuarios mayor satisfacción al reducir los tiempos de espera o latencia, se obtuvo resultados dentro de un escenario de prueba creado mediante un emulador de enlace inalámbrico, por lo que la realización del presente proyecto pretende evaluar el algoritmo utilizado en ambientes reales y sobre tecnologías basadas en los estándares IEEE 802.11 y 802.16, observando el comportamiento y aporte que realiza la modificación sobre estos escenarios.

La importancia de este proyecto radica entonces en el estudio, análisis, comparación y comprobación del algoritmo modificado de TCP, propuesto en proyectos previos de investigación de la ESPE, evaluando el rendimiento en los escenarios propuestos, con el objeto de realizar un análisis posterior y dejar un

precedente acerca de su funcionamiento sobre las tecnologías WiFi y WiMAX en diferentes ambientes.

1.3. Alcance.

El presente proyecto pretende ejecutar pruebas de inyección de tráfico mediante el software D-ITG, con tecnologías WiFi en ambientes *in-door* y *out-door* y con WiMAX para ambientes *out-door*, a diferentes distancias y ubicaciones en el contexto del Campus de la ESPE (Sede Sangolquí).

Para comprobar el desempeño de TCP normal, con ventanas de congestión de 15 y 20, con tecnología WiFi, en *in-door*, se utilizará un escenario de pruebas con un modelo de red compuesto por un punto de acceso y dos clientes inalámbricos, uno de estos nodos se configurará para generar tráfico y de esta manera comprobar el rendimiento de la red a diferentes distancias, propias de escenarios de este tipo de ambientes, es decir menores a 100 metros.

En ambientes *out-door* con tecnología WiFi se realizarán inyecciones de tráfico con un modelo de red compuesta por un punto de acceso, y dos o más clientes inalámbricos con distancias mayores a 500 metros y menores a 2000 metros.

En ambientes *out-door* con tecnología WiMAX, se contará con un escenario de pruebas compuesto por la *Estación Base (BS)*, una *Estación Repetidora (RS)* y dos *Estaciones Suscriptoras (SS)*, en donde se realizarán inyecciones de tráfico en distintas direcciones probando el comportamiento de la red, con distancias entre los 500 y 2000 metros.

Cabe mencionar que para la implementación del TCP modificado se realizó variaciones en el código fuente de Linux (*kernel*), el cual está listo para la instalación y se utilizará como una herramienta para realizar las pruebas antes descritas.

Para realizar las pruebas con tecnología WiMAX, se cuenta con la red implementada dentro del Campus Politécnico de la ESPE, sede Sangolquí.

Se realizará el correspondiente análisis a partir de los datos obtenidos en las pruebas efectuadas, se analizará el algoritmo de TCP que se adapte mejor a las necesidades de la red, mostradas durante las inyecciones de tráfico realizadas en los diferentes ambientes, distancias y tecnologías.

Como aporte se pretende evidenciar las mejoras que este nuevo algoritmo de TCP, brinda a las comunicaciones inalámbricas en los ambientes *in-door* y *out-door*, sobre los estándares IEEE 802.11 y 802.16, en el contexto del Campus de la ESPE (Sangolquí), por lo tanto se evidencia la diferencia con proyectos paralelos en los que se realizarán enlaces a largas distancias en un ambiente inter-islas es decir sobre el mar y respecto al de emulación del canal.

1.4. Objetivos

1.4.1. General

- Evaluar el desempeño del algoritmo de TCP inalámbrico modificado, para comprobar la mejora respecto a TCP normal en ambientes *in-door* y *out-door* sobre las tecnologías WiFi y WiMAX.

1.4.2. Específicos

- Recopilar información acerca del funcionamiento del Protocolo TCP en redes LAN y WLAN, haciendo una comparación y enfatizando en el desempeño que muestra en redes inalámbricas, en el cual se centrará el estudio de este trabajo.
- Evaluar los algoritmos TCP modificados por canales inalámbricos propuestos en proyectos de investigación de la ESPE.
- Realizar pruebas piloto en los escenarios planteados con tecnologías WiFi y WiMAX, mediante inyecciones de tráfico, para evaluar el comportamiento de TCP normal, con ventana de 15 y 20, con el algoritmo modificado, en parámetros como calidad de servicio QoS, a diferentes distancias.
- Analizar los resultados obtenidos en las pruebas realizadas en cuanto al desempeño de TCP en redes inalámbricas tomando en cuenta parámetros de

rendimiento como throughput, delay y jitter, con el fin de visualizar el panorama que ofrece TCP modificado para las comunicaciones inalámbricas.

- Comparar los resultados obtenidos en las pruebas realizadas, entre TCP normal y TCP modificado.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

Hoy en día, la convergencia de las redes trae consigo muchas exigencias técnicas para adaptarlas a la realidad y a las exigencias del cliente final o usuario de los múltiples servicios que se ofrecen mediante estas redes, es mandatorio brindar rendimiento, fiabilidad y seguridad en el manejo de los datos que se transfieren por estos medios.

El Internet juega un papel primordial en la vida diaria, haciendo que los mercados evolucionen y pretendan captar a las masas, los usuarios requieren movilidad por lo que se han desarrollado diversas tecnologías y sistemas que permiten el uso de un medio inalámbrico como acceso o transporte de estas redes como son WiFi, WiMAX, LTE entre otras.

Las características de WiFi y WiMAX permiten una conexión con el servicio de Internet o acceso a la red haciéndose necesario optimizar esta conexión debido a que muchos de los protocolos utilizados no toman en cuenta las condiciones del medio.

2.1. Protocolo de Control de Transmisión TCP

TCP es un protocolo creado con el fin de establecer una comunicación orientada a la conexión asegurando transferencias de datos confiables, asegurando su transmisión entre redes interconectadas.

2.1.1. Características generales de TCP

TCP está orientado principalmente a proporcionar una conexión confiable, con monitorización de flujo de datos que tiene como propósito evitar la saturación de la

red, multiplexación de los datos de las diferentes fuentes de las que provienen para que transiten en la red al mismo tiempo.

Una de las funciones más importantes es la de acuse de recibo o acknowledgement, que es enviado por el receptor indicando que recibió los paquetes, si no se recibe la notificación, el transmisor reenvía los paquetes o cancela la conexión si se detecta que el receptor está desconectado.

2.1.2. Funcionamiento del protocolo

TCP empaqueta cierto número de octetos, en segmentos para transmitirlos a través del sistema de Internet. TCP decide cuándo bloquear y transmitir los datos a su propia conveniencia [2].

Para asegurar que los datos se han enviado correctamente, el usuario emisor recibe una señal proveniente del usuario receptor indicando la recepción de los datos. Se retransmitirá sin retardo y se entregará los datos siempre y cuando el emisor detecte que el receptor se encuentra conectado.

Para recuperar los datos que se dañan, se pierden, duplican o entregan fuera de servicio por el sistema de comunicación por Internet, se realiza la asignación de un número de secuencia a cada octeto transmitido, y requieren un acuse de recibo positivo (ACK) de la recepción de TCP. Si el ACK no se recibe dentro de un intervalo de tiempo de espera, los datos se retransmiten. En el receptor, la secuencia de números se utiliza para ordenar correctamente los segmentos que se pueden recibir fuera de orden y eliminar los duplicados. El daño de paquetes es manejado añadiendo una suma de comprobación para cada segmento transmitido, comprobando el receptor, y el descarte dañado segmentos.

Control de flujo:

TCP proporciona un medio para que el receptor gobierne la cantidad de datos enviado por el remitente. Esto se logra mediante la devolución de una "ventana" con cada ACK que indica un rango de números de secuencia aceptables más allá el último segmento recibido con éxito. La ventana indica un permitido número de octetos que el remitente puede transmitir antes recibir el permiso adicional.

Multiplexing:

Es la manera en la que muchos procesos convergen en un único host para utilizar servicios de comunicación al mismo tiempo, el TCP proporciona un conjunto de direcciones o puertos en cada host. Concatenado con la red y las direcciones de host de la capa de la comunicación por Internet.

Una toma se puede utilizar de forma simultánea en múltiples conexiones. La unión de los puertos a los procesos se maneja de forma independiente por cada uno de los Host. Sin embargo, resulta útil para conectar los procesos de uso frecuente a enlaces fijos dados a conocer al público. El establecimiento y el aprendizaje de las direcciones de otros procesos pueden involucrar mecanismos más dinámicos.

Conexiones:

Los mecanismos de control de fiabilidad y de flujo descritos anteriormente requieren que los TCPs inicializar y mantener cierta información de estado para cada flujo de datos. La combinación de esta información, incluyendo sockets, números de secuencia y tamaños de ventanas, que se llama una conexión.

Cada conexión se especifica de forma única por un par de tomas de corriente la identificación de sus dos lados.

Cuando dos procesos quieren comunicar, a su TCP de primera necesidad establecer una conexión (inicializar la información de estado en cada uno lado). Cuando la comunicación se ha completado, la conexión es terminado o cerrado para liberar los recursos para otros usos.

Dado que las conexiones deben establecerse entre los hosts no confiables y por el sistema de comunicación por Internet poco fiables, un apretón de manos mecanismo de reloj con números de secuencia basados en se utiliza para evitar inicialización errónea de las conexiones.

Prioridad y seguridad:

Figura 1. Distribución de un segmento TCP

Posición datos: Indica el comienzo de los datos dentro del segmento y el número de palabras de 32 bits contenidas en el encabezado. Tamaño, 4 bits.

Reservado: Para uso futuro. Tamaño, 6 bits.

Banderas o indicadores: Tamaño, 6 bits.

URG, indica si existe desplazamiento en bytes, existen datos urgentes.

ACK, indica la confirmación de recepción válida o no válida.

PSH, indica si existen datos para transmitir sin pasar por el buffer, forma inmediata.

RTS, indica el restablecimiento de la conexión con un host que haya fallado.

SYN, utilizado para mostrar *Connection Request* o *Connection Accept*.

FIN, enuncia que el emisor no tiene más datos y libera la conexión.

CWR, muestra la recepción de un segmento con ECE activo.

ECE, realiza notificaciones ECN.

Tamaño de la ventana: representa la cantidad de bytes que se pueden enviar.

Suma de control: comprueba que el segmento recibido para verificar su integridad.

Puntero urgente: indica el desplazamiento en dónde se encuentran los datos urgentes, trabaja con la bandera URG.

Opciones: se pueden agregar características adicionales que no se encuentran en el encabezado normal.

2.1.4. Cálculo de RTT

Round Trip Time (RTT), es el tiempo de espera de retransmisión utilizado en el algoritmo de TCP, para representar el tiempo en que un paquete sale del transmisor,

pasa por el receptor y regresa a transmisor asegurando la entrega de datos en la ausencia del acuse de recibo por parte del receptor de datos a distancia.

Para que la operación del algoritmo sea eficiente, es importante que el cálculo de RTT sea dinámico debido a que las redes que componen un sistema de Internet son variables, además existen gran cantidad de casos de conexiones. El cálculo se lo realiza mediante un procedimiento que determina un tiempo de espera de retransmisión.

Se mide el tiempo transcurrido entre el envío de un octeto de datos con un número de secuencia determinado y la recepción de un acuse de recibo que incluya ese número de secuencia (no es necesario que los segmentos enviados concuerden con los segmentos recibidos), este tiempo medido es el tiempo de ida y vuelta (*Round Trip Time* o RTT).

Se calcula el tiempo de ida y vuelta suavizado (*Smoothed Round Trip Time* o SRTT):

$$SRTT = (ALPHA * SRTT) + ((1-ALPHA) * RTT)$$

y basándose en este, se procede a calcular el tiempo de espera de retransmisión (RTO) como:

$$RTO = \min[COTASUP, \max[COTAINF, (BETA * SRTT)]]$$

, donde *COTASUP* es una cota superior del tiempo de espera (i.e., 1 minuto), *COTAINF* es una cota inferior del tiempo de espera (i.e., 1 segundo), *ALPHA* es un factor de suavizado (i.e., entre 0,8 y 0,9) y *BETA* es un factor de varianza del retardo (i.e., entre 1,3 y 2,0) [2].

2.2. Antecedentes de nuevos algoritmos de TCP

TCP es el protocolo más utilizado sobre redes de comunicaciones informáticas e Internet, debido a que brinda transferencia de datos confiable, ordenada y segura ya que utiliza ACKs para confirmar la recepción de paquetes, sin embargo su desempeño no es el más óptimo en las famosas redes inalámbricas, debido a que fue concebida para redes de medio guiado, por esta razón se ha investigado y propuesto algunos algoritmos que buscan adaptarse a las características del medio.

Algunas implementaciones de TCP han sido creadas con el objetivo de obtener una comunicación más eficiente, algunos de estos algoritmos son: Tahoe, Reno, New Reno, SACK, Net Reno y Vegas, los mismos que serán brevemente descritas a continuación.

Tanto TCP Tahoe, como TCP Reno, comparten el hecho de que hacen uso de los algoritmos *slow start*, *congestion avoidance* y *fast retransmit*. El comportamiento de ambos difiere en cómo detectan y reaccionan ante la pérdida de paquetes, Tahoe utiliza tres ACKs duplicados los mismos que son tratados de la misma manera que un *timeout*, ejecuta *fast retransmit*, reduce la ventana de congestión a 1MSS (*maximum segment size*, tamaño máximo de segmento), y reinicia al estado de *slow start*; el algoritmo Reno cuando recibe tres ACKs duplicados, reduce a la mitad la ventana de congestión, ejecuta *fast retransmit*, y entra en fase de '*fast recovery*', si un ACK genera un *timeout*, se entra en fase de '*slow start*' como en Tahoe, en el estado de '*fast recovery*' Reno retransmite el paquete perdido que ha sido indicado por los tres ACKs duplicados, y espera a recibir un reconocimiento de la ventana de transmisión entera antes de volver a la fase de *congestion avoidance*. Si no recibe dicho reconocimiento, se producirá un *timeout*, volviendo, como se ha dicho, a la fase de '*slow start*', ambos algoritmos, ante un evento de *timeout* reducen la ventana de congestión a 1 MSS [8].

La mejora realizada en el TCP New Reno, implica mejoras en cuanto a pérdidas de segmentos aislados, mas no en el caso de pérdidas en sucesivos segmentos. Estas pérdidas son comunes en enlaces de alta velocidad, donde la pérdida en general contiene varios segmentos.

Si la opción SACK está permitida, el transmisor tiene la información necesaria para tomar decisiones inteligentes sobre las retransmisiones a realizar durante la fase de *fast recovery*.

TCP New Reno, implementa una modificación del algoritmo de *fast recovery*, que comienza al recibirse 3 ACK duplicados, almacenando en una variable "*recover*" el número de secuencia más alto transmitido, y en caso de recibirse ACK de todos

los datos que salieron del transmisor incluso durante la fase de *fast recovery* o de darse un timeout en la retransmisión, pasa a la fase de congestion avoidance.

Ante la llegada de un ACK, puede suceder que sea un ACK a todos los datos, incluido el recover, lo que implica un reconocimiento de todos los segmentos enviados entre el que se perdió y la recepción del tercer ACK duplicado [9].

TCP SACK funciona bajo un mecanismo que proporciona información sobre los segmentos que han sido recibidos correctamente y el transmisor puede conocer cuáles son los segmentos que se han perdido. SACK es un campo opcional en el encabezado TCP, es enviado cuando se reciben datos fuera de secuencia, contiene una lista de los bloques contiguos y aislados de datos recibidos y guardados en cola, con la información necesaria para identificarlos como números de secuencia de 32 bits. De esta forma el extremo transmisor consigue la información de los subsecuentes bloques no recibidos por el destinatario [10].

El TCP Net Reno es una mejora al protocolo TCP New Reno, que pretende hacer a TCP más sensible a la red para mejorar su performance, reduciendo los timeouts por retransmisión. En TCP Net Reno, un segmento es enviado para cada ACK duplicado recibido, antes que se dispare la fase de fast retransmit, pretende mejorar el tamaño de las ventanas de congestión de la siguiente manera, por ejemplo, cwnd vale 3, si uno de los segmentos es descartado en la red, a lo sumo 2 ACK duplicados arribarán al transmisor, el segmento perdido sólo se enviará nuevamente por timeout, entonces no comenzará la fase fast retransmit, con esto se permite al transmisor, luego de recibir 2 ACK duplicados consecutivos, enviar 2 segmentos más que el que permite el cwnd, sin cambiar su tamaño [9].

TCP Vegas [11] es el algoritmo que más difiere de las primeras versiones de TCP, mejora el algoritmo de estimación del round-trip time, a partir del momento de envío de cada segmento y del momento de recibir cada ACK. A partir de esto, si recibe un ACK y la diferencia de tiempos con su segmento correspondiente es mayor al timeout, se retransmite sin esperar a tener los 3 ACK duplicados.

Cuando recibe un ACK no duplicado, si es el primero o segundo luego de una retransmisión, calcula el tiempo que hace que envió el tercer segmento en cuestión y de ser mayor que el round-trip time lo envía nuevamente.

TCP Vegas espera la pérdida de segmentos, determina el ancho de banda disponible en la red, para ello calcula el *Throughput* en la red, y la compara con el *Throughput* esperado. Ello le permite determinar el flujo de datos extra que puede transitar por la red y calcular cual es el adecuado de forma de evitar llegar a la congestión. Esta es la fase congestion avoidance.

Finalmente, busca evitar la congestión en la fase slow-start, realiza crecimientos exponenciales de cwnd, si la tasa de envíos lograda es menor que la esperada, durante un cierto lapso, se pasa a un modo de crecimiento lineal y no exponencial [11].

2.2.1. TCP en medios inalámbricos

Internet es uno de los servicios más difundidos en los últimos años y su acceso inalámbrico está en auge, TCP es uno de los protocolos de transporte más utilizados, sin embargo en cuanto a su algoritmo de control de congestión no está preparado para adaptarse a conexiones inalámbricas, en las que la naturaleza del medio lo hace muy sensible a la pérdida de paquetes, debido a que se tiene un alto *Bit Error Rate* (BER). El control de congestión es fundamental para la gestión del tráfico de red y el manejo de los recursos como ancho de banda entre usuarios cuándo la demanda excede la capacidad disponible [4]. Este problema se presenta debido a la conmutación de paquetes y al multiplexado de Internet y tiene un impacto en la capacidad de gestión.

Al utilizar TCP con redes inalámbricas, debido a su algoritmo se considera a cada pérdida de paquetes como una señal de congestión que invoca medidas de control de congestión para la fuente lo cual disminuye el rendimiento.

Para mejorar el rendimiento de la red, TCP debería manejar con prioridad la congestión, la misma que es más común en este medio, que las pérdidas de paquetes aleatorias, debido a que en congestión se podrían perder un número significativo de paquetes que sí tendría un efecto negativo real en la transmisión, que la pérdida de un

único paquete que tiene un efecto mínimo. En la implementación del TCP original [RFC 793], se utilizan ventanas de control de flujo para controlar el uso del espacio en el búfer del receptor y para la retransmisión después de una caída de paquetes para la entrega confiable, pero no existe ajuste dinámico de la ventana de control de flujo en respuesta a la congestión, por lo que el rendimiento disminuye para enlaces inalámbricos.

Existen algunas propuestas de algoritmos que pretenden aportar al mejor rendimiento de TCP en enlaces inalámbricos, a continuación se describen brevemente algunos de ellos.

El protocolo *Snoop* introduce un módulo *snoop agent* en la BS, la misma que memoriza y compara los segmentos de datos y los ACKs intercambiados con las estaciones móviles, determinando que segmentos se perdieron en el enlace *wireless* y agenda una retransmisión local a nivel de capa de Enlace. A diferencia de otras propuestas, este protocolo busca descubrir la causa de la pérdida de los segmentos y tomar las acciones que considere pertinentes, a las pérdidas de paquetes causadas por errores de transmisión en un medio *wireless* “pérdidas *wireless*” y a aquellas causadas por congestión en la red “pérdidas por congestión” reducciones innecesarias de la ventana de congestión del transmisor TCP.

Explicit Loss Notification (ELN) es un protocolo que busca optimizar TCP en transmisores móviles debido a que se informa al transmisor TCP que ha ocurrido una pérdida debida a errores en el enlace *wireless*, mediante el bit ELN, de modo que se excluye del control de congestión las retransmisiones desde el transmisor. ELN confecciona una lista de los huecos producidos en el espacio de secuencia, para evitar, confundir un hueco producido por congestión en la BS con un hueco producido por una pérdida *wireless*, el agente en la BS consulta la lista de huecos y marca el bit ELN en el ACK, cuando el transmisor advierte que le ha llegado un ACK con el bit ELN marcado, retransmite el segmento perdido y actualiza una variable llamada, *eln_last_RXmit*, pero no toma acción alguna de control de congestión. El transmisor, de esta forma se asegura de que cada segmento sea retransmitido una vez durante un round-trip time y no con cada ACK con ELN que reciba desde la BS.

Delayed Duplicate Acknowledgments (DDA) Pensando en una futura retransmisión, DDA retarda el tercer ACK duplicado, asumiendo que se trata de una pérdida wireless, el receptor libera el ACK duplicado demorado para así disparar una retransmisión end-to-end. Requiere de modificaciones en la estación móvil y no distingue entre pérdida wireless y pérdida por congestión.

Explicit Congestion Notification (ECN) Esta implementación busca notificar una congestión incipiente en lugar de descartar los paquetes utilizando para ello un campo de dos bits del encabezado IP denominado ECN, y compuesto por dos *flags* conocidas como ECT y CE. Cuando ambos puntas del protocolo de transporte son “ECN-capable” ello se indica por los códigos ‘10’ y ‘01’ que se identifican como “ECN-Capable Transport” (ECT), ECT(0) y ECT(1) respectivamente. El código ‘00’ (“Not-ECT”) indica que se trata de un paquete que no está usando ECN y finalmente el código ‘11’ es utilizado por los routers para indicar a ambos extremos de la conexión que se está experimentando una congestión incipiente. Se estima que el descarte no debería ser necesario en una red “full ECN-capable” pero que seguirán existiendo en la transición a ella. Es conveniente que los routers no utilicen la información del tamaño instantáneo de la cola para informar de congestión a través del código ‘11’. Como mecanismo de control de congestión, ECN ha demostrado ser más efectivo que el uso de segmentos perdidos para indicar el estado de congestión de la red. De esta forma se evitan, el descarte de segmentos y las innecesarias retransmisiones.

Congestion Coherence (CC) [12] Considera como supuesto previo que está implementado ECN sobre la red cableada, CC usa un esquema basado en la coherencia de la congestión entre paquetes consecutivos apuntando a determinar la causa de la pérdida de los paquetes. Emplea retransmisiones locales a nivel de capa de Enlace y detección de la causa de pérdida de paquetes. Todas las tramas transmitidas en el enlace wireless son localmente reconocidas antes de ser borradas en el buffer del emisor. Las tramas que no son reconocidas o son negativamente reconocidas luego de expirado un timer serán retransmitidas. Es importante para reducir el retardo de las tramas retransmitidas y minimizar la chance de disparo de retransmisiones end-to-end desde el transmisor. La máxima cantidad de

retransmisiones para una trama fallida es configurable. La manera de determinar la causa de la pérdida de los segmentos está basada en la observación de que la congestión no ocurre y desaparece repentinamente. Antes de que la misma se torne tan severa al punto que un segmento tenga que ser desechado, algunos segmentos deben ser marcados por ECN como *congestion experienced*. CC realiza un manejo excelente de la ventana de congestión, evitando innecesarias reducciones, retransmisiones end-to-end y timeouts ya que la mayoría de las pérdidas por congestión son evitadas mediante el uso de ECN. También hace un uso muy eficiente de la cola del enlace cuello de botella manteniéndola casi siempre llena.

2.3. Redes WiMAX

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access, "Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas"), es el nombre asignado a un conjunto de estándares *IEEE 802.16* el cual proporciona acceso para redes inalámbricas de área metropolitana, esta tecnología no requiere visión directa con las estaciones base.

En cuanto a su funcionamiento, el estándar *IEEE 802.16* apoya la calidad de servicio (QoS) y la diferenciación del servicio. Las SS son de acceso asignado en base a demanda, se podrá configurar para acceso continuo o para petición del usuario, dependiendo de la clase de servicio.

La capa MAC está orientada a la conexión. Todos los servicios se asignan mediante flujos en las conexiones entre BS y SS. Por ejemplo, una conexión TCP se asigna a dos MAC, una para cada dirección de la transferencia de TCP.

Las conexiones realizan la solicitud de flujos de servicios, así como las peticiones de ancho de banda en el enlace ascendente. Se utiliza modulación adaptativa para lograr una alta velocidad de datos para una mejor calidad de enlace. La modulación puede ajustarse en intervalos de tiempo muy cortos (dentro de cada cuadro que es típicamente de 5 ms de duración), lo que permite robustos enlaces de transmisión y alta capacidad del sistema. Dependiendo del rango de frecuencia y modulación utilizadas, WiMAX puede teóricamente alcanzar una velocidad de datos de más de 120 Mbps, a una distancia de 50 km.

2.3.1. Características de funcionamiento 802.16-2009

El estándar IEEE 802.16-2012, funciona con enlaces combinados de acceso inalámbrico punto a multipunto fijo y móvil. La subcapa MAC está estructurada de tal forma que soporta múltiples especificaciones de la capa PHY. Sus frecuencias de operación están en las bandas licenciadas de 10 a 66 GHz., los canales tienen un ancho de banda de 25 a 28 MHz

Se obtienen teóricamente tasas por encima de los 120 Mbps. Frecuencias inferiores a los 10 GHz tanto en bandas licenciadas como no licenciadas.

Especialmente las bandas no licenciadas de 5 a 6 GHz, en el que el requerimiento de línea de vista puede ser soportado con técnicas de control avanzado de potencia, mitigación de interferencia y uso de múltiples antenas.

IEEE 802.16-2009 hace una revisión a IEEE estándar 802.16-2004, consolida material de IEEE estándar 802.16e-2005, IEEE 802.16-2004/Cor1-2005, IEEE 802.16f-2005, e IEEE estándar 802.16g-2007 [5].

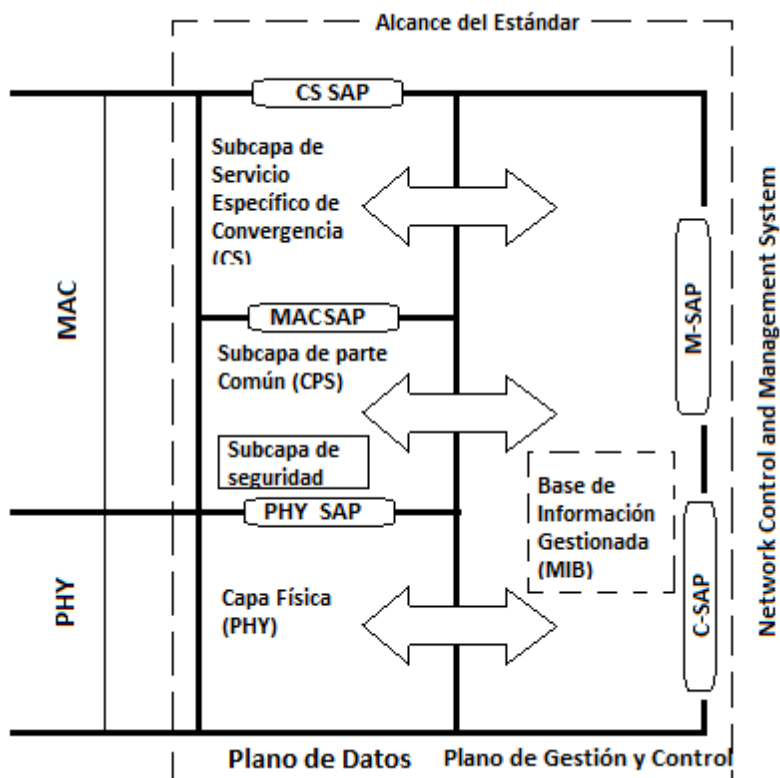


Figura 2 Modelo de Referencia del Std. 802.16-2009

La MAC abarca tres subcapas:

- subcapa de Servicio Específico de Convergencia (CS-Convergence Sublayer),
- subcapa de Parte Común (CPS-Common Part Sublayer),
- servicio de Punto de Acceso (SAP-Service Access Point).

La MAC contiene una subcapa de seguridad (autenticación, intercambio seguro de llaves y encriptación) [5].

2.3.2. Componentes

Los dispositivos IEEE 802.16 incluyen:

- Estaciones suscriptoras (SS-Suscriber Station),
- Estaciones móviles (MS-Mobile Station) o
- Estaciones base (BS-Base Station).

WiMAX soporta topologías punto-a-multipunto (PMP) y topologías de malla, ambos funcionan de manera eficiente con control de acceso a medio compartido. En la topología PMP la red se divide en células y sectores que constan de una estación base (BS) y muchas estaciones de abonado (SS), de forma similar a una red celular telefónica. Esta arquitectura se presta a la operación de PMP en la dirección de enlace descendente, de BS a SS, mediante duplexación por división de tiempo (TDD) o duplexación por división de frecuencia (FDD). Generalmente en las comunicaciones se utiliza TDD, donde la BS ajusta dinámicamente la duración de las porciones de los datos de enlace descendente y de enlace ascendente. En la dirección de enlace ascendente el acceso es por lo general es TDMA, la BS tiene el control del acceso y programación.

2.4. Redes WiFi

WiFi o protocolo IEEE 802.11, es un estándar de comunicaciones de la IEEE que define el uso de los dos niveles más bajos de la arquitectura OSI, capa física y de enlace de datos. Los protocolos que están bajo 802.11x definen tecnologías de redes de área local.

Fue concebida como una alternativa para extender una red tradicional cableada en lugares donde no es posible su instalación.

2.4.1. Características de funcionamiento del estándar 802.11b/g

El estándar IEEE802.11b utiliza la frecuencia de radio libre de 2.4GHz, razón por la que es probable que exista interferencia con otros aparatos electrónicos que funcionan en la misma frecuencia, al ser una frecuencia libre los fabricantes la prefieren por razones financieras, ya que se abaratan los costos de sus productos, y proporciona un buen rango de señal.

Los inconvenientes que presenta el estándar IEEE802.11b corresponden a que presenta una baja velocidad máxima, soporta un número bajo de usuarios simultáneos y produce interferencias en la banda de 2.4 GHz.

Tabla 1 Características generales del estándar 802.11b

Características del estándar	802.11b
Frecuencia longitud de onda	2.4GHz
Ancho de banda de datos	11Mbps, 5Mbps, 2Mbps, 1Mbps
Medidas de seguridad	WEP – <i>Wireless Equivalency Protocol</i> en combinación con espectro de dispersión directa
Rango de Operación óptima	50 metros dentro, 100 metros afuera
Adaptado para un propósito específico o para un tipo de dispositivo	Ordenadores portátiles, ordenadores de sobremesa donde cablear entraña dificultades, PDAs

2.4.2. Componentes

BSS (Basic Service Set): set de nodos usando la misma función de coordinación para el acceso al canal BSA (Basic Service Area): área cubierta por un BSS

BSS modos de configuración:

- Ad hoc: nodos se comunican directamente entre sí.
- Infraestructura: BSS es conectada a una infraestructura fija a través de un controlador centralizado, conocido como Punto de Acceso (Access Point - AP).

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.Inyectores de Tráfico

3.1.1. D-ITG

D-ITG (Distributed Internet Traffic Generator) es una plataforma de código abierto que genera tráfico, IPv4 e IPv6 para paquetes de tamaño y tiempo inter-salida variable. Fue creada con el objeto de constituir una herramienta de medición de rendimiento, capaz de calcular el retardo de ida (OWD – One Way Delay) y de ida-y-vuelta (RTT – Round Trip Time), la tasa de pérdida de paquetes, el jitter y el *Throughput* [1].

D-ITG se constituye en un modelo cliente-servidor. Cuenta con cuatro ejecutables implementados en los componentes de la plataforma: ITGSend, ITGRecv, ITGLog, e ITGDec. ITGSend actúa como cliente, y puede generar varios flujos de datos de forma simultánea siguiendo las especificaciones del archivo de entrada (o archivo de configuración). ITGRecv actúa como el servidor y puede recibir varios flujos de datos de diferentes clientes de forma simultánea. ITGLog es el servidor de almacenamiento (.log) de la plataforma, y recibe información de ITGSend e ITGRecv. ITGDec es una utilidad que permite analizar los resultados de los experimentos realizados. Adicionalmente se cuenta con dos ejecutables más: ITGPlot e ITGapi. ITGPlot es una herramienta basada en Octave3 para graficar los datos contenidos en los archivos log construidos con ITGDec (como delay.dat, bitrate.dat, jitter.dat y packetloss.dat), que contienen un promedio del retardo, tasa de

bits, jitter y tasa de pérdida, respectivamente, que son calculados cada milisegundos y reportado en el archivo respectivo. ITGapi es un API de C++ que permite el control remoto de la generación de tráfico.

Cuando D-ITG se ejecuta, se establece una conexión de control al sistema remoto, para entregar los parámetros de configuración de la prueba, así como el protocolo de red a utilizar que para fines específicos del presente trabajo será TCP.

3.1.2. J-perf

Iperf fue desarrollado originalmente por NLANR / DAST como una alternativa moderna para medir el rendimiento de TCP y UDP ancho de banda. *Iperf* es una herramienta para establecer transmisiones entre cliente y servidor, permitiendo la configuración de varios parámetros y características para paquetes TCP como UDP.

Características de *Iperf* son:

- Mide el ancho de banda máximo de TCP, brinda un informe sobre el tamaño de la MSS / MTU.
- Soporte para TCP tamaño de la ventana a través de buffers de socket.
- Cliente y servidor pueden tener múltiples conexiones simultáneas.
- El servidor maneja múltiples conexiones. Es posible especificar la cantidad de datos a ser transferidos, la tasa de generación y el tiempo que se desea que permanezca activa la transmisión.
- Cuando sea apropiado, las opciones pueden ser especificadas en k (kilo-) y M (mega-). De este modo, se puede especificar 128K en vez de 131072 bytes.
- *Iperf* reporta *Throughput*, retardo (delay), jitter (variación del retardo) y pérdidas de datagramas en intervalos de tiempo especificados.

3.1.3. Elección del software inyector de tráfico

La elección del software inyector de tráfico está basada en un método teórico práctico debido a que se investigó acerca de las características de cada uno y además se realizaron pruebas para comprobar y diferenciar las diferentes opciones que ofrecen tanto D-ITG como *Iperf*.

En cuanto a *Iperf* se puede recalcar que es una herramienta generadora de tráfico que realiza mediciones de ancho de banda, retardos y tasas de error de bit, utilizada para TCP y UDP, D-ITG es una herramienta de análisis de desempeño la cual realiza mediciones de *Throughput*, tasa de paquetes perdidos y retardos; su funcionamiento se realiza bajo entorno gráfico y en modo comandos, las dos son de código abierto. La razón por la que se eligió como inyector de tráfico a D-ITG es que presta la facilidad de controlar el número de paquetes por segundo a transmitir así como el tamaño de los mismos, por lo tanto se controla el bandwidth a transmitir.

3.2. Definición de escenarios de prueba

En esta sección se describirá el desarrollo de los escenarios de pruebas, así como las características de las herramientas utilizadas tanto en hardware y software para su correspondiente implementación, necesarios para la obtención de los datos en cuanto al desempeño de la transmisión de datos bajo las tecnologías WiFi y WiMAX con el nuevo algoritmo de TCP, los datos que arrojaron las pruebas, nos llevan hacia el correspondiente análisis del desempeño del nuevo algoritmo de TCP, cabe mencionar que los escenarios se desarrollan en ambientes y condiciones reales a diferencia del escenario implementado en [6], el mismo que fue desarrollado con la utilización de un emulador de enlace, en el cual se controlan factores como la atenuación, distorsión, ruido e interferencia, entre otros, las pruebas realizadas fueron experimentales y en condiciones reales, utilizando el kernel con la modificación correspondiente al nuevo algoritmo de TCP, mediante una máquina virtual con el sistema operativo LINUX en su distribución UBUNTU.

La planificación de pruebas realizada para el presente trabajo experimental fue concebido de la siguiente manera: se realizaron 5 inyecciones de tráfico por cada prueba de bandwidth las mismas que fueron cuatro variedades, dando un resultado de 20 iteraciones para cada uno de los correspondientes TCP NACK+15, TCP NACK+20 y TCP genérico, esto en cada distancia de pruebas realizada, que para la tecnología WiFi *out-door* fueron 4 distancias, WiFi *in-door* 2 distancias y WiMAX *out-door*, 6 distancias.

La realización de las pruebas implicó algunas condiciones climáticas distintas, obstáculos intermedios, de distintos orígenes, diferentes alturas de la antena respecto

a los terminales receptores y transmisores, lo cual implica cierto rango de error normal derivado de estos factores inherentes al sistema de comunicación establecido.

3.2.1. Escenario *out-door* para pruebas con tecnología *WiFi*

A continuación se describe el escenario en el que se desarrollaron las pruebas en ambientes *out-door* bajo la tecnología *WiFi*, en conformidad con el estándar *IEEE 802.11*.

El modelo de red utilizado para la inyección de tráfico, consiste en dos terminales o computadores, con la implementación de TCP modificado mediante la máquina virtual con el kernel modificado, los terminales se conectan por enlace inalámbrico a un AP (*Access Point*) *out-door*, ubicado en la torre que se encuentra en los laboratorios de electrónica de la ESPE Sede Sangolquí, el equipo utilizado es un AP *outdoor*, PowerStation 2 de la marca *UBIQUITI*, el mismo que presta las condiciones adecuadas para realizar las pruebas correspondientes, los terminales se ubicarán a diferentes distancias dentro del campus para evaluar el comportamiento del nuevo algoritmo de TCP, en cuanto a velocidad en la transmisión, obteniendo los resultados mediante el inyector de tráfico *D-ITG*, el cual permite controlar entre otros parámetros, el número de paquetes a enviar por segundo y el tamaño en bytes de los mismos.

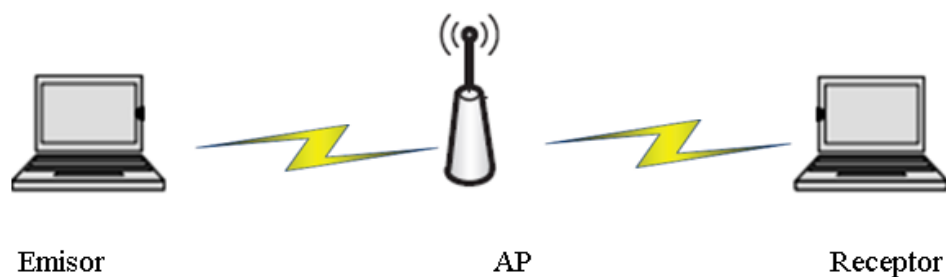


Figura 3 Escenario de pruebas *Out-door*

El equipo utilizado como *Access Point* fue PowerStation2 de la marca *UBIQUITI*, mostrado en la figura 3.2, la misma que presenta las características mostradas a continuación en la Tabla 2:

Tabla 2. Especificaciones

Radio Operating Frequency 2412 – 2462 MHz			
TX ESPECIFICACIONES		RX ESPECIFICACIONES	
802.11b			
Data Rate	TX Power	Data Rate	TX Power
1 Mbps	26 dBm	1 Mbps	-97 dBm
11 Mbps		11 Mbps	-92 dBm
802.11g OFDM			
6 Mbps	26 dBm	6 Mbps	-94 dBm
54 Mbps	22 dBm	54 Mbps	-74 dBm

**Figura 4. Power Station 2**

En cuanto a la configuración del equipo, algunos parámetros correspondientes a la conexión *wireless* se han dispuesto como se describe en la Tabla 3, el fabricante proporciona una interfaz Figura que se puede observar en la Figura 5.

Tabla 3 Parámetros configurados en Link Setup

Parámetro	
Wireless Mode	Access Point
IEEE 802.11 Mode	B/G mixed
Channel Spectrum width	20 MHz
Channel shifting	Enabled
Output Power	26 dbm
Data Rate	54 Mbps



Figura 5. Interfaz de configuración, Link Setup

Se configuraron ciertos parámetros en cuanto a la red en la pestaña Network como se puede observar en la Figura 6.

Wireless Mode.- Se elige la opción de Access point debido a que se trata de una conexión punto a punto en donde no es necesario enrutamiento.

IEEE 802.11 Mode.- B/G mixed debido a que presenta compatibilidad con las tarjetas receptoras en los terminales utilizados.

Channel Spectrum width.- Se utilizó 20 MHz de ancho en el canal debido a que las pruebas a realizar requieren del mayor ancho disponible.

Channel shifting.- En caso de que los canales en el ambiente se encuentren saturados se encuentra activa la opción de cambiarlo.

Output Power.- La ganancia seteada es de 26 dBm debido a las distancias a las que se realizarán las transmisiones.

Data Rate.- Velocidad seteada en el equipo para transmitir datos en la máxima seteable para no interferir con la evaluación del desempeño del algoritmo propuesto.

Tabla 4. Parámetros configurados en Network

Parámetro	
Network Mode	Router
IP Address	192.168.1.1
Netmask	255.255.255.0
Enable DHCP Server	Enabled
Range Start	192.168.1.1
Range End	192.168.1.100

The screenshot displays the 'Network' configuration page in the PowerStation2 17D interface. The page is divided into several sections:

- General Network Settings:**
 - Network Mode: Router
 - Disable Network: None
- WLAN NETWORK SETTINGS:**
 - IP Address: 192.168.50.1
 - Netmask: 255.255.255.0
 - Auto IP Aliasing:
 - IP Aliases: [Configure...](#)
 - Enable NAT:
 - Enable DHCP Server:
 - Range Start: 192.168.50.10
 - Range End: 192.168.50.100
 - Netmask: 255.255.255.0
 - Lease Time: 3600 seconds
 - Enable DNS Proxy:
 - Port Forwarding: [Configure...](#)
- LAN NETWORK SETTINGS:**
 - LAN IP Address: DHCP PPPoE Static
 - IP Address: 0.0.0.0
 - Netmask: 255.255.255.0
 - Gateway IP: 192.168.1.1
 - Primary DNS IP:
 - Secondary DNS IP:
 - PPPoE Username:
 - PPPoE Password:
 - PPPoE MTU/MRU: 1492 / 1492
 - PPPoE Encryption:
 - Enable DMZ:
 - DMZ Management Port:
 - DMZ IP:
 - DHCP Fallback IP: 192.168.1.20
- MULTICAST ROUTING SETTINGS:**
 - Enable Mcast Routing:
- FIREWALL SETTINGS:**
 - Enable Firewall: [Configure...](#)

A 'Change' button is located at the bottom of the interface.

Figura 6. Interfaz de configuración, Network

Los terminales que se conectarán para realizar la transmisión y recepción de datos, se configurarán de la siguiente manera: uno generará tráfico y el otro lo recibirá, mediante el generador de tráfico D-ITG, de esta manera se comprobará el rendimiento de la red a diferentes distancias, el inyector de tráfico se encuentra instalado dentro del sistema operativo Linux en su distribución Ubuntu con la modificación del kernel correspondiente al nuevo algoritmo de TCP, tanto en el emisor como en el receptor.

Uno de los terminales será configurado como Emisor, para lo cual será necesario configurar algunos parámetros dentro de la plataforma D-ITG como se observa en la Figura 7, según las características de la red y de las condiciones para diferenciar su comportamiento.

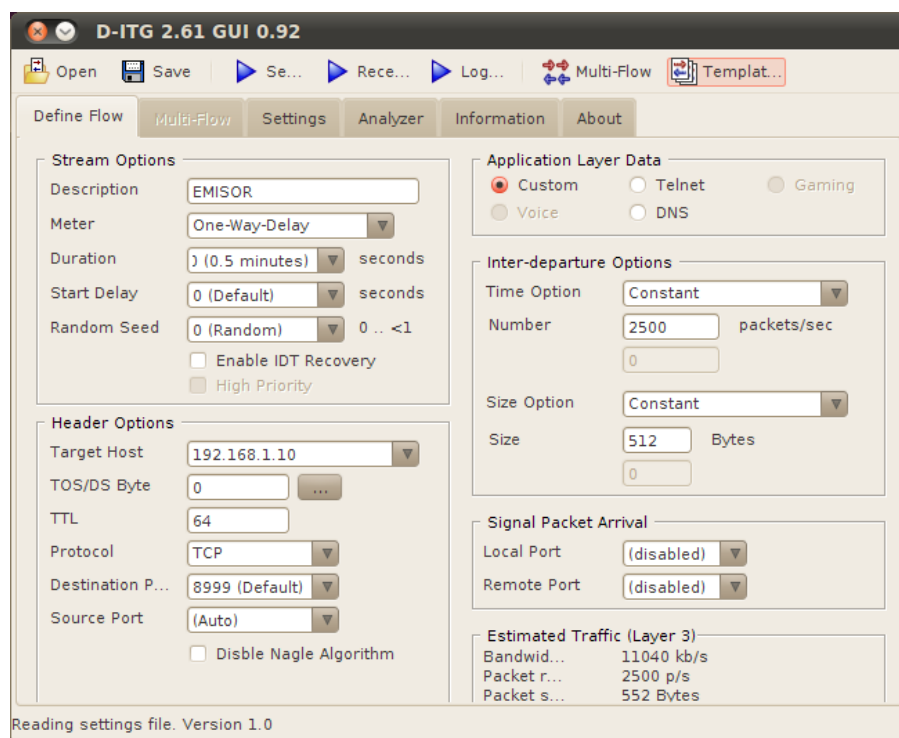


Figura 7. Interfaz D-ITG, Define Flow Emisor.

En la Tabla 5 se detallan los principales parámetros que fueron configurados en la interfaz del D-ITG para el emisor.

Tabla 5. Configuración para la transmisión de datos con la herramienta D-ITG.

Parámetro	Métrica
Duration	30 s.
Target Host	192.168.1.10 (IP destinatario)
TTL	64
Time option	Constant
Number	2500 ¹ packets/sec
Size Option	Constant
Size	512 ² Bytes

En la pestaña Settings se configura Sender Options, aquí se especifica el lugar donde se guardará el archivo con los datos obtenidos, en este caso se almacenarán en el mismo computador, por lo tanto la opción es “Local” con un nombre para identificarlo, como se observa en la Figura 8.

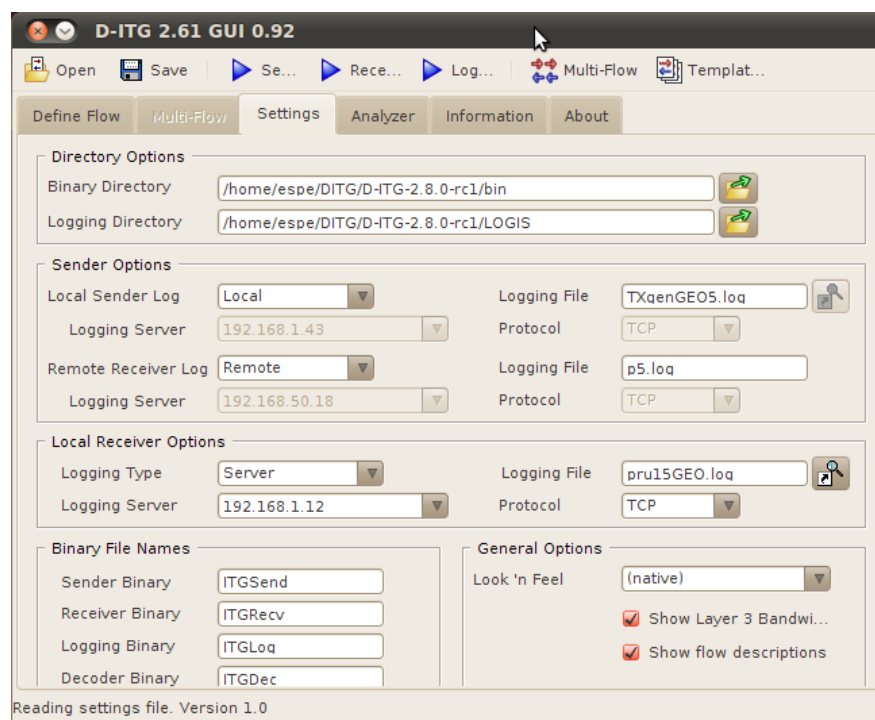


Figura 8. Interfaz D-ITG, Settings Emisor

¹ El valor en Number varía de acuerdo a las pruebas realizadas.

² El valor en Size varía de acuerdo a las pruebas realizadas

El otro terminal se configura como Receptor, los parámetros a configurar son principalmente para asegurar una compatibilidad con el Emisor y además para guardar los datos que resulten de la transmisión:

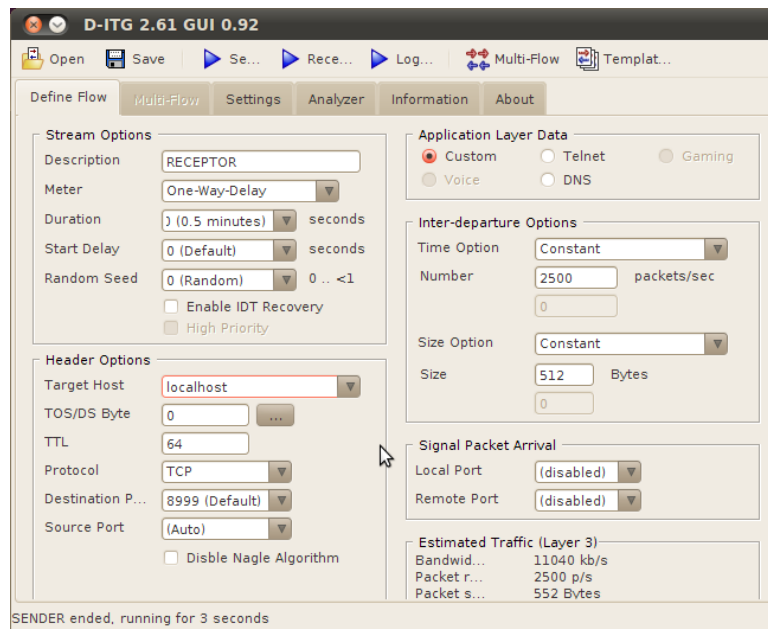


Figura 9. Interfaz D-ITG, Define Flow Receptor

En la Tabla 6 se detallan los principales parámetros configurados en la interfaz del D-ITG para el receptor, en la definición del flujo de datos:

Tabla 6. Parámetros a configurar en la interfaz D-ITG para el terminal receptor

Parámetro	Métrica
Duration	30 s.
Target Host	localhost
TTL	64
Time option	Constant
Number	2500 ¹ packets/sec
Size Option	Constant
Size	512 ² Bytes

¹ El valor en Number varía de acuerdo a las pruebas realizadas.

² El valor en Size varía de acuerdo a las pruebas realizadas.

Las pruebas fueron realizadas a ciertas distancias de acuerdo a condiciones de calidad de la señal WiFi en función de parámetros como la potencia a la que estuvo configurada la antena utilizada y también influyen características inherentes al terminal utilizado es decir la ganancia de la antena WiFi del computador, cabe mencionar que el AP se mantuvo ubicado en un punto fijo:

Tabla 7. Ubicación de la antena y del receptor a las diferentes distancias

AP	DISTANCIA	Ubicación del receptor
0°18'45.29" S 78°26'45.62" O	100 mt.	0°18'45.82" S 78°26'48.54" O
	150 mt.	0°18'48.22" S 78°26'46.87" O
	230 mt.	0°18'51.75" S 78°26'45.70" O
	260 mt.	0°18'57.55" S 78°26'48.63" O

A continuación se observan los lugares desde los que se realizaron las transmisiones:

- *100 metros.*



Figura 10. Ubicación de la transmisión a 100 metros de distancia

- *150 metros*



Figura 11. Ubicación de la transmisión a 150 metros de distancia

- *230 metros.*

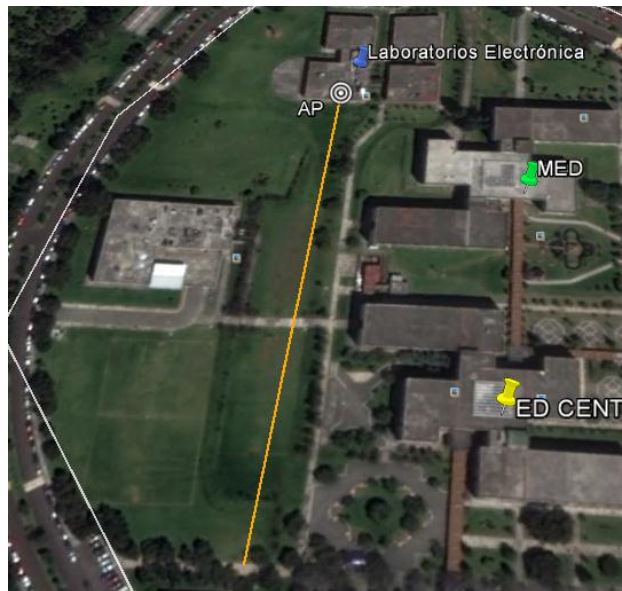


Figura 12. Ubicación de la transmisión a 230 metros de distancia

- 260 metros

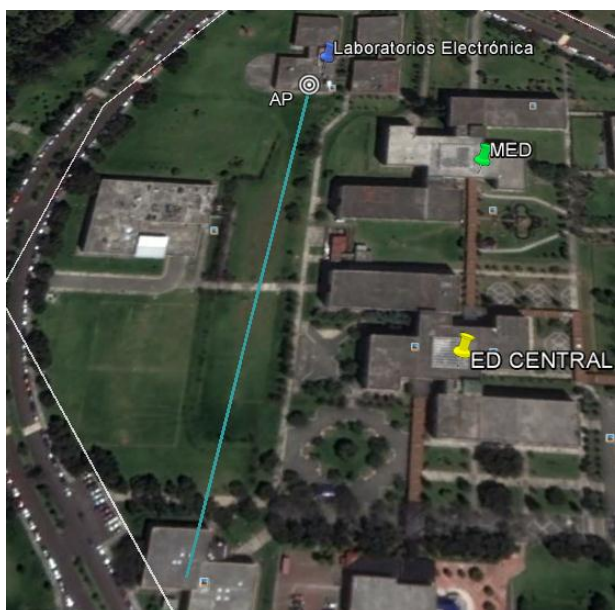


Figura 13. Ubicación de la transmisión a 260 metros de distancia

3.2.2. Escenario *in-door* para pruebas con tecnología WiFi

El escenario en el que se desarrollan las pruebas en ambientes *in-door* consiste en dos terminales o computadores, conectados por enlace inalámbrico a un AP (*Access Point*) bajo la tecnología WiFi, como se observa en la Figura 18.

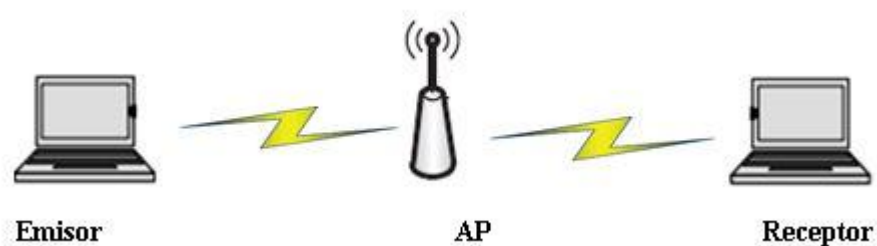


Figura 14. Escenario de pruebas *In-door*

Para realizar la inyección de tráfico se utilizará como herramienta la plataforma D-ITG, instalada dentro del sistema operativo Linux en su distribución Ubuntu con la modificación del kernel correspondiente al nuevo algoritmo de TCP, tanto en el emisor como en el receptor.

La configuración del software es la misma utilizada en las pruebas *out-door*, tanto emisor como receptor.

3.2.3. Escenario *out-door* para pruebas con tecnología WiMAX

A continuación se describe el escenario en el que se desarrollaron las pruebas en ambientes *out-door* bajo la tecnología WiMAX (Standard 802.16).

Las pruebas se realizaron con un modelo de red compuesto por una Estación Base (BS) ARBA550 de Alentia Systems y varios terminales de usuario (CPE) o Estaciones Suscriptoras (SS), uno de estos nodos se configurará para generar tráfico y el otro para recibirlo, utilizando como herramienta de software al generador de tráfico *D-ITG* de esta manera se comprobará el rendimiento de la red a diferentes distancias mayores a 100 metros, tomando en cuenta puntos en donde se disponga de un toma corriente debido a que es necesario por la topología de red conectar la *Estación suscriptora* a la red eléctrica, los computadores o equipos terminales se conectarán mediante un cable ethernet.

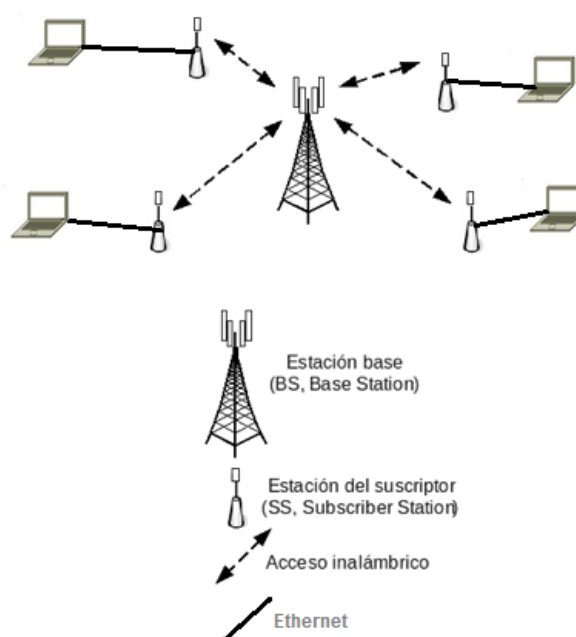


Figura 15. Estructura general del escenario de pruebas Out-door con tecnología WiMAX

Las transmisiones se realizan de un terminal a otro mediante un equipo CPE que se encuentra enlazado con la Estación Base, instalada en el edificio central del Campus Sangolquí de la ESPE, por lo tanto se cuenta con una conexión mixta debido a que el computador tiene una conexión cableada Ethernet con el equipo CPE, y

luego se cuenta con el enlace inalámbrico WiMAX hacia la base y viceversa hacia el destino, de esta manera se realizarán las transmisiones para evaluar el comportamiento del nuevo algoritmo de TCP sobre la tecnología WiMAX.

Se ha diseñado un plan de direcciones IP de acuerdo a las direcciones asignadas dentro de la red interna de la ESPE para el proyecto de pruebas WiMAX, la planificación IP se describe en la Tabla 8.

Tabla 8. Plan de direcciones IP para la red WiMAX

	UBICACIÓN	MAC	IP
Estación Base	Ed. Central		10.1.210.10
Repetidora	Ed. Administrativo		10.1.210.12
Suscriptoras	Laboratorios	00:50:C2:8E:91:B2	10.1.210.11
	MED	00:50:C2:8E:91:CE	10.1.210.2
	Centro Médico	00:50:C2:8E:91:DE	10.1.210.3
	Ed. Administrativo	00:50:C2:8E:91:D9	10.1.210.4
	Comedor Politécnico	00:50:C2:8E:91:D0	10.1.210.5
	Transportes	00:50:C2:8E:91:F0	10.1.210.6
	Lab. Mecánica	00:50:C2:8E:91:EE	10.1.210.7

Las transmisiones se las realizarán desde puntos específicos en función de la ubicación de la estación base y de un lugar en donde se cuente con un tomacorriente para alimentar a los equipos, las transmisiones se realizaron entre los CPE's ubicados en los lugares que se observan en la Figura 16 y la Figura 17.

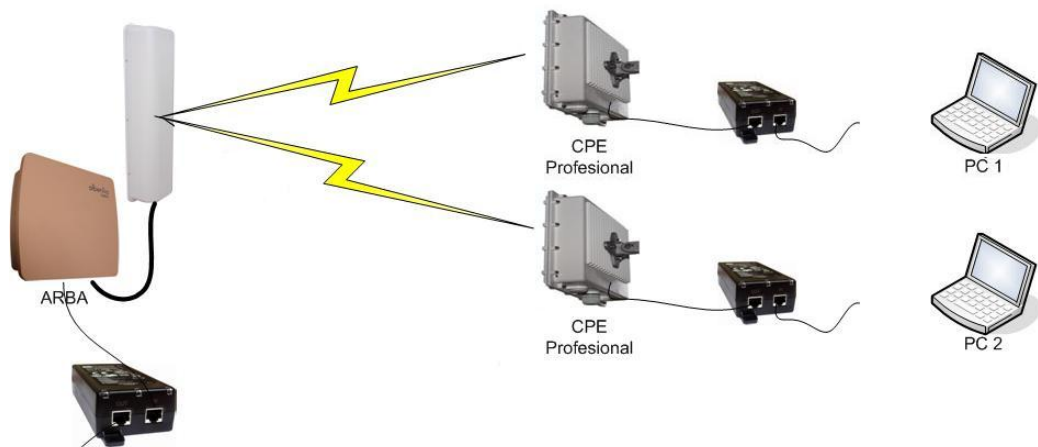


Figura 16. Estructura general de la transmisión para las pruebas con tecnología WiMAX

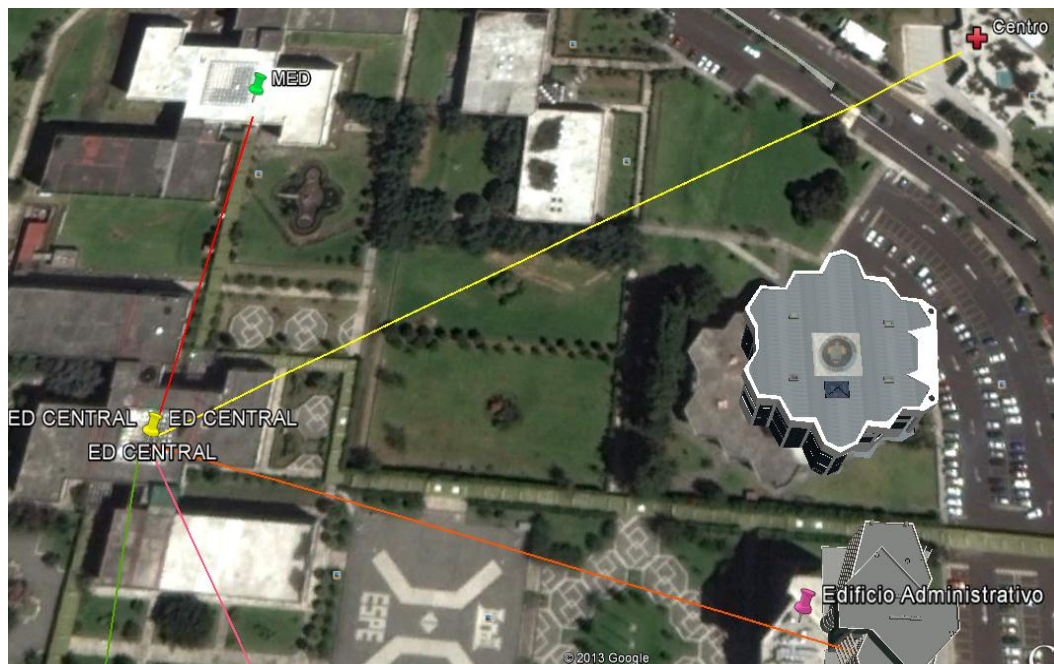


Figura 17. Ubicación de los lugares de ubicación de los CPE's.

Tabla 9. Distancias entre los puntos de ubicación de los CPE's

Enlace	Distancia
Ed. Central – MED	100 mt.
Ed. Central – Edificio Administrativo	200 mt.
Ed. Central – Centro Médico	263 mt.

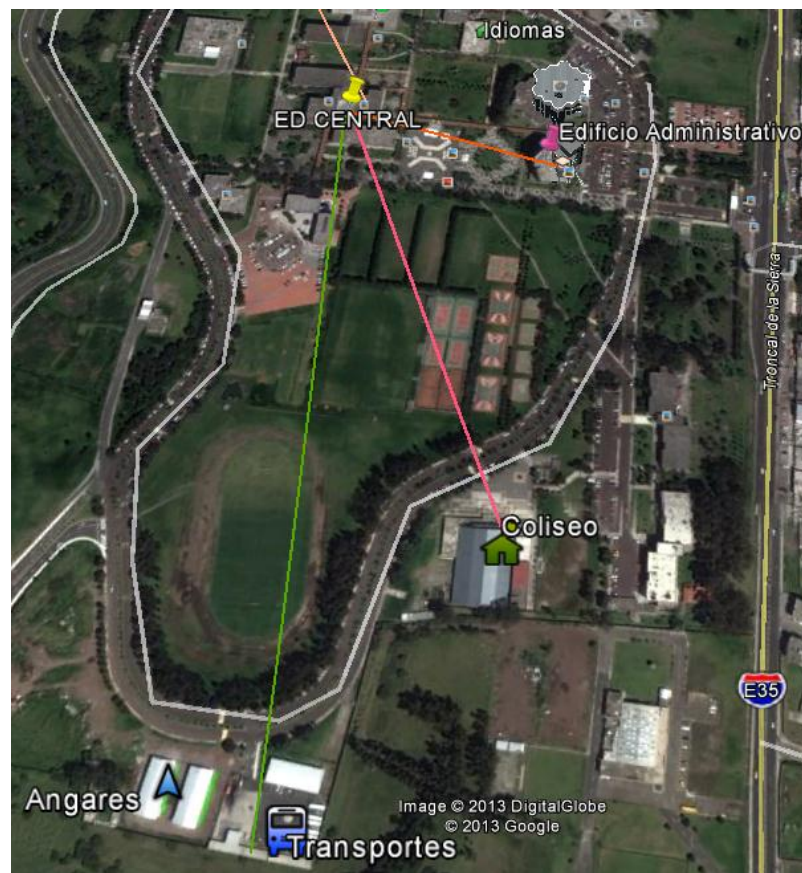


Figura 18. Ubicación de los lugares de ubicación de los CPE's

Tabla 10. Distancias entre los puntos de ubicación de los CPE's

Enlace	Distancia
Ed. Central – Coliseo	578 mt.
Ed. Central – Transportes	662 mt.
Ed. Central - Mecanica	148 mt.

Las transmisiones se realizaron puntualmente desde ciertos puntos que se detallan en la Tabla 11, hacia la Estación Base ubicada en el Edificio Central, y a su vez al CPE instalado en los laboratorios de Electrónica.

Tabla 11. Enlaces realizados para las transmisiones WiMAX

Enlaces	Distancia [m.]
LABORATORIOS - MED	253
LABORATORIOS - MECANICA	312
LABORATORIOS - ED ADMIN	364
LABORATORIOS - CENTRO MÉDICO	427
LABORATORIOS - COLISEO	578
LABORATORIOS - TRANSPORTES	826

3.3. Plan de pruebas experimentales

Las pruebas realizadas bajo los 3 escenarios y bajo la tecnología WiFi y WiMAX, se establecieron en 4 tipos de la siguiente manera:

Tabla 12. Características de las pruebas realizadas

Pruebas	Número de Paquetes/s	Tamaño de tramas [Bytes]	Bandwidth [kbps]
Prueba 1	2500	512	11880
Prueba 2	1500	512	6624
Prueba 3	1500	1024	12768
Prueba 4	1000	1500	12320

Los valores establecidos para el tamaño de tramas está basado en el hecho de que TCP como protocolo transmite como base tramas de 512 bytes, el MSS (máximo segment size) para TCP está establecido en 1024 bytes, y Ethernet transmite por lo general en tramas de 1500 bytes por lo que se pretendió realizar una comparación análoga o suponiendo el caso de que la transmisión partiera de una comunicación cableada y de esta manera observar el comportamiento y desempeño del nuevo algoritmo durante la transmisión.

3.4. Manejo de los datos obtenidos a partir de las pruebas experimentales

En cuanto a los datos obtenidos a partir de las pruebas experimentales realizadas en cuanto a *throughput*, *jitter* y *delay* se observó que se mantenían en cierta tendencia en el mayor de los casos, con ciertas excepciones que al ser experimentales y dependientes de varias condiciones climáticas o de escenario, como obstáculos

podieron variar de manera extraña se llega a la conclusión que la manera correcta de manejar estas cifras es obteniendo el valor de la mediana entre las iteraciones de pruebas realizadas, de esta manera se deja por fuera valores extraños y se toman valores que se encuentran dentro de la tendencia generada.

Para comprobación de los valores utilizados, a continuación se muestran las gráficas que corroboran el correcto manejo de las cifras para el análisis correspondiente, en la tecnología WiFi:

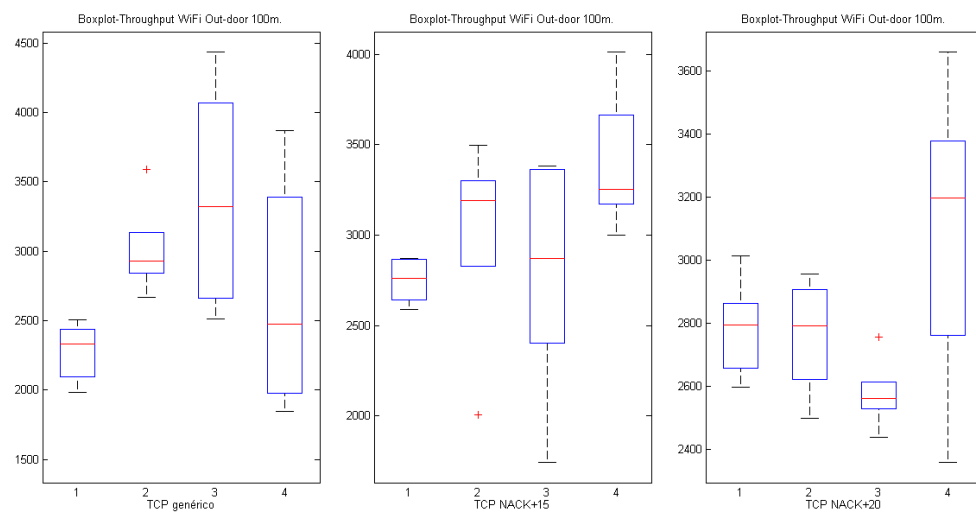


Figura 19. Boxplot Throughput pruebas WiFi out-door 100m.

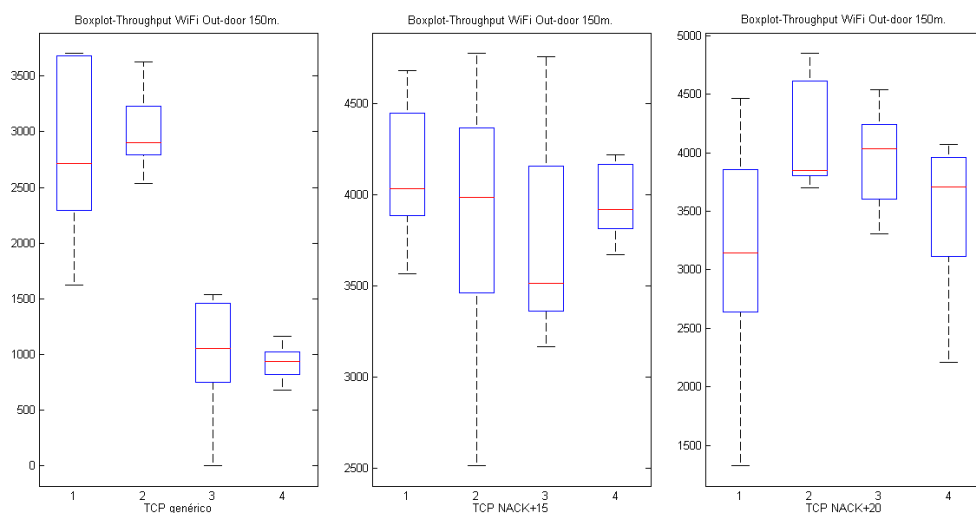


Figura 20. Boxplot Throughput pruebas WiFi out-door 150m.

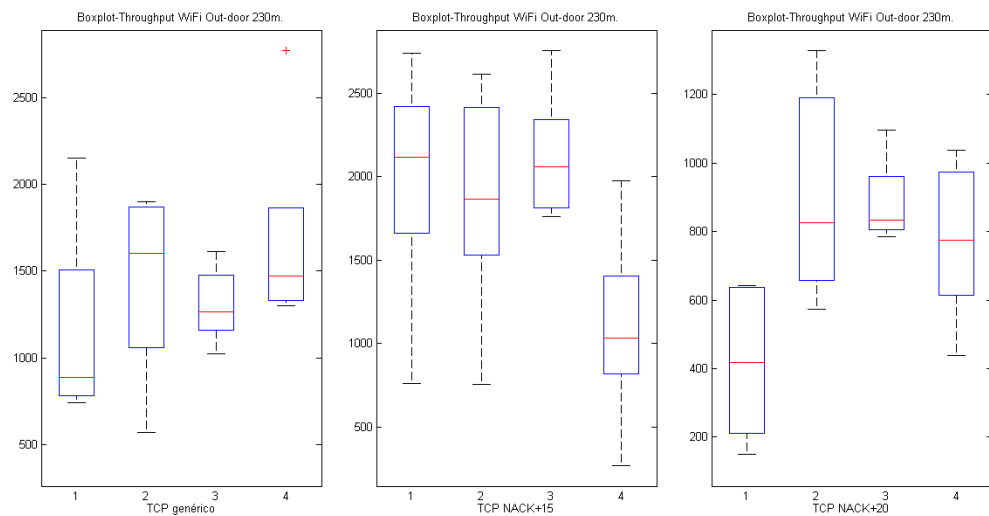


Figura 21. Boxplot Throughput pruebas WiFi out-door 230m.

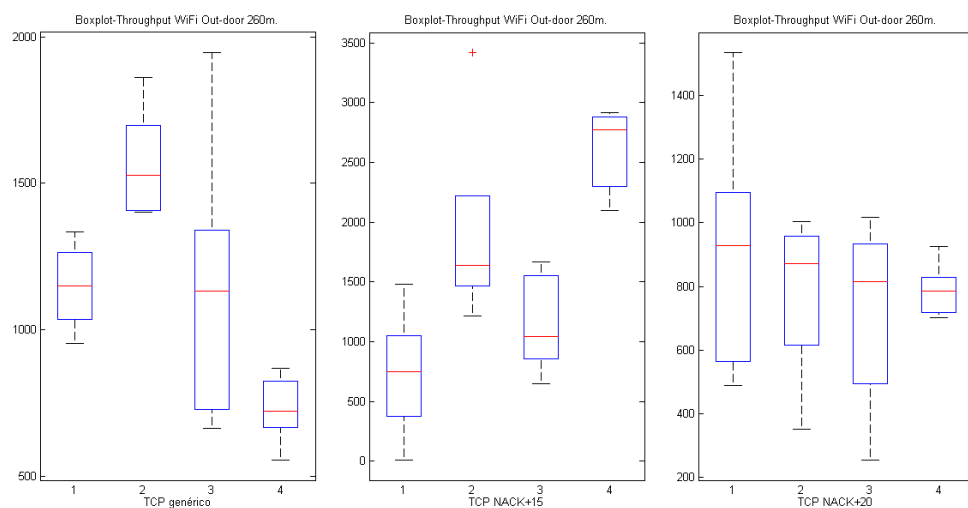


Figura 22. Boxplot Throughput pruebas WiFi out-door 260m.

Mediante el comando *boxplot* de la herramienta matlab se obtiene una visión general de la distribución de los datos comprobando los valores obtenidos se encuentran en mayor porcentaje dentro de una tendencia, lo cual se traduce a que es correcto manejar el valor de la mediana para la evaluación del desempeño del algoritmo de TCP.

A continuación se presenta las gráficas de boxplot de los resultados obtenidos a partir de las pruebas experimentales realizadas bajo la tecnología WiMAX:

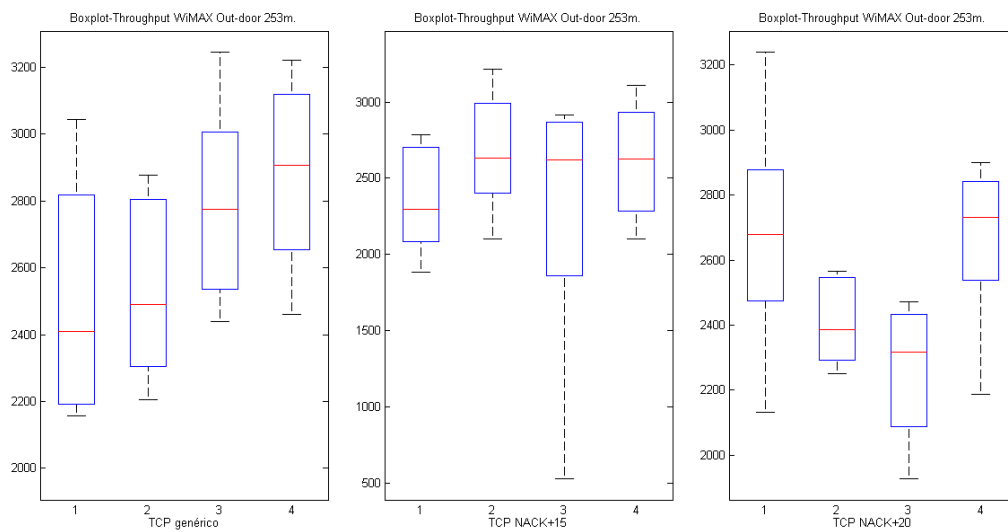


Figura 23. Boxplot Throughput pruebas WiMAX out-door 253m.

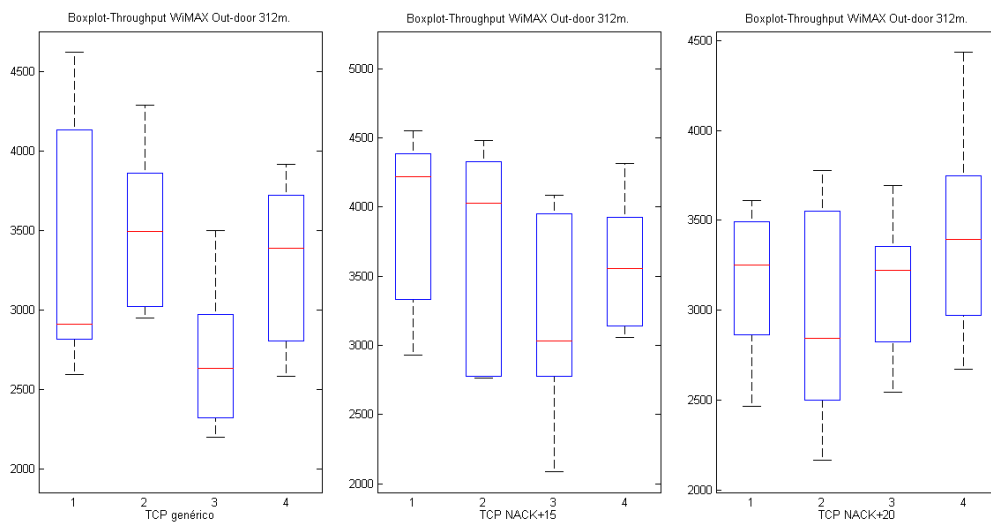


Figura 24. Boxplot Throughput pruebas WiMAX out-door 312m.

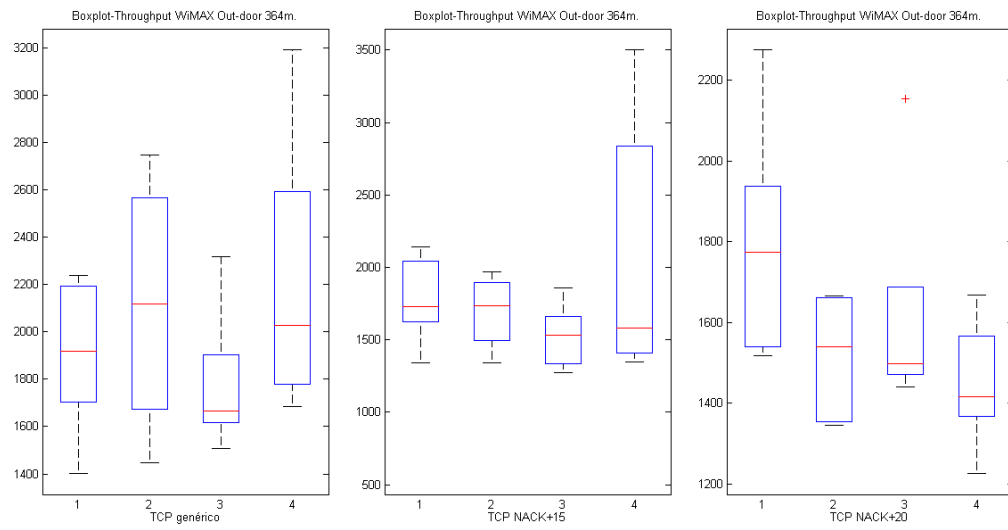


Figura 25. Boxplot Throughput pruebas WiMAX out-door 364m.

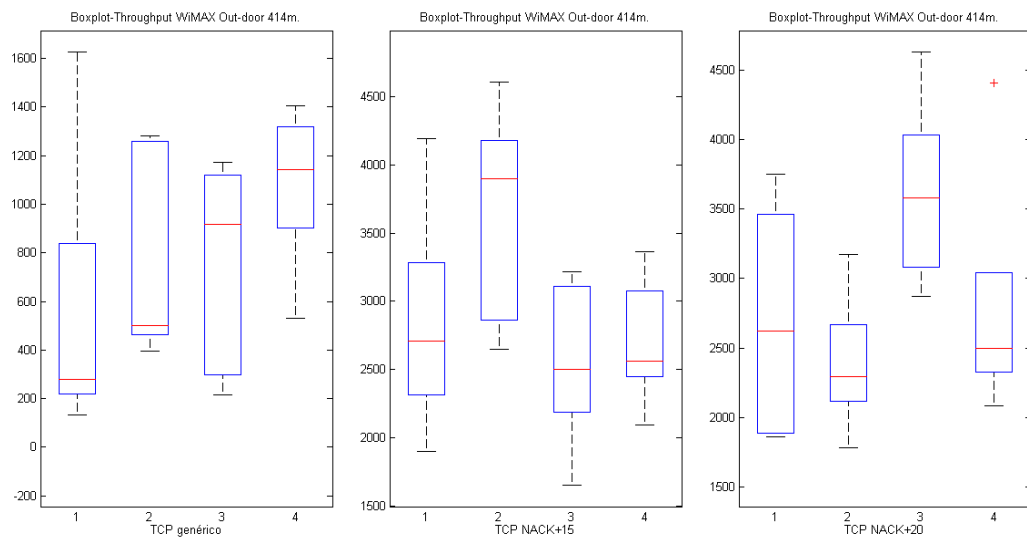


Figura 26. Boxplot Throughput pruebas WiMAX out-door 414m.

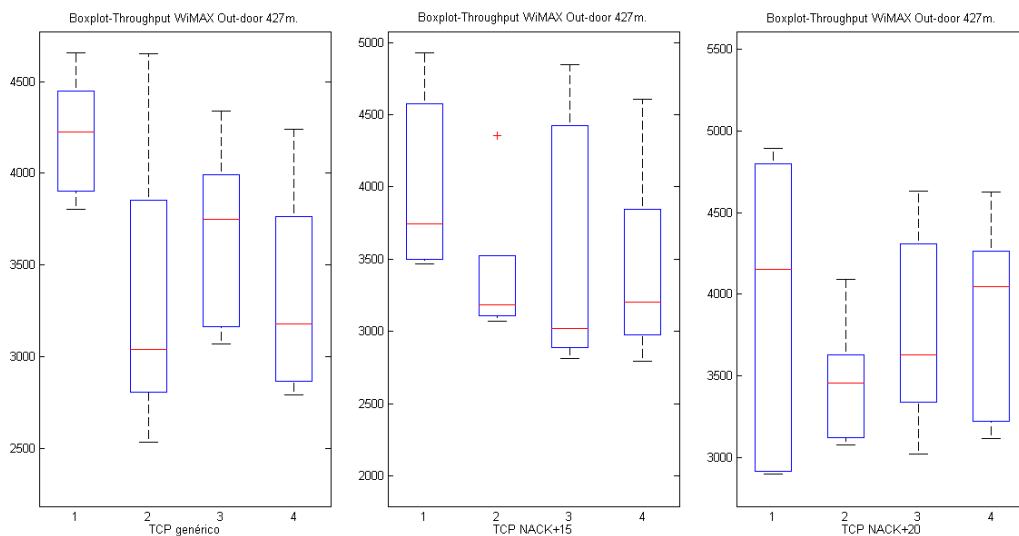


Figura 27. Boxplot Throughput pruebas WiMAX out-door 427m.

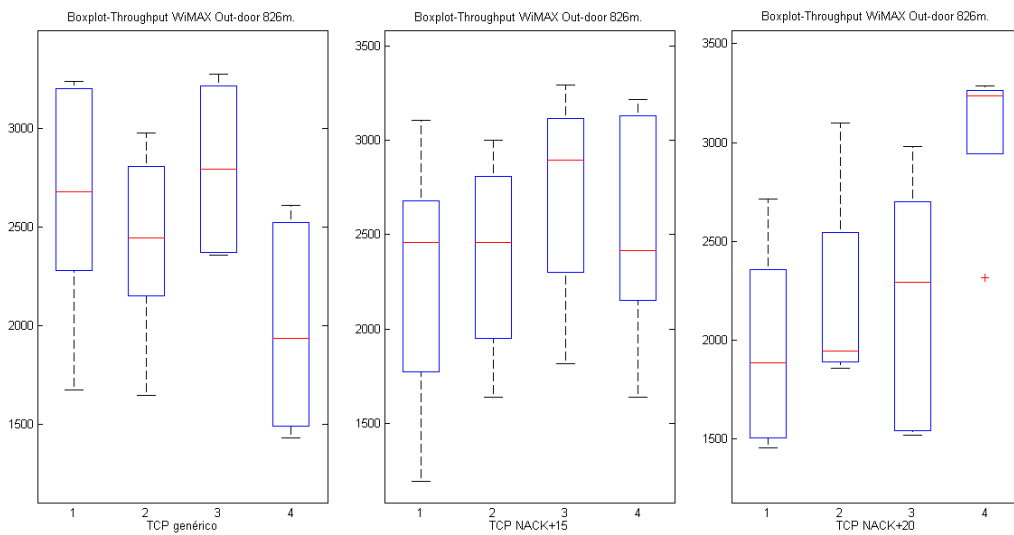


Figura 28. Boxplot Throughput pruebas WiMAX out-door 826m.

CAPITULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS DE QoS Y RENDIMIENTO

Para la evaluación del rendimiento del nuevo algoritmo de TCP se utilizarán los siguientes parámetros: tasa de transferencia o *Throughput*, *Jitter* y *Delay*, con lo que se evaluará la velocidad a la que se envían los datos, la interferencia normal y el retardo producido, se hará una comparación entre TCP NACK+15, TCP NACK+20 y TCP Genérico para concluir si existen mejoras en el intercambio de datos entre el transmisor y el receptor.

Los valores utilizados para el análisis de los resultados son valores medios tomados de entre los cinco resultados de las transmisiones realizadas en cada caso, para cada distancia y en cada uno de los kernel utilizados para la experimentación.

4.1. Resultados inyección de tráfico en ambientes *out-door* con tecnología WiFi

Como se explicó en anteriores secciones, TCP es un protocolo que fue concebido para trabajar sobre redes cableadas, en las que es más probable que se presenten pérdidas por congestión, y el protocolo reaccione disminuyendo la tasa de transmisión, esto no es lo más adecuado al momento de utilizar TCP sobre enlaces inalámbricos, debido a que por la naturaleza del medio y la inestabilidad, se van a presentar pérdidas de paquetes, donde lo más conveniente sería reenviar los paquetes perdidos lo más rápido posible y sin reducir la ventana de congestión [6].

Es por esto que el nuevo algoritmo de TCP NACK propuesto en [7] busca ajustarse a este contexto, incrementando el desempeño de las transmisiones mediante el envío de notificaciones de error al emisor y la retransmisión de segmentos erróneos sin reducir la tasa de transmisión. Los resultados obtenidos, guardan una

tendencia en general en la que TCP-NACK+15 y TCP-NACK+20 superan las velocidades obtenidas por TCP genérico, debido a que al existir un paquete perdido, se procede a reenviarlo lo más pronto posible y aumentando a su vez la ventana de congestión obteniendo un mejor desempeño en la transmisión.

4.1.1. Resultados obtenidos en cuanto a *Throughput*

4.1.1.1. Pruebas 100 metros.

A 100 metros de distancia entre el *TX* y *RX* , los datos obtenidos desde el terminal receptor se observan en la Tabla 5.1, en la Figura 5.1 se puede observar que en la prueba 1 se realiza una transmisión de 2500 pps. de 512 bytes resultando un *bandwidth* de 11040 kbps, en el que TCP NACK+15 presenta una mejora de un 19% en *Throughput* respecto a la transmisión con TCP Genérico, mientras que TCP NACK+20 presenta una mejora del 20%. La prueba 2 se realizó con la transmisión de 1500 pps de 512 bytes, es decir un *bandwidth* de 6624 kbps, según los datos obtenidos, el desempeño de TCP NACK+15 fue un 9% superior a TCP genérico, TCP NACK+20, en cuanto a *Throughput* el rendimiento disminuyó en 5%. La prueba 3 se realizó con la transmisión de 1500 pps de 1024 bytes, bajo este escenario TCP NACK+15 disminuyó su rendimiento en 14% y TCP NACK+20 un 23% frente a TCP Genérico. La prueba 4 se realizó con la transmisión de 1000 pps. de 1500 bytes, en este escenario se observa superioridad frente a TCP genérico tanto de TCP NACK+15 como de TCP NACK+20 en un 32% y en un 29% respectivamente.

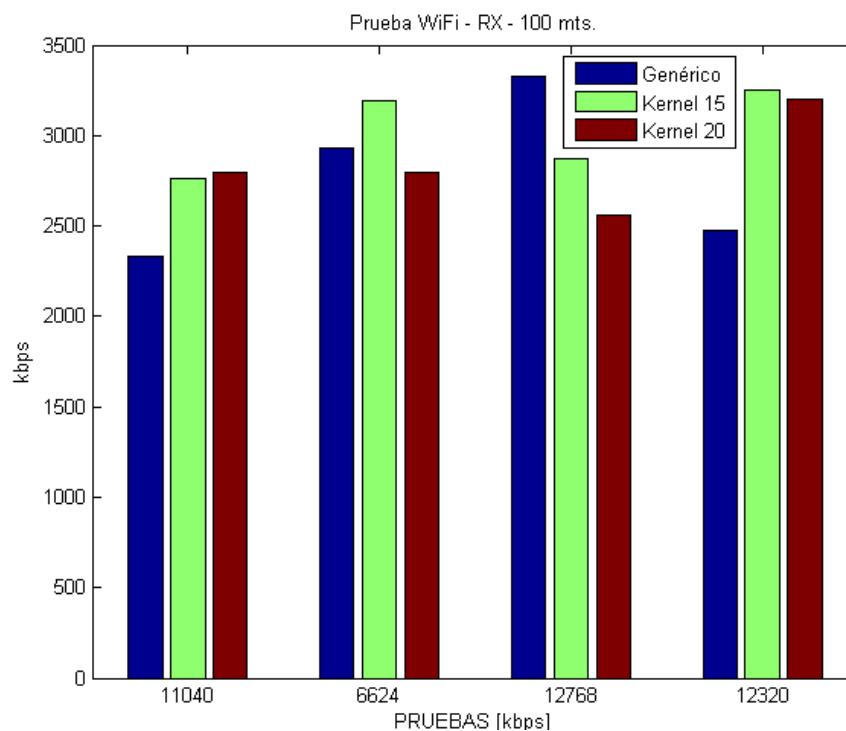


Figura 29. *Throughput*, prueba de recepción WiFi a 100 m.

Tabla 13. *Throughput* obtenido prueba de recepción WiFi a 100 m.

	Bandwidth	Genérico [kbps]	Kernel 15 [kbps]	Kernel 20 [kbps]
Prueba 1	11040 kbps	2330	2763	2794
Prueba 2	6624 kbps	2930	3192	2793
Prueba 3	12768 kbps	3324	2870	2563
Prueba 4	12320 kbps	2473	3253	3197

4.1.1.2. Pruebas 150 metros

A 150 metros de distancia entre el *TX* y *RX*, los datos obtenidos desde el terminal receptor se observan en la Tabla 5.2, en la Figura 5.2 se puede observar que en la prueba 1 se realiza una transmisión de 2500 pps. de 512 bytes resultando un *bandwidth* de 11040 kbps, en el que TCP NACK+15 presenta superioridad en su rendimiento en cuanto a *Throughput* de un 49% respecto a la transmisión con TCP Genérico, mientras que TCP NACK+20 presenta una mejora de un 16%. La prueba 2 se realizó con la transmisión de 1500 pps de 512 bytes, es decir un *bandwidth* de 6624 kbps, según los datos obtenidos, el desempeño de TCP NACK+15 fue un 38% superior a TCP genérico, TCP NACK+20, en cuanto a *Throughput* fue 33% superior.

La prueba 3 se realizó con la transmisión de 1500 pps de 1024 bytes, bajo este escenario se evidencia la superioridad de TCP NACK+15 con un 232% en comparación con TCP genérico, TCP NACK+20 es superior en un 281%, presentando superioridad notoria. La prueba 4 se realizó con la transmisión de 1000 pps de 1500 bytes, escenario en el que se observa superioridad frente a TCP genérico tanto de TCP NACK+15 como de TCP NACK+20 en un 318% y en un 295% respectivamente.

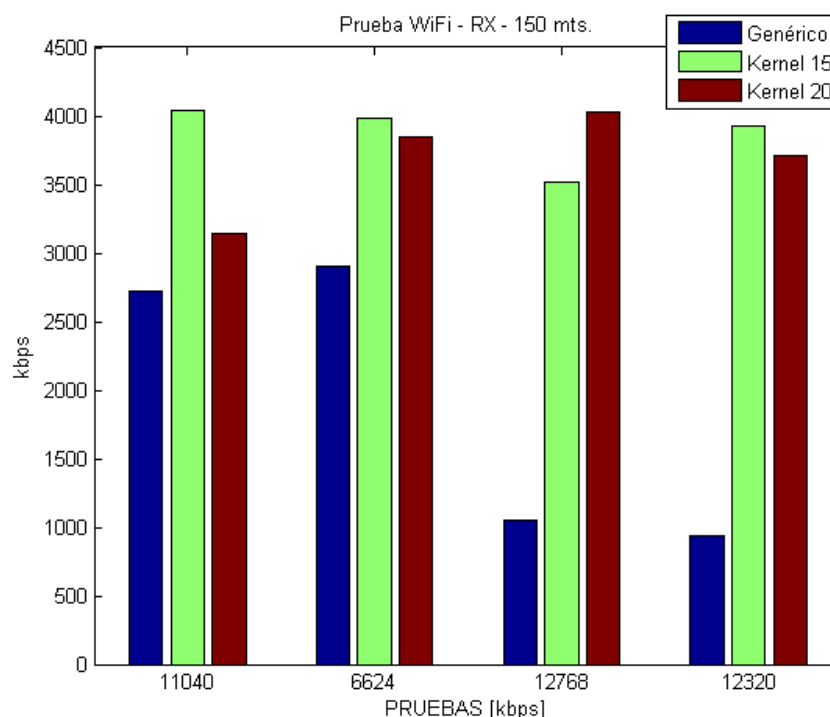


Figura 30. Throughput, prueba de recepción WiFi a 150 m.

Tabla 14. Throughput obtenido prueba de recepción WiFi 150 m

	Bandwidth	Genérico [kbps]	Kernel 15 [kbps]	Kernel 20 [kbps]
Prueba 1	11040 kbps	2717	4036	3144
Prueba 2	6624 kbps	2898	3988	3849
Prueba 3	12768 kbps	1056	3516	4031
Prueba 4	12320 kbps	938	3922	3711

4.1.1.3. Pruebas 230 metros

A 230 metros de distancia entre el TX y RX, los datos obtenidos desde el terminal receptor se observan en la Tabla 5.3, en la Figura 5.3 se puede observar que en la

prueba 1 se realiza una transmisión de 2500 pps. de 512 bytes resultando un *bandwidth* de 11040 kbps, en el que TCP NACK+15 presenta superioridad en su rendimiento en cuanto a *Throughput* de un 138% respecto a la transmisión con TCP Genérico, mientras que TCP NACK+20 disminuyó el rendimiento en un 46%. La prueba 2 se realizó con la transmisión de 1500 pps de 512 bytes, es decir un *bandwidth* de 6624 kbps, según los datos obtenidos, el desempeño de TCP NACK+15 fue un 17% superior a TCP genérico, TCP NACK+20, en cuanto a *Throughput* fue inferior en un 48.6%, donde se observa una disminución del rendimiento. La prueba 3 se realizó con la transmisión de 1500 pps de 1024 bytes, bajo este escenario se evidencia la superioridad de TCP NACK+15 con un 63% en comparación con TCP genérico, TCP NACK+20 es inferior en un 34.1%. La prueba 4 se realizó con la transmisión de 1000 pps de 1500 bytes, escenario en el que se observa superioridad de TCP genérico frente a TCP NACK+15 y de TCP NACK+20 en un 30% y en un 47% respectivamente.

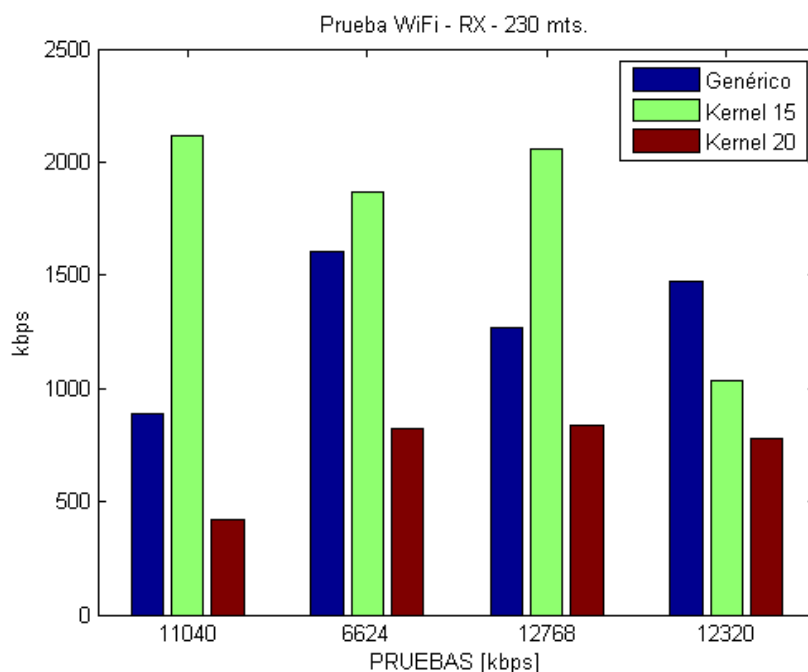


Figura 31. *Throughput* prueba de recepción WiFi a 230 m.

Tabla 15. *Throughput* obtenido prueba de recepción WiFi 230 m.

	Bandwidth	Genérico [kbps]	Kernel 15 [kbps]	Kernel 20 [kbps]
Prueba 1	11040 kbps	890	2119	417
Prueba 2	6624 kbps	1603	1868	825
Prueba 3	12768 kbps	1265	2061	834
Prueba 4	12320 kbps	1473	1033	776

4.1.1.4. Pruebas 260 metros

A 260 metros de distancia entre el TX y RX, los datos obtenidos desde el terminal receptor en las mismas transmisiones se observan en la Tabla 5.4, en la Figura 5.4 se puede observar que en la Prueba 1, en la que se realiza una transmisión de 2500 pps de 512 bytes resultando un bandwidth de 11040 kbps, TCP NACK+15 es inferior en un 35% con respecto a TCP genérico y TCP NACK+20 tuvo un rendimiento inferior en un 19%. La prueba 2 se realizó con la transmisión de 1500 pps de 512 bytes, es decir un bandwidth de 6624 kbps, según los datos obtenidos, el desempeño de TCP NACK+15 fue superior en cuanto a Throughput en un 7%, mientras TCP NACK+20 disminuyó en un 43%. La prueba 3 se realizó con la transmisión de 1500 pps de 1024 bytes, en la misma se evidencia la superioridad de TCP genérico, con respecto a TCP NACK+15 en un 8% y con respecto a TCP NACK+20 en un 28%, en la prueba 4 se transmite 1000 pps de 1500 bytes, la superioridad la presenta TCP NACK+15 con un 184%, mientras TCP NACK+20 tiene un rendimiento de un 9% superior, con respecto a TCP Genérico.

Tabla 16. *Throughput* obtenido prueba de recepción WiFi 260 m.

	Bandwidth	Genérico [kbps]	Kernel 15 [kbps]	Kernel 20 [kbps]
Prueba 1	11040 kbps	1150	746	928
Prueba 2	6624 kbps	1527	1636	871
Prueba 3	12768 kbps	1132	1040	816
Prueba 4	12320 kbps	722	2774	784

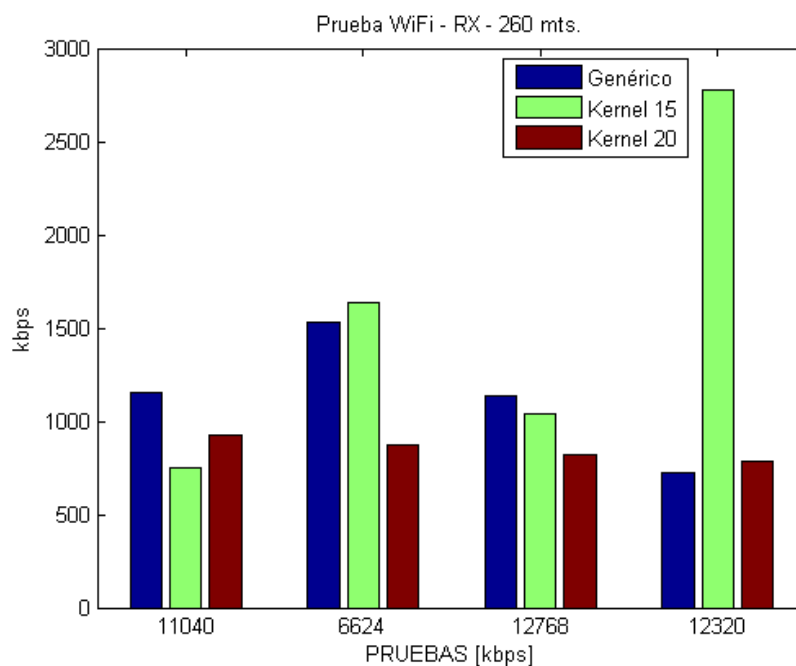


Figura 32. *Throughput* prueba de recepción WiFi a 260 m.

Tabla 17. Porcentajes de ganancias de *Throughput* a diferentes distancias

Distancias	Pruebas	Kernel 15	Kernel 20
100 m.	11040 kbps	19%	20%
	6624 kbps	9%	-5%
	12768 kbps	-14%	-23%
	12320 kbps	32%	29%
150 m.	11040 kbps	49%	16%
	6624 kbps	38%	33%
	12768 kbps	233%	282%
	12320 kbps	318%	296%
230 m.	11040 kbps	139%	-46%
	6624 kbps	30%	-54%
	12768 kbps	61%	-34%
	12320 kbps	-31%	-47%
260 m.	11040 kbps	-35%	-19%
	6624 kbps	7%	-43%
	12768 kbps	-8%	-28%
	12320 kbps	284%	9%

4.1.2. Resultados en cuanto a *jitter*.

4.1.2.1. Pruebas a 100 metros.

A 100 metros de distancia entre *TX* y *RX*, el *jitter* que se observa en la prueba 1 para TCP NACK+15 es menor con respecto a TCP genérico en un 4% y TCP NACK+20 es menor en 45%, en la prueba 2 se evidencia que TCP NACK+15 tiene un *jitter* menor respecto a TCP genérico en un 48% y TCP NACK+20 es menor en un 53%, en la prueba 3 se evidencia que TCP NACK+15 tiene un *jitter* mayor respecto a TCP genérico en un 24% y TCP NACK+20 es mayor en un 48 %, en la prueba 4 se evidencia que TCP NACK+15 tiene un *jitter* menor respecto a TCP genérico en un 34% y TCP NACK+20 es menor en un 28%.

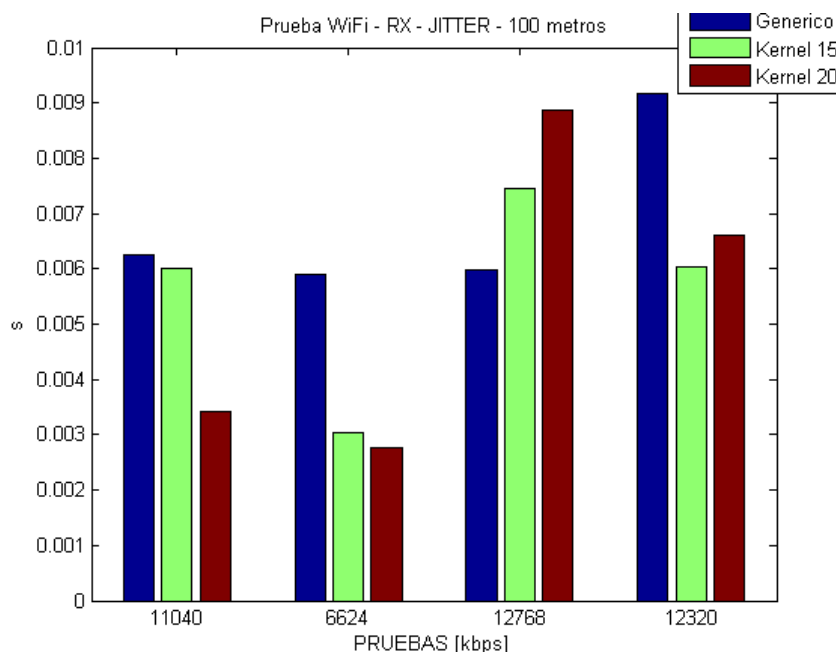


Figura 33. *Jitter* prueba de recepción WiFi a 100 m.

Tabla 18. *Jitter* obtenido prueba de recepción WiFi 100 m

	Bandwidth	Genérico [s]	Kernel 15 [s]	Kernel 20 [s]
Prueba 1	11040 kbps	0.0062505	0.006016	0.003427
Prueba 2	6624 kbps	0.005886	0.0030475	0.002765
Prueba 3	12768 kbps	0.005981	0.0074425	0.008877
Prueba 4	12320 kbps	0.00917	0.006043	0.006603

4.1.2.2. Pruebas a 150 metros.

A 100 metros de distancia entre *TX* y *RX*, el *jitter* que se observa en la prueba 1 para TCP NACK+15 es menor con respecto a TCP genérico en un 32% y TCP

NACK+20 es menor en 15%, en la prueba 2 se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter menor respecto a TCP genérico en un 23% y TCP NACK+20 es menor en un 23%, en la prueba 3 se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter menor respecto a TCP genérico en un 71% y TCP NACK+20 es menor en un 74%, en la prueba 4 se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter menor respecto a TCP genérico en un 75% y TCP NACK+20 es menor en un 75%.

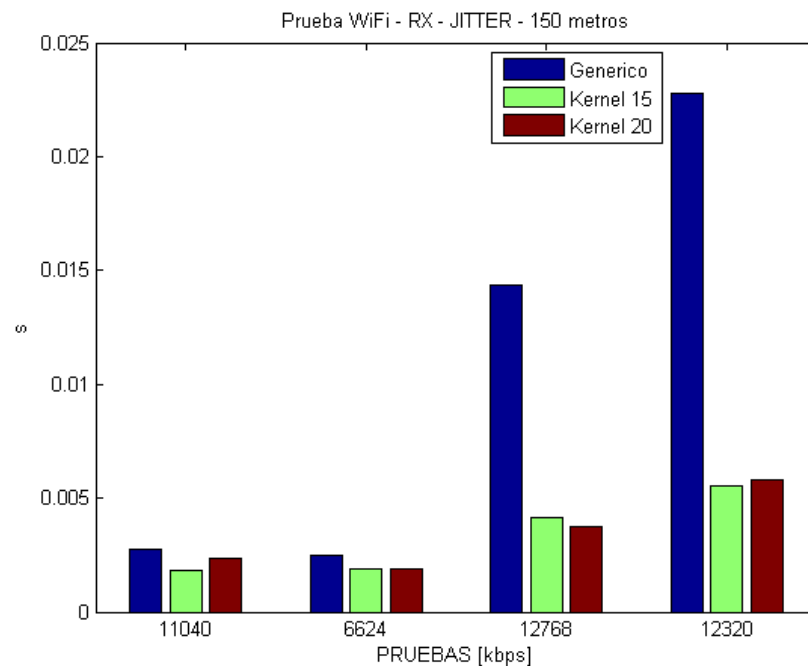


Figura 34. Jitter prueba de recepción WiFi a 150 m

Tabla 19. Jitter obtenido prueba de recepción WiFi 150 m.

	Bandwidth	Genérico [s]	Kernel 15 [s]	Kernel 20 [s]
Prueba 1	11040 kbps	0.002741	0.001847	0.002324
Prueba 2	6624 kbps	0.002454	0.001894	0.001893
Prueba 3	12768 kbps	0.014381	0.004164	0.003776
Prueba 4	12320 kbps	0.022787	0.005524	0.005779

4.1.2.3. Pruebas a 230 metros.

A 100 metros de distancia entre TX y RX, el jitter que se observa en la prueba 1 para TCP NACK+15 es menor con respecto a TCP genérico en un 58% y TCP NACK+20 es mayor en 104%, en la prueba 2 se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter menor respecto a TCP genérico en un 23% y TCP NACK+20 es mayor en

un 104%, en la prueba 3 se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter menor respecto a TCP genérico en un 32% y TCP NACK+20 es mayor en un 70%, en la prueba 4 se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter mayor respecto a TCP genérico en un 54% y TCP NACK+20 es mayor en un 103%.

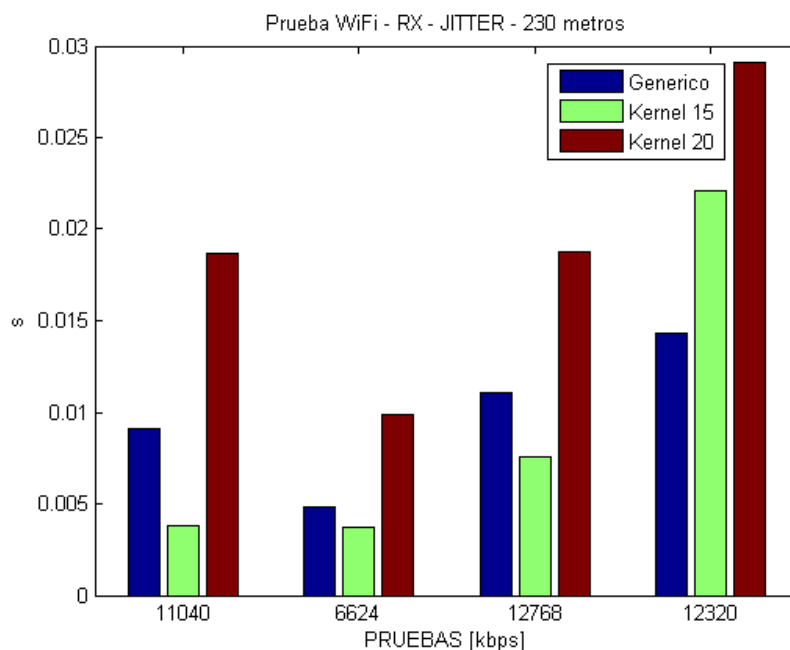


Figura 35. Jitter prueba de recepción WiFi a 230 m.

Tabla 20. Jitter obtenido prueba de recepción WiFi 230 m.

	Bandwidth	Genérico [s]	Kernel 15 [s]	Kernel 20 [s]
Prueba 1	11040 kbps	0.009114	0.003812	0.018646
Prueba 2	6624 kbps	0.004822	0.003719	0.00986
Prueba 3	12768 kbps	0.011048	0.007565	0.018747
Prueba 4	12320 kbps	0.014324	0.022054	0.029084

4.1.2.4. Pruebas a 260 metros.

A 100 metros de distancia entre TX y RX, el jitter que se observa en la prueba 1 para TCP NACK+15 es mayor con respecto a TCP genérico en un 58% y TCP NACK+20 es menor en 95%, en la prueba 2 se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter mayor respecto a TCP genérico en un 0.5% y TCP NACK+20 es mayor en un 590%, en la prueba 3 se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter mayor respecto a TCP genérico en un 0.6% y TCP NACK+20 es mayor en un 4%, en la

prueba 4 se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter menor respecto a TCP genérico en un 73% y TCP NACK+20 es menor en un 9%.

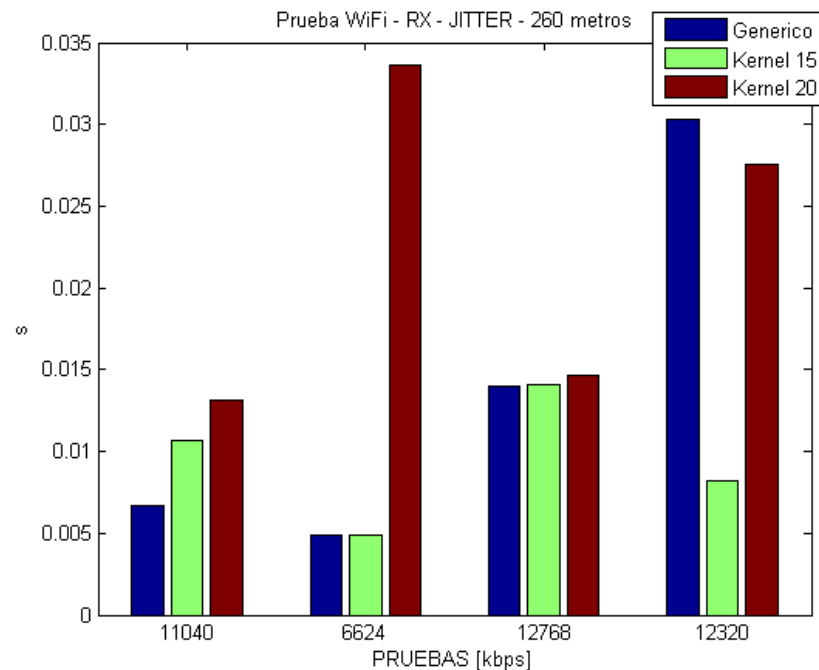


Figura 36. Jitter prueba de recepción WiFi a 260 m.

Tabla 21. Jitter obtenido prueba de recepción WiFi 260 m.

	Bandwidth	Genérico [s]	Kernel 15 [s]	Kernel 20 [s]
Prueba 1	11040 kbps	0.006716	0.010646	0.013145
Prueba 2	6624 kbps	0.004874	0.004896	0.033658
Prueba 3	12768 kbps	0.01402	0.014113	0.014657
Prueba 4	12320 kbps	0.030341	0.008174	0.027593

4.1.3. Resultados en cuanto a *delay*

4.1.3.1. Pruebas a 100 metros.

A 100 metros de distancia entre TX y RX, el *delay* que se observa en la prueba 1 para TCP NACK+15 es menor con respecto a TCP genérico en un 29% y TCP NACK+20 es menor en 20%, en la prueba 2 se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter menor respecto a TCP genérico en un 52% y TCP NACK+20 es menor en un 57%, en la prueba 3 se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter menor

respecto a TCP genérico en un 47% y TCP NACK+20 es menor en un 57%, en la prueba 4 se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter mayor respecto a TCP genérico en un 65% y TCP NACK+20 es mayor en un 79%.

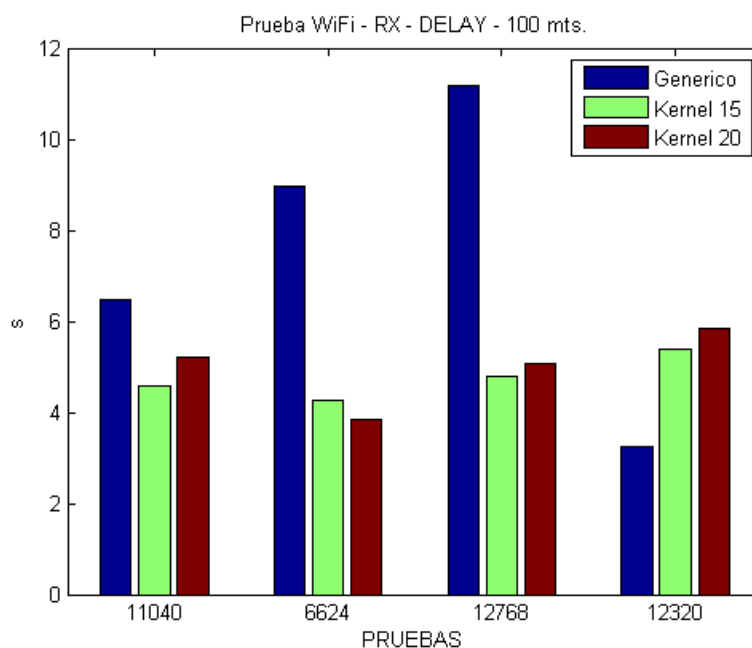


Figura 37. Delay prueba de recepción WiFi a 100 m.

Tabla 22. Delay obtenido prueba de recepción WiFi 100 m.

	Bandwidth	Genérico [s]	Kernel 15 [s]	Kernel 20 [s]
Prueba 1	11040	6.48956	4.58964	5.19584
Prueba 2	6624	8.968478	4.26594	3.8594
Prueba 3	12768	11.15998	4.79564	5.06984
Prueba 4	12320	3.25984	5.3689	5.846525

4.1.3.2. Pruebas a 150 metros.

A 150 metros de distancia entre TX y RX, el *delay* que se observa en la prueba 1 TCP NACK+15 es menor con respecto a TCP genérico en un 27% y TCP NACK+20 es menor en 19%, en la prueba 2 se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter menor respecto a TCP genérico en un 52% y TCP NACK+20 es menor en un 57%, en la prueba 3 se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter menor respecto a TCP genérico en un 57% y TCP NACK+20 es menor en un 54%, en la prueba 4 se

evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter mayor respecto a TCP genérico en un 51% y TCP NACK+20 es menor en un 74%.

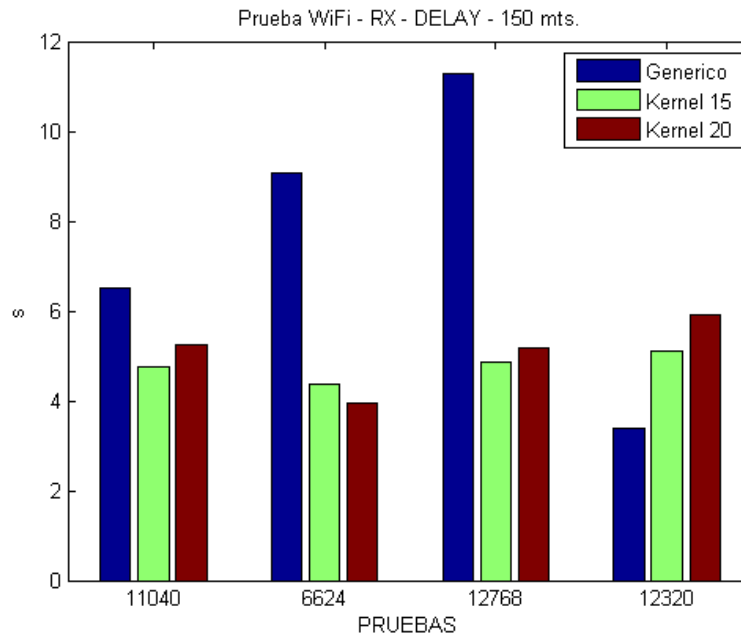


Figura 38. Delay prueba de recepción WiFi a 150 m.

Tabla 23. Delay obtenido prueba de recepción WiFi 150 m.

	Bandwidth	Genérico [s]	Kernel 15 [s]	Kernel 20 [s]
Prueba 1	11040	6.501475	4.745848	5.243637
Prueba 2	6624	9.061698	4.376469	3.938153
Prueba 3	12768	11.26977	4.867807	5.164135
Prueba 4	12320	3.398982	5.121949	5.912663

4.1.3.3. Pruebas a 230 metros.

A 230 metros de distancia entre TX y RX, el delay que se observa en la prueba 1 TCP NACK+15 es menor con respecto a TCP genérico en un 26% y TCP NACK+20 es menor en 20%, en la prueba 2 se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter menor respecto a TCP genérico en un 47% y TCP NACK+20 es menor en un 57%, en la prueba 3 se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter menor respecto a TCP genérico en un 57% y TCP NACK+20 es menor en un 53%, en la prueba 4 se

evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter mayor respecto a TCP genérico en un 70% y TCP NACK+20 es menor en un 71%.

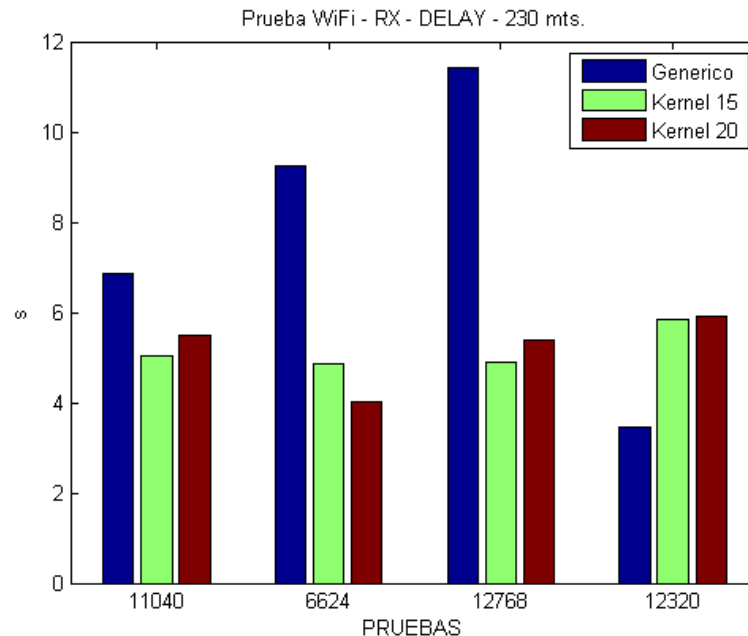


Figura 39. Delay prueba de recepción WiFi a 230 m.

Tabla 24. Delay obtenido prueba de recepción WiFi 230 m.

	Bandwidth	Genérico [s]	Kernel 15 [s]	Kernel 20 [s]
Prueba 1	11040	6.84526	5.036542	5.498658
Prueba 2	6624	9.258462	4.86254	4.001526
Prueba 3	12768	11.42103	4.899625	5.39658
Prueba 4	12320	3.452361	5.856928	5.89979

4.1.3.4. Pruebas a 260 metros.

A 260 metros de distancia entre TX y RX, el delay que se observa en la prueba 1 TCP NACK+15 es menor con respecto a TCP genérico en un 24% y TCP NACK+20 es menor en un 18%, en la prueba 2 se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter menor respecto a TCP genérico en un 46% y TCP NACK+20 es menor en un 54%, en la prueba 3 se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter menor respecto a TCP genérico en un 56% y TCP NACK+20 es menor en un 53%, en la prueba 4 se

evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter mayor respecto a TCP genérico en un 66% y TCP NACK+20 es menor en un 67%.

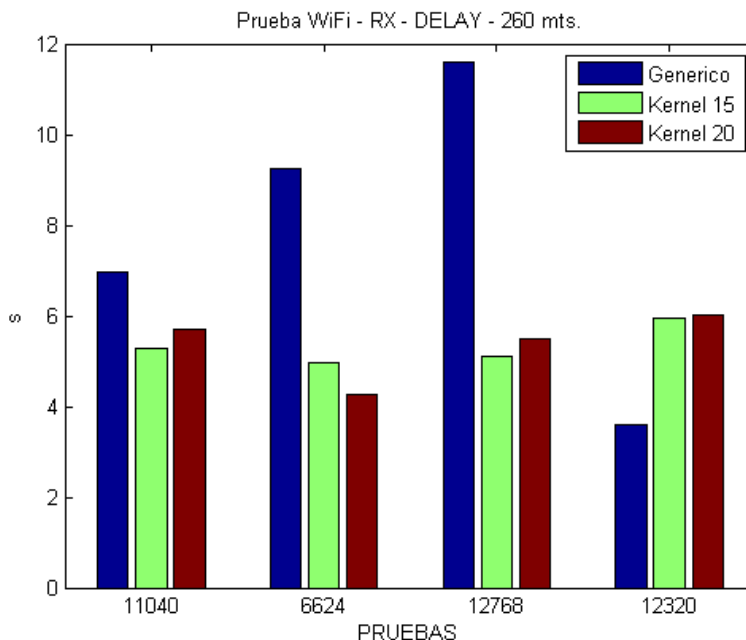


Figura 40. Delay prueba de recepción WiFi a 260 m.

Tabla 25. Delay obtenido prueba de recepción WiFi 260 m.

	Bandwidth	Genérico [s]	Kernel 15 [s]	Kernel 20 [s]
Prueba 1	11040	6.957185	5.264851	5.689541
Prueba 2	6624	9.258462	4.962547	4.261005
Prueba 3	12768	11.59621	5.100254	5.4896502
Prueba 4	12320	3.586247	5.953647	6.002569

4.2. Resultados en cuanto a *Throughput* de la inyección de tráfico en ambientes *in-door* con tecnología WiFi

4.2.1. Prueba 6 metros *in-door*

De los resultados obtenidos bajo el escenario *in-door* a 6 metros de distancia se pudo observar que TCP genérico obtuvo iguales resultados en las dos primeras pruebas y en las dos siguientes pruebas se mantuvo igual con respecto a TCP NACK+15 y con respecto a TCP NACK+20 obtuvo mejores resultados.

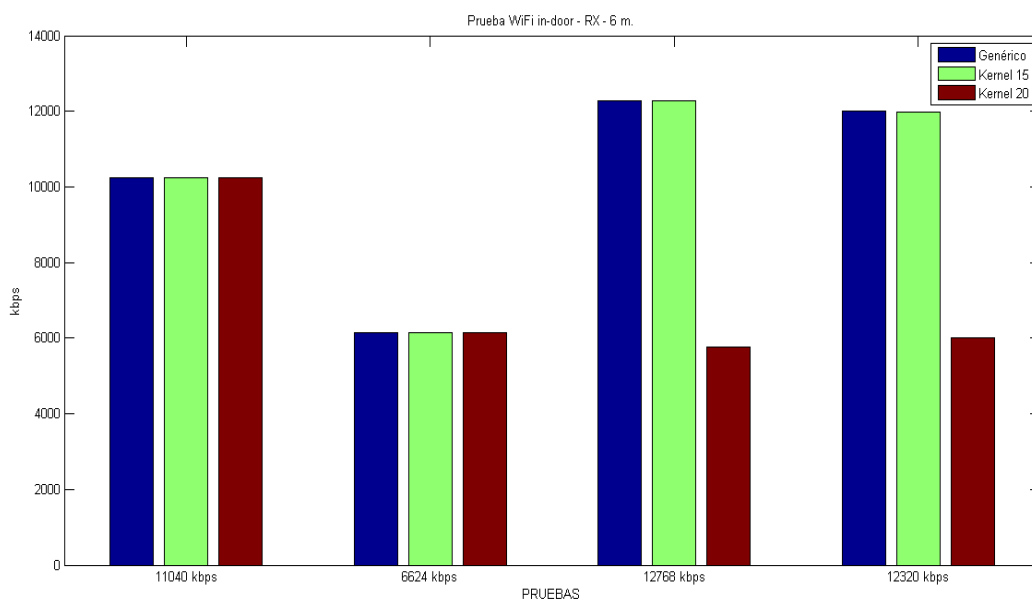


Figura 41. *Throughput* prueba de recepción WiFi a 6 m.

Tabla 26. *Throughput* obtenido prueba de recepción WiFi 6 m.

	Bandwidth	Genérico [kbps]	Kernel 15 [kbps]	Kernel 20 [kbps]
Prueba 1	11040 kbps	10238	10238	10238
Prueba 2	6624 kbps	6143	6143	6139
Prueba 3	12768 kbps	12286	12279	5777
Prueba 4	12320 kbps	11999	11992	6000

4.2.2. Prueba 12 metros *in-door*

De los datos obtenidos a partir de las transmisiones realizadas se puede indicar que en la prueba 1 TCP NACK+20 presenta una disminución del rendimiento en cuanto a *Throughput* en un 22%, mientras TCP NACK+15 presenta una ligera mejora en un 0.1%, en la prueba 2 los resultados fueron prácticamente iguales, para la prueba 3 tanto TCP NACK+15 como TCP NACK+20 presentan una mejora en un 6% en ambos casos, para la prueba 4 al contrario, tanto TCP NACK+15 como TCP NACK+20 presentan una disminución de rendimiento en cuanto a TCP genérico en un 2% y en un 5% respectivamente.

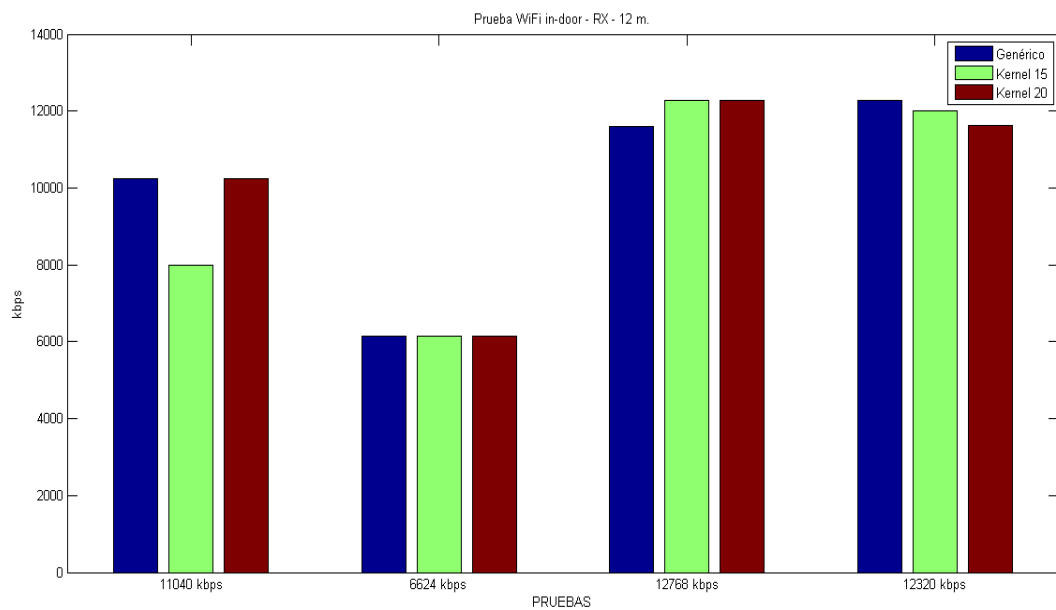


Figura 42. *Throughput* prueba de recepción WiFi a 12 m.

Tabla 27. *Throughput* obtenido prueba de recepción WiFi 12 m.

	Bandwidth	Genérico [kbps]	Kernel 15 [kbps]	Kernel 20 [kbps]
Prueba 1	11040 kbps	10232	8000	10238
Prueba 2	6624 kbps	6141	6143	6143
Prueba 3	12768 kbps	11594	12282	12286
Prueba 4	12320 kbps	12276	11996	11631

4.3. Resultados de la inyección de tráfico en ambientes *out-door* con tecnología WiMAX

Las pruebas fueron realizadas en un escenario compuesto de dos computadores cada uno con la implementación del nuevo algoritmo de TCP, mediante la máquina virtual con el kernel modificado, conectados a través de un enlace WiMAX, cada terminal se conecta a un extremo a través de una conexión Ethernet de 100 Mbps, a continuación se muestran los datos obtenidos, los mismos que mantienen coherencia con el objetivo del protocolo TCP NACK respecto a la presencia de las banderas ACK o NACK las cuáles serán las confirmaciones de éxito o fracaso en la recepción de segmentos TCP.

La latencia del enlace, y el tamaño de la transferencia son las características de las que depende la capacidad de la conexión, y el algoritmo mejora estas condiciones evidenciándose en los resultados que se muestran con una tendencia generalmente superior para los TCP modificados en alguna de sus variaciones TCP NACK+15 o TCP NACK+20, según el caso y la muestra realizada, dejando en evidencia que es más probable que se presenten pérdidas debido a la naturaleza del medio y la inestabilidad, y que el protocolo TCP modificado actúa de la manera más adecuada, reenviando los paquetes perdidos lo más rápido posible y sin reducir la ventana de congestión [6].

Es por esto que el nuevo algoritmo de TCP NACK propuesto en [7] busca ajustarse a este contexto, incrementando el desempeño de las transmisiones mediante el envío de notificaciones de error al emisor y la retransmisión de segmentos erróneos sin reducir la tasa de transmisión.

4.3.1. Resultados obtenidos en cuanto a *Throughput*

4.3.1.1. Prueba a 253 metros (Laboratorios - MED)

A 253 metros de distancia entre el TX y RX, los datos obtenidos se observan en la Figura 5.10, en la prueba 1 se realiza una transmisión de 2500 pps de 512 bytes, en el que TCP NACK+15 transmite a una velocidad inferior en un 4%, y TCP NACK+20 es superior en un 11% con respecto a TCP genérico. La prueba 2 se realizó con la transmisión de 1500 pps de 512 bytes, en este caso el desempeño de TCP NACK+15 fue superior en un 6% y TCP NACK+20 presenta un rendimiento inferior en un 4%. La prueba 3 se realizó con la transmisión de 1500 pps de 1024 bytes, en la misma se evidencia la superioridad de TCP genérico respecto a TCP NACK+15 en un 3.5% y a TCP NACK+20 en un 16%, en la cuarta muestra en la que se transmite 1000 pps de 1500 bytes, la superioridad la presenta TCP genérico, en un 9% y en un 6% respectivamente.

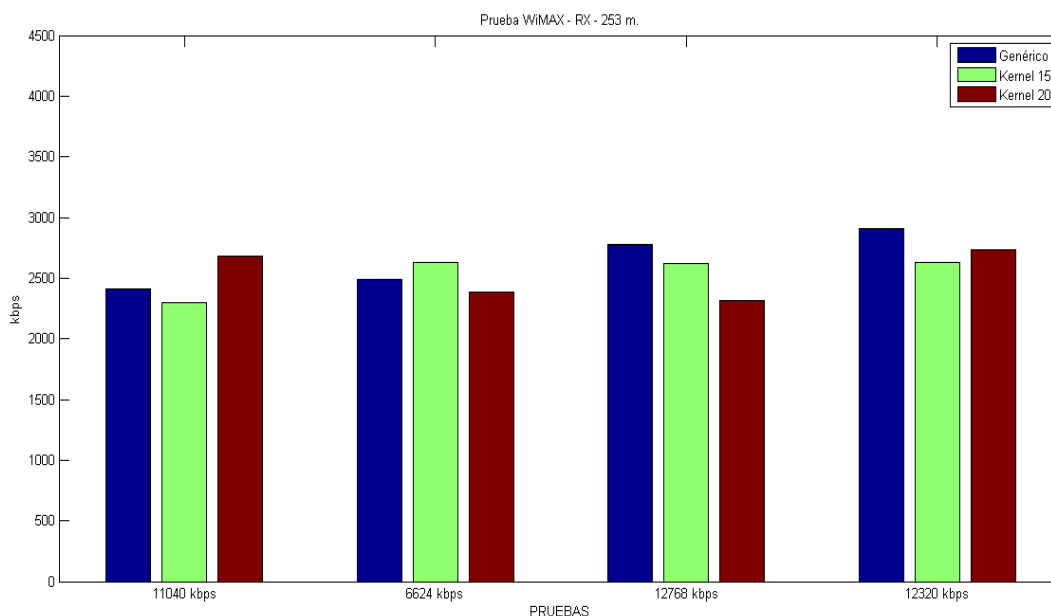


Figura 43. *Throughput* prueba de recepción WiMAX a 253 m.

Tabla 28. *Throughput* obtenido prueba de recepción WiMAX 253 m.

	Bandwidth	Genérico [kbps]	Kernel 15 [kbps]	Kernel 20 [kbps]
Prueba 1	11040 kbps	2409	2299	2678
Prueba 2	6624 kbps	2489	2632	2386
Prueba 3	12768 kbps	2774	2621	2317
Prueba 4	12320 kbps	2907	2628	2730

4.3.1.2. Prueba a 312 metros (Laboratorios - Mecánica)

A 312 metros de distancia entre el TX y RX, en la Figura 5.11 se puede observar que en la prueba 1 se realiza una transmisión de 2500 pps. de 512 bytes, en el que TCP NACK+15 presenta una mejora de un 45% en Throughput respecto a la transmisión con TCP Genérico, mientras que TCP NACK+20 presenta una mejora de un 12%. La segunda muestra se realizó con la transmisión de 1500 pps de 512 bytes, según los datos obtenidos, el desempeño de TCP NACK+15 fue un 15% superior a TCP genérico, TCP NACK+20, fue un 18% inferior. La prueba 3 se realizó con la transmisión de 1500 pps de 1024 bytes, bajo este escenario se evidencia la superioridad de TCP NACK+15 en un 15% frente a TCP genérico y TCP NACK+20 es superior en un 22%. La cuarta muestra se realizó con la transmisión de 1000 pps de 1500 bytes, escenario en el que se observa superioridad frente a TCP genérico

tanto de TCP NACK+15 como de TCP NACK+20 en un 5% y en un 1% respectivamente.

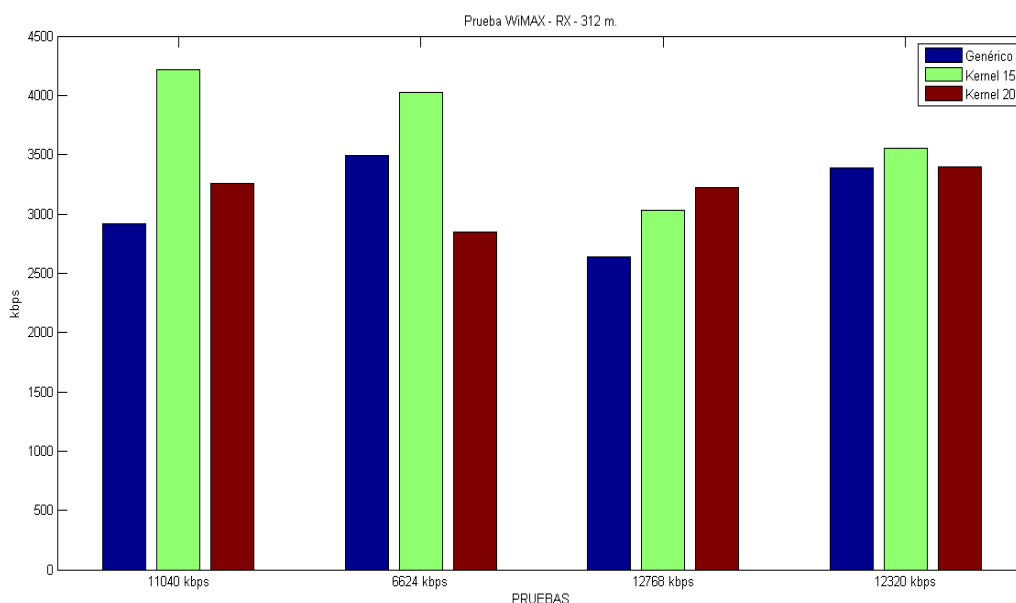


Figura 44. Figura de resultados prueba de recepción WiMAX a 312 m.

Tabla 29. *Throughput* obtenido prueba de recepción WiMAX a 312 m.

	Bandwidth	Genérico [kbps]	Kernel 15 [kbps]	Kernel 20 [kbps]
Prueba 1	11040 kbps	2913	4220	3253
Prueba 2	6624 kbps	3497	4026	2845
Prueba 3	12768 kbps	2636	3034	3223
Prueba 4	12320 kbps	3391	3556	3396

4.3.1.3. Prueba a 364 metros (Laboratorios – Ed. Administrativo)

A 364 metros de distancia entre el TX y RX, en la Figura 5.11 se puede observar que en la prueba 1 se realiza una transmisión de 2500 pps. de 512 bytes, en el que TCP NACK+15 presenta una mejora de un 11% en Throughput respecto a la transmisión con TCP Genérico, mientras que TCP NACK+20 presenta una mejora de un 3%. La prueba 2 se realizó la transmisión de 1500 pps de 512 bytes, según los datos obtenidos, el desempeño de TCP NACK+15 fue un 22% superior a TCP genérico, TCP NACK+20, fue un 11% inferior, es decir en este escenario disminuyó su rendimiento. La prueba 3 se realizó con la transmisión de 1500 pps de 1024 bytes, bajo este escenario se evidencia la superioridad de TCP NACK+15 en un 9% frente a

TCP genérico y TCP NACK+20 es inferior en un 2%. La prueba 3 se realizó con la transmisión de 1000 pps de 1500 bytes, escenario en el que se observa superioridad de TCP NACK+15 en un 28% frente a TCP genérico y TCP NACK+20 tiene un rendimiento inferior en un 10%.

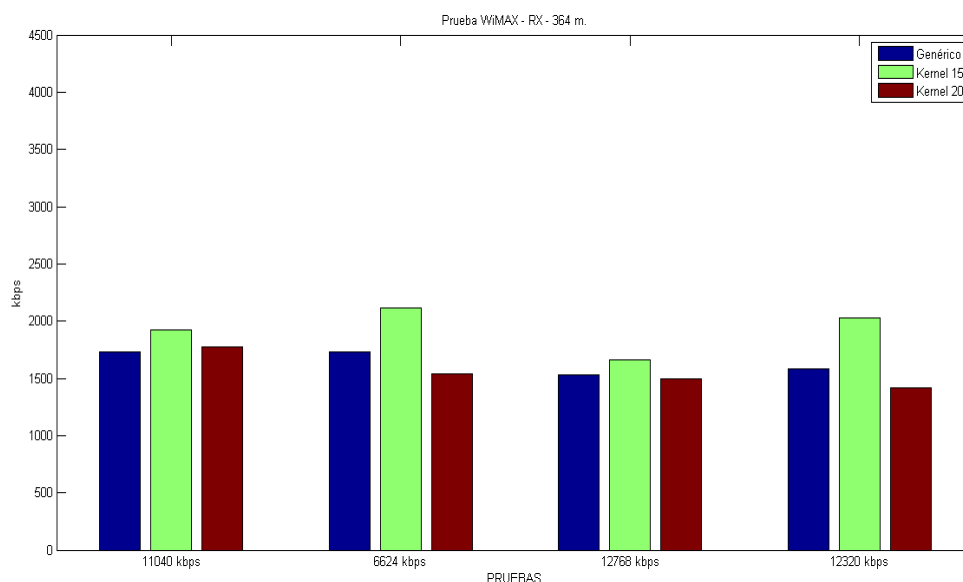


Figura 45. *Throughput* prueba de recepción WiFi a 364 m.

Tabla 30. *Throughput* obtenido prueba de recepción WiFi 364 m.

	Bandwidth	Genérico [kbps]	Kernel 15 [kbps]	Kernel 20 [kbps]
Prueba 1	11040 kbps	1728	1920	1774
Prueba 2	6624 kbps	1735	2119	1539
Prueba 3	12768 kbps	1530	1665	1497
Prueba 4	12320 kbps	1580	2029	1416

4.3.1.4. Prueba a 414 metros (Laboratorios - Coliseo)

A 414 metros de distancia entre el TX y RX, se puede observar en la Figura 5.11 que en la prueba 1 se realiza una transmisión de 2500 pps. de 512 bytes, en el que TCP NACK+15 presenta una mejora de un 867% en *Throughput* respecto a la transmisión con TCP Genérico, mientras que TCP NACK+20 presenta una mejora de un 838%. La prueba 2 se realizó con la transmisión de 1500 pps de 512 bytes, según los datos obtenidos, el desempeño de TCP NACK+15 fue un 677% superior a TCP genérico, TCP NACK+20, en cuanto a *Throughput* fue superior en un 358%. La prueba 3 se realizó con la transmisión de 1500 pps de 1024 bytes, bajo este escenario se evidencia la superioridad de TCP NACK+15 en un 172% frente a TCP genérico y TCP NACK+20 es superior en un 289%. La prueba 4 se realizó con la transmisión de

1000 pps de 1500 bytes, escenario en el que se observa superioridad frente a TCP genérico de TCP NACK+15 en un 124% y TCP NACK+20 tiene un rendimiento superior en un 118%.

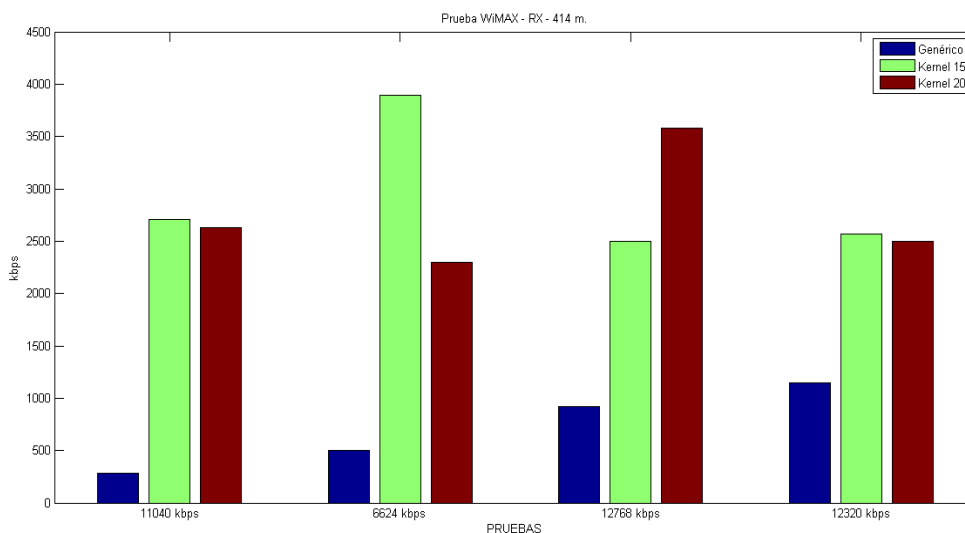


Figura 46. *Throughput* prueba de recepción WiMAX a 414 m.

Tabla 31. *Throughput* obtenido prueba de recepción WiMAX 414 m.

	Bandwidth	Genérico [kbps]	Kernel 15 [kbps]	Kernel 20 [kbps]
Prueba 1	11040 kbps	280	2709	2628
Prueba 2	6624 kbps	501	3897	2295
Prueba 3	12768 kbps	918	2502	3580
Prueba 4	12320 kbps	1143	2566	2499,5

4.3.1.5. Prueba a 427 metros (Laboratorios – Centro Médico)

A 427 metros de distancia entre el TX y RX, se puede observar en la Figura 5.18 que en la prueba 1 se realiza una transmisión de 2500 pps. de 512 bytes, en el que TCP NACK+15 presenta una disminución del rendimiento en un 11% en Throughput respecto a la transmisión con TCP Genérico, mientras que TCP NACK+20 presenta una disminución de un 2%. La prueba 2 se realizó con la transmisión de 1500 pps de 512 bytes, según los datos obtenidos, el desempeño de TCP NACK+15 fue un 5% superior a TCP genérico, TCP NACK+20, en cuanto a Throughput fue superior en un 14%. La prueba 3 se realizó con la transmisión de 1500 pps de 1024 bytes, bajo este escenario TCP NACK+15 es inferior en un 19.5% frente a TCP genérico y TCP NACK+20 es inferior en un 3%. La prueba 4 se realizó con la transmisión de 1000 pps de 1500 bytes, escenario en el que se observa superioridad frente a TCP genérico

de TCP NACK+15 en un 1% y TCP NACK+20 es tiene un rendimiento superior en un 27.4%.

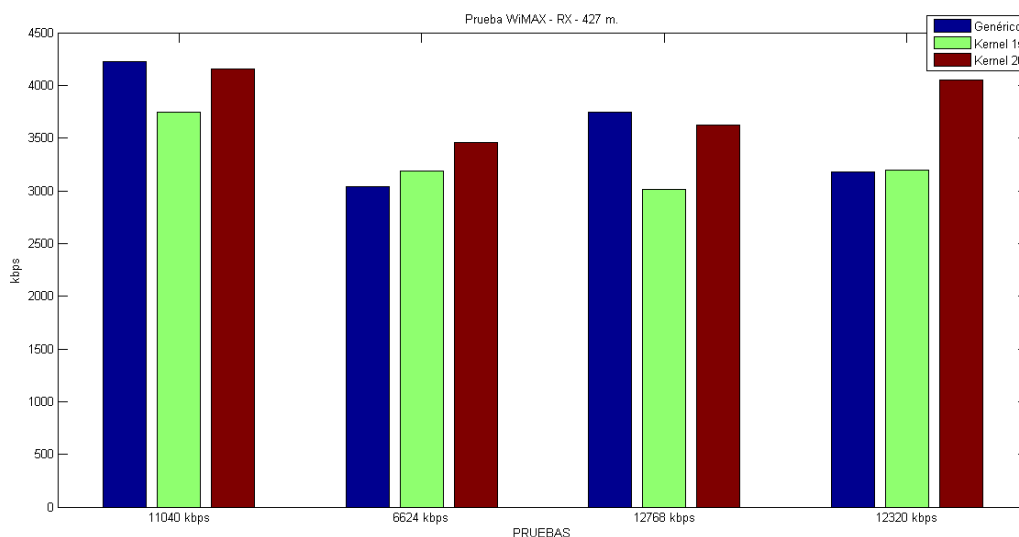


Figura 47. Throughput prueba de recepción WiMAX a 427 m.

Tabla 32. Throughput obtenido prueba de recepción WiMAX 427 m.

	Bandwidth	Genérico [kbps]	Kernel 15 [kbps]	Kernel 20 [kbps]
Prueba 1	11040 kbps	4227	3745	4155
Prueba 2	6624 kbps	3040	3186	3457
Prueba 3	12768 kbps	3748	3017	3627
Prueba 4	12320 kbps	3178	3200	4049

4.3.1.6. Prueba a 826 metros (Laboratorios - Transportes)

A 826 metros de distancia entre el TX y RX, en la prueba 1 se realiza una transmisión de 2500 pps de 512 bytes, donde se observa un mejor desempeño de TCP genérico en un 8% respecto a TCP NACK+15 y de 29% respecto a TCP NACK+20, en la prueba 2 se realizó la transmisión de 1500 pps de 512 bytes, en el que se evidencia mejores resultados para TCP NACK+15 en un 1% y TCP NACK+20 disminuye el rendimiento en un 20%, la prueba 3 se realizó con la transmisión de 1500 pps de 1024 bytes con la que obtuvo mejores resultados TCP NACK+15 en un 4% y TCP NACK+20 disminuyó en un 18%, en la prueba 4 en la que se transmite 1000 pps de 1500 bytes, la superioridad la presenta TCP NACK+15 en un 25% y TCP NACK+20 en un 67%.

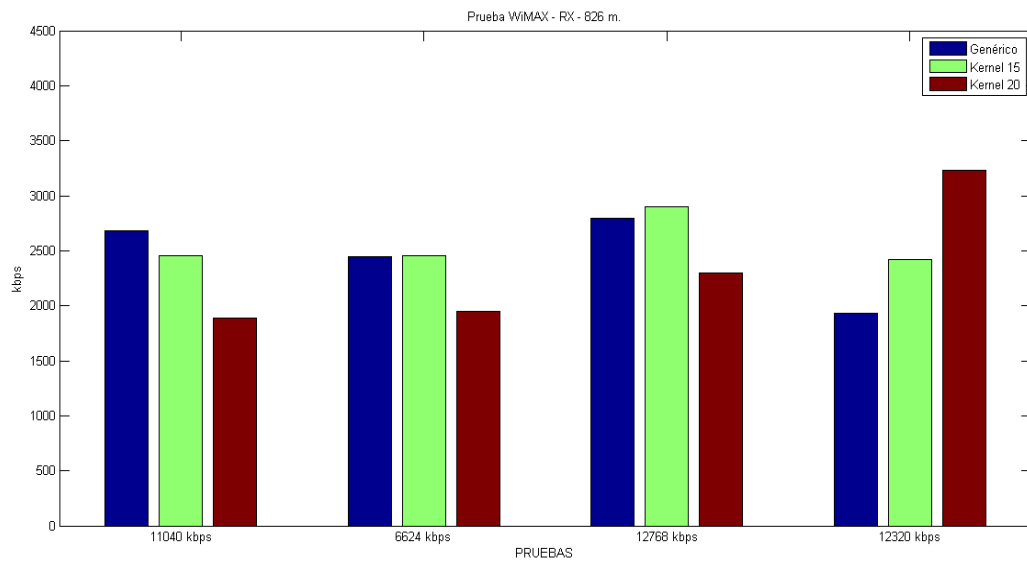


Figura 48. Throughput prueba de recepción WiMAX a 826 m.

Tabla 33. Throughput obtenidos prueba de recepción WiMAX 826 m.

	Bandwidth	Genérico [kbps]	Kernel 15 [kbps]	Kernel 20 [kbps]
Prueba 1	11040 kbps	2678	2459	1884
Prueba 2	6624 kbps	2443	2458	1946
Prueba 3	12768 kbps	2794	2897	2295
Prueba 4	12320 kbps	1936	2417	3235

Tabla 34. Ganancias porcentuales en *Throughput* de TCP NACK frente a TCP genérico

Distancias	Pruebas	KERNEL 15	KERNEL 20
253 m.	11040 kbps	-5%	11%
	6624 kbps	6%	-4%
	12768 kbps	-6%	-16%
	12320 kbps	-10%	-6%
312 m.	11040 kbps	45%	12%
	6624 kbps	15%	-19%
	12768 kbps	15%	22%
	12320 kbps	5%	0%
364 m.	11040 kbps	11%	3%
	6624 kbps	22%	-11%
	12768 kbps	9%	-2%
	12320 kbps	28%	-10%
414 m.	11040 kbps	868%	839%
	6624 kbps	678%	358%
	12768 kbps	173%	290%
	12320 kbps	124%	119%
427 m.	11040 kbps	-11%	-2%
	6624 kbps	5%	14%
	12768 kbps	-20%	-3%
	12320 kbps	1%	27%
826 m.	11040 kbps	-8%	-30%
	6624 kbps	1%	-20%
	12768 kbps	4%	-18%
	12320 kbps	25%	67%

4.3.2. Resultados obtenidos en cuanto a *jitter*

4.3.2.1. Prueba a 253 metros (Laboratorios - MED)

A 253 metros de distancia entre TX y RX, el jitter que se observa en la prueba 1 para TCP NACK+15 es menor con respecto a TCP genérico en un 4% y TCP NACK+20 es menor en 10%, en la prueba 2 se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter menor respecto a TCP genérico en un 11% y TCP NACK+20 es menor en un 2%, en la prueba 3 se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter mayor respecto a TCP genérico en un 7% y TCP NACK+20 es mayor en un 14%, en la prueba 4 se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter mayor respecto a TCP genérico en un 14% y TCP NACK+20 es mayor en un 9%.

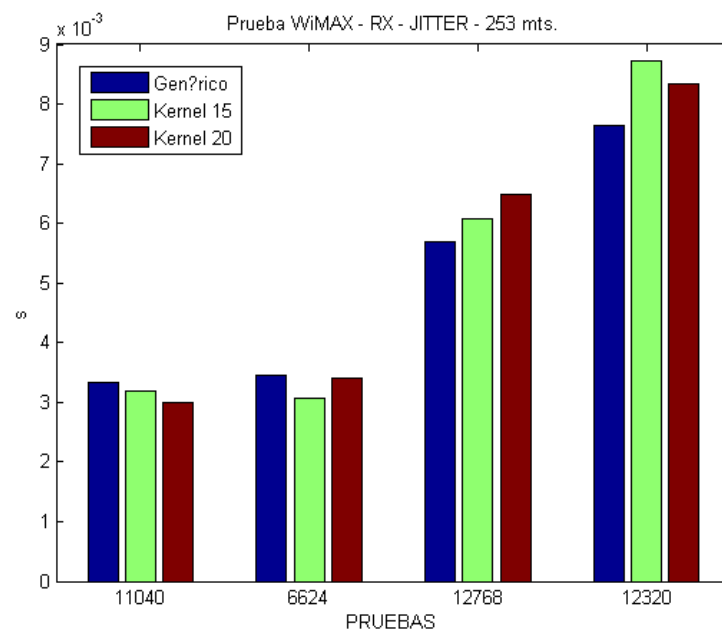


Figura 49. *Jitter* prueba de recepción WiMAX a 312 m.

Tabla 35. *Jitter* obtenido, prueba de recepción WiMAX 312 m.

	Bandwidth	Genérico [s]	Kernel 15 [s]	Kernel 20 [s]
Prueba 1	11040 kbps	0,00334	0,00319	0,00299
Prueba 2	6624 kbps	0,00346	0,00307	0,0034
Prueba 3	12768 kbps	0,00568	0,00607	0,00649
Prueba 4	12320 kbps	0,00764	0,00873	0,00834

4.3.2.2. Prueba a 312 metros (Laboratorios - Mecánica)

A 312 metros de distancia entre TX y RX, el jitter que se observa en la prueba 1 para TCP NACK+15 es menor con respecto a TCP genérico en un 31% y TCP NACK+20 es menor en 13%, en la prueba 2 se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter menor respecto a TCP genérico en un 12% y TCP NACK+20 es mayor en un 24%, en la prueba 3 se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter menor respecto a TCP genérico en un 32% y TCP NACK+20 es mayor en un 18%, en la prueba 4 se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter menor respecto a TCP genérico en un 5% y TCP NACK+20 es menor en un 1%.

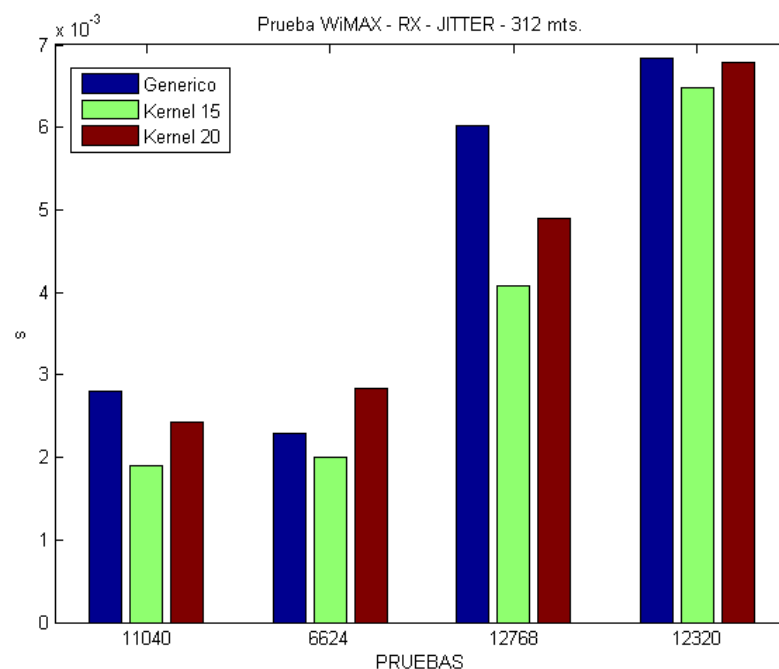


Figura 50. *Jitter* prueba de recepción WiMAX a 312 m.

Tabla 36 *Jitter* obtenido, prueba de recepción WiMAX 312 m.

	Bandwidth	Genérico [s]	Kernel 15 [s]	Kernel 20 [s]
Prueba 1	11040 kbps	0,0028	0,00191	0,00242
Prueba 2	6624 kbps	0,00229	0,002	0,00283
Prueba 3	12768 kbps	0,00603	0,00408	0,00489
Prueba 4	12320 kbps	0,00684	0,00648	0,00679

4.3.2.3. Prueba a 364 metros (Laboratorios – Ed. Administrativo)

A 364 metros de distancia entre TX y RX, el jitter que se observa en la prueba 1 para TCP NACK+15 es mayor con respecto a TCP genérico en un 11% y TCP NACK+20 es mayor en 7%, en la prueba 2 se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter mayor respecto a TCP genérico en un 23% y TCP NACK+20 es mayor en un 38%, en la prueba 3 se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter mayor respecto a TCP genérico en un 8% y TCP NACK+20 es mayor en un 10%, en la prueba 4 se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter mayor respecto a TCP genérico en un 25% y TCP NACK+20 es menor en un 35%.

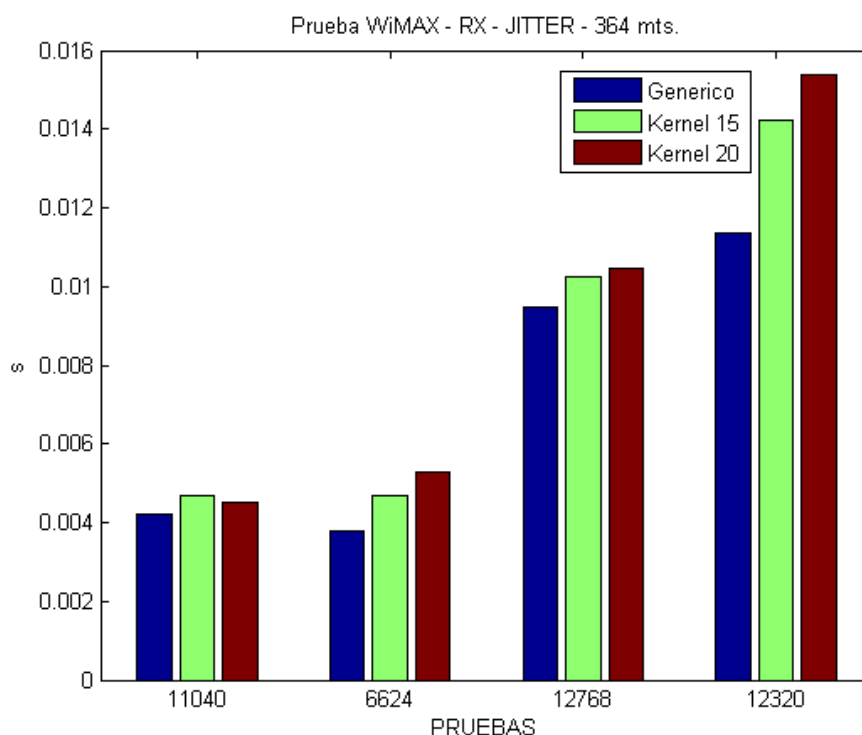


Figura 51. Jitter prueba de recepción WiMAX a 312 m.

Tabla 37. Jitter obtenido, prueba de recepción WiMAX 312 m.

	Bandwidth	Genérico [s]	Kernel 15 [s]	Kernel 20 [s]
Prueba 1	11040 kbps	0,00422	0,00469	0,00453
Prueba 2	6624 kbps	0,00379	0,00468	0,00526
Prueba 3	12768 kbps	0,00946	0,0102	0,0105
Prueba 4	12320 kbps	0,0113	0,0142	0,0154

4.3.2.4. Prueba a 414 metros (Laboratorios - Coliseo)

A 414 metros de distancia entre TX y RX, el jitter que se observa en la prueba 1 para TCP NACK+15 es menor con respecto a TCP genérico en un 83% y TCP

NACK+20 es menor en 81%, en la prueba 2 se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter menor respecto a TCP genérico en un 83% y TCP NACK+20 es menor en un 71%, en la prueba 3 se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter menor respecto a TCP genérico en un 62% y TCP NACK+20 es menor en un 74%, en la prueba 4 se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter menor respecto a TCP genérico en un 55% y TCP NACK+20 es menor en un 54%.

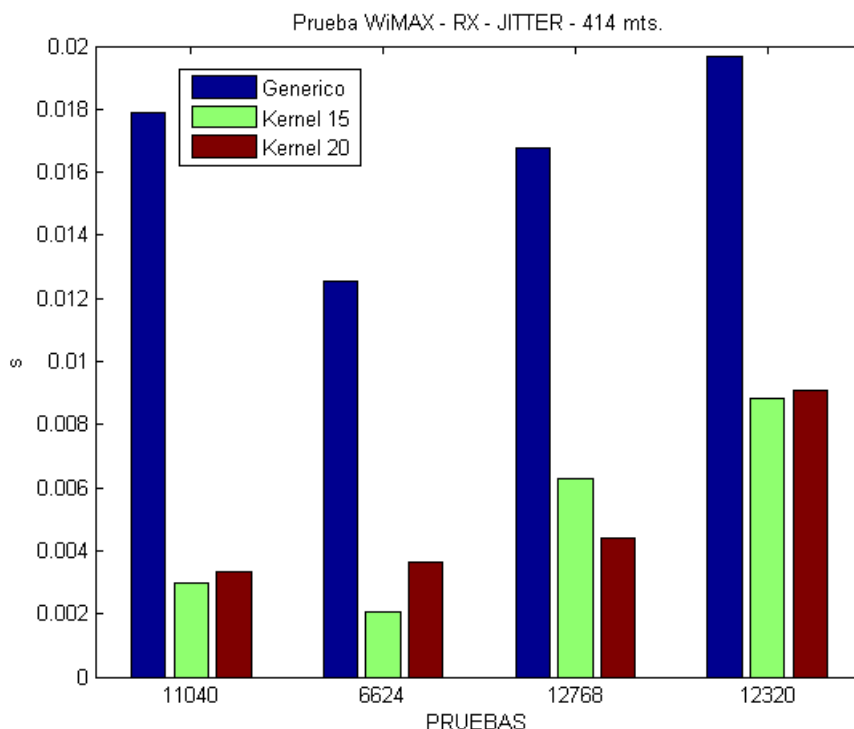


Figura 52. Jitter prueba de recepción WiMAX a 414 m.

Tabla 38. Jitter obtenido, prueba de recepción WiMAX 414 m.

	Bandwidth	Genérico [s]	Kernel 15 [s]	Kernel 20 [s]
Prueba 1	11040 kbps	0,0179	0,00299	0,00332
Prueba 2	6624 kbps	0,0125	0,00207	0,00365
Prueba 3	12768 kbps	0,0168	0,0063	0,0044
Prueba 4	12320 kbps	0,0196	0,00885	0,00908

4.3.2.5. Prueba a 427 metros (Laboratorios – Centro Médico)

A 427 metros de distancia entre TX y RX, el jitter que se observa en la prueba 1 para TCP NACK+15 es mayor con respecto a TCP genérico en un 275% y TCP NACK+20 es menor en 4%, en la prueba 2 se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter mayor respecto a TCP genérico en un 170% y TCP NACK+20 es menor en un

12%, en la prueba 3 se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter mayor respecto a TCP genérico en un 68% y TCP NACK+20 es mayor en un 3%, en la prueba 4 se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter menor respecto a TCP genérico en un 1% y TCP NACK+20 es menor en un 21%.

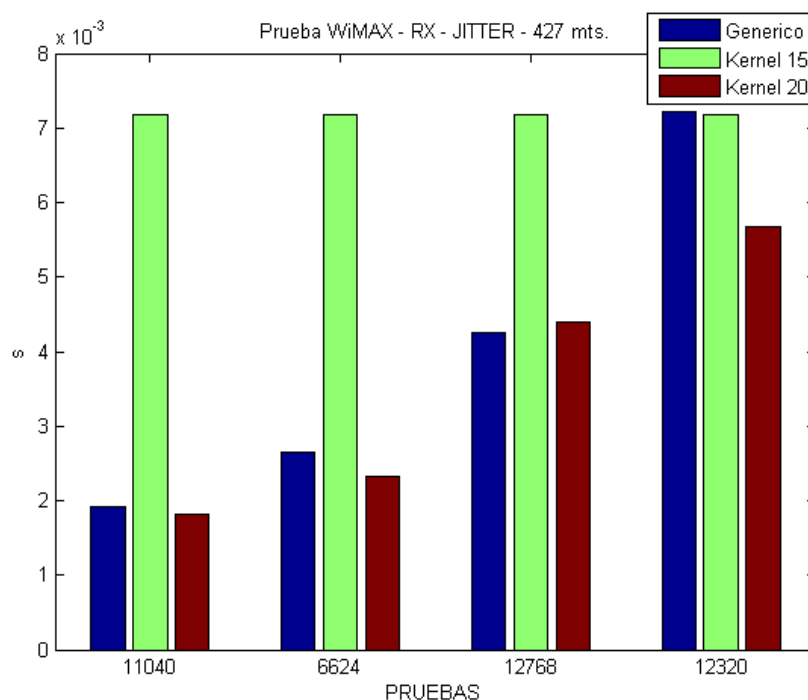


Figura 53. Jitter prueba de recepción WiMAX a 427 m.

Tabla 39. Jitter obtenido, prueba de recepción WiMAX 427 m.

	Bandwidth	Genérico [s]	Kernel 15 [s]	Kernel 20 [s]
Prueba 1	11040 kbps	0,00191	0,00718	0,00183
Prueba 2	6624 kbps	0,00265	0,00718	0,00233
Prueba 3	12768 kbps	0,00426	0,00718	0,0044
Prueba 4	12320 kbps	0,00722	0,00718	0,00568

4.3.2.6. Prueba a 826 metros (Laboratorios - Transportes)

A 826 metros de distancia entre TX y RX, el jitter que se observa en la prueba 1 para TCP NACK+15 es mayor con respecto a TCP genérico en un 9% y TCP NACK+20 es mayor en 42%, en la prueba 2 se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter menor respecto a TCP genérico en un 2% y TCP NACK+20 es mayor en un 24%, en la prueba 3 se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter menor respecto a TCP genérico en un 5% y TCP NACK+20 es mayor en un 18%, en la prueba 4 se

evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter menor respecto a TCP genérico en un 20% y TCP NACK+20 es menor en un 40%.

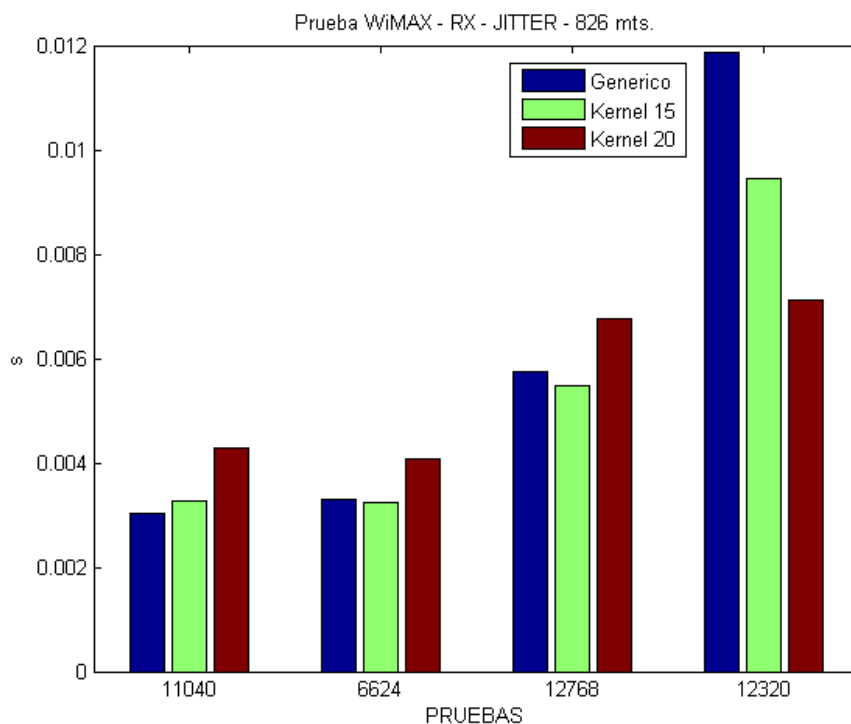


Figura 54. Jitter prueba de recepción WiMAX a 826 m.

Tabla 40. Jitter obtenido, prueba de recepción WiMAX 826 m.

	Bandwidth	Genérico [s]	Kernel 15 [s]	Kernel 20 [s]
Prueba 1	11040 kbps	0,00302	0,00328	0,00427
Prueba 2	6624 kbps	0,0033	0,00324	0,00409
Prueba 3	12768 kbps	0,00573	0,00547	0,00677
Prueba 4	12320 kbps	0,0119	0,00945	0,00713

4.3.3. Resultados obtenidos en cuanto a *delay*

4.3.3.1. Prueba a 253 metros (Laboratorios - MED)

A 253 metros de distancia entre TX y RX, el *delay* que se observa en la prueba 1 para TCP NACK+15 es menor con respecto a TCP genérico en un 34% y TCP NACK+20 es menor en 18%, en la prueba 2 se evidencia que TCP NACK+15 tiene un *delay* menor respecto a TCP genérico en un 28% y TCP NACK+20 es menor en un 10%, en la prueba 3 se evidencia que TCP NACK+15 tiene un *delay* menor respecto a TCP genérico en un 23% y TCP NACK+20 es menor en un 5%, en la

prueba 4 se evidencia que TCP NACK+15 tiene un *delay* menor respecto a TCP genérico en un 17% y TCP NACK+20 es mayor en un 7%.

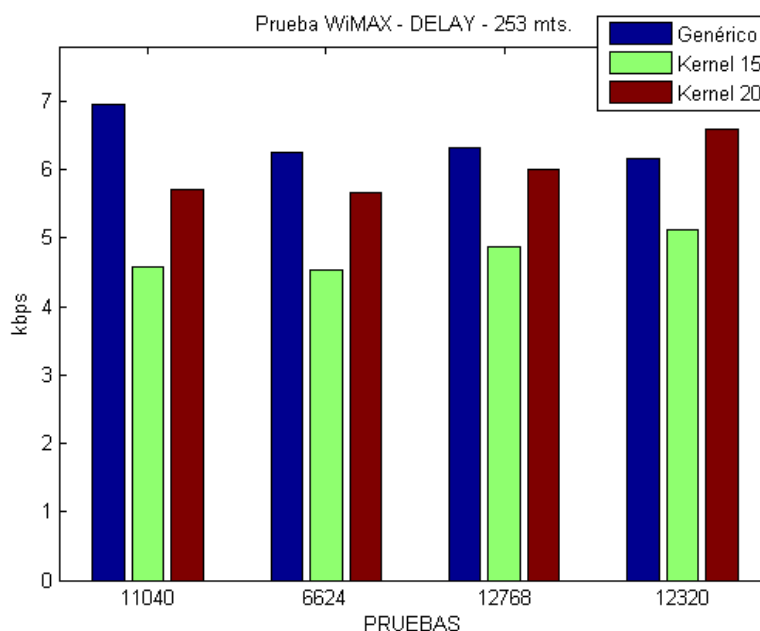


Figura 55. Delay prueba de recepción WiMAX a 253 m.

Tabla 41. Delay obtenido, prueba de recepción WiMAX 253 m.

	Bandwidth	Genérico [s]	Kernel 15 [s]	Kernel 20 [s]
Prueba 1	11040	6.95846	4.58799	5.69854
Prueba 2	6624	6.25984	4.52648	5.658745
Prueba 3	12768	6.32546	4.86978	6.002564
Prueba 4	12320	6.15645	5.120325	6.58942

4.3.3.2. Prueba a 312 metros (Laboratorios - Mecánica)

A 312 metros de distancia entre TX y RX, el delay que se observa en la prueba 1 para TCP NACK+15 es menor con respecto a TCP genérico en un 33% y TCP NACK+20 es menor en 24%, en la prueba 2 se evidencia que TCP NACK+15 tiene un delay menor respecto a TCP genérico en un 24% y TCP NACK+20 es menor en un 14%, en la prueba 3 se evidencia que TCP NACK+15 tiene un delay menor respecto a TCP genérico en un 22% y TCP NACK+20 es menor en un 9%, en la prueba 4 se evidencia que TCP NACK+15 tiene un delay menor respecto a TCP genérico en un 20% y TCP NACK+20 es menor en un 4%.

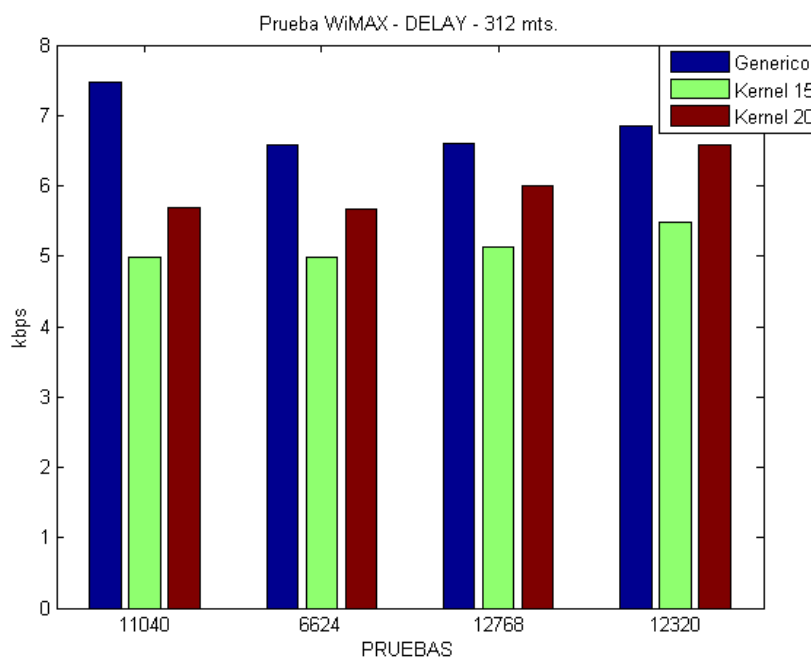


Figura 56. Delay prueba de recepción WiMAX a 312 m.

Tabla 42. Delay obtenido, prueba de recepción WiMAX 312 m.

	Bandwidth	Genérico [s]	Kernel 15 [s]	Kernel 20 [s]
Prueba 1	11040	7,46554	4,98651	5,69854
Prueba 2	6624	6,58462	4,9865	5,658745
Prueba 3	12768	6,59874	5,126894	6,002564
Prueba 4	12320	6,854785	5,48951	6,58942

4.3.3.3. Prueba a 364 metros (Laboratorios – Ed. Administrativo)

A 364 metros de distancia entre TX y RX, el delay que se observa en la prueba 1 para TCP NACK+15 es menor con respecto a TCP genérico en un 23% y TCP NACK+20 es menor en 17%, en la prueba 2 se evidencia que TCP NACK+15 tiene un delay menor respecto a TCP genérico en un 25% y TCP NACK+20 es menor en un 15%, en la prueba 3 se evidencia que TCP NACK+15 tiene un delay menor respecto a TCP genérico en un 22% y TCP NACK+20 es menor en un 9%, en la prueba 4 se evidencia que TCP NACK+15 tiene un delay menor respecto a TCP genérico en un 16% y TCP NACK+20 es menor en un 5%.

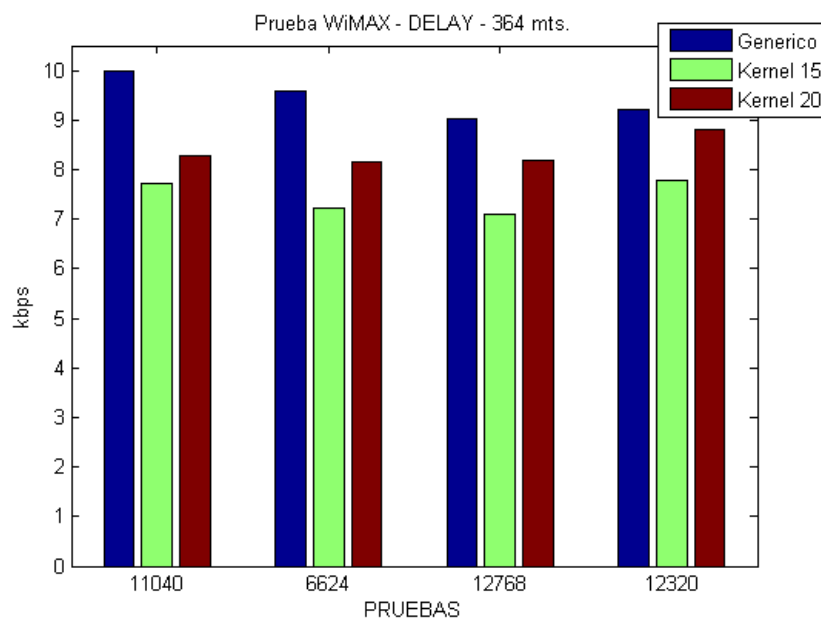


Figura 57. Delay prueba de recepción WiMAX a 364 m.

Tabla 43. Delay obtenido, prueba de recepción WiMAX 364 m.

	Bandwidth	Genérico [s]	Kernel 15 [s]	Kernel 20 [s]
Prueba 1	11040	9,985641	7,7138382	8,26646787
Prueba 2	6624	9,589456	7,22496066	8,15098569
Prueba 3	12768	9,0386563	7,09447671	8,18708602
Prueba 4	12320	9,22493074	7,78509526	8,80897297

4.3.3.4. Prueba a 414 metros (Laboratorios - Coliseo)

A 414 metros de distancia entre TX y RX, el delay que se observa en la prueba 1 para TCP NACK+15 es menor con respecto a TCP genérico en un 17% y TCP NACK+20 es menor en 13%, en la prueba 2 se evidencia que TCP NACK+15 tiene un delay menor respecto a TCP genérico en un 23% y TCP NACK+20 es mayor en un 3%, en la prueba 3 se evidencia que TCP NACK+15 tiene un delay menor respecto a TCP genérico en un 18% y TCP NACK+20 es menor en un 10%, en la prueba 4 se evidencia que TCP NACK+15 tiene un delay menor respecto a TCP genérico en un 8% y TCP NACK+20 es menor en un 8%.

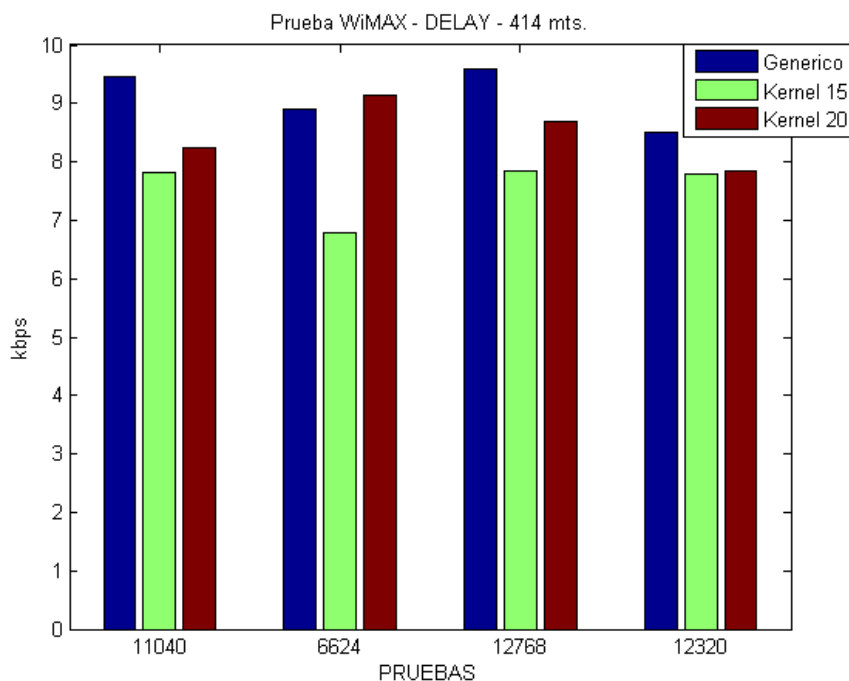


Figura 58. Delay prueba de recepción WiMAX a 414 m.

Tabla 44. Delay obtenido, prueba de recepción WiMAX 414 m.

	Bandwidth	Genérico [s]	Kernel 15 [s]	Kernel 20 [s]
Prueba 1	11040	9,46413854	7,81106756	8,23006805
Prueba 2	6624	8,90807484	6,78686954	9,13839606
Prueba 3	12768	9,58989191	7,85486313	8,67742606
Prueba 4	12320	8,49514818	7,802796	7,84593797

4.3.3.5. Prueba a 427 metros (Laboratorios – Centro Médico)

A 427 metros de distancia entre TX y RX, el delay que se observa en la prueba 1 para TCP NACK+15 es menor con respecto a TCP genérico en un 20% y TCP NACK+20 es menor en 13%, en la prueba 2 se evidencia que TCP NACK+15 tiene un delay menor respecto a TCP genérico en un 31% y TCP NACK+20 es menor en un 22%, en la prueba 3 se evidencia que TCP NACK+15 tiene un delay menor respecto a TCP genérico en un 31% y TCP NACK+20 es menor en un 25%, en la prueba 4 se evidencia que TCP NACK+15 tiene un delay menor respecto a TCP genérico en un 29% y TCP NACK+20 es menor en un 25%.

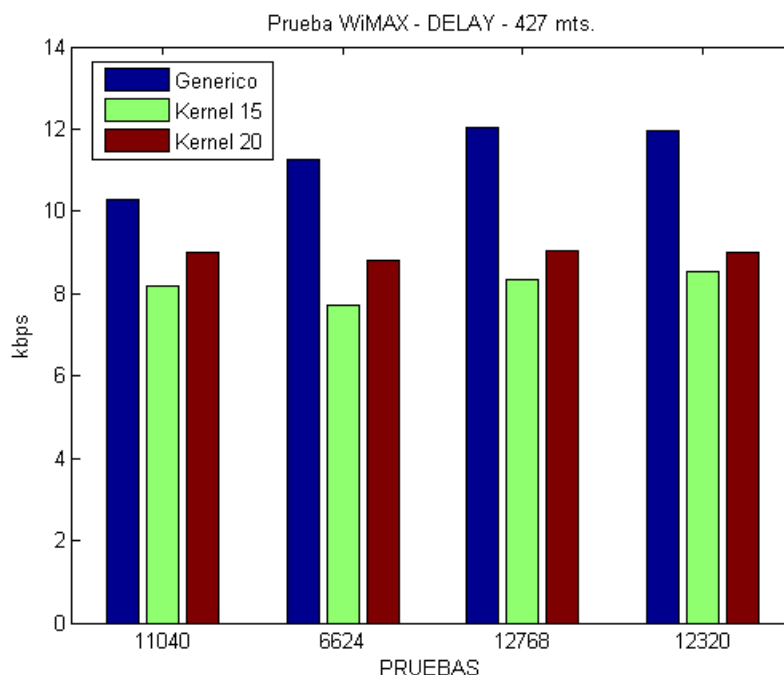


Figura 59. Delay prueba de recepción WiMAX a 427 m.

Tabla 45. Delay obtenido, prueba de recepción WiMAX 427 m.

	Bandwidth	Genérico [s]	Kernel 15 [s]	Kernel 20 [s]
Prueba 1	11040	10,279713	8,17375561	8,98526352
Prueba 2	6624	11,2620493	7,7297968	8,82450258
Prueba 3	12768	12,0360219	8,32643577	9,03918643
Prueba 4	12320	11,9670681	8,52315832	9,00778893

4.3.3.6. Prueba a 826 metros (Laboratorios - Transportes)

A 826 metros de distancia entre TX y RX, el delay que se observa en la prueba 1 para TCP NACK+15 es menor con respecto a TCP genérico en un 21% y TCP NACK+20 es menor en 13%, en la prueba 2 se evidencia que TCP NACK+15 tiene un delay menor respecto a TCP genérico en un 31% y TCP NACK+20 es menor en un 21%, en la prueba 3 se evidencia que TCP NACK+15 tiene un delay menor respecto a TCP genérico en un 31% y TCP NACK+20 es menor en un 32%, en la prueba 4 se evidencia que TCP NACK+15 tiene un delay menor respecto a TCP genérico en un 29% y TCP NACK+20 es menor en un 31%.

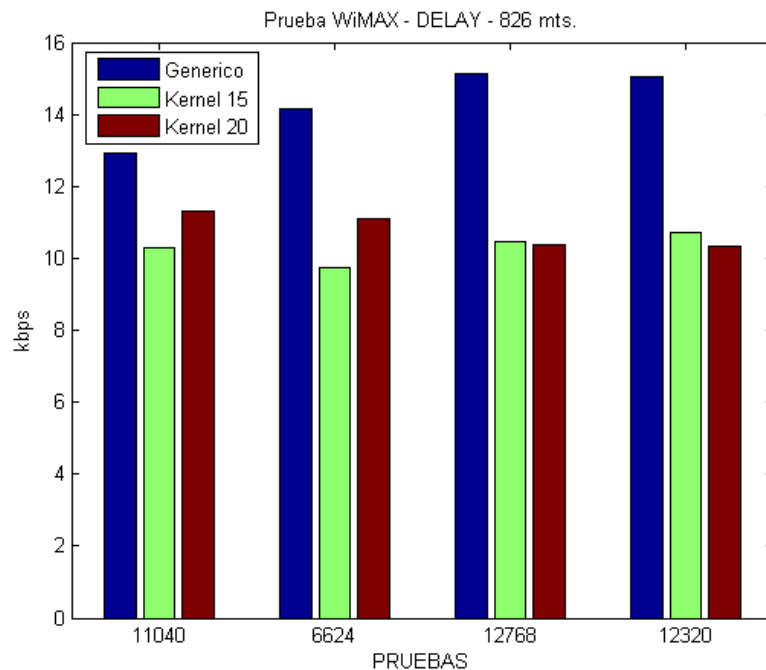


Figura 60. Delay prueba de recepción WiMAX a 826 m.

Tabla 46. Delay obtenido, prueba de recepción WiMAX 826 m.

	Bandwidth	Genérico [s]	Kernel 15 [s]	Kernel 20 [s]
Prueba 1	11040	12,9359908	10,2858541	11,3070556
Prueba 2	6624	14,1721629	9,72717629	11,1047541
Prueba 3	12768	15,14613	10,4779868	10,3749122
Prueba 4	12320	15,0593586	10,7255424	10,3354016

4.4. Resultados por distancias pruebas en ambientes *out-door* con tecnología WiFi.

4.4.1. Resultados en cuanto a *Throughput*

4.4.1.1. Prueba 1: 2500 pps de 512 bytes

Bajo este escenario, se transmitió tramas de 512 bytes a 2500 paquetes por segundo, se observó que los resultados obtenidos a 100 metros con TCP NACK+15 fue superior a TCP genérico en un 19%, mientras TCP NACK+20 fue superior en un 20%, a 150 metros con TCP NACK+15 fue superior en un 49% y TCP NACK+20 fue superior en un 16% con referencia a TCP genérico, a 230 metros TCP NACK+15 fue superior únicamente a TCP genérico en un 138% y TCP NACK+20 fue inferior en un 53%, a 260 metros TCP NACK+15 fue inferior con respecto a TCP genérico

en un 35% y TCP NACK+20 es inferior con 19%, de estos resultados se puede concluir que el mejor desempeño lo obtuvo TCP NACK+15 a 150 y a 230 metros.

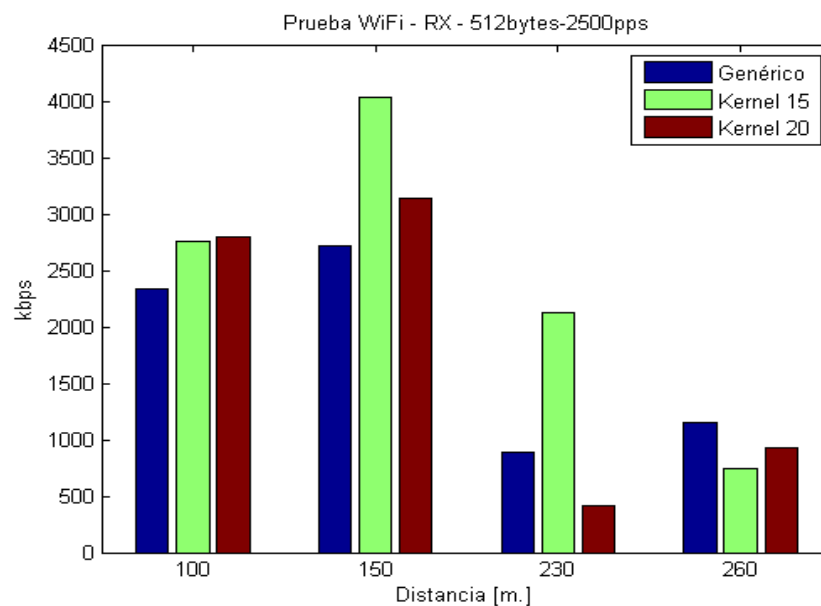


Figura 61. Throughput vs Distancia RX WiFi, Prueba 1

Tabla 47. Throughput a diferentes distancias RX WiFi, Prueba 1

Distancias [m.]	Genérico [kbps]	Kernel 15 [kbps]	Kernel 20 [kbps]
100 metros	2330	2763	2794
150 metros	2717	4036	3144
230 metros	890	2119	417
260 metros	1150	746	928

4.4.1.2. Prueba 2: 1500 pps de 512 bytes

Bajo este escenario, en el que se transmitió tramas de 512 bytes a 1500 paquetes por segundo, se observó que los resultados obtenidos a 100 metros con TCP NACK+15 fue superior a TCP genérico en un 9%, mientras TCP NACK+20 fue inferior en un 5%, a 150 metros con TCP NACK+15 fue superior en un 38% y TCP NACK+20 fue superior en un 33% con referencia a TCP genérico, a 230 metros TCP NACK+15 fue superior a TCP genérico en un 17% y TCP NACK+20 fue inferior en un 49%, a 260 metros TCP NACK+15 fue superior con respecto a TCP genérico en un 7% y a TCP NACK+20 fue inferior en 43%.

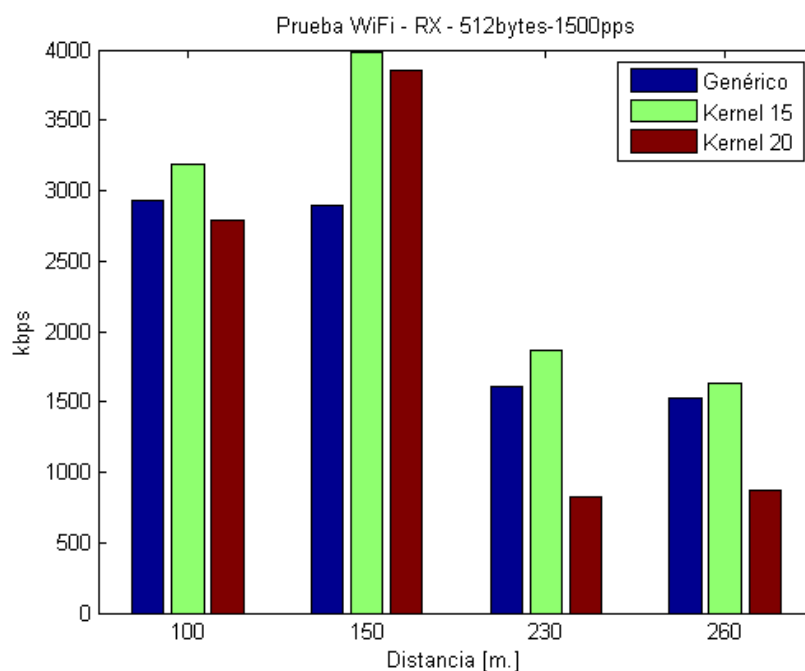


Figura 62. Throughput vs Distancia RX WiFi, Prueba 2

Tabla 48. Throughput a diferentes distancias RX WiFi, Prueba 2

Distancia [m.]	Genérico [kbps]	Kernel 15 [kbps]	Kernel 20 [kbps]
100 metros	2930	3192	2793
150 metros	2898	3988	3849
230 metros	1603	1868	825
260 metros	1527	1636	871

4.4.1.3. Prueba 3: 1500 pps de 1024 bytes

Bajo este escenario, en el que se transmitió tramas de 1024 bytes a 1500 paquetes por segundo, se observó que los resultados obtenidos a 100 metros con TCP NACK+15 fue inferior a TCP genérico en un 14%, mientras TCP NACK+20 disminuyó en un 23%, a 150 metros TCP NACK+15 fue superior a TCP genérico en un 233% y TCP NACK+20 es superior en un 281%, a 230 TCP NACK+15 fue superior a TCP genérico en un 63% y TCP NACK+20 es inferior en un 34%, a 260 metros TCP NACK+15 fue inferior en un 8% y TCP NACK+20 es inferior en un 28%.

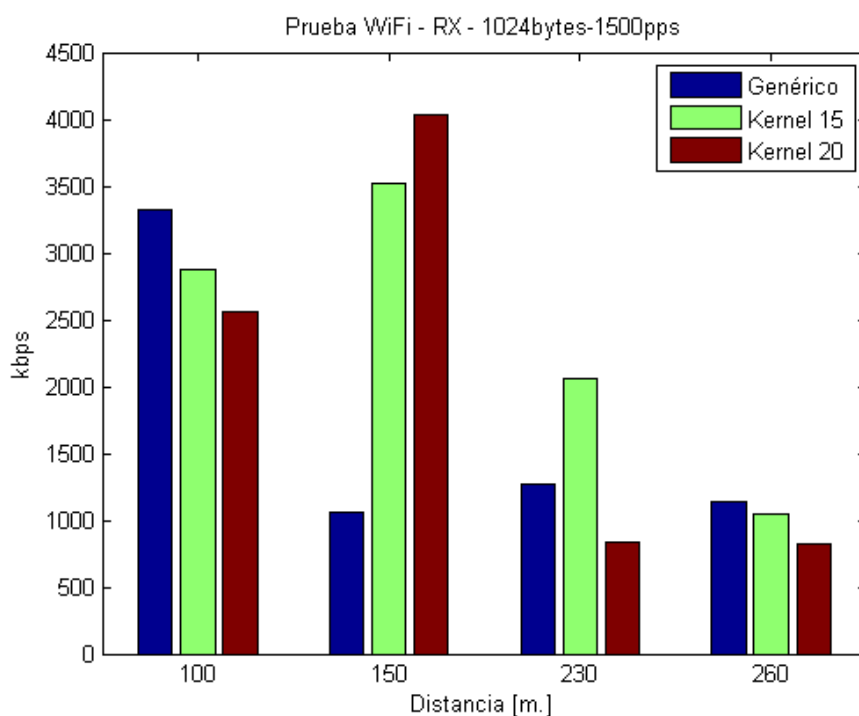


Figura 63. Throughput vs Distancia RX WiFi, Prueba 3

Tabla 49. Throughput a diferentes distancias RX WiFi, Prueba 3

Distancia [m.]	Genérico [kbps]	Kernel 15 [kbps]	Kernel 20 [kbps]
100 metros	3324	2870	2563
150 metros	1056	3516	4031
230 metros	1265	2061	834
260 metros	1132	1040	816

4.4.1.4. Prueba 4: 1000 pps de 1500 bytes

Bajo este escenario, en el que se transmitió tramas de 1500 bytes a 1000 paquetes por segundo, se observó que los resultados obtenidos a 100 metros con TCP NACK+15 fue superior a TCP genérico en un 32%, mientras TCP NACK+20 es superior en un 29%, a 150 metros TCP NACK+15 fue superior a TCP genérico en un 318% y TCP NACK+20 es superior en un 296%, a 230 TCP NACK+15 fue inferior a TCP genérico en un 30% y TCP NACK+20 es inferior en un 47%, a 260 metros TCP NACK+15 fue superior en un 284% y TCP NACK+20 es superior en un 9%.

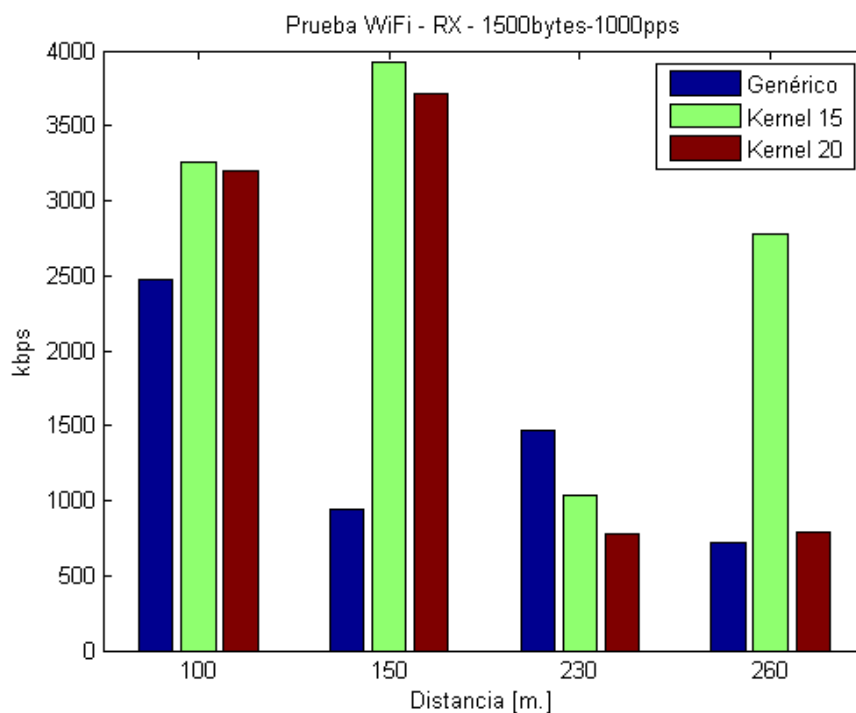


Figura 64. Throughput vs Distancia RX WiFi, Prueba 4

Tabla 50. Throughput a diferentes distancias RX WiFi, Prueba 4

Distancia [m.]	Genérico [kbps]	Kernel 15 [kbps]	Kernel 20 [kbps]
100 metros	2473	3253	3197
150 metros	938	3922	3711
230 metros	1473	1033	776
260 metros	722	2774	784

4.4.2. Resultados en cuanto a *jitter*

4.4.2.1. Prueba 1: 2500 pps de 512 bytes

En la prueba 1, el jitter que se observa a 100 metros para TCP NACK+15 es menor con respecto a TCP genérico en un 4% y TCP NACK+20 es menor en 45%, a 150 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter menor respecto a TCP genérico en un 32% y TCP NACK+20 es menor en un 15%, a 230 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter menor respecto a TCP genérico en un 58% y TCP NACK+20 es mayor en un 104%, a 260 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter mayor respecto a TCP genérico en un 59% y TCP NACK+20 es mayor en un 96%.

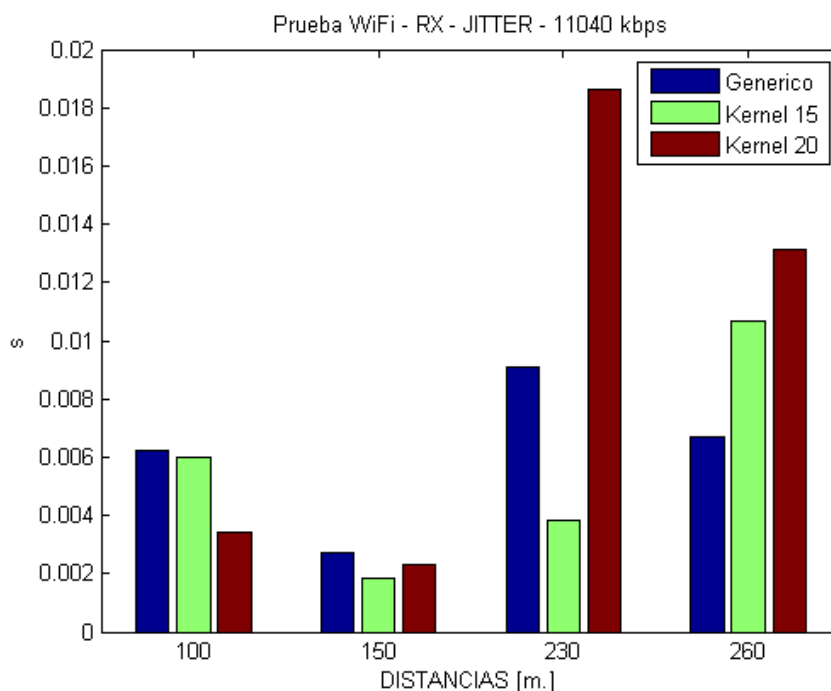


Figura 65. Jitter vs Distancia RX WiFi, Prueba 1

Tabla 51. Jitter a diferentes distancias RX WiFi, Prueba 1

Distancia [m.]	Genérico [s]	Kernel 15 [s]	Kernel 20 [s]
100	0.0062505	0.006016	0.003427
150	0.002741	0.001847	0.002324
230	0.009114	0.003812	0.018646
260	0.006716	0.010646	0.013145

4.4.2.2. Prueba 2: 1500 pps de 512 bytes

En la prueba 2, el jitter que se presenta a 100 metros para TCP NACK+15 es menor con respecto a TCP genérico en un 48% y TCP NACK+20 es menor en 52%, a 150 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter menor respecto a TCP genérico en un 23% y TCP NACK+20 es menor en un 23%, a 230 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter menor respecto a TCP genérico en un 23% y TCP NACK+20 es mayor en un 104%, a 260 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter mayor respecto a TCP genérico en un 0.5% y TCP NACK+20 es menor en un 31%.

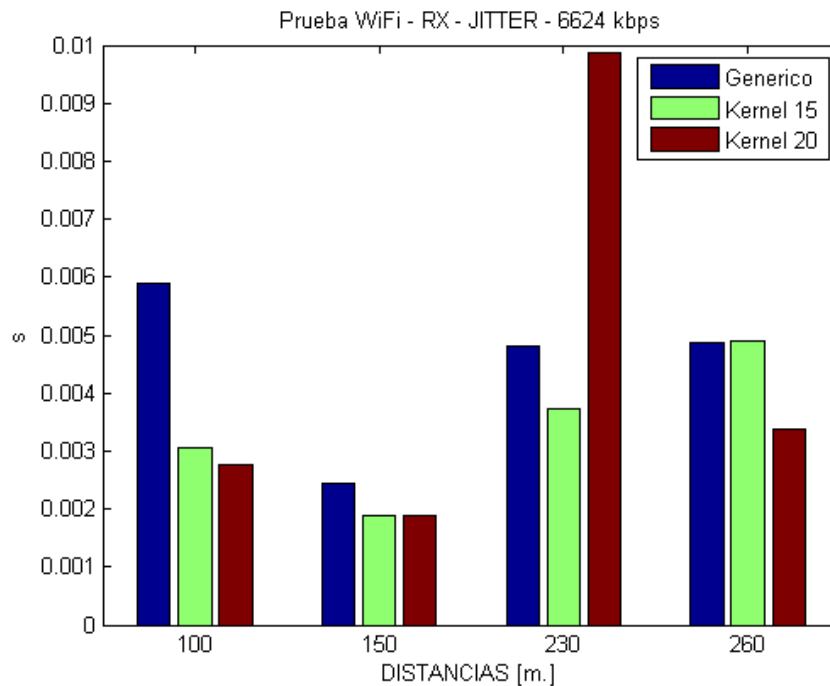


Figura 66. Jitter vs Distancia RX WiFi, Prueba 2

Tabla 52. Jitter a diferentes distancias RX WiFi, Prueba 2

Distancia [m.]	Genérico [s]	Kernel 15 [s]	Kernel 20 [s]
100	0.005886	0.0030475	0.0027765
150	0.002454	0.001894	0.001893
230	0.004822	0.003719	0.00986
260	0.004874	0.004896	0.0033658

4.4.2.3. Prueba 3: 1500 pps de 1024 bytes

En la prueba 3, el jitter que se presenta a 100 metros para TCP NACK+15 es mayor con respecto a TCP genérico en un 24% y TCP NACK+20 es mayor en 48%, a 150 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter menor respecto a TCP genérico en un 71% y TCP NACK+20 es menor en un 74%, a 230 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter menor respecto a TCP genérico en un 32% y TCP NACK+20 es mayor en un 70%, a 260 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter mayor respecto a TCP genérico en un 1% y TCP NACK+20 es mayor en un 5%.

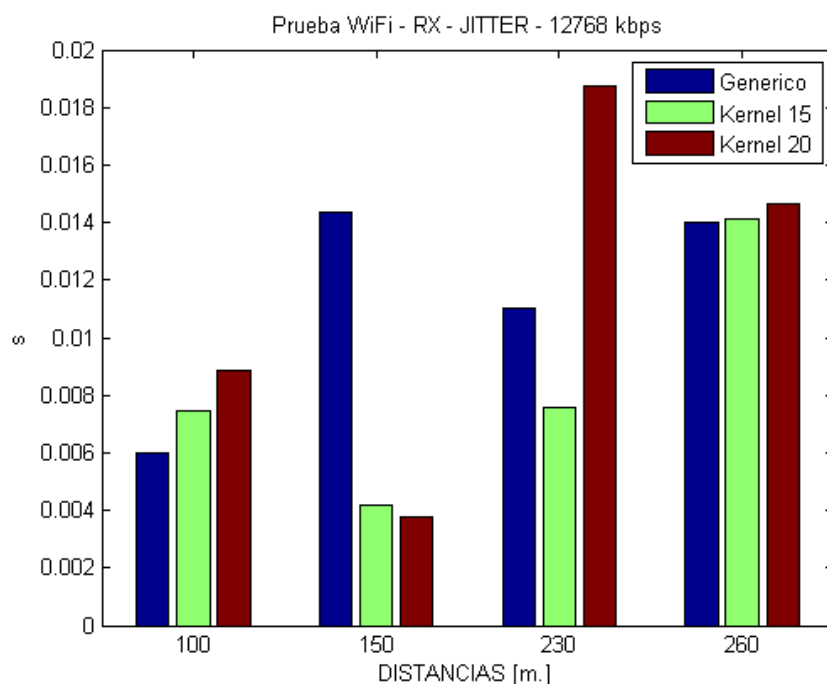


Figura 67. Jitter vs Distancia RX WiFi, Prueba 3

Tabla 53. Jitter a diferentes distancias RX WiFi, Prueba 3

Distancia [m.]	Genérico [s]	Kernel 15 [s]	Kernel 20 [s]
100	0.005981	0.0074425	0.008877
150	0.014381	0.004164	0.003776
230	0.011048	0.007565	0.018747
260	0.01402	0.014113	0.014657

4.4.2.4. Prueba 4: 1000 pps de 1500 bytes

En la prueba 4, el jitter que se presenta a 100 metros para TCP NACK+15 es menor con respecto a TCP genérico en un 34% y TCP NACK+20 es menor en un 28%, a 150 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter menor respecto a TCP genérico en un 76% y TCP NACK+20 es menor en un 75%, a 230 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter mayor respecto a TCP genérico en un 54% y TCP NACK+20 es mayor en un 103%, a 260 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter menor respecto a TCP genérico en un 73% y TCP NACK+20 es menor en un 9%.

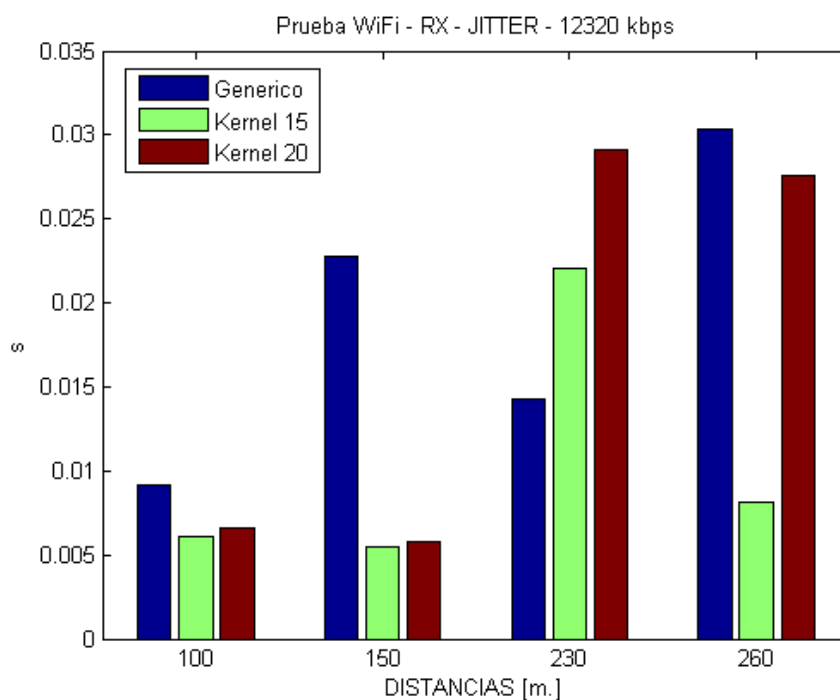


Figura 68. Jitter vs Distancia RX WiFi, Prueba 4

Tabla 54. Jitter a diferentes distancias RX WiFi, Prueba 4

Distancia [m.]	Genérico [s]	Kernel 15 [s]	Kernel 20 [s]
100	0.00917	0.006043	0.006603
150	0.022787	0.005524	0.005779
230	0.014324	0.022054	0.029084
260	0.030341	0.008174	0.027593

4.4.3. Resultados en cuanto a *delay*

4.4.3.1. Prueba 1: 2500 pps de 512 bytes

En la prueba 1, el *delay* que se evidencia a 100 metros para TCP NACK+15 es menor con respecto a TCP genérico en un 29% y TCP NACK+20 es menor en 20%, a 150 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un *delay* menor respecto a TCP genérico en un 27% y TCP NACK+20 es menor en un 19%, a 230 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un *delay* menor respecto a TCP genérico en un 26% y TCP NACK+20 es menor en un 20%, a 260 metros se evidencia que TCP

NACK+15 tiene un *delay* menor respecto a TCP genérico en un 24% y TCP NACK+20 es menor en un 18%.

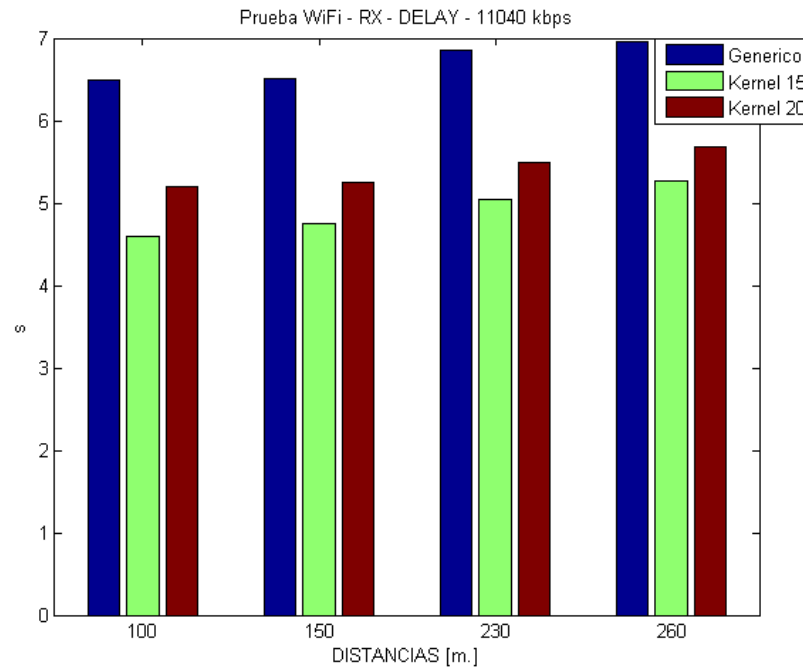


Figura 69. Delay vs Distancia RX WiFi, Prueba 1

Tabla 55. Delay a diferentes distancias RX WiFi, Prueba 1

Distancia [m.]	Genérico [s]	Kernel 15 [s]	Kernel 20 [s]
100	6.48956	4.58964	5.19584
150	6.501475	4.745848	5.243637
230	6.84526	5.036542	5.498658
260	6.957185	5.264851	5.689541

4.4.3.2. Prueba 2: 1500 pps de 512 bytes

En la prueba 2, el delay que se evidencia a 100 metros para TCP NACK+15 es menor con respecto a TCP genérico en un 52% y TCP NACK+20 es menor en 57%, a 150 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un delay menor respecto a TCP genérico en un 52% y TCP NACK+20 es menor en un 57%, a 230 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un delay menor respecto a TCP genérico en un 47% y TCP NACK+20 es menor en un 57%, a 260 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un delay menor respecto a TCP genérico en un 46% y TCP NACK+20 es menor en un 54%.

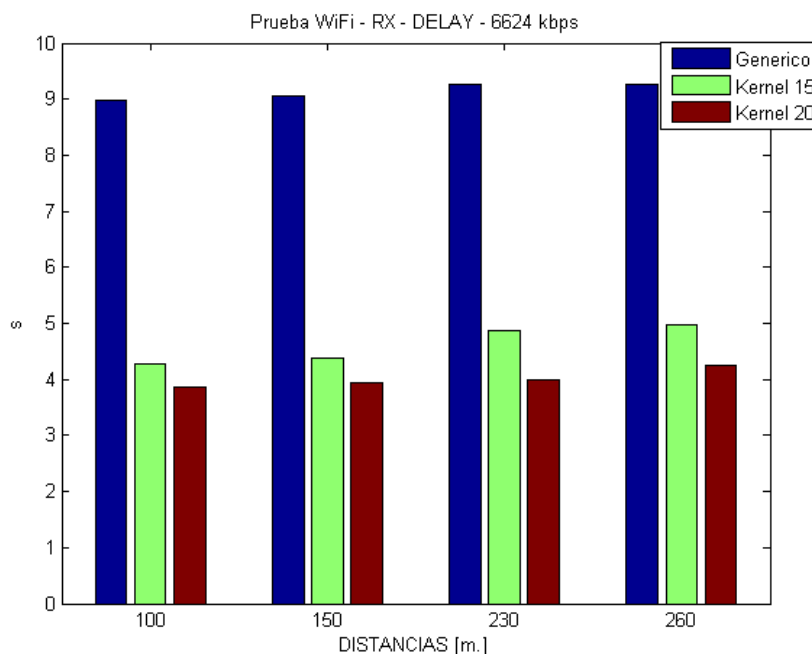


Figura 70. Delay vs Distancia RX WiFi, Prueba 2

Tabla 56. Delay a diferentes distancias RX WiFi, Prueba 2

Distancia [m.]	Genérico [s]	Kernel 15 [s]	Kernel 20 [s]
100	8.968478	4.26594	3.8594
150	9.061698	4.376469	3.938153
230	9.258462	4.86254	4.001526
260	9.258462	4.962547	4.261005

4.4.3.3. Prueba 3: 1500 pps de 1024 bytes

En la prueba 3, el delay que se evidencia a 100 metros para TCP NACK+15 es menor con respecto a TCP genérico en un 57% y TCP NACK+20 es menor en un 55%, a 150 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un delay menor respecto a TCP genérico en un 57% y TCP NACK+20 es menor en un 54%, a 230 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un delay menor respecto a TCP genérico en un 57% y TCP NACK+20 es menor en un 53%, a 260 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un delay menor respecto a TCP genérico en un 56% y TCP NACK+20 es menor en un 53%.

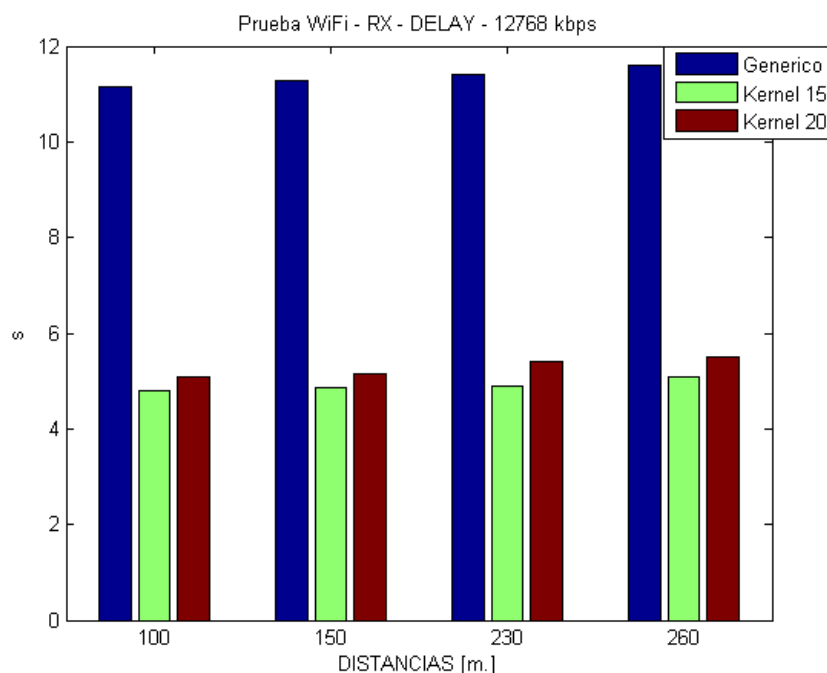


Figura 71. Delay vs Distancia RX WiFi, Prueba 3

Tabla 57. Delay a diferentes distancias RX WiFi, Prueba 3

Distancia [m.]	Genérico [s]	Kernel 15 [s]	Kernel 20 [s]
100	11.15998	4.79564	5.06984
150	11.26977	4.867807	5.164135
230	11.42103	4.899625	5.39658
260	11.59621	5.100254	5.4896502

4.4.3.4. Prueba 4: 1000 pps de 1500 bytes

En la prueba 4, el delay que se evidencia a 100 metros para TCP NACK+15 es mayor con respecto a TCP genérico en un 65% y TCP NACK+20 es mayor en 79%, a 150 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un delay mayor respecto a TCP genérico en un 51% y TCP NACK+20 es mayor en un 74%, a 230 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un delay mayor respecto a TCP genérico en un 70% y TCP NACK+20 es mayor en un 71%, a 260 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un delay mayor respecto a TCP genérico en un 66% y TCP NACK+20 es mayor en un 67%.

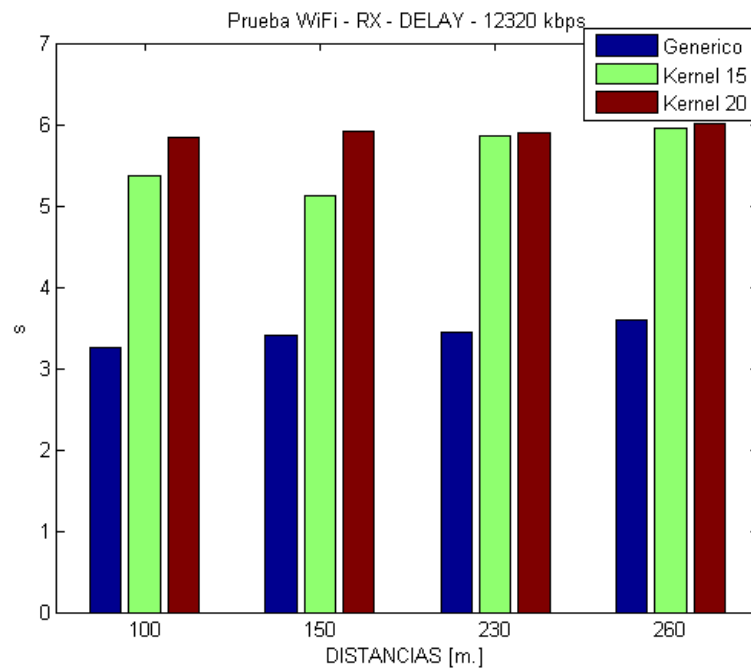


Figura 72. Delay vs Distancia RX WiFi, Prueba 4

Tabla 58. Delay a diferentes distancias RX WiFi, Prueba 4

Distancia [m.]	Genérico [s]	Kernel 15 [s]	Kernel 20 [s]
100	3.25984	5.3689	5.846525
150	3.398982	5.121949	5.912663
230	3.452361	5.856928	5.89979
260	3.586247	5.953647	6.002569

4.4.4. Tablas comparativas porcentuales de TCP NACK con respecto a TCP genérico con tecnología WiFi.

A continuación se presentan las tablas comparativas en cuanto a *Throughput*, *Jitter* y *Delay*, mostrando superioridad o inferioridad de TCP NACK+15 y TCP NACK+20 frente a TCP genérico.

Tabla 59. Tabla comparativa prueba 1: 2500 pps de 512 bytes

Distancia	Kernel 15			Kernel 20		
	% Throughput	% Delay	% Jitter	% Throughput	% Delay	% Jitter
100 metros	18.58	29.28	3.75	19.91	19.94	45.17
150 metros	48.55	27.00	32.62	15.72	19.35	15.21
230 metros	138.09	26.42	58.17	-53.15	19.67	-
260 metros	-35.13	24.32	-58.52	-19.30	18.22	-95.73

Tabla 60. Tabla comparativa prueba 2: 1500 pps de 512 bytes

Distancia	Kernel 15			Kernel 20		
	% Throughput	% Delay	% Jitter	% Throughput	% Delay	% Jitter
100 metros	8.94	52.43	48.22	-4.68	56.9671	52.83
150 metros	37.61	51.70	22.82	32.82	56.5407	22.86
230 metros	16.53	47.48	22.87	-48.53	56.7798	-
260 metros	7.14	46.40	-0.45	-42.96	53.9772	30.94

Tabla 61. Tabla comparativa prueba 3: 1500 pps de 1024 bytes

Distancia	Kernel 15			Kernel 20		
	% Throughput	% Delay	% Jitter	% Throughput	% Delay	% Jitter
100 metros	-13.66	57.03	-24.44	-22.89	54.57	-48.42
150 metros	232.95	56.81	71.05	281.72	54.18	73.74
230 metros	62.92	57.10	31.53	-34.07	52.75	-69.69
260 metros	-8.13	56.02	-0.66	-27.92	52.66	-4.54

Tabla 62. Tabla comparativa prueba 4: 1000 pps de 1500 bytes

Distancia	Kernel 15			Kernel 20		
	% Throughput	% Delay	% Jitter	% Throughput	% Delay	% Jitter
100 metros	31.54	-64.70	34.10	29.28	-79.35	27.99
150 metros	318.12	-50.69	75.76	295.63	-73.95	74.64
230 metros	-29.87	-69.65	-53.97	-47.32	-70.89	-103.04
260 metros	284.21	-66.01	73.06	8.59	-67.38	9.06

4.5. Análisis de resultados por pruebas. WiMAX *out-door*.

4.5.1. Resultados en cuanto a *Throughput*

4.5.1.1. Prueba 1: 2500 pps de 512 bytes

Bajo este escenario, en el que se transmitió tramas de 512 bytes a 2500 paquetes por segundo, se observó que los resultados obtenidos a 253 metros con TCP NACK+15 fue inferior a TCP genérico en un 5%, mientras TCP NACK+20 fue superior en un 11%, a 312 metros con TCP NACK+15 fue superior en un 45% y TCP NACK+20 fue superior en un 12% con referencia a TCP genérico, a 364 metros TCP NACK+15 fue superior a TCP genérico en un 11% y TCP NACK+20 fue inferior en un 3%, a 414 metros TCP NACK+15 fue superior con respecto a TCP genérico en un 868% y TCP NACK+20 es superior con 839%, a 427 metros TCP NACK+15 fue inferior con respecto a TCP genérico en un 11% y TCP NACK+20 es inferior con 2%, a 826 metros TCP NACK+15 fue inferior con respecto a TCP genérico en un 8% y TCP NACK+20 es inferior con 30% .

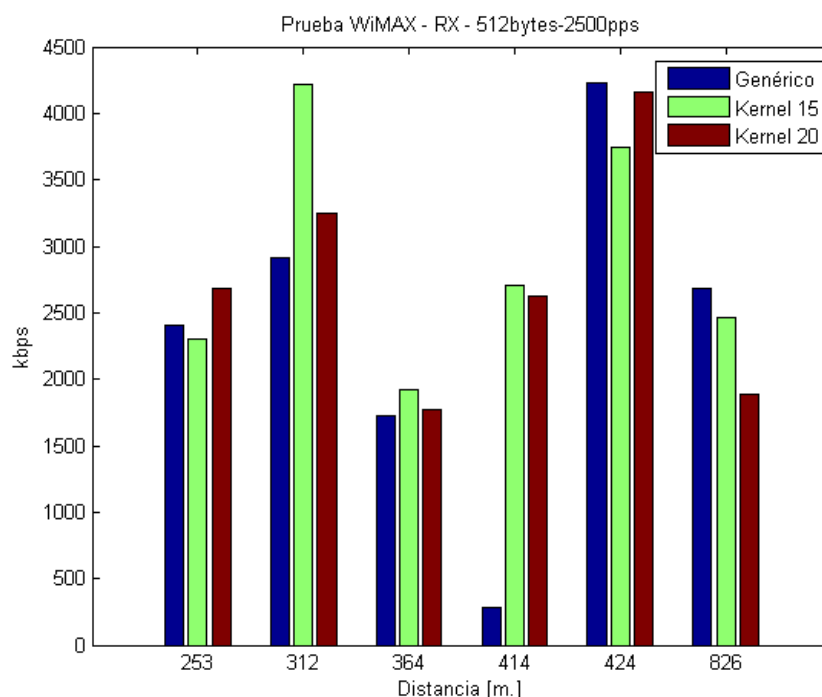


Figura 73. Throughput vs Distancia RX WiMAX, Prueba 1

Tabla 63. Throughput a diferentes distancias RX WiMAX, Prueba 1

Distancias [m.]	Genérico [kbps]	Kernel 15 [kbps]	Kernel 20 [kbps]
253 m.	2409	2299	2678
312 m.	2913	4220	3253
364 m.	1728	1920	1774
414 m.	280	2709	2628
427 m.	4227	3745	4155
826 m.	2678	2459	1884

4.5.1.2. Prueba 2: 1500 pps de 512 bytes

Bajo este escenario, en el que se transmitió tramas de 512 bytes a 1500 paquetes por segundo, se observó que los resultados obtenidos a 253 metros con TCP NACK+15 fue superior a TCP genérico en un 6%, mientras TCP NACK+20 fue inferior en un 4%, a 312 metros TCP NACK+15 fue superior en un 15% y TCP NACK+20 fue inferior en un 19% con referencia a TCP genérico, a 364 metros TCP NACK+15 fue superior a TCP genérico en un 22% y TCP NACK+20 fue inferior en un 11%, a 414 metros TCP NACK+15 fue superior con respecto a TCP genérico en un 678% y TCP NACK+20 es superior con 358%, a 427 metros TCP NACK+15 fue inferior con respecto a TCP genérico en un 2% y TCP NACK+20 es superior con

12%, a 826 metros TCP NACK+15 fue superior con respecto a TCP genérico en un 1% y TCP NACK+20 es inferior con 20% .

Tabla 64. Throughput a diferentes distancias RX WiMAX, Prueba 2

Distancias [m.]	Genérico [kbps]	Kernel 15 [kbps]	Kernel 20 [kbps]
253 m.	2489	2632	2386
312 m.	3497	4026	2845
364 m.	1735	2119	1539
414 m.	501	3897	2295
427 m.	3083	3023	3447
826 m.	2443	2458	1946

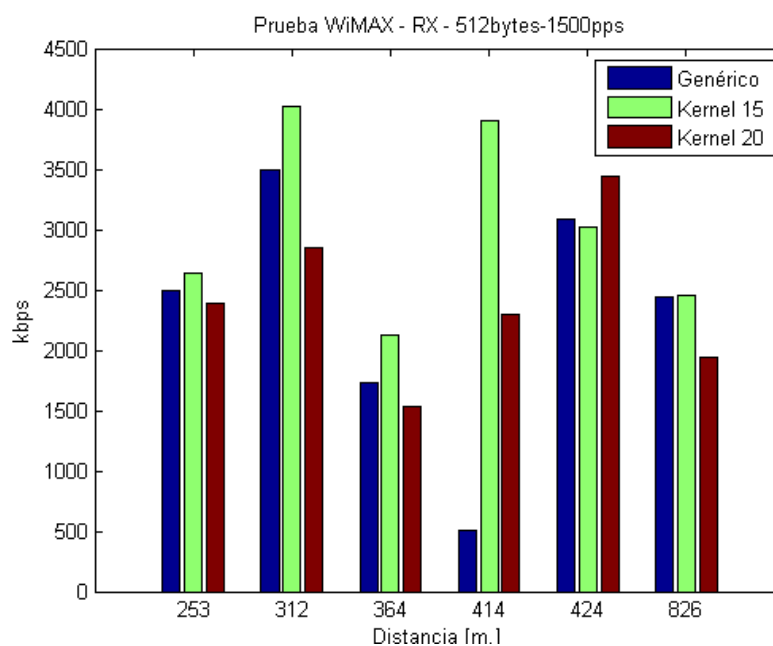


Figura 74. Throughput vs Distancia RX WiMAX, Prueba 2

4.5.1.3. Prueba 3: 1500 pps de 1024 bytes

Bajo este escenario, en el que se transmitió tramas de 1024 bytes a 1500 paquetes por segundo, se observó que los resultados obtenidos a 253 metros con TCP NACK+15 fue inferior a TCP genérico en un 6%, mientras TCP NACK+20 fue inferior en un 17%, a 312 metros TCP NACK+15 fue superior en un 15% y TCP NACK+20 fue superior en un 22% con referencia a TCP genérico, a 364 metros TCP NACK+15 fue superior a TCP genérico en un 9% y TCP NACK+20 fue inferior en un 2%, a 414 metros TCP NACK+15 fue superior con respecto a TCP genérico en un

173% y TCP NACK+20 es superior con 290%, a 427 metros TCP NACK+15 fue inferior con respecto a TCP genérico en un 20% y TCP NACK+20 es inferior con 3%, a 826 metros TCP NACK+15 fue superior con respecto a TCP genérico en un 4% y TCP NACK+20 es inferior con 18%.

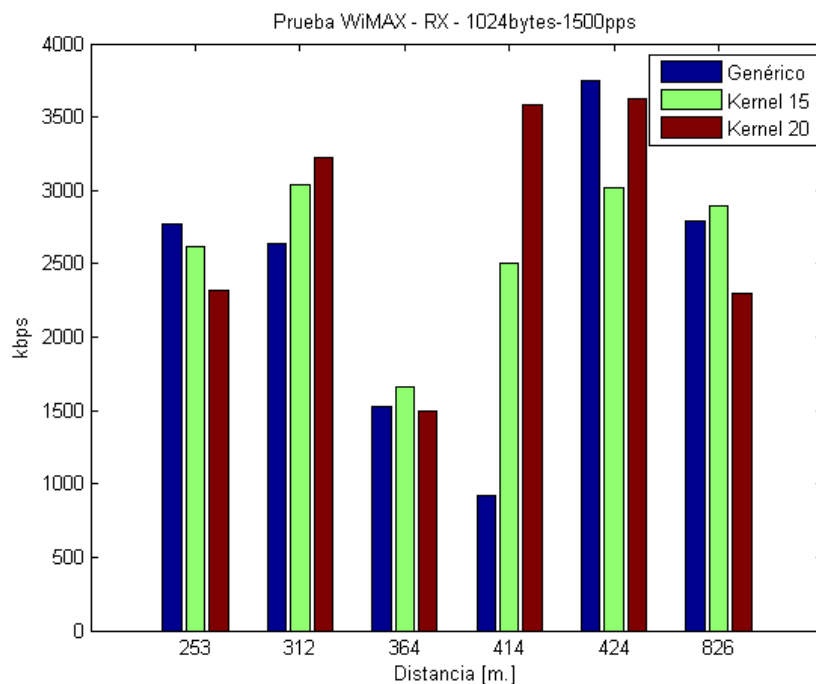


Figura 75. Throughput vs Distancia RX WiMAX, Prueba 3

Tabla 65. Throughput a diferentes distancias RX WiMAX, Prueba 3

Distancias [m.]	Genérico [kbps]	Kernel 15 [kbps]	Kernel 20 [kbps]
253 m.	2774	2621	2317
312 m.	2636	3034	3223
364 m.	1530	1665	1497
414 m.	918	2502	3580
427 m.	3748	3017	3627
826 m.	2794	2897	2295

4.5.1.4. Prueba 4: 1000 pps de 1500 bytes

Bajo este escenario, en el que se transmitió tramas de 1500 bytes a 1000 paquetes por segundo, se observó que los resultados obtenidos a 253 metros con TCP NACK+15 fue inferior a TCP genérico en un 10%, mientras TCP NACK+20 fue inferior en un 6%, a 312 metros TCP NACK+15 fue superior en un 5% y TCP NACK+20 fue superior en un 0.2% con referencia a TCP genérico, a 364 metros

TCP NACK+15 fue superior a TCP genérico en un 28% y TCP NACK+20 fue inferior en un 10%, a 414 metros TCP NACK+15 fue superior con respecto a TCP genérico en un 125% y TCP NACK+20 es superior con 119%, a 427 metros TCP NACK+15 fue superior con respecto a TCP genérico en un 1% y TCP NACK+20 es superior con 27%, a 826 metros TCP NACK+15 fue superior con respecto a TCP genérico en un 25% y TCP NACK+20 es inferior con 67%.

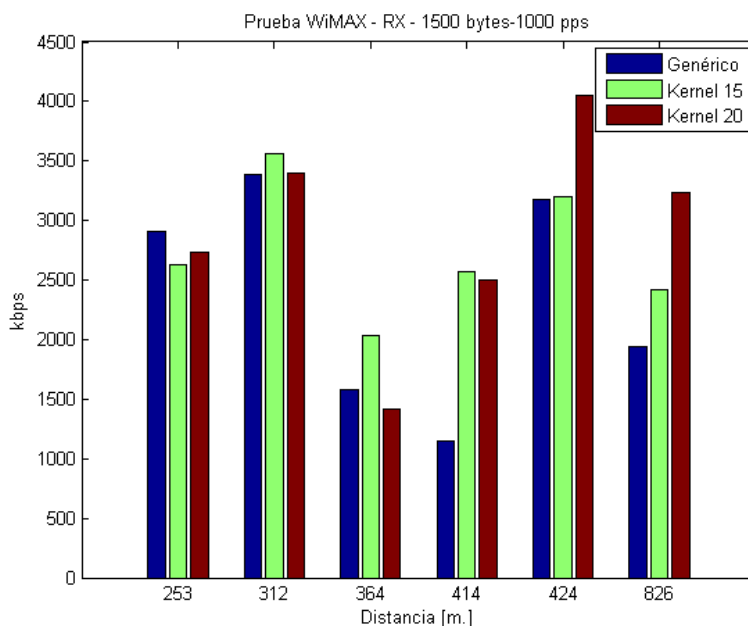


Figura 76. Throughput vs Distancia RX WiMAX, Prueba 4

Tabla 66. Throughput a diferentes distancias RX WiMAX, Prueba 4

Distancias [m.]	Genérico [kbps]	Kernel 15 [kbps]	Kernel 20 [kbps]
253 m.	2907	2628	2730
312 m.	3391	3556	3396
364 m.	1580	2029	1416
414 m.	1143	2566	2499,5
427 m.	3178	3200	4049
826 m.	1936	2417	3235

4.5.2. Resultados en cuanto a *jitter*

4.5.2.1. Prueba 1: 2500 pps de 512 bytes

En la prueba 1, el jitter que se observa a 253 metros para TCP NACK+15 es menor con respecto a TCP genérico en un 5% y TCP NACK+20 es menor en 11%, a 312 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter menor respecto a TCP

genérico en un 32% y TCP NACK+20 es menor en un 13%, a 364 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter mayor respecto a TCP genérico en un 11% y TCP NACK+20 es mayor en un 7%, a 414 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter menor respecto a TCP genérico en un 83% y TCP NACK+20 es menor en un 81%, a 427 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter mayor respecto a TCP genérico en un 275% y TCP NACK+20 es menor en un 5%, a 826 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter mayor respecto a TCP genérico en un 9% y TCP NACK+20 es mayor en un 42%.

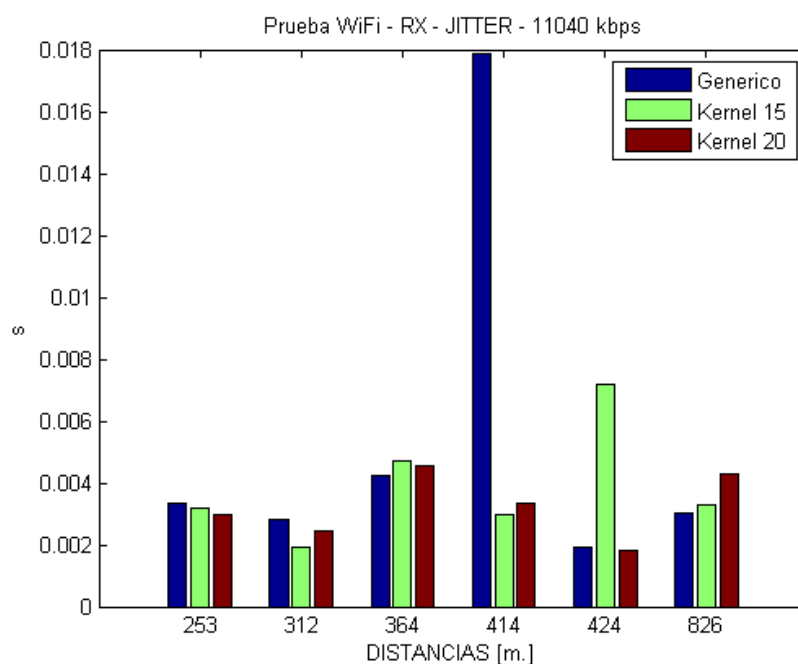


Figura 77. Jitter vs Distancia RX WiMAX, Prueba 1

Tabla 67. Jitter a diferentes distancias RX WiMAX, Prueba 1

Distancias [m.]	Genérico [s]	Kernel 15 [s]	Kernel 20 [s]
253 m.	0.003344	0.003186	0.002991
312 m.	0.002796	0.001907	0.002422
364 m.	0.004225	0.004694	0.004531
414 m.	0.017878	0.002992	0.0033225
427 m.	0.001912	0.007175	0.001826
826 m.	0.003017	0.003276	0.004273

4.5.2.2. Prueba 2: 1500 pps de 512 bytes

En la prueba 2, el jitter que se observa a 253 metros para TCP NACK+15 es menor con respecto a TCP genérico en un 11% y TCP NACK+20 es menor en 2%, a

312 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter menor respecto a TCP genérico en un 13% y TCP NACK+20 es mayor en un 24%, a 364 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter mayor respecto a TCP genérico en un 23% y TCP NACK+20 es mayor en un 39%, a 414 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter menor respecto a TCP genérico en un 84% y TCP NACK+20 es menor en un 71%, a 427 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter mayor respecto a TCP genérico en un 170% y TCP NACK+20 es menor en un 12%, a 826 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter menor respecto a TCP genérico en un 2% y TCP NACK+20 es mayor en un 24%.

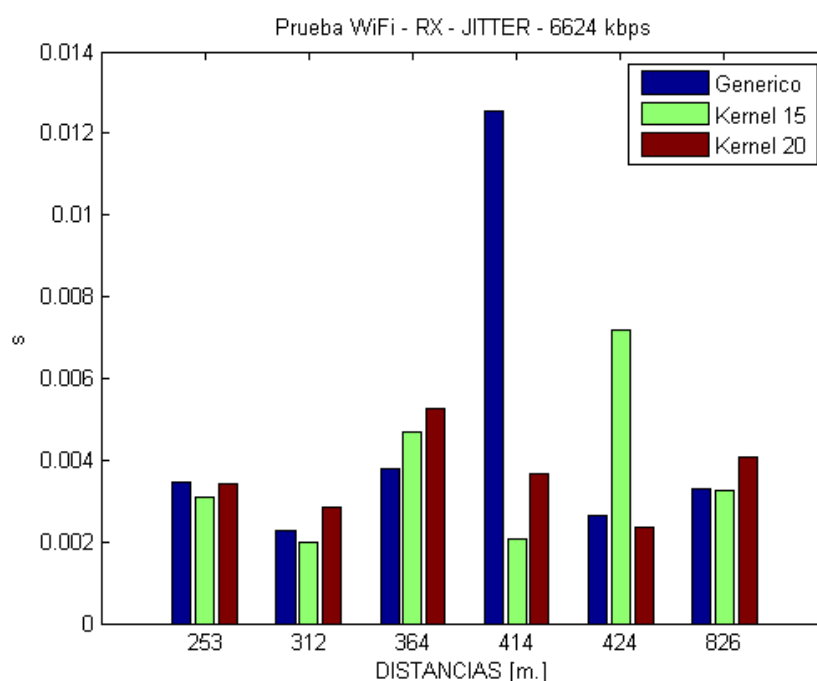


Figura 78. Jitter vs Distancia RX WiMAX, Prueba 2

Tabla 68. Jitter a diferentes distancias RX WiMAX, Prueba 2

Distancias [m.]	Genérico [s]	Kernel 15 [s]	Kernel 20 [s]
253 m.	0.003459	0.003074	0.003403
312 m.	0.002291	0.002002	0.00283
364 m.	0.003792	0.004681	0.005264
414 m.	0.012534	0.002067	0.003646
427 m.	0.002653	0.007175	0.002334
826 m.	0.0033	0.003237	0.004088

4.5.2.3. Prueba 3: 1500 pps de 1024 bytes

En la prueba 3, el jitter que se observa a 253 metros para TCP NACK+15 es mayor con respecto a TCP genérico en un 7% y TCP NACK+20 es mayor en 14%, a 312 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter menor respecto a TCP genérico en un 32% y TCP NACK+20 es menor en un 19%, a 364 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter mayor respecto a TCP genérico en un 8% y TCP NACK+20 es mayor en un 11%, a 414 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter menor respecto a TCP genérico en un 63% y TCP NACK+20 es menor en un 74%, a 427 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter mayor respecto a TCP genérico en un 68% y TCP NACK+20 es mayor en un 3%, a 826 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter menor respecto a TCP genérico en un 5% y TCP NACK+20 es mayor en un 18%.

Tabla 69. Jitter a diferentes distancias RX WiMAX, Prueba 3

Distancias [m.]	Genérico [s]	Kernel 15 [s]	Kernel 20 [s]
253 m.	0.005683	0.006074	0.006493
312 m.	0.006025	0.004077	0.004889
364 m.	0.00946	0.010235	0.010481
414 m.	0.016768	0.006295	0.004404
427 m.	0.00426	0.007175	0.0044
826 m.	0.005733	0.00547	0.00677

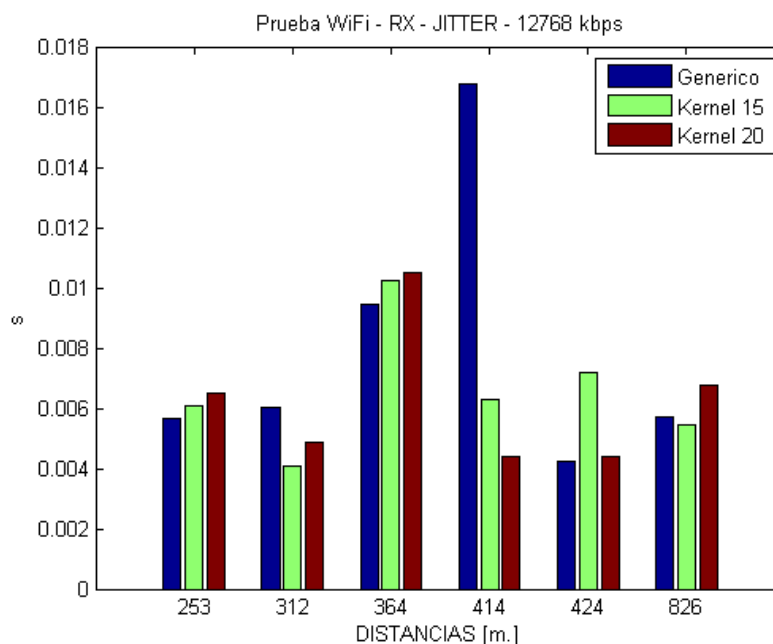


Figura 79. Jitter vs Distancia RX WiMAX, Prueba 3

4.5.2.4. Prueba 4: 1000 pps de 1500 bytes

En la prueba 4, el jitter que se observa a 253 metros para TCP NACK+15 es mayor con respecto a TCP genérico en un 14% y TCP NACK+20 es mayor en 9%, a 312 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter menor respecto a TCP genérico en un 5% y TCP NACK+20 es menor en un 1%, a 364 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter mayor respecto a TCP genérico en un 25% y TCP NACK+20 es mayor en un 35%, a 414 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter menor respecto a TCP genérico en un 55% y TCP NACK+20 es menor en un 54%, a 427 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter menor respecto a TCP genérico en un 1% y TCP NACK+20 es menor en un 21%, a 826 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un jitter menor respecto a TCP genérico en un 20% y TCP NACK+20 es menor en un 40%.

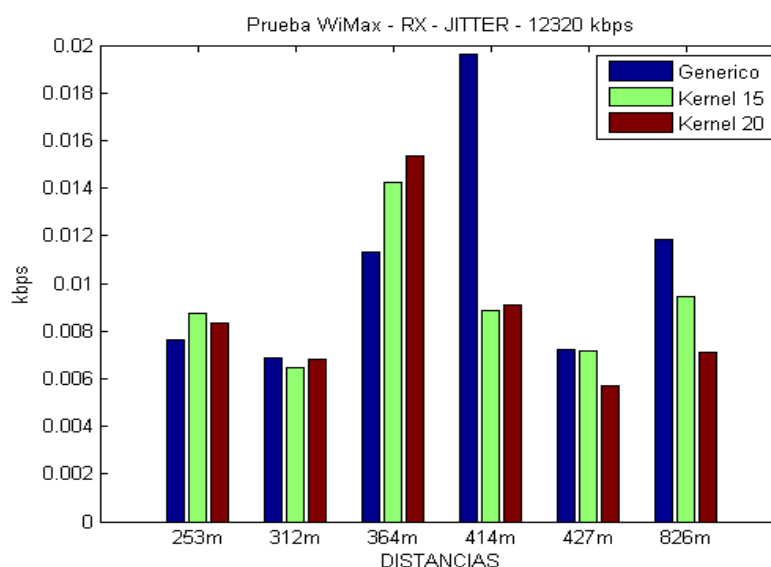


Figura 80. Jitter vs Distancia RX WiMAX, Prueba 4

Tabla 70. Jitter a diferentes distancias RX WiMAX, Prueba 4

Distancias [m.]	Genérico [s]	Kernel 15 [s]	Kernel 20 [s]
253 m.	0.007641	0.008732	0.008341
312 m.	0.006843	0.006481	0.006793
364 m.	0.011345	0.014214	0.015361
414 m.	0.019649	0.008849	0.0090835
427 m.	0.007216	0.007175	0.005681
826 m.	0.011867	0.009447	0.00713

4.5.3. Resultados en cuanto a *delay*

4.5.3.1. Prueba 1: 2500 pps de 512 bytes

En la prueba 1, el *delay* que se observa a 253 metros para TCP NACK+15 es menor con respecto a TCP genérico en un 34% y TCP NACK+20 es mayor en 18%, a 312 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un *delay* menor respecto a TCP genérico en un 33% y TCP NACK+20 es menor en un 24%, a 364 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un *delay* menor respecto a TCP genérico en un 23% y TCP NACK+20 es menor en un 17%, a 414 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un *delay* menor respecto a TCP genérico en un 17% y TCP NACK+20 es menor en un 13%, a 427 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un *delay* menor respecto a TCP genérico en un 20% y TCP NACK+20 es

menor en un 13%, a 826 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un *delay* menor respecto a TCP genérico en un 20% y TCP NACK+20 es menor en un 13%.

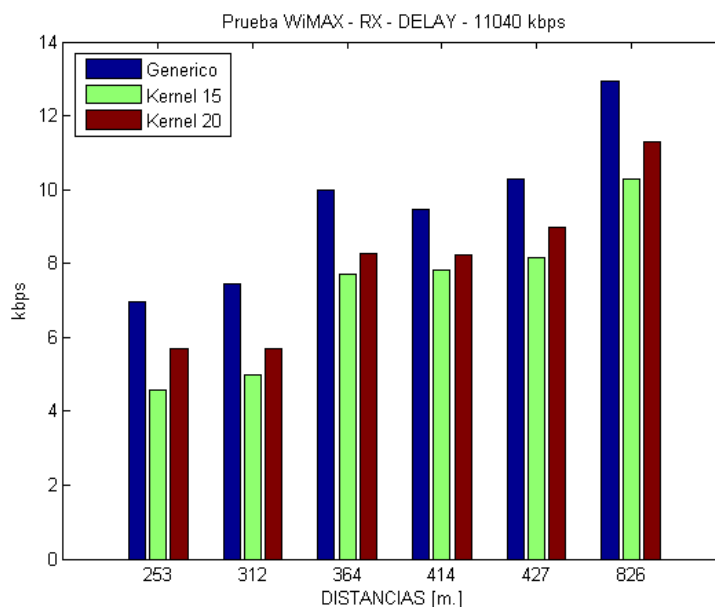


Figura 81. Delay vs Distancia RX WiMAX, Prueba 1

Tabla 71. Delay a diferentes distancias RX WiMAX, Prueba 1

Distancias [m.]	Genérico [s]	Kernel 15 [s]	Kernel 20 [s]
253 m.	6.95846	4.58799	5.69854
312 m.	7.46554	4.98651	5.69854
364 m.	9.985641	7.7138382	8.26646787
414 m.	9.46413854	7.81106756	8.23006805
427 m.	10.279713	8.17375561	8.98526352
826 m.	12.9359908	10.2858541	11.3070556

4.5.3.2. Prueba 2: 1500 pps de 512 bytes

En la prueba 2, el delay que se observa a 253 metros para TCP NACK+15 es menor con respecto a TCP genérico en un 28% y TCP NACK+20 es menor en un 10%, a 312 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un delay menor respecto a TCP genérico en un 24% y TCP NACK+20 es menor en un 14%, a 364 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un delay menor respecto a TCP genérico en un 25% y TCP NACK+20 es menor en un 15%, a 414 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un delay menor respecto a TCP genérico en un 24% y TCP NACK+20 es mayor en un 3%, a 427 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un delay menor respecto a TCP genérico en un 31% y TCP NACK+20 es menor en

un 22%, a 826 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un delay menor respecto a TCP genérico en un 32% y TCP NACK+20 es menor en un 22%.

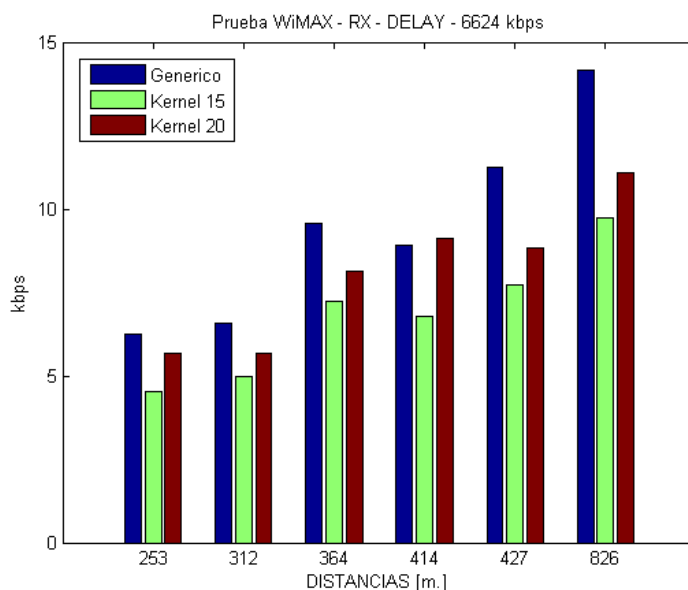


Figura 82. Delay vs Distancia RX WiMAX, Prueba 2

Tabla 72. Delay a diferentes distancias RX WiMAX, Prueba 2

Distancias [m.]	Genérico [s]	Kernel 15 [s]	Kernel 20 [s]
253 m.	6.25984	4.52648	5.658745
312 m.	6.58462	4.9865	5.658745
364 m.	9.589456	7.22496066	8.15098569
414 m.	8.90807484	6.78686954	9.13839606
427 m.	11.2620493	7.7297968	8.82450258
826 m.	14.1721629	9.72717629	11.1047541

4.5.3.3. Prueba 3: 1500 pps de 1024 bytes

En la prueba 3, el delay que se observa a 253 metros para TCP NACK+15 es menor con respecto a TCP genérico en un 23% y TCP NACK+20 es menor en 5%, a 312 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un delay menor respecto a TCP genérico en un 22% y TCP NACK+20 es menor en un 9%, a 364 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un delay menor respecto a TCP genérico en un 22% y TCP NACK+20 es menor en un 9%, a 414 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un delay menor respecto a TCP genérico en un 18% y TCP NACK+20 es menor en un 10%, a 427 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un delay menor respecto a TCP genérico en un 31% y TCP NACK+20 es menor en un 25%, a 826

metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un delay menor respecto a TCP genérico en un 31% y TCP NACK+20 es menor en un 32%.

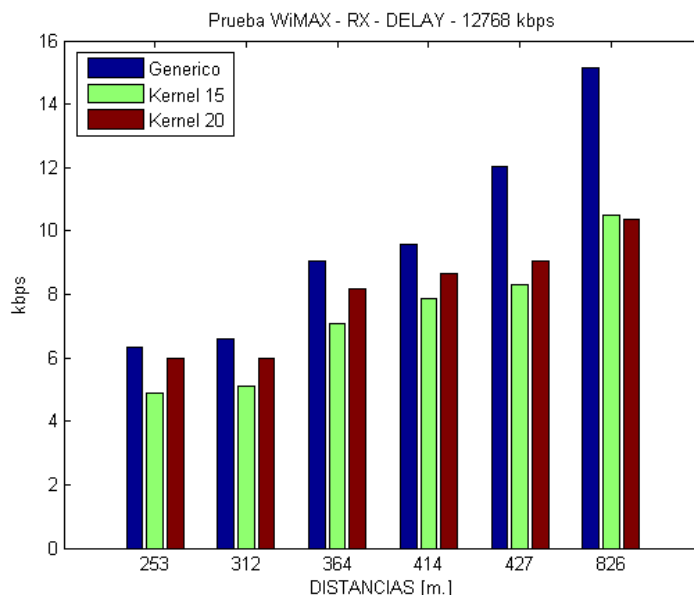


Figura 83. Delay vs Distancia RX WiMAX, Prueba 3

Tabla 73. Delay a diferentes distancias RX WiMAX, Prueba 3

Distancias [m.]	Genérico [s]	Kernel 15 [s]	Kernel 20 [s]
253 m.	6.32546	4.86978	6.002564
312 m.	6.59874	5.126894	6.002564
364 m.	9.0386563	7.09447671	8.18708602
414 m.	9.58989191	7.85486313	8.67742606
427 m.	12.0360219	8.32643577	9.03918643
826 m.	15.14613	10.4779868	10.3749122

4.5.3.4. Prueba 4: 1000 pps de 1500 bytes

En la prueba 4, el delay que se observa a 253 metros para TCP NACK+15 es menor con respecto a TCP genérico en un 17% y TCP NACK+20 es mayor en 7%, a 312 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un delay menor respecto a TCP genérico en un 20% y TCP NACK+20 es menor en un 4%, a 364 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un delay menor respecto a TCP genérico en un 16% y TCP NACK+20 es menor en un 5%, a 414 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un delay menor respecto a TCP genérico en un 8% y TCP NACK+20 es menor en un 8%, a 427 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un delay menor respecto a

TCP genérico en un 29% y TCP NACK+20 es menor en un 25%, a 826 metros se evidencia que TCP NACK+15 tiene un delay menor respecto a TCP genérico en un 31% y TCP NACK+20 es menor en un 31%.

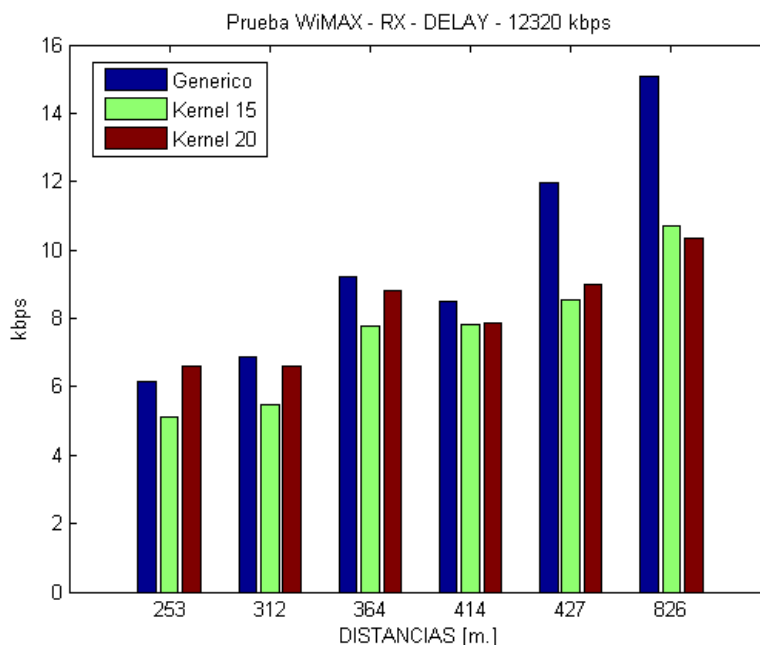


Figura 84. Delay vs Distancia RX WiMAX, Prueba 4

Tabla 74. Delay a diferentes distancias RX WiMAX, Prueba 4

Distancias [m.]	Genérico [s]	Kernel 15 [s]	Kernel 20 [s]
253 m.	6.15645	5.120325	6.58942
312 m.	6.854785	5.48951	6.58942
364 m.	9.22493074	7.78509526	8.80897297
414 m.	8.49514818	7.802796	7.84593797
427 m.	11.9670681	8.52315832	9.00778893
826 m.	15.0593586	10.7255424	10.3354016

4.5.4. Tablas comparativas porcentuales de TCP NACK con respecto a TCP genérico, con tecnología WiMAX

A continuación se presentan las tablas comparativas en cuanto a *Throughput*, *Jitter* y *Delay*, mostrando superioridad o inferioridad de TCP NACK+15 y TCP NACK+20 frente a TCP genérico.

Tabla 75. Tabla comparativa prueba 1: 2500 pps de 512 bytes

Distancia	Kernel 15			Kernel 20		
	% Throughput	% Delay	% Jitter	% Throughput	% Delay	% Jitter
253 m.	-4.57	34.07	-4.72	11.17	18.11	10.56
312 m.	44.87	33.21	-31.80	11.67	23.67	13.38
364 m.	11.11	22.75	11.10	2.66	17.22	-7.24
414 m.	867.50	17.47	-83.26	838.57	13.04	81.42
427 m.	-11.40	20.49	275.26	-1.70	12.59	4.50
826 m.	-8.18	20.49	8.58	-29.65	12.59	-41.63

Tabla 76. Tabla comparativa prueba 2: 1500 pps de 512 bytes

Distancia	Kernel 15			Kernel 20		
	% Throughput	% Delay	% Jitter	% Throughput	% Delay	% Jitter
253 m.	5.75	27.69	-11.13	-4.14	9.60	1.62
312 m.	15.13	24.27	-12.61	-18.64	14.06	-23.53
364 m.	22.13	24.66	23.44	-11.30	15.00	-38.82
414 m.	677.84	23.81	-83.51	358.08	-2.59	70.91
427 m.	-1.95	31.36	170.45	11.81	21.64	12.02
826 m.	0.61	31.36	-1.91	-20.34	21.64	-23.88

Tabla 77. Tabla comparativa prueba 3: 1500 pps de 1024 bytes

Distancia	Kernel 15			Kernel 20		
	% Throughput	% Delay	% Jitter	% Throughput	% Delay	% Jitter
253 m.	-5.52	23.01	6.88	-16.47	5.10	-14.25
312 m.	15.10	22.30	-32.33	22.27	9.03	18.85
364 m.	8.82	21.51	8.19	-2.16	9.42	-10.79
414 m.	172.55	18.09	-62.46	289.98	9.51	73.74
427 m.	-19.50	30.82	68.43	-3.23	24.90	-3.29
826 m.	3.69	30.82	-4.59	-17.86	31.50	-18.09

Tabla 78. Tabla comparativa prueba 4: 1000 pps de 1500 bytes

Distancia	Kernel 15			Kernel 20		
	% Throughput	% Delay	% Jitter	% Throughput	% Delay	% Jitter
253 m.	-9.60	16.83	14.28	-6.09	-7.03	-9.16
312 m.	4.87	19.92	-5.29	0.15	3.87	0.73
364 m.	28.42	15.61	25.29	-10.38	4.51	-35.40
414 m.	124.50	8.15	-54.96	118.68	7.64	53.77
427 m.	0.69	28.78	-0.57	27.41	24.73	21.27
826 m.	24.85	28.78	-20.39	67.10	31.37	39.92

El cálculo de la ganancia con respecto al throughput se calculó mediante la siguiente fórmula, al ser una ganancia positiva:

$$G_{throughput} = \frac{\tau_{Kernel x} * 100}{\tau_{genérico}} - 100$$

El cálculo de la ganancia con respecto al delay se calculó mediante la siguiente fórmula, al ser una ganancia negativa por la naturaleza del parámetro:

$$G_{delay} = 100 - \frac{\tau_{Kernel x} * 100}{\tau_{genérico}}$$

El cálculo de la ganancia con respecto al jitter se calculó mediante la siguiente fórmula, al ser una ganancia negativa por la naturaleza del parámetro:

$$G_{jitter} = 100 - \frac{\tau_{Kernel x} * 100}{\tau_{genérico}}$$

Habiendo indicado las fórmulas con las cuales se obtienen las ganancias correspondientes, es importante indicar que los valores presentados representan ganancias positivas de acuerdo a la naturaleza de los parámetros, por lo tanto un valor positivo representa ventaja, y un valor negativo representa una desventaja, con respecto a TCP Genérico.

4.6. Gráficas comparativas de *Throughput* entre los TCP experimentados en WiFi.

En la Figura 85 se puede observar que para la Prueba 1 TCP NACK+15 muestra una tendencia de mejor desempeño en todas las distancias, mientras TCP NACK+20 es superior a distancias menores a 180 metros, esto en comparación a TCP genérico.

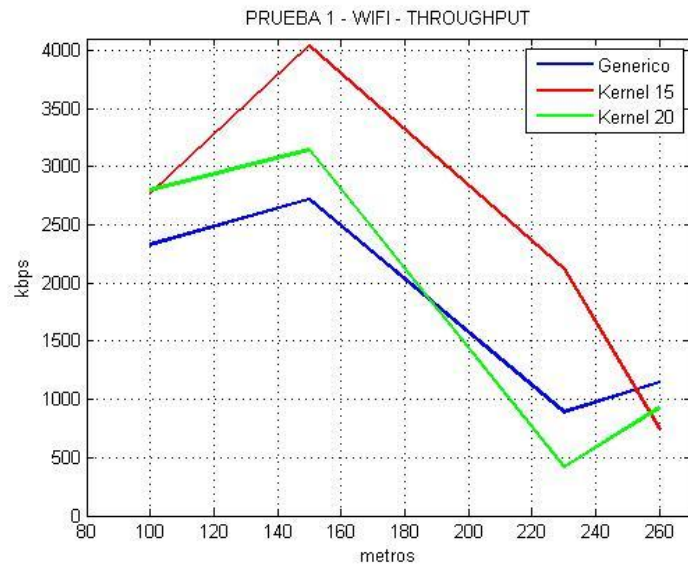


Figura 85. Prueba 1 WiFi - Gráfica comparativa *throughput*

En la Figura 86 se puede observar que para la Prueba 2 TCP NACK+15 muestra una tendencia de mejor desempeño en todas las distancias, mientras TCP NACK+20 es superior a distancias menores a 190 metros, esto en comparación a TCP genérico.

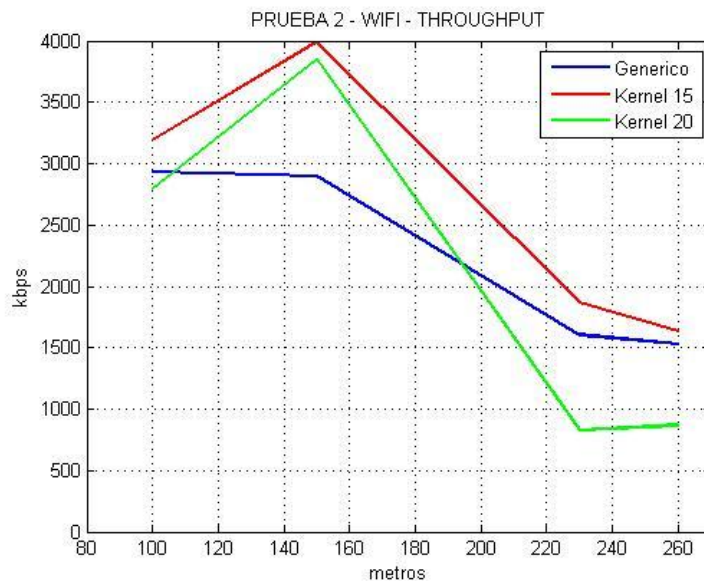


Figura 86. Prueba 2 WiFi - Gráfica comparativa *throughput*

En la Figura 87 se puede observar que para la Prueba 3 TCP NACK+15 muestra una tendencia de mejor desempeño en todas las distancias, mientras TCP NACK+20 es superior a distancias menores a 220 metros, esto en comparación a TCP genérico.

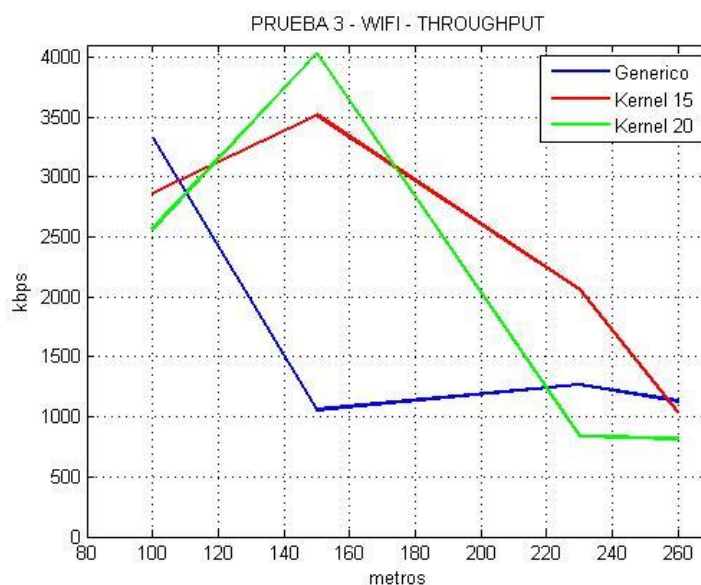


Figura 87. Prueba 3 WiFi - Gráfica comparativa *throughput*

En la Figura 88 se puede observar que para la Prueba 4 TCP NACK+15 muestra una tendencia de mejor desempeño en todas las distancias, mientras TCP NACK+20 es superior a distancias menores a 210 metros, esto en comparación a TCP genérico.

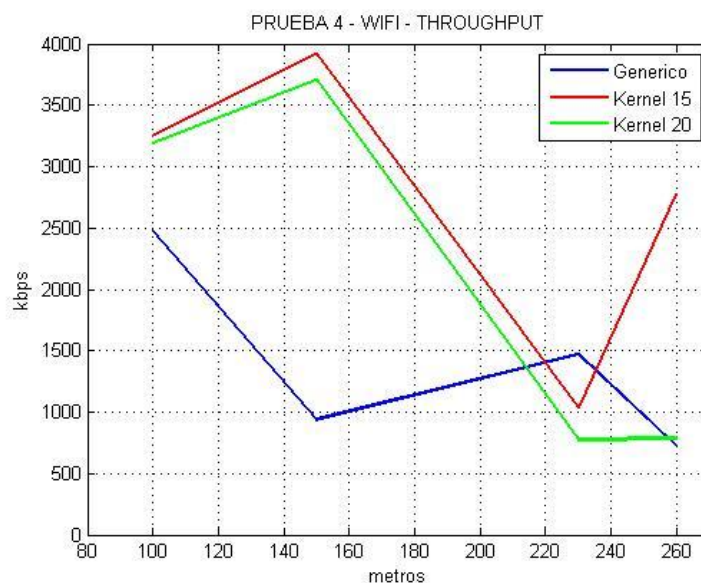


Figura 88. Prueba 4 WiFi - Gráfica comparativa *throughput*

4.7. Gráficas comparativas de *Throughput* entre los TCP experimentados en WiMAX.

En la Figura 89 se puede observar que para la Prueba 1 tanto TCP NACK+15 como TCP NACK+20 muestran una tendencia de mejor desempeño a distancias menores a 400 metros en comparación a TCP genérico.

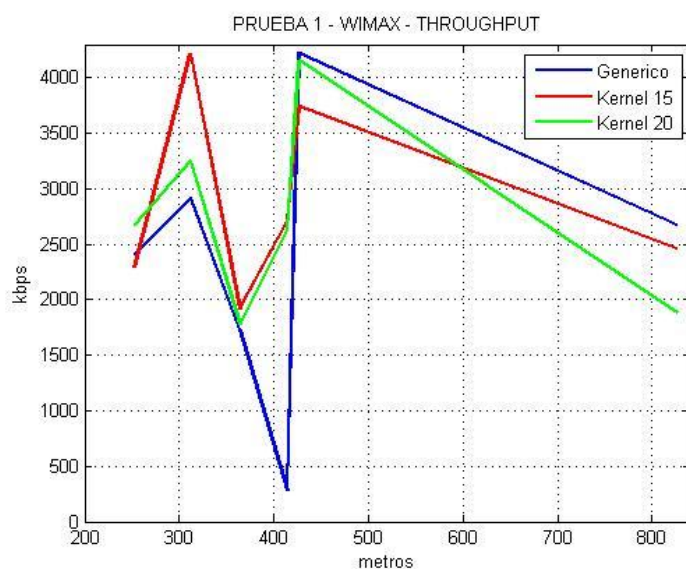


Figura 89. Prueba 1 WiMAX - Gráfica comparativa *throughput*

En la Figura 90 se puede observar que para la Prueba 2 TCP NACK+15 muestra una tendencia de mejor desempeño a distancias menores a 410 metros, mientras que TCP NACK+20 muestra un bajo desempeño en distancias menores a 410 metros, en comparación a TCP genérico.

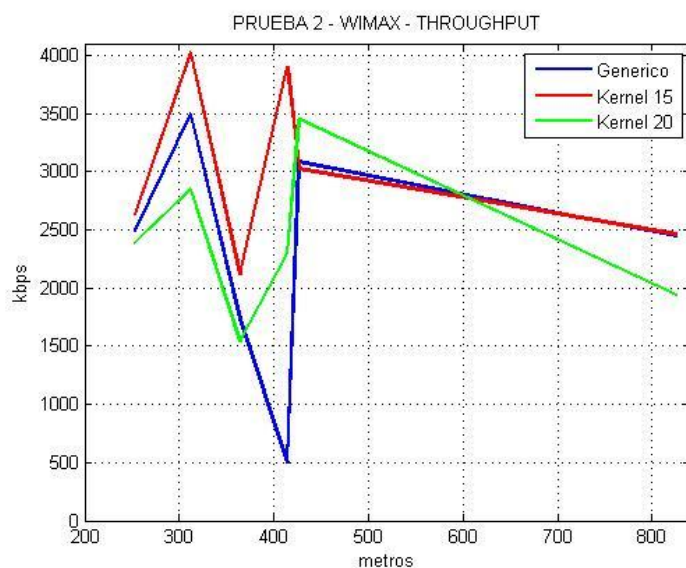


Figura 90. Prueba 2 WiMAX - Gráfica comparativa *throughput*

En la Figura 91 se puede observar que para la Prueba 3 TCP NACK+20 muestra una tendencia de mejor desempeño a distancias menores a 410 metros, de igual manera TCP NACK+15, en comparación a TCP genérico.

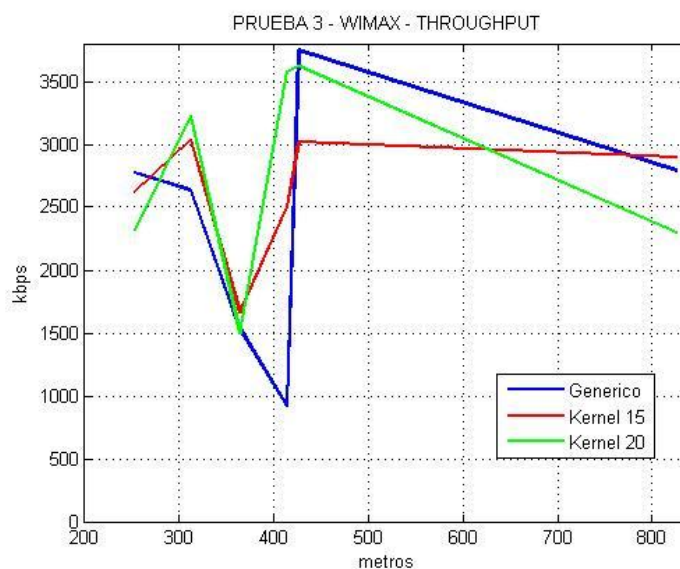


Figura 91. Prueba 3 WiMAX - Gráfica comparativa *throughput*

En la Figura 92 se puede observar que para la Prueba 4 TCP NACK+15 muestra una tendencia de mejor desempeño a distancias menores a 410 metros, TCP NACK+20 muestra mejor desempeño a todas las distancias sobre todo en el rango de 410 a 800 metros, en comparación a TCP genérico.

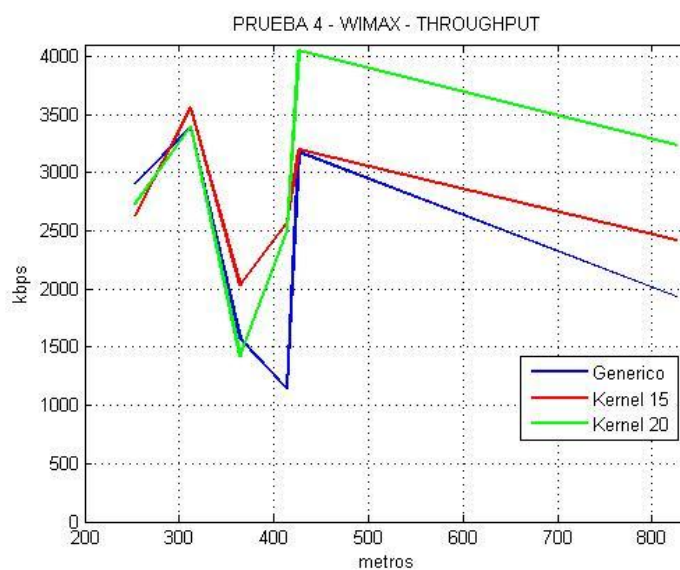


Figura 92. Prueba 4 WiMAX - Gráfica comparativa *throughput*

4.8. Gráficas comparativas de *Delay* entre los TCP experimentados en WiFi.

En la Figura 93 se puede observar que para la Prueba 1 tanto TCP NACK+15 como TCP NACK+20 muestran una disminución en el delay lo cual nos permite aseverar el mejor desempeño del algoritmo en todas las distancias experimentadas, todo esto en comparación con el TCP genérico.

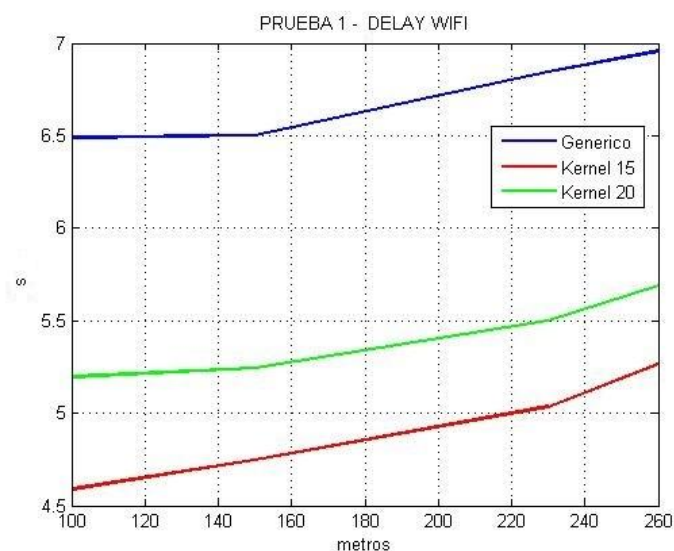


Figura 93. Prueba 1 WiFi - Gráfica comparativa *delay*

En la Figura 94 se puede observar que para la Prueba 2 tanto TCP NACK+15 como TCP NACK+20 muestran una disminución en el delay lo cual nos permite aseverar el mejor desempeño del algoritmo en todas las distancias experimentadas, todo esto en comparación con el TCP genérico.

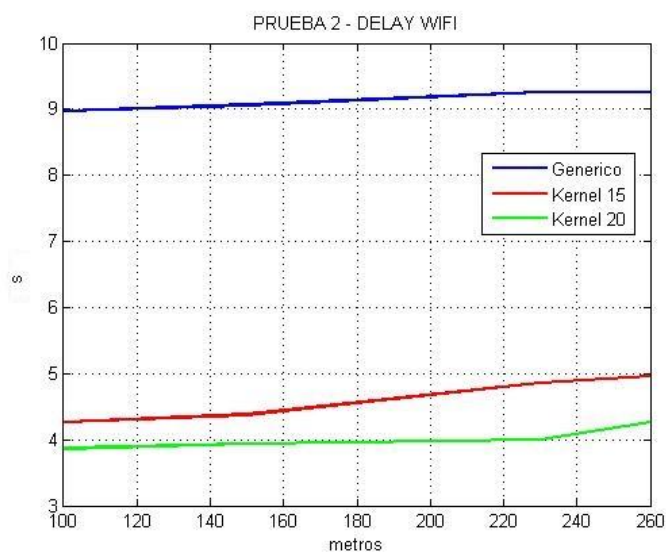


Figura 94. Prueba 2 WiFi - Gráfica comparativa *delay*

En la Figura 95 se puede observar que para la Prueba 3 tanto TCP NACK+15 como TCP NACK+20 muestran una disminución en el delay lo cual nos permite aseverar el mejor desempeño del algoritmo en todas las distancias experimentadas, todo esto en comparación con el TCP genérico.

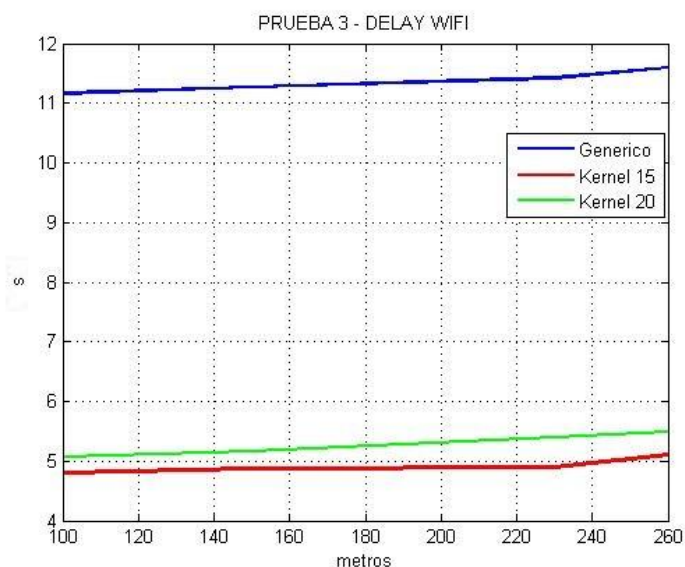


Figura 95. Prueba 3 WiFi - Gráfica comparativa delay

En la Figura 96 se puede observar que para la Prueba 4 TCP genérico muestra disminución en delay con respecto a TCP NACK+15 y a TCP NACK+20 lo cual nos permite observar que bajo estas condiciones de transmisión, es decir con 1000 paquetes por segundo de 1500 bytes, el algoritmo no muestra una ventaja en comparación con TCP genérico.

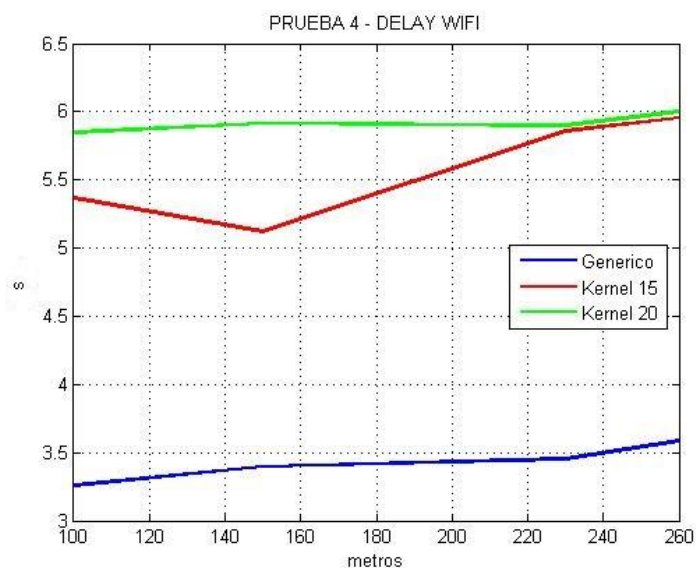


Figura 96. Prueba 4 WiFi - Gráfica comparativa delay

4.9. Gráficas comparativas de *Delay* entre los TCP experimentados en WiMAX.

En la Figura 97 se puede observar que para la Prueba 1 tanto TCP NACK+15 como TCP NACK+20 muestran una disminución en el delay lo cual nos permite aseverar el mejor desempeño del algoritmo en todas las distancias experimentadas, todo esto en comparación con el TCP genérico.

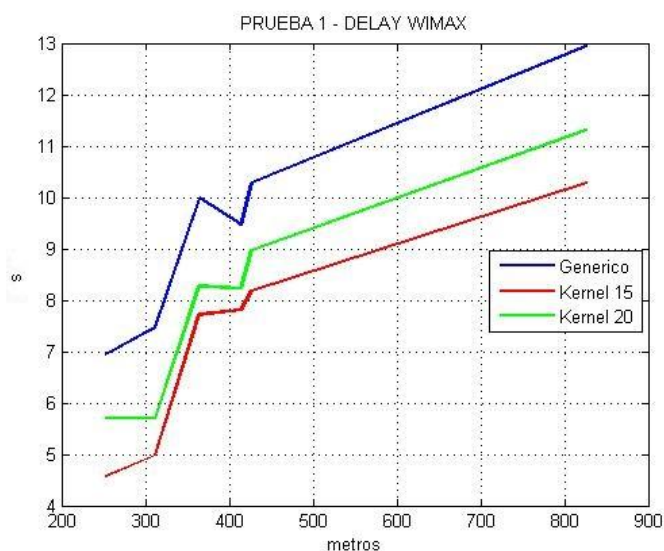


Figura 97. Prueba 1 WiMAX - Gráfica comparativa *delay*

En la Figura 98 se puede observar que para la Prueba 2 tanto TCP NACK+15 como TCP NACK+20 muestran una disminución en el delay lo cual nos permite aseverar el mejor desempeño del algoritmo en todas las distancias experimentadas, todo esto en comparación con el TCP genérico.

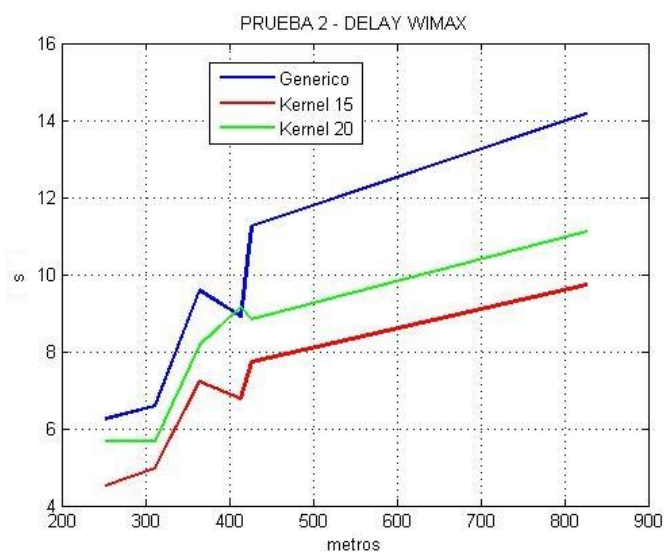


Figura 98. Prueba 2 WiMAX - Gráfica comparativa *delay*

En la Figura 99 se puede observar que para la Prueba 3 tanto TCP NACK+15 como TCP NACK+20 muestran una disminución en el delay lo cual nos permite aseverar el mejor desempeño del algoritmo en todas las distancias experimentadas, todo esto en comparación con el TCP genérico.

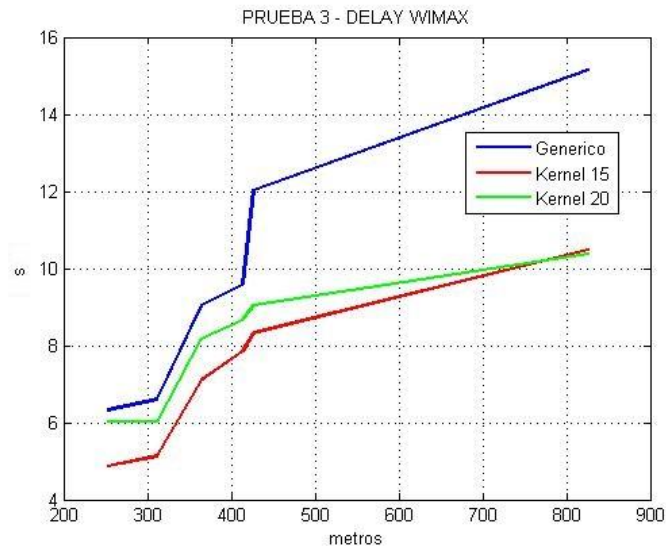


Figura 99. Prueba 3 WiMAX - Gráfica comparativa *delay*

En la Figura 100 se puede observar que para la Prueba 4 tanto TCP NACK+15 como TCP NACK+20 muestran una disminución en el delay lo cual nos permite aseverar el mejor desempeño del algoritmo en todas las distancias experimentadas, todo esto en comparación con el TCP genérico.

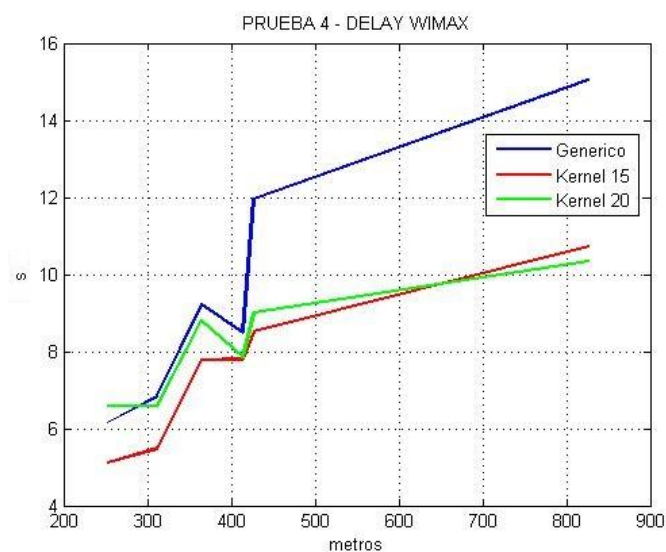


Figura 100. Prueba 4 WiMAX - Gráfica comparativa *delay*

Para visualizar de mejor manera las ganancias que presenta TCP NACK+15 y TCP NACK+20, en cuanto a delay en comparación a TCP Genérico, a continuación las gráficas de las ganancias porcentuales tomando el 100% como referencia a TCP genérico.

A continuación las gráficas de las pruebas realizadas bajo la tecnología WiFi:

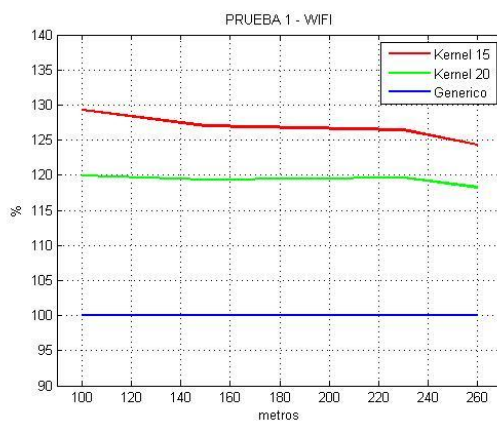


Figura 101. Ganancia porcentual de delay, Prueba 1 WiFi

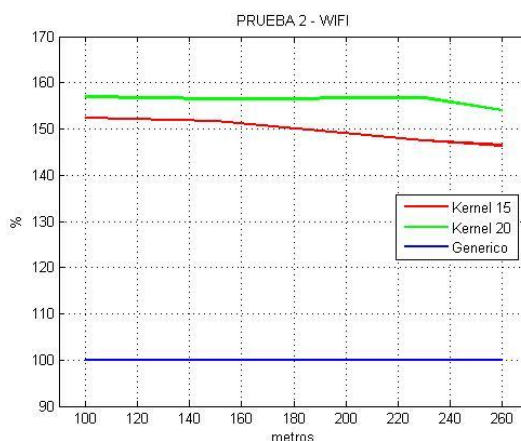


Figura 102. Ganancia porcentual de delay, Prueba 2 WiFi

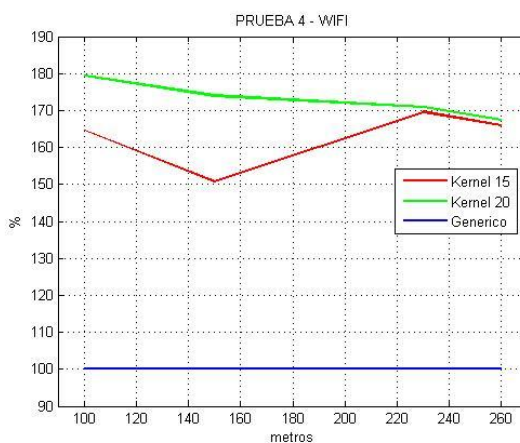


Figura 103. Ganancia porcentual de delay, Prueba 3 WiFi

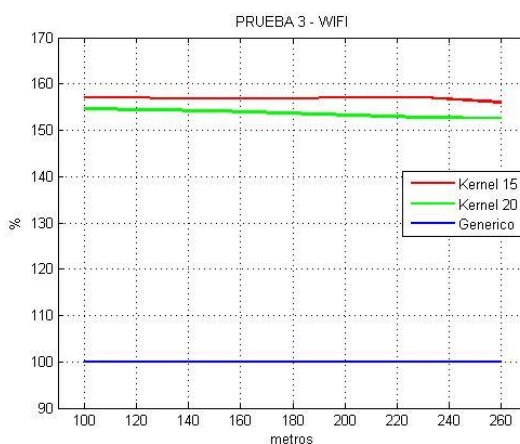


Figura 104. Ganancia porcentual de delay, Prueba 4 WiFi

A continuación las gráficas de las pruebas realizadas bajo la tecnología WiMAX:

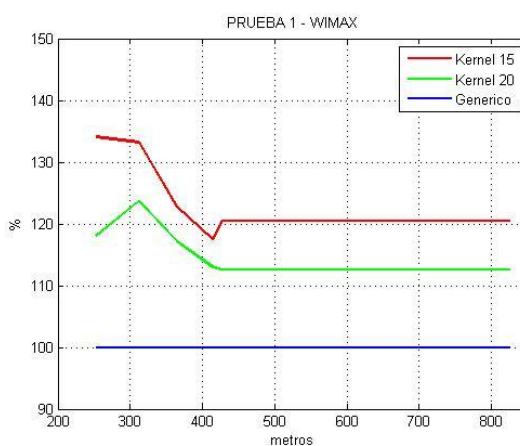


Figura 105. Ganancia porcentual de delay, Prueba 1 WiMAX

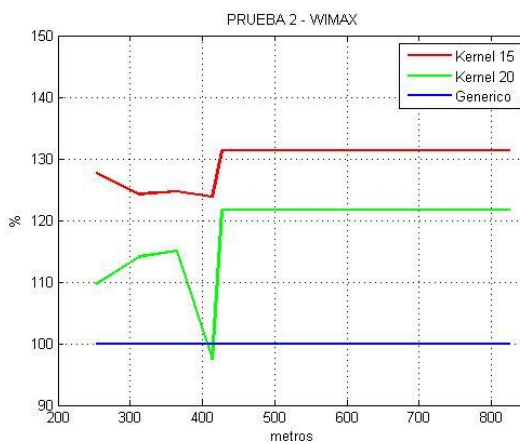


Figura 106. Ganancia porcentual de delay, Prueba 2 WiMAX

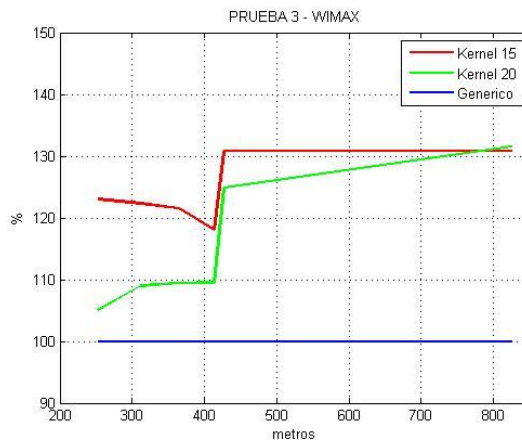


Figura 107. Ganancia porcentual de delay, Prueba 3 WiMAX

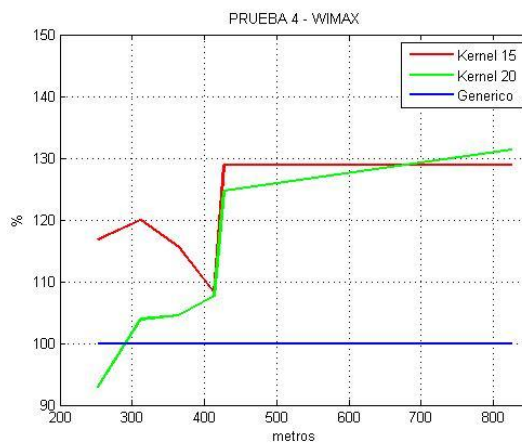


Figura 108. Ganancia porcentual de delay, Prueba 4 WiMAX

CAPITULO V

DISCUSIÓN

5.1. Conclusiones

En concordancia con la evaluación del desempeño del algoritmo de TCP inalámbrico modificado, realizado mediante las pruebas experimentales realizadas en el presente proyecto se hace posible llegar a los siguientes puntos como conclusiones:

Con respecto a las pruebas realizadas con tecnología WiFi:

- En cuanto a *throughput* se observó que tanto TCP NACK+15 como TCP NACK+20 muestran una tendencia de mejora en las pruebas realizadas, de acuerdo a las distancias a las que se realizaron las pruebas se puede acotar que es hasta alrededor de los 200 ± 20 metros que se guarda esta tendencia de optimización en comparación a TCP genérico, TCP NACK+15 presentó ganancias superiores en las pruebas realizadas todo esto gracias a la confirmación negativa la misma que reenvía los segmentos perdidos manteniendo el throughput con el que se haya encontrado enviando en ese momento.
- En cuanto a *delay* se puede indicar que tanto TCP NACK+15 como TCP NACK+20, en la prueba 2 destacan por la ventaja que muestra a todas las distancias probadas, en la prueba 1 y 2 también se observa mejora.

- En cuanto a *jitter* se pudo evidenciar que TCP NACK+15 tiene mejor desempeño generalmente a 150 y a 230 metros de distancia según las pruebas 1, 2 y 3, TCP NACK+20 muestra una tendencia de mejora a 100 y a 150 metros según las pruebas 1, 2 y 4.

Con respecto a las pruebas con tecnología WiMAX:

- En cuanto a *throughput* se observó que TCP NACK+15 y TCP NACK+20, a distancias menores a 414 metros entre el emisor y receptor se obtienen mejores resultados en cuanto a ganancias en comparación a TCP genérico en las 4 pruebas realizadas, lo cual respalda el hecho de que el algoritmo envíe confirmaciones negativas al producirse pérdidas en el medio de propagación y aumente la ventana de congestión, sin reducirlo como lo hace TCP genérico concebido para redes cableadas, cabe mencionar que TCP NACK+20 en la prueba 4, en la que se transmitió 1000 paquetes por segundo de 1500 bytes, obtuvo una ganancia considerable a distancias mayores a 414 metros, atribuible al aumento de ventana de congestión cada vez que se reciben ACKs negativos debido a las pérdidas, y al ser más frecuentes los ACKs es mucho mayor el incremento de la ventana de congestión.
- En cuanto a *delay* se puede indicar que TCP NACK+15 presenta mejor desempeño en todas las pruebas, en todas las distancias experimentadas, TCP NACK+20 también muestra un mejor desempeño que TCP genérico excepto en la prueba 4 a 253 y a 364 metros.
- En cuanto a *jitter* TCP NACK+15 presenta valores menores en comparación a TCP genérico en las pruebas 1, 2 y 3 excepto a 364 y a 427 metros, TCP NACK+20 mantiene una tendencia de mostrar disminución en el valor de *jitter* a 414 y 427 metros de distancia, en la prueba 4 mantiene mejores resultados a 826 metros también.

En general:

- Bajo la tecnología WiFi en concordancia con los resultados obtenidos en cuanto a *throughput* principalmente, *delay* y *jitter* se puede indicar que en general el

mejor desempeño lo evidencia tener TCP NACK+15 a distancias alrededor de los 200 ± 20 metros.

- Bajo la tecnología WiMAX en general, el mejor desempeño en cuanto a throughput lo presenta TCP NACK+15 a distancias menores a 414 metros, mientras que a distancias mayores a 414 metros en la prueba 4 TCP NACK+20 tiene mejor desempeño, es decir enviando 1000 paquetes por segundo de 1500 bytes.
- En general se puede llegar a reafirmar el incremento del desempeño de TCP con el nuevo algoritmo por sobre el TCP convencional, en base a los resultados obtenidos, esto debido a que el algoritmo al presentarse una pérdida en la transmisión, lo cual es muy común en el medio inalámbrico, envía un ACK negativo para la retransmisión aumentando además la ventana de congestión, logrando de esta manera incrementar la velocidad de transmisión.

5.2. Recomendaciones

- Para realizar las inyecciones de tráfico, es importante tomar en cuenta las características de los equipos a utilizarse debido a que las especificaciones técnicas pueden variar, al momento de la práctica y dependiendo de factores no previstos como condiciones climáticas u obstáculos intermedios así como características técnicas de las tarjetas receptoras de los equipos terminales utilizados, los resultados guardar cierto rango de variación.
- Se recomienda poner a prueba el algoritmo bajo transmisiones con aplicaciones específicas, que permitan darle uso práctico y el aprovechamiento de sus ventajas para el avance general de las telecomunicaciones bajo medios inalámbricos, optimizando su desempeño.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Dainotti, A., Botta, A., Pescapè, A. (2012). *DITG. Distributed Internet Traffic Generator, "A tool for the generation of realistic network workload for emerging networking scenarios"*, *Computer Networks (Elsevier)*, Volume 56, Issue 15, pp 3531-3547. <http://traffic.comics.unina.it/software/ITG/>
- [2] RFC 793. (1981). "*Transmission Control Protocol*". IETF. Recuperado el 28 de mayo del 2013 de <http://tools.ietf.org/html/rfc793>.
- [3] Seth, S. y Venkatesulu, M. (2008). "*TCP/IP architecture, desing, and implementation in linux*". New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- [4] Jayanathan, A. (2007). "*TCP performance enhancement over wireless networks*". University of Canterbury, New Zealand.
- [5] Lara, R. (junio 2012) "*IEEE 802.16-2009 - WiMAX*". Escuela Politécnica del Ejército, Ecuador.
- [6] Pilo-Pais, P. (2011) "*Verificación del desempeño de un nuevo algoritmo de control de congestionamiento en entornos inalámbricos reales mediante la modificación del protoco TCP en el kernel de Linux*". Escuela Politécnica del Ejército, Ecuador.
- [7] Cifuentes, G. F. O. (2008). *Controle de congestionamento do protocolo TCP em sistemas de comunicação sem fio CDMA usando estrategia de detecção multiusuario, arranjo de antenas e correção de erro FEC*.
- [8] Fernández, M. (2012). *Desarrollo de alternativas al protocolo TCP para redes inalámbricas*.
- [9] Teja, F. R., Vidal, L., & Alves, L. (2004). *TCP sobre enlaces wireless Problemas y algunas posibles soluciones existentes*.
- [10] Kevin Fall and Sally Floyd, (1996). *Simulation-based Comparisons of Tahoe, Reno and SACK TCP, Computer Communication Review*.

- [11] Brakmo L., O'Malley S., Peterson L. (1994) *TCP Vegas: New Techniques for Congestion Detection and Avoidance*.
- [12] Chunlei, L., Raj J. (enero 2003). *Approaches of wireless TCP enhancement and a new proposal based on congestion coherence, Hawaii International Conference on System Sciences, Quality of Service in Mobile and Wireless Network minitrack, Big Island, Hawaii*.