

**ANÁLISIS DE TRÁFICO DE UNA RED WIFI MEDIANTE UN ENLACE VÍA  
MICROONDAS**

**Julio Andrés Flórez Montesino**

**Hernán Alonso Sanabria Goez**

**M.Sc. Alex Alberto Monclou Salcedo**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
BUCARAMANGA  
2015**

**ANÁLISIS DE TRÁFICO DE UNA RED WIFI MEDIANTE UN ENLACE VÍA  
MICROONDAS**

**Julio Andrés Flórez Montesino**

**Hernán Alonso Sanabria Goez**

**Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero Electrónico**

**M.Sc. Alex Alberto Monclou Salcedo**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
BUCARAMANGA  
2015**

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

Firma del presidente del Jurado

---

Firma del Jurado

---

Firma del Jurado

Bucaramanga, 6 de marzo de 2015

*A Dios y a nuestros padres y familiares, quienes  
nos han apoyado en cada peldaño para culminar  
nuestro proceso de formación.  
Sin su guía incondicional este logro no hubiera  
sido posible.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A Álex Alberto Monclou Salcedo, magíster en Ingeniería Énfasis En Telecomunicación y director del proyecto, por su constante apoyo y motivación en la labor presente. Las palabras de agradecimiento no son suficientes para expresarle nuestra gratitud.

A Fabio Omar Flórez, Socorro Montesino, Jesús Alonso Sanabria y Ofelia Goez ya que sin sus oraciones y palabras de aliento este logro no hubiera sido posible de alcanzar. Les agradecemos de todo corazón.

A nuestros hermanos, familiares, amigos y compañeros que de una u otra forma estuvieron acompañándonos en la ejecución de este proyecto.

## CONTENIDO

	pág.
1. MARCO TEÓRICO .....	24
1.1 ENLACE MICROONDAS [1].....	24
1.2 RED INALÁMBRICA [1] .....	25
1.2.1 Componentes de la red inalámbrica .....	26
1.2.1.1 Access Point. ....	26
1.2.1.2 Router. ....	27
1.3 TECNOLOGÍA WIFI [2] .....	28
1.3.1 Estándares WIFI. ....	28
1.4 ANALIZADOR DE PROTOCOLO WIRESHARK [3].....	29
1.5 PROGRAMA PARA AJUSTE DE DISTRIBUCIÓN EASYFIT [4] .....	30
1.6 ANTENA PARÁBOLA TIPO GRILLA.....	31
1.7 ANTENA TIPO PANEL .....	33
1.8 TRÁFICO TELEFÓNICO [5] .....	34
1.8.1 Conceptos preliminares de Tráfico Telefónico.....	34
1.8.2 Cálculos de Erlang.....	35
1.8.2.1 Erlang B. ....	35
1.8.2.1.1 Condiciones para el modelo Erlang B. ....	35
1.8.2.2 Erlang B Extendido. ....	36
1.8.2.3 Erlang C.....	36
1.8.2.3.1 Condiciones para el modelo Erlang C.....	36
1.9 NOTACIÓN DE KENDALL [6] .....	36
1.9.1 Características de la Notación Kendall. ....	37
1.10 DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD CONTINUAS .....	37
1.10.1 Conceptos preliminares [7] .....	38
1.10.2 Distribución de probabilidad normal [8].....	39
1.10.3 Distribución de probabilidad log-normal [9].....	40
1.10.4 Distribución de probabilidad gamma [9] [10].....	41
1.10.5 Distribución de probabilidad de Weibull [9] [10] .....	42
2. ESTADO DEL ARTE .....	43
2.1 MODELOS DE RED [1].....	43

2.1.1	Modelo OSI.....	43
2.1.1.1	Capas del Modelo OSI.....	44
2.1.1.1.1	La capa física.....	44
2.1.1.1.2	La capa de enlace de datos.....	44
2.1.1.1.3	La capa de red.....	44
2.1.1.1.4	La capa de transporte.....	45
2.1.1.1.5	La capa de sesión.....	45
2.1.1.1.6	La capa de presentación.....	45
2.1.1.1.7	La capa de aplicación.....	45
2.1.2	Modelo TCP/IP.....	45
2.1.2.1	Capas del modelo TCP/IP.....	46
2.1.2.1.1	Capa Física.....	46
2.1.2.1.2	Capa de acceso a la red.....	46
2.1.2.1.3	Capa de Red.....	46
2.1.2.1.4	Capa de transporte.....	46
2.1.2.1.5	Capa de aplicación.....	47
2.2	PROCOLOS DE COMUNICACIONES [11].....	47
2.2.1	Elementos básicos de un protocolo de comunicaciones.....	47
2.2.1.1	Caracteres.....	47
2.2.1.2	Secuencia y sincronización de mensajes.....	47
2.2.1.3	Detección y corrección de errores.....	47
2.2.2	Protocolos de red TCP/IP.....	47
2.2.2.1	Protocolo FTP.....	48
2.2.2.2	Protocolo TCP.....	48
2.2.2.3	Protocolo UDP.....	48
2.2.2.4	Protocolo HTTP.....	48
2.2.2.5	Protocolo IP.....	48
2.2.2.6	Protocolo IPv4.....	48
2.2.2.7	Protocolo IPv6.....	48
2.2.2.8	Protocolo SMTP.....	49
2.2.2.9	Protocolo SNMP.....	49
2.3	TRÁFICO EN ATM [12].....	49
2.3.1	Modelo de referencia de Tráfico ATM.....	50

2.3.1.1 Capa física.....	51
2.3.1.2 Capa ATM.....	51
2.3.1.3 Capa de adaptación ATM.....	51
2.3.2 Conmutadores ATM.....	51
2.3.2.1 Cola de entrada en un conmutador ATM.....	52
2.3.2.2 Cola de salida en un conmutador ATM.....	52
2.4 TEORÍA DE COLAS [13].....	52
2.4.1 Conceptos preliminares.....	53
2.4.2 Clasificación de las colas.....	54
2.4.2.1 Un servidor; una fila (población infinita).....	54
2.4.2.2 Servidores múltiples; una fila (población infinita).....	54
2.4.2.3 Servidores múltiples; filas múltiples.....	55
2.4.2.4 Servidor múltiple; fila múltiple (con cambios entre filas).....	56
2.4.2.5 Estación a estación.....	56
2.4.2.6 Otras combinaciones de colas.....	56
2.5 AUTOSIMILARIDAD [14].....	56
2.5.1 Autosimilitud determinística.....	57
2.5.2 Autosimilitud estocástica.....	58
2.5.3 Parámetro de Hurst.....	59
2.6 PRUEBAS DE BONDAD DE AJUSTE [15].....	60
2.6.1 Prueba Chi cuadrado.....	60
2.6.2 Prueba Kolgomórov-Smirnov.....	60
3. METODOLOGÍA.....	61
3.1 DOCUMENTACIÓN.....	61
3.2 ENLACE WIFI VÍA MICROONDAS.....	61
3.3 PROCEDIMIENTO.....	62
3.4 INSTRUMENTOS.....	62
4. SIMULACIÓN Y RESULTADOS.....	63
4.1 PRUEBA 1.....	63
4.1.1 Paquetes a analizar según el nivel del modelo de red TCP/IP.....	65
4.1.2 Cantidad de paquetes con respecto al tiempo de la Prueba 1.....	65
4.1.3 Longitud de paquetes con respecto al tiempo de la Prueba 1.....	66
4.1.4 Distribución de probabilidad para Longitud de paquetes con respecto al tiempo	

de la Prueba 1.....	66
4.1.5 Intercambio de paquetes de nivel de Transporte de la Prueba 1.....	71
4.1.5.1 Análisis de paquetes TCP de la Prueba 1.....	71
4.1.5.1.1 Distribución de Probabilidad del protocolo TCP de la Prueba 1.....	72
4.1.5.2 Análisis de paquetes UDP de la Prueba 1. ....	74
4.1.5.2.1 Distribución de Probabilidad del protocolo UDP de la Prueba 1. ....	75
4.1.6 Intercambio de paquetes de nivel de Aplicación de la Prueba 1.....	78
4.1.7 Pérdida de paquetes [17]. ....	80
4.1.8 Ancho de banda [17]. ....	80
4.1.9 Estimación del parámetro de Hurst [16]. ....	82
4.2 PRUEBA 2 .....	86
4.2.1 Paquetes a analizar según el nivel del modelo de red TCP/IP.....	86
4.2.2 Cantidad de paquetes con respecto al tiempo de la Prueba 2.....	86
4.2.3 Longitud de paquetes con respecto al tiempo de la Prueba 2. ....	89
4.2.4 Distribución de probabilidad para Longitud de paquetes con respecto al tiempo de la Prueba 2.....	89
4.2.5 Intercambio de paquetes de nivel de Transporte de la Prueba 2. ....	92
4.2.5.1 Análisis de paquetes TCP de la Prueba 2.....	92
4.2.5.1.1 Distribución de Probabilidad del protocolo TCP de la Prueba 2.....	93
4.2.5.2 Análisis de paquetes UDP de la Prueba 2. ....	95
4.2.5.2.1 Distribución de Probabilidad del protocolo UDP de la Prueba 2. ....	96
4.2.6 Intercambio de paquetes de nivel de Aplicación de la Prueba 2. ....	98
4.2.7 Pérdida de paquetes [17]. ....	101
4.2.8 Ancho de banda. ....	103
4.2.9 Estimación del parámetro de Hurst [16]. ....	103
4.3 PRUEBA 3 .....	106
4.3.1 Paquetes a analizar según el nivel del modelo de red TCP/IP.....	106
4.3.2 Cantidad de paquetes con respecto al tiempo de la Prueba 3.....	108
4.3.3 Longitud de paquetes con respecto al tiempo de la Prueba 3. ....	108
4.3.4 Distribución de probabilidad para Longitud de paquetes con respecto al tiempo de la Prueba 3.....	109
4.3.5 Intercambio de paquetes de nivel de Transporte de la Prueba 3.....	112
4.3.5.1 Análisis de paquetes TCP de la Prueba 3.....	112

4.3.5.1.1 Distribución de Probabilidad del protocolo TCP de la Prueba 3.....	113
4.3.5.2 Análisis de paquetes UDP de la Prueba 3. ....	115
4.3.5.2.1 Distribución de Probabilidad del protocolo UDP de la Prueba 3. ....	116
4.3.6 Intercambio de paquetes de nivel de Aplicación de la Prueba 3.....	118
4.3.7 Pérdida de paquetes [17].....	120
4.3.8 Ancho de banda.....	123
4.3.9 Estimación del parámetro de Hurst [16].....	123
5. CONCLUSIONES .....	127
6. ANEXOS .....	128
ANEXO 1. CONFIGURACIÓN DE ACCESS POINT 3COM.....	128
1. PRÁCTICA 1 .....	128
ANEXO 2. CONFIGURACIÓN DEL ACCESS POINT QP-WA252G EN MODO CLIENTE.....	138
2. PRÁCTICA 2.....	138
ANEXO 3. CONFIGURACIÓN DEL ROUTER TP-LINK .....	143
3. PRÁCTICA 3.....	143
ANEXO 4. PROTOTIPO DE ENLACE VÍA MICROONDAS .....	150
4. PRÁCTICA 4 .....	150
5. PRÁCTICA 5.....	154
7. BIBLIOGRAFIA.....	163

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Espectro electromagnético.....	24
Figura 2. Esquema de un enlace vía microondas. ....	25
Figura 3. Esquema de una red inalámbrica.....	26
Figura 4. Access Point 3Com® Wireless 8760 Dual-radio 11a/b/g PoE. ....	26
Figura 5. Router TP-LINK Wireless N Router TL-WR841ND.....	27
Figura 6. Captura de tráfico con el software Wireshark.....	29
Figura 7. Interfaz gráfica del software EasyFit. ....	30
Figura 8. Antena tipo grilla del laboratorio de comunicaciones de la UPB sede Bucaramanga. ....	31
Figura 9. Diagrama de polarización de la antena tipo grilla. ....	32
Figura 10. Antena tipo panel del laboratorio de comunicaciones de la UPB sede Bucaramanga. ....	33
Figura 11. Gráfica de densidad de probabilidad normal. ....	39
Figura 12. Gráfica de densidad de probabilidad log-normal. ....	40
Figura 13. Gráfica de densidad de probabilidad gamma. ....	42
Figura 14. Gráfica de densidad de probabilidad Weibull. ....	43
Figura 15. Esquema general del modelo OSI. ....	44
Figura 16. Esquema general del modelo TCP/IP.....	45
Figura 17. Modelo de referencia para tráfico ATM.....	50
Figura 18. Modelo de un conmutador ATM. ....	51
Figura 19. Sistema de cola básico. ....	53
Figura 20. Modelo de cola “un servidor, una línea”. ....	54
Figura 21. Modelo de cola “servidores múltiples, una fila”.....	54
Figura 22. Modelo de cola “servidores múltiples, filas múltiples”.....	56
Figura 23. Tráfico en un segmento de red Ethernet. ....	57
Figura 24. Copo de nieve de Koch.....	58
Figura 25. Muestra de tráfico de un proceso de Poisson. ....	58
Figura 26. Arquitectura del modelo de red TCP/IP. ....	63

Figura 27. Tráfico generado en la Prueba 1.....	64
Figura 28. Paquetes vs tiempo de la Prueba 1.....	65
Figura 29. Longitud de paquetes vs tiempo de la Prueba 1.....	66
Figura 30. Distribución de probabilidad para Longitud de paquetes de la Prueba 1.....	67
Figura 31. Gráfica de Weibull de tiempos de falla de la Prueba 1.....	68
Figura 32. Longitud de paquetes TCP vs tiempo de la Prueba 1.....	72
Figura 33. Distribución de probabilidad para Longitud de paquetes TCP de la Prueba 1.....	72
Figura 34. Gráfica de Weibull de tiempos de falla para Longitud de paquetes TCP de la Prueba 1.....	73
Figura 35. Longitud de paquetes UDP vs tiempo de la Prueba 1.....	75
Figura 36. Distribución de probabilidad para Longitud de paquetes UDP de la Prueba 1.....	76
Figura 37. Gráfica de Weibull de tiempos de falla para Longitud de paquetes UDP de la Prueba 1.....	76
Figura 38. Longitud de paquetes HTTP vs tiempo de la Prueba 1.....	78
Figura 39. Distribución de probabilidad para Longitud de paquetes HTTP vs tiempo de la Prueba 1.....	79
Figura 40. Pérdida de paquetes TCP vs tiempo de la Prueba 1.....	81
Figura 41. Cálculo del parámetro de Hurst para Paquetes vs tiempo de la prueba 1.....	85
Figura 42. Parámetro de Hurst para Paquetes vs tiempo de la Prueba 1 empleando el método RS.....	85
Figura 43. Paquetes vs tiempo de la Prueba 2.....	87
Figura 44. Tráfico generado en la Prueba 2.....	88
Figura 45. Longitud de paquetes vs tiempo de la Prueba 2.....	89
Figura 46. Distribución de probabilidad para Longitud de paquetes vs tiempo de la Prueba 2.....	90
Figura 47. Gráfica de Weibull de tiempos de falla de la Prueba 2.....	90
Figura 48. Longitud de paquetes TCP vs tiempo de la Prueba 2.....	93
Figura 49. Distribución de probabilidad para Longitud de paquetes TCP de la Prueba 2.....	93
Figura 50. Gráfica de Weibull de tiempos de falla para Longitud de paquetes TCP de la Prueba 2.....	94
Figura 51. Longitud de paquetes UDP vs tiempo de la Prueba 2.....	96
Figura 52. Distribución de probabilidad para Longitud de paquetes UDP de la Prueba 2.....	96
Figura 53. Gráfica de Weibull de tiempos de falla para Longitud de paquetes UDP de la Prueba 2.....	97
Figura 54. Longitud de paquetes HTTP vs tiempo de la Prueba 2.....	99
Figura 55. Distribución de probabilidad para Longitud de paquetes HTTP vs tiempo de la Prueba 2.....	100
Figura 56. Pérdida de paquetes TCP vs tiempo de la Prueba 2.....	102
Figura 57. Cálculo del parámetro de Hurst para Paquetes vs tiempo de la Prueba 2.....	105
Figura 58. Parámetro de Hurst para Paquetes vs tiempo de la Prueba 2 empleando el método RS.....	105
Figura 59. Tráfico generado en la Prueba 3.....	107
Figura 60. Paquetes vs tiempo de la Prueba 3.....	108
Figura 61. Longitud de paquetes vs tiempo de la Prueba 3.....	109
Figura 62. Distribución de probabilidad para Longitud de paquetes vs tiempo de la Prueba 3.....	110
Figura 63. Gráfica de Weibull de tiempos de falla de la Prueba 3.....	110
Figura 64. Longitud de paquetes TCP vs tiempo de la Prueba 3.....	112
Figura 65. Distribución de probabilidad para Longitud de paquetes TCP de la Prueba 3.....	

.....	113
Figura 66. Gráfica de Weibull de tiempos de falla para Longitud de paquetes TCP de la Prueba 3.....	114
Figura 67. Longitud de paquetes UDP vs tiempo de la Prueba 3.....	115
Figura 68. Distribución de probabilidad para Longitud de paquetes UDP de la Prueba 3.....	116
Figura 69. Gráfica de Weibull de tiempos de falla para Longitud de paquetes UDP de la Prueba 3.....	117
Figura 70. Longitud de paquetes HTTP vs tiempo de la Prueba 3.....	119
Figura 71. Distribución de probabilidad para Longitud de paquetes HTTP vs tiempo de la Prueba 3.....	119
Figura 72. Pérdida de paquetes TCP vs tiempo de la Prueba 3.....	122
Figura 73. Cálculo del parámetro de Hurst para Paquetes vs tiempo de la Prueba 3.....	125
Figura 74. Parámetro de Hurst para Paquetes vs tiempo de la Prueba 3 empleando el método RS.....	125
Figura 75. Access Point 3Com® Wireless 8760 Dual-Radio 11a/b/g PoE.....	129
Figura 76. Conexión del Access Point 3Com para acceder al modo consola.....	130
Figura 77. Ingreso a la dirección IP del Access Point 3Com.....	130
Figura 78. Interfaz Web del Access Point 3Com 8760.....	130
Figura 79. Interfaz Web Acceso del Access Point 3Com.....	131
Figura 80. Interfaz Web <i>Advanced Setup</i> y <i>Setup Wizard</i> del Access Point 3Com.....	131
Figura 81. Interfaz Web en configuración <i>Setup Wizard</i> del Access Point 3Com.....	132
Figura 82. Interfaz Web <i>SSID</i> del Access Point 3Com.....	132
Figura 83. Interfaz Web <i>Radio Channel</i> del Access Point 3Com.....	133
Figura 84. Interfaz Web <i>TCP/IP Settings</i> del Access Point 3Com.....	133
Figura 85. Interfaz Web <i>Security 802-11a radio</i> del Access Point 3Com.....	134
Figura 86. Interfaz Web <i>Encryption</i> del Access Point 3Com.....	135
Figura 87. Interfaz Web <i>Security 802.11g Radio</i> del Access Point 3Com.....	136
Figura 88. Interfaz Web <i>Configuration has been saved</i> del Access Point 3Com.....	136
Figura 89. Conexión física a la red Universidad Pontificia Bolivariana a través del Access Point 3Com.....	137
Figura 90. Redes inalámbricas disponibles en el administrador de redes (Configuración del Access Point 3Com).....	137
Figura 91. Conexión Access Point QP-WA252G a la interfaz Web.....	139
Figura 92. Ingreso a la dirección IP del Access Point QP-WA252G.....	139
Figura 93. Interfaz web Wireless <i>Back Settings en modo Cliente</i> del Access Point QP-WA252G.....	140
Figura 94. Interfaz web <i>Wireless Basic Settings Network Type: Infraestructure</i> y <i>SSID: Infraestructure</i> del Access Point QP-WA252G.....	140
Figura 95. Interfaz web <i>Wireless Basic Settings Change setting successfully!</i> , del Access Point QP-WA252G.....	140
Figura 96. Interfaz web Wireless <i>Site Survey</i> del Access Point QP-WA252G.....	141
Figura 97. Interfaz web <i>Selección de la red</i> del Access Point QP-WA252G.....	142
Figura 98. Interfaz web <i>Access Point Status</i> del Access Point QP-WA252G.....	142
Figura 99. Conexión TP-LINK con la antena panel y el computador portátil.....	144
Figura 100. Ingreso a la dirección IP del router TP-LINK.....	144
Figura 101. Autenticación para acceder al router TP-LINK.....	145
Figura 102. Interfaz web del TP-LINK.....	145
Figura 103. Interfaz web <i>Quick Setup</i> del router TP-LINK.....	146

Figura 104. Interfaz web <i>WAN Connection Type</i> opción <i>Auto-Detect</i> del router TP-LINK. .....	146
Figura 105. Interfaz web <i>Quick Setup - Wireless</i> del router TP-LINK. ....	147
Figura 106. Interfaz web <i>Quick Setup – Finish</i> del router TP-LINK. ....	147
Figura 107. Interfaz web <i>Restart</i> del router TP-LINK.....	148
Figura 108. Visualización de cambios en el router TP-LINK.....	148
Figura 109. Conexión en el administrador de redes con el router TP-LINK.....	149
Figura 110. Conexión de la estación transmisora del enlace vía microondas.....	151
Figura 111. Conexión de la estación receptora del enlace vía microondas. ....	152
Figura 112. Conexión a la red (prototipo de enlace vía microondas).....	152
Figura 113. Prototipo de enlace vía microondas. ....	153
Figura 114. Selección de red con el software <i>Wireshark</i> . ....	155
Figura 115. Lista de conversaciones de protocolos con el software <i>Wireshark</i> . ....	155
Figura 116. Tabla de frecuencias con el software <i>Excel</i> . ....	156
Figura 117. Tabla de frecuencias hallando P (mínimo y máximo) con el software <i>Excel</i> . ....	156
Figura 118. Tabla de frecuencias con el software <i>Excel</i> . ....	158
Figura 119. Tabla de frecuencias hallando los límites (inferior y superior) con el software <i>Excel</i> . ....	158
Figura 120. Tabla de frecuencias hallando la marca de clase con el software <i>Excel</i> . ....	159
Figura 121. Tabla de frecuencias seleccionando <i>Análisis de datos</i> con el software <i>Excel</i> . .....	159
Figura 122. Tabla de frecuencias seleccionando <i>histograma</i> con el software <i>Excel</i> . ....	160
Figura 123. Histograma con el software <i>Excel</i> . ....	161
Figura 124. Software <i>EasyFit</i> .....	161
Figura 125. Selección del tipo y fuente de los datos de entrada con el software <i>EasyFit</i> . .....	162
Figura 126. Selección de la distribución de probabilidad, resultado de ajuste y bondad de ajuste con el software <i>EasyFit</i> . ....	162

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Características del Access Point 3Com. ....	27
Tabla 2. Especificaciones de la antena tipo grilla para wifi. ....	33
Tabla 3. Niveles de tolerancia por tipo de tráfico. ....	49
Tabla 4. Cantidad de paquetes intercambiados por nivel en la Prueba 1. ....	65
Tabla 5. Media y varianza para Longitud de paquetes vs tiempo de la Prueba 1. ....	66
Tabla 6. Parámetros del Histograma Longitud de paquetes de la Prueba 1. ....	68
Tabla 7. Distribución del estadístico K-S. ....	70
Tabla 8. Resultados de ajuste de la Prueba 1. ....	70
Tabla 9. Comparación de resultados del ajuste de la Prueba 1. ....	71
Tabla 10. Relación de paquetes TCP y UDP de la Prueba 1. ....	71
Tabla 11. Media y varianza para Longitud de paquetes TCP vs tiempo de la Prueba 1. ....	72
Tabla 12. Parámetros del Histograma Longitud de paquetes TCP de la Prueba 1. ....	74
Tabla 13. Prueba de bondad de ajuste Kolgomórov-Smirnov para el protocolo TCP de Prueba 1. ....	74
Tabla 14. Comparación de resultados del ajuste de los paquetes TCP de la Prueba 1. ....	74
Tabla 15. Media y varianza para Longitud de paquetes UDP vs tiempo de la Prueba 1. ....	75
Tabla 16. Parámetros del Histograma Longitud de paquetes UDP de la Prueba 1. ....	77
Tabla 17. Resultados de ajuste para el protocolo UDP de la Prueba 1. ....	77
Tabla 18. Comparación de resultados del ajuste de los paquetes UDP de la Prueba 1. ....	77
Tabla 19. Relación de paquetes HTTP de la Prueba 1. ....	78
Tabla 20. Media y varianza para Longitud de paquetes HTTP vs tiempo de la Prueba 1. ....	79
Tabla 21. Resultados de ajuste para el protocolo HTTP de la Prueba 1. ....	80
Tabla 22. Prueba de bondad de ajuste Kolgomórov-Smirnov para el protocolo HTTP de la Prueba 1. ....	80
Tabla 23. Cantidad de paquetes intercambiados por nivel en la Prueba 2. ....	86
Tabla 24. Media y Varianza para Longitud de paquetes vs tiempo de la Prueba 2. ....	89
Tabla 25. Parámetros del Histograma Longitud de paquetes de la Prueba 2. ....	91
Tabla 26. Resultados de ajuste de la Prueba 2. ....	91
Tabla 27. Comparación de resultados del ajuste de la Prueba 1. ....	92
Tabla 28. Relación de paquetes TCP y UDP de la Prueba 2. ....	92
Tabla 29. Media y varianza para Longitud de paquetes TCP vs tiempo de la Prueba 2. ....	93
Tabla 30. Parámetros del Histograma Longitud de paquetes TCP de la Prueba 1. ....	95
Tabla 31. Prueba de bondad de ajuste Kolgomórov-Smirnov para el protocolo TCP de Prueba 1. ....	95
Tabla 32. Comparación de resultados del ajuste de los paquetes TCP de la Prueba 2. ....	95
Tabla 33. Media y varianza para Longitud de paquetes UDP vs tiempo de la Prueba 2. ....	96
Tabla 34. Parámetros del Histograma Longitud de paquetes UDP de la Prueba 2. ....	98
Tabla 35. Resultados de ajuste para el protocolo UDP de la Prueba 2. ....	98
Tabla 36. Comparación de resultados del ajuste de los paquetes UDP de la Prueba 2. ....	98
Tabla 37. Relación de paquetes HTTP de la Prueba 2. ....	99
Tabla 38. Media y varianza para Longitud de paquetes HTTP vs tiempo de la Prueba 2. ....	100
Tabla 39. Resultados de ajuste para el protocolo HTTP de la Prueba 2. ....	100

Tabla 40. Prueba de bondad de ajuste Kolgomórov-Smirnov para el protocolo HTTP de la Prueba 2.....	101
Tabla 41. Cantidad de paquetes intercambiados por nivel en la Prueba 3. ....	106
Tabla 42. Media y varianza para Longitud de paquetes vs tiempo de la Prueba 3. ....	109
Tabla 43. Parámetros del Histograma Longitud de paquetes de la Prueba 3. ....	111
Tabla 44. Resultados de ajuste de la Prueba 3. ....	111
Tabla 45. Comparación de resultados del ajuste de la Prueba 3.....	111
Tabla 46. Relación de paquetes TCP y UDP de la Prueba 1.....	112
Tabla 47. Media y varianza para Longitud de paquetes TCP vs tiempo de la Prueba 3. .	113
Tabla 48. Parámetros del Histograma Longitud de paquetes TCP de la Prueba 3. ....	114
Tabla 49. Prueba de bondad de ajuste Kolgomórov-Smirnov para el protocolo TCP de Prueba 3.....	114
Tabla 50. Comparación de resultados del ajuste de los paquetes TCP de la Prueba 3. ...	115
Tabla 51. Media y varianza para Longitud de paquetes UDP vs tiempo de la Prueba 3. .	116
Tabla 52. Parámetros del Histograma Longitud de paquetes UDP de la Prueba 3.....	117
Tabla 53. Resultados de ajuste para el protocolo UDP de la Prueba 3. ....	117
Tabla 54. Comparación de resultados del ajuste de los paquetes UDP de la Prueba 3...	118
Tabla 55. Relación de paquetes HTTP de la Prueba 3.....	118
Tabla 56. Media y varianza para Longitud de paquetes HTTP vs tiempo de la Prueba 3.	119
Tabla 57. Tabla con datos de entrada. ....	158
Tabla 58. Tabla de Frecuencia. ....	158

## TABLA DE ECUACIONES

pág.

Ecuación 1. Fórmula para el modelo Erlang B.....	35
Ecuación 2. Fórmula para el modelo Erlang C.....	36
Ecuación 3. Media de una serie de datos.....	38
Ecuación 4. Varianza de una serie de datos.....	38
Ecuación 5. Distribución de probabilidad normal.....	39
Ecuación 6. Media, varianza y desviación estándar de la distribución de probabilidad normal.....	39
Ecuación 7. Distribución de probabilidad log-normal.....	40
Ecuación 8. Media y varianza de la distribución de probabilidad log-normal.....	40
Ecuación 9. Función gamma.....	41
Ecuación 10. Distribución de probabilidad gamma.....	41
Ecuación 11. Media y varianza de la distribución de probabilidad gamma.....	41
Ecuación 12. Distribución de probabilidad Weibull.....	42
Ecuación 13. Media y varianza de la distribución de probabilidad Weibull.....	42
Ecuación 14. Fórmulas generales para el modelo de cola “un servidor, una línea”.....	54
Ecuación 15. Fórmulas generales para el modelo de cola “servidores múltiples, una fila”.....	55
Ecuación 16. Parámetro de Hurst.....	59
Ecuación 17. Prueba de bondad de ajuste Chi cuadrado.....	60
Ecuación 18. Cálculo de $X_i$ .....	67
Ecuación 19. Cálculo de $F(t_i)$ .....	67
Ecuación 20. Cálculo de $Y_i$ .....	68
Ecuación 21. Distancia de Kolgomórov-Smirnov.....	69
Ecuación 22. Cálculo de $X^*(t)$ .....	82
Ecuación 23. Cálculo de $s^2(t,s)$ .....	82
Ecuación 24. Cálculo de $R(t,s)$ .....	82
Ecuación 25. Rango de entrada.....	157
Ecuación 26. Regla de Sturges para el cálculo del número de clases.....	157
Ecuación 27. Amplitud de la clase.....	157

## LISTA DE ANEXOS

pág.

ANEXO 1. CONFIGURACIÓN DE ACCESS POINT 3COM.....	128
ANEXO 2. CONFIGURACIÓN DEL ACCESS POINT QP-WA252G EN MODO CLIENTE .....	138
ANEXO 3. CONFIGURACIÓN DEL ROUTER TP-LINK.....	143
ANEXO 4. PROTOTIPO DE ENLACE VÍA MICROONDAS.....	150
ANEXO 5. MUESTRA DE DATOS UTILIZANDO EL SOFTWARE WIRESHARK.....	154

## GLOSARIO

**ACCESS POINT:** el punto de acceso inalámbrico es un dispositivo que permite la interconexión de equipos para crear de forma segura y a bajo costo una red inalámbrica.

**ANCHO DE BANDA:** es una medida de redes de cómputo que expresa la capacidad de información consumida o disponible, la cual es expresada en bites o bytes sobre segundo.

**CÓDIGO ASCII:** acrónimo en inglés de *American Standard Code for Information Interchange*. Es el código estándar estadounidense para el intercambio de Información, que implementa caracteres basados en el alfabeto latino.

**DBI:** unidad que permite determinar la ganancia de una antena en referencia a una antena ideal que irradia energía uniformemente en todas direcciones.

**IEEE:** asociación internacional de profesionales y estudiantes de diversas áreas enfocada a la estandarización y desarrollo en áreas técnicas.

**MÓDEM:** dispositivo que permite la comunicación entre equipos por medio de línea de teléfono o cable módem.

**PROCESO ESTOCÁSTICO:** sistema en el que los estados futuros no están determinados por los estados previos.

**ROUTER:** dispositivo que permite la conexión a redes pequeñas de forma cableada o inalámbrica.

**STREAMING:** tecnología que permite al usuario reproducir contenido multimedia mientras el producto se descarga

**VOIP:** mecanismo que permite a una señal de voz viajar por internet usando el protocolo IP.

**VSWR:** siglas para *Voltage Standing Wave Ratio*. Es una relación que permite dar una idea sobre la calidad de la transmisión, midiendo el desacoplamiento de impedancia entre la línea de transmisión y su carga.

**WIFI:** mecanismo permite la conexión entre dispositivos electrónicos de distintos fabricantes de forma inalámbrica.

## RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

**TÍTULO:** ANÁLISIS DE TRÁFICO DE UNA RED WIFI  
MEDIANTE UN ENLACE VÍA MICROONDAS

**AUTOR(ES):** JULIO ANDRÉS FLÓREZ MONTESINO  
HERNÁN ALONSO SANABRIA GOEZ

**FACULTAD:** Facultad de Ingeniería Electrónica

**DIRECTOR(A):** ALEX ALBERTO MONCLOU SALCEDO

### RESUMEN

Internet se ha constituido como una herramienta más de investigación y esparcimiento en nuestra cotidianidad. Sin embargo, los usuarios no conocen la topología ni la estructura de esta. Este proyecto tiene como fin analizar y dar a conocer a la población en general la capacidad de tráfico y la tasa de transferencia que pueda soportar una red wifi, a través de un enlace vía microondas. Para el análisis de tráfico se usó el software Wireshark el cual es un programa analizador de protocolos que permite analizar el tráfico en una red. Posteriormente, a los datos obtenidos se le aplicará el estudio matemático y estadístico para determinar la confiabilidad del enlace generado a través de las antenas. Se usará el software Easyfit para comparar los resultados estadísticos adquiridos anteriormente y determinar la distribución de probabilidad más acorde a los datos de muestra. Como complemento se implementaron guías de laboratorio que llevan al lector a establecer el enlace de telecomunicaciones vía microondas entre dos puntos mediante los equipos necesarios para acceder a una red de internet.

**PALABRAS CLAVES:** Access point, antenas, enlace microondas, router, wifi, Wireless LAN.

**V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO**

## **GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE**

**TITLE:** TRAFFIC ANALYSIS OF A WIRELESS NETWORK VIA MICROWAVE LINK.

**AUTHOR(S):** JULIO ANDRÉS FLÓREZ MONTESINO  
HERNÁN ALONSO SANABRIA GOEZ

**FACULTY:** Faculty of Electronic Engineering.

**DIRECTOR:** ALEX ALBERTO MONCLOU SALCEDO

### **ABSTRACT**

Internet has become as a research tool in our everyday amenities. However, users don't know the topology and structure of this network. This project aims to analyze and make known to the general public traffic capacity and transfer rate that a wireless network via microwave link can support. Wireshark is traffic analyzer software used by us for analyzing traffic on a network program. Subsequently, the data obtained will be applied mathematical and statistical study to determine the reliability of the generated link by the antennas. Easyfit is software will be used to compare obtained statistical results previously and determine the probability distribution that fits with the sample data. Finally laboratory guides leads the reader to establish the wireless network via microwave link between two points using the equipment necessary to access internet network.

### **KEYWORDS:**

Access point, antennas, microwave link, router, wifi, Wireless LAN.

**V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK**

## INTRODUCCIÓN

Internet es una herramienta de utilidad para cualquier usuario. Este permite establecer conexiones garantizando la comunicación a grandes distancias y generando espacios para la búsqueda de información, servicios, conversaciones o esparcimiento.

El acceso a internet mediante una red wifi es algo habitual para cualquier persona o empresa que cuente con equipos para acceder a la web. No es necesario que los usuarios de la red conozcan la topología o la estructura de esta, las cuales son usadas constantemente por millones de usuarios generando una carga que deben soportar los equipos. Esta carga hace que el servicio de acceso a la red sea lento, y para prestar un buen servicio a los usuarios se debe optimizar la capacidad de conexiones que pueda soportar el enlace. Una forma de optimizar el enlace garantizando el servicio se hace por medio de análisis y modelamiento de tráfico en las redes.

La importancia de un modelo de tráfico permitirá analizar detalladamente la capacidad de una red de comunicaciones, la demanda de servicio que los usuarios le imponen y el nivel de desempeño que la red puede alcanzar.

Al ser el proceso de naturaleza estocástica se necesita de modelos estadísticos para el estudio de dicha red. Estos modelos se analizarán tomando los modelos matemáticos ya establecidos, de tal forma que a partir de varios análisis se elegirá el modelo que se aproxime al comportamiento del tráfico.

Mediante el enlace microondas del laboratorio de la facultad de ingeniería electrónica de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga, se obtendrán muestras de flujo de datos en determinados días y horas y de esta forma se establecerá un modelo de tráfico.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Caracterizar el tráfico de un red wifi a través de un enlace vía microondas.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Seleccionar el modelo matemático que describa el comportamiento real del tráfico de los diferentes servicios de internet.
- Hacer un análisis estadístico de los resultados de la simulación del tráfico permitiendo obtener las posibles distribuciones estadísticas que lo representen.
- Integrar los resultados del proyecto en las prácticas para el laboratorio de telecomunicaciones.



# 1. MARCO TEÓRICO

El proyecto de grado está enfocado en las áreas de telecomunicaciones y de redes. En el campo de las telecomunicaciones se realizará un enlace vía microondas mediante una antena cuadrada tipo grilla y una antena tipo panel.

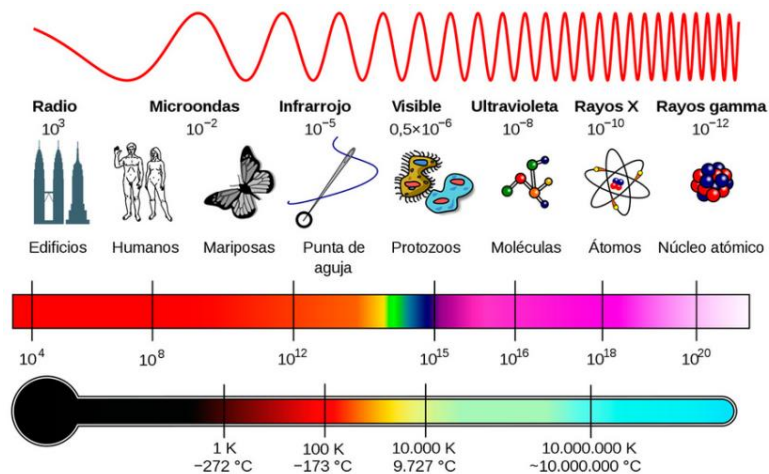
En el área de redes de datos, luego de establecer el enlace, se generará tráfico y posteriormente se realizará su análisis utilizando los softwares *Wireshark* y *Easyfit*.

## 1.1 ENLACE MICROONDAS [1]

Un enlace microondas es la transmisión de datos o energía mediante equipos de radiofrecuencia que trabajen en el rango de frecuencia de microondas. De acuerdo al estándar IEEE 100, su rango de frecuencia se ubica entre 1 GHz y 300 GHz y abarcan un rango de longitudes de onda entre algunos milímetros hasta unas decenas de centímetros. En la Figura 1 se observa el espectro electromagnético y el rango de frecuencias para cada onda electromagnética.

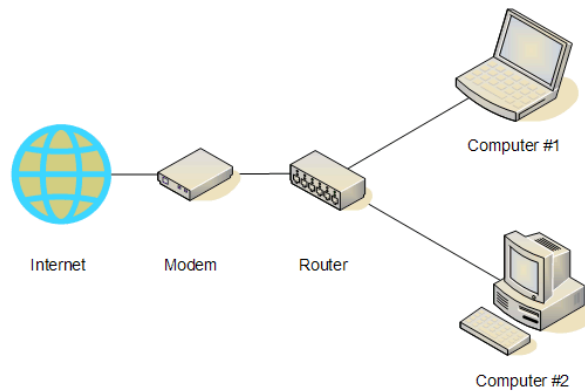
Las microondas pueden ser focalizadas en forma de radiaciones direccionales. Cuando interactúa con la materia, la energía se puede reflejar, transmitir (con poca pérdida de energía en medios transmisores), o absorber (originando un aumento de temperatura).

Figura 1. Espectro electromagnético.





**Figura 3. Esquema de una red inalámbrica.**



Fuente: Disponible <<http://files.ranto.webnode.com/200000146-5005950ff4/68573-router-diagram.gif>>

Estas redes tienen como ventaja sus bajos costos de implementación pero es susceptible a intrusiones por usuarios no autorizados.

## 1.2.1 Componentes de la red inalámbrica

**1.2.1.1 Access Point.** El dispositivo Access Point de la Figura 4 de referencia 3Com® Wireless 8760 Dual-radio 11a/b/g PoE permite crear una red inalámbrica segura y de bajo costo.

**Figura 4. Access Point 3Com® Wireless 8760 Dual-radio 11a/b/g PoE.**



Fuente: Disponible <<http://pcel.com/3Com-3CRWE876075-57895>>

Este equipo ofrece una arquitectura de modo dual que soporta las tecnologías de redes WLAN 802.11g, 802.11a y 802.11b, permitiendo mezclar y localizar bandas de radio para satisfacer diferentes coberturas y anchos de banda dentro de una misma área. En la Tabla 1 se observan las principales características del Access Point 3Com.

**Tabla 1. Características del Access Point 3Com.**

Característica	Descripción
1 Conectores de antena	Dos conectores de antena tipo RSMA permiten conectar antenas que operan en las bandas de 2,4 GHz y 5,0 GHz.
2 LED	Los LED indican la alimentación y la actividad. Consulte "Revisión de los indicadores LED" en la página 48 para conocer detalles.
3 Puerto Ethernet	El puerto Ethernet proporciona una conexión de 10/100BASE-TX Ethernet a un conmutador 3Com. Para hacer la conexión del Punto de acceso al conmutador en la red, utilice un cable Categoría 5 adecuado con señalización directa y conectores RJ-45 estándar.
4 Puerto serial	Proporciona al Punto de acceso una interfaz serial para su uso en diagnósticos.
5 Botón de reinicio	Para restaurar los ajustes de fábrica, inserte un objeto puntiagudo en el orificio de reinicio en la parte de atrás del Punto de acceso y manténgalo presionado durante dos a cinco segundos.
6 Conector para cerradura Kensington	
7 Cubierta extraíble del panel posterior	
8 Montante de soporte	El montante de soporte viene unido al Punto de acceso y permite montar la unidad en la pared o el techo.

Fuente: <[http://h20564.www2.hp.com/hpsc/doc/public/display?docId=emr\\_na-c02579508&DocLang=en&docLocale=en\\_US&jumpid=reg\\_r1002\\_usen\\_c-001\\_title\\_r0001](http://h20564.www2.hp.com/hpsc/doc/public/display?docId=emr_na-c02579508&DocLang=en&docLocale=en_US&jumpid=reg_r1002_usen_c-001_title_r0001)>

**1.2.1.2 Router.** El router inalámbrico de referencia TP-LINK Wireless N Router TL-WR841ND de la Figura 5 es un dispositivo que permite la conexión a redes pequeñas de forma cableada o inalámbrica. Este equipo cuenta con velocidades de transmisión de 300 Mbps, capaz de soportar aplicaciones como streaming de video en alta definición, llamadas VoIP y juegos en línea. Además previene de intrusiones externas a la red y minimiza las pérdidas de señal debida a obstáculos.

**Figura 5. Router TP-LINK Wireless N Router TL-WR841ND.**



Fuente: Disponible <<http://www.tp-link.com/lk/products/details/?model=TL-WR841ND>>

### 1.3 TECNOLOGÍA WIFI [2]

La tecnología *wifi* es el mecanismo de conexión inalámbrica más difundido y usado en la actualidad, permitiendo la interoperabilidad y compatibilidad entre equipos de distintos fabricantes. Dispositivos tales como computadores (de escritorio y portátiles), teléfonos inteligentes y consolas de videojuegos ya vienen habilitados para acceder a redes de área local de forma no cableada.

La IEEE a través de la norma 802.11 especifica y estandariza las normas de funcionamiento para redes WLAN. Esta norma incluye seis técnicas de modulación a través del aire, siendo las más prolíficas y utilizadas las definidas en los estándares 802.11a, 802.11b y 802.11g. El estándar 802.11i hace referencia a la seguridad y los restantes son extensiones o correcciones de especificaciones previas.

Las normas 802.11b y 802.11g están especificadas para equipos que trabajen a una frecuencia de 2.4 GHz y la norma 802.11a para 5 GHz.

**1.3.1 Estándares WIFI.** Los estándares físicos 802.11 han tenido modificaciones y son especificados como componentes garantizado optimizar o compatibilidad en el ancho de banda. La siguiente tabla es las modificaciones que tienen el estándar 802.11 y sus significados.

- **802.11a:** el estándar 802.11 admite un ancho de banda superior y provee ocho canales de radio en la banda de frecuencia de 5 GHz.

- **802.11b:** Es el más utilizado actualmente. Utiliza el rango de frecuencia de 2,4 GHz con tres canales de radio disponibles y tiene un alcance de hasta 300 metros en espacios abiertos.

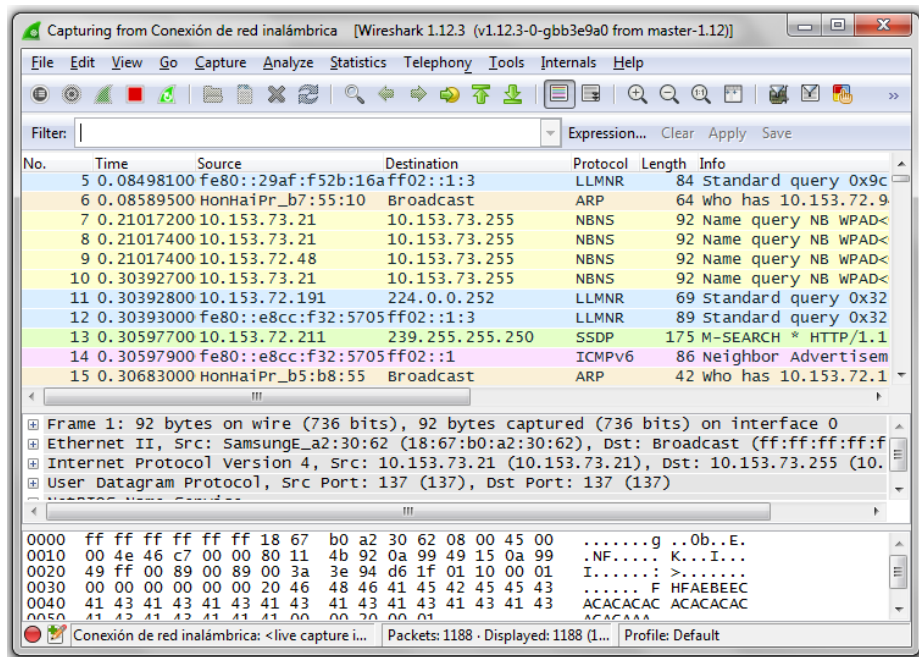
- **802.11d:** Permite el uso internacional de las redes 802.11 locales. De esta forma distintos dispositivos pueden intercambiar información en los rangos de frecuencia permitidos en el país de origen del equipo.

- **802.11e**: Está destinado a mejorar la calidad del servicio en el nivel de la *capa de enlace de datos*, permitiendo mejores transmisiones de audio y vídeo.
- **802.11f**: Permite la compatibilidad entre equipos, de esta forma un usuario que se desplaza puede cambiarse de un punto de acceso a otro (propiedad conocida como *itinerancia*).
- **802.11g**: Ofrece un ancho de banda elevado (con un rendimiento total máximo de 54 Mbps) en el rango de frecuencia de 2,4 GHz, además es compatible con el estándar 802.11b.
- **802.11h**: Su fin es el de unir el estándar 802.11 con el estándar europeo HiperLAN 2 y cumplir con las regulaciones europeas relacionadas con el uso de las frecuencias y el rendimiento energético.
- **802.11i**: Está destinado a mejorar la seguridad en la transferencia de datos; puede cifrar transmisiones que se ejecutan en las tecnologías 802.11a, 802.11b y 802.11g.
- **802.11r**: Estándar para el uso de señales infrarrojas.
- **802.11j**: Estándar para la regulación en Japón.

#### 1.4 ANALIZADOR DE PROTOCOLO WIRESHARK [3]

El software *Wireshark* es un analizador de protocolos usado para análisis de tráfico de redes de comunicaciones. En la Figura 6 se observa su interfaz gráfica para una captura de tráfico generado.

**Figura 6. Captura de tráfico con el software Wireshark.**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

Es un software libre que permite la captura de tráfico y filtrado de protocolos en una red. Además cuenta con la opción de leer las capturas de información realizadas en otros programas para su posterior análisis.

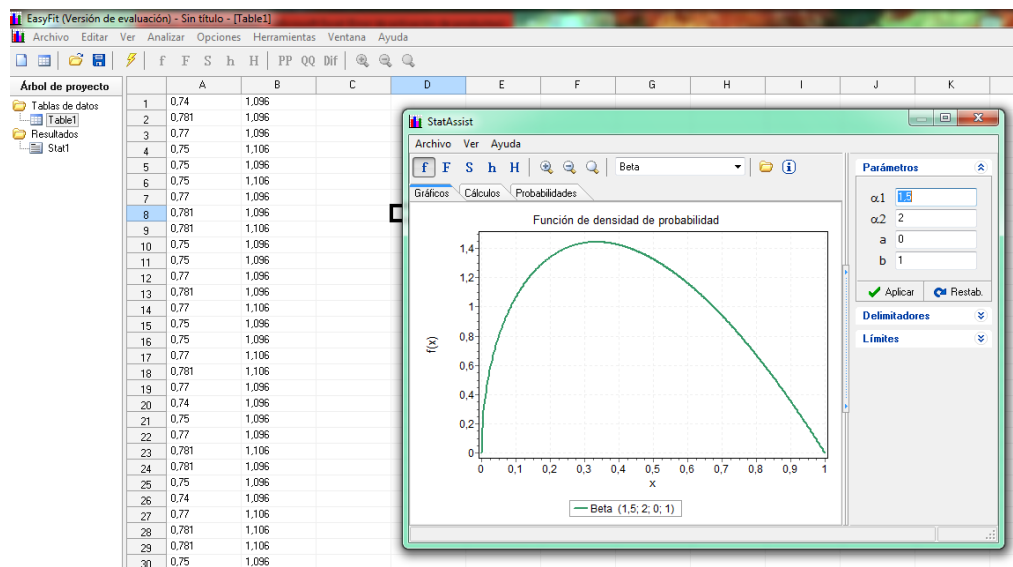
Gracias a su interfaz gráfica permite observar el tráfico generado a través de una red y visualizar características como el tiempo entre llegada de paquetes de datos, la dirección IP de los equipos fuente y destino, los protocolos usados en el intercambio de información y la longitud de la trama de datos.

El software también permite visualizar gráficamente el flujo de datos entre paquetes, la lista de conversaciones llevadas a cabo entre los equipos y la cantidad de paquetes y su porcentaje, pudiéndose filtrar la información requerida para su análisis.

## 1.5 PROGRAMA PARA AJUSTE DE DISTRIBUCIÓN EASYFIT [4]

El software EasyFit permite seleccionar o escoger de forma automática la mejor distribución de probabilidad de los datos tomados en una muestra. En la Figura 7 se visualiza la distribución de probabilidad para una muestra de datos.

**Figura 7. Interfaz gráfica del software EasyFit.**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

El programa maneja gráficos interactivos y gráficas de distribución, posee más de 55 distribuciones estadísticas y es capaz del ajuste automático y manual de datos de distribución.

Al tenerse una muestra de datos, el software selecciona las funciones de densidad de probabilidad que mejor se ajuste a dichos datos, visualizar los parámetros propios de cada distribución y realizar pruebas de bondad de ajuste.

## 1.6 ANTENA PARÁBOLA TIPO GRILLA

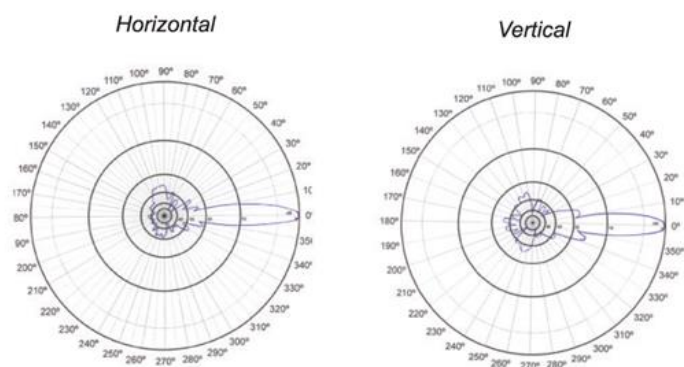
La antena tipo grilla de la figura 8 posee 25 dBi y dispone de un alcance de enlace de entre cinco y cuarenta kilómetros. Diseñada para aplicaciones direccionales a largo alcance, es una antena de alta ganancia para recepción y transmisión de datos en los sistemas de internet inalámbricos y punto a punto a una frecuencia de 2.4 GHz. En las figuras 8 y 9 se observa la antena parábola tipo y grilla y su diagrama de polarización, respectivamente.

**Figura 8. Antena tipo grilla del laboratorio de comunicaciones de la UPB sede Bucaramanga.**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

**Figura 9. Diagrama de polarización de la antena tipo grilla.**



Fuente: Disponible <<http://www.aquario.com.br>> 12/02/2015.

Entre las características de la antena tipo grilla se pueden mencionar:

- Alta relación frente-espalda, mayor ganancia y menor VSWR de la categoría.
- Bajo porcentaje de ruido y polarización vertical u horizontal.
- Es compatible con los equipos wifi en la frecuencia de 2.4 GHz.
- El sistema de fijación posibilita un ajuste preciso de elevación y direccionamiento.
- Cable RGC 213 de alto rendimiento y disponible con conector N Hembra.
- Soporte y accesorios en aluminio anodizado.

**Tabla 2. Especificaciones de la antena tipo grilla para wifi.**

<b>Frecuencia</b>	2.4-2.5 GHz
<b>VSWR</b>	< 1.5:1
<b>Ganancia</b>	25 dBi
<b>Relación hacia adelante / atrás</b>	35, 1 dB
<b>Rechazo de polarización</b>	34,4 dB
<b>Impedancia nominal</b>	50 $\Omega$
<b>Peso</b>	3085 g
<b>Medidas</b>	675 x 800 mm

Fuente: Disponible <<http://www.aquario.com.br>> 12/02/2015.

## **1.7 ANTENA TIPO PANEL**

La antena tipo panel de la figura 10 es una antena plana compuesta de un parche metálico radiante en un plano de tierra metálico encapsulado de PVC, cuya ganancia está entre el rango de 9 dBi (10x12 cm) y 21 dBi (45x45x4.5 cm).

Esta antena es usada para extender el rango de cobertura en una sola dirección de una red inalámbrica. Lo anterior se logra conectándola a un access point o router inalámbrico.

**Figura 10. Antena tipo panel del laboratorio de comunicaciones de la UPB sede Bucaramanga.**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

## **1.8 TRÁFICO TELEFÓNICO [5]**

El análisis de tráfico telefónico tiene como objeto el estudio del flujo de llamadas teniendo en cuenta aspectos como cantidad de llamadas de voz, duración de las llamadas y por último el tráfico telefónico.

El Erlang (E) es la unidad de medida o intensidad del tráfico de telecomunicaciones y es definida como el uso de todos los recursos dividido por el tiempo total de medida. Las medidas de tráfico Erlang permiten comprender las pautas de tráfico en una red.

### **1.8.1 Conceptos preliminares de Tráfico Telefónico.**

- Hora pico: La carga que soporta un sistema durante la hora más ocupada del día.
- Probabilidad de bloqueo: probabilidad de que a un cliente se le niegue el servicio por falta de recursos. Se puede reducir incrementando recursos en el sistema u ofreciendo incentivos para usar los recursos en horas no pico.
- Grado de servicio: está directamente relacionado con la probabilidad de bloqueo. Un alto grado de servicio garantiza al cliente una baja probabilidad de bloqueo durante la hora pico. Se puede disminuir costos disminuyendo recursos teniendo como consecuencia el desmejoramiento del grado de servicio.
- Tiempo de servicio: tiempo de ocupación que toma un recurso en satisfacer la

solicitud de un usuario.

- Tiempo de espera: tiempo de espera el cliente en una cola antes de ser atendido.

**1.8.2 Cálculos de Erlang.** Los cálculos de Erlang son fórmulas empleadas para calcular cuántas líneas de enlace son precisas entre una centralita telefónica privada y una central pública, o para calcular los enlaces entre centrales públicas.

**1.8.2.1 Erlang B.** Permite calcular cuántas líneas son requeridas si el tráfico (en Erlangs) en horas pico es conocido. Se asume que todas las llamadas bloqueadas se liberan inmediatamente.

**Ecuación 1. Fórmula para el modelo Erlang B.**

$$P = \frac{\frac{E^N}{N!}}{\sum_{i=0}^N \frac{E^i}{i!}}$$

Donde N: cantidad de recursos del sistema.  
E: tráfico total en Erlangs.  
P: probabilidad de negarle la atención a un usuario por falta de recursos.

Fuente: Disponible <<http://cesarcabrera.info/blog/dimensionamiento-de-recursos-usando-formulas-erlang/>>

**1.8.2.1.1 Condiciones para el modelo Erlang B.**

- La cantidad de usuarios es mucho mayor que el número de recursos disponibles para atenderlos (si el número de clientes es por lo menos 10 veces más grande que el número de recursos).
- Las solicitudes de cada cliente son independientes entre sí.
- No aplica si las solicitudes han sido disparadas por algún (ejemplo: un desastre natural).
- Los servicios son rechazados sólo cuando no hay recursos disponibles.
- No se intenta encolar las solicitudes.
- Si el servicio es rechazado, el usuario no vuelve a intentarlo.
- El recurso no puede ser compartido.

**1.8.2.2 Erlang B Extendido.** Similar al anterior, salvo que en este caso se tiene en cuenta el porcentaje de llamadas bloqueadas (que reciben señal de ocupado). Se puede especificar el porcentaje de reintentos.

**1.8.2.3 Erlang C.** Las llamadas bloqueadas permanecen en espera hasta ser atendidas (las solicitudes permanecen en cola de espera hasta que se desocupa un recurso).

#### **Ecuación 2. Fórmula para el modelo Erlang C.**

$$P = \frac{\frac{E^N}{N!} \frac{N}{N-E}}{\sum_{i=0}^{N-1} \frac{E^i}{i!} + \frac{E^N}{N!} \frac{N}{N-E}}$$

Donde E: intensidad total del tráfico (en Erlangs).  
N: cantidad de servidores.  
P: probabilidad de que un cliente tenga que esperar para ser atendido.

Fuente: Disponible <<http://cesarcabrera.info/blog/dimensionamiento-de-recursos-usando-formulas-erlang/>>

#### **1.8.2.3.1 Condiciones para el modelo Erlang C.**

- Las solicitudes son llegadas de Poisson.
- Los tiempos de servicio están exponencialmente distribuidas.
- Los clientes no renuncian a la solicitud durante el tiempo de espera.
- Las solicitudes son independientes entre sí.
- No aplica si las solicitudes son disparadas por un evento (ejemplo: un desastre natural).
- El recurso no puede ser compartido.
- El número de clientes es mucho mayor que el número de recursos disponibles para atenderlos (el número de clientes es por lo menos 10 veces el número de recursos).

## **1.9 NOTACIÓN DE KENDALL [6]**

La notación Kendall sirve para caracterizar un sistema de líneas de espera en tráfico

telefónico. Cada sistema de líneas de espera se describe mediante seis características:  $A/B/X/Y/Z$ .

### 1.9.1 Características de la Notación Kendall.

La primera característica ( $A$ ) especifica la distribución de probabilidad del tiempo entre llegadas (naturaleza del proceso de llegada). Se utilizan las siguientes abreviaturas estándar:

- $M$ : tiempos entre llegadas exponencial.
- $D$ : tiempos entre llegadas deterministas.
- $Ek$ : tiempos entre llegadas Erlangs con parámetro  $k$ .
- $G$ : tiempos entre llegadas generales (cualquier distribución).

La segunda característica ( $B$ ) especifica la distribución de probabilidad del tiempo de servicio (naturaleza de los tiempos de servicio):

- $M$ : tiempos de servicio exponencial.
- $D$ : tiempos de servicio deterministas.
- $Ek$ : tiempos de servicio son Erlangs con parámetro  $k$ .
- $G$ : tiempos de servicio generales (cualquier distribución).

La tercera característica ( $X$ ) es la cantidad de servidores o estaciones de servicio en paralelo.

La cuarta característica ( $Y$ ) especifica la capacidad del sistema (los clientes que están esperando y los que están en el servicio). Se puede omitir si la capacidad del sistema es infinita.

La quinta característica ( $Z$ ) es la disciplina del servicio:

- $FCFS$ : El primero en llegar, primero en ser atendido.
- $LCFS$ : El último en llegar, primero en ser atendido.
- $SIRO$ : Servicio en orden aleatorio.
- $GD$ : Disciplina general.

## 1.10 DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD CONTINUAS

Las distribuciones de probabilidad describen diversos fenómenos aleatorios de la vida real, teniendo grandes aplicaciones en los campos de la ingeniería, la administración y la investigación de operaciones.

Existen numerosas situaciones en la ciencia donde la naturaleza del fenómeno sugiere un tipo de distribución, siendo una de ellas los datos generados de una muestra de tráfico en las redes de comunicaciones, las cuales son de naturaleza estocástica.

Las distribuciones de probabilidad continuas se utilizan para describir el comportamiento de una variable dentro de un rango de valores reales utilizando datos históricos, de cantidades enormes de datos o de estudios a largo plazo.

Generalmente los resultados obtenidos a partir de diferentes experimentos estadísticos presentan el mismo comportamiento, siendo posible representarlas usando una sola expresión.

### 1.10.1 Conceptos preliminares [7]

La media  $\mu$  de una muestra representa el valor promedio de todas las observaciones en una muestra y se representa por la siguiente expresión:

#### Ecuación 3. Media de una serie de datos.

$$\mu = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Fuente: R. A. Johnson. Probabilidad y Estadística para ingenieros de Miller y Freund. La varianza  $\sigma^2$  es la medida de la dispersión o variabilidad de una muestra, dada por la expresión:

#### Ecuación 4. Varianza de una serie de datos.

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_x - \bar{x})^2}{n - 1}$$

Donde  $\bar{x}$  es el valor medio de una muestra.

Fuente: R. A. Johnson. Probabilidad y Estadística para ingenieros de Miller y Freund.

Los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  son constantes reales con  $\alpha < \beta$ . El parámetro  $\alpha$  es un factor

que afecta la forma (desplazamiento, escala) de la gráfica de la distribución de probabilidad y el parámetro  $\beta$  es un factor de escala que determina la dispersión y la amplitud de la gráfica de distribución.

### 1.10.2 Distribución de probabilidad normal [8]

También llamada distribución gaussiana en honor a Karl Friederich Gauss (1777-1855). En esta distribución, los patrones observados en las mediciones siguen una distribución simétrica en forma de campana. La ecuación de la densidad de probabilidad normal y sus parámetros se muestran en las ecuaciones 5 y 6.

#### Ecuación 5. Distribución de probabilidad normal.

$$f(x; \mu, \sigma^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-(x-\mu)^2/2\sigma^2}$$

Fuente: W. Mendenhall. R. J. Beaver & B. M. Beaver. Introducción a la probabilidad y estadística.

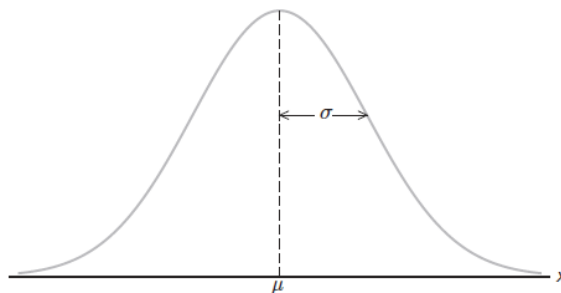
#### Ecuación 6. Media, varianza y desviación estándar de la distribución de probabilidad normal.

Media:	$\mu = \mu$
Varianza:	$\sigma^2 = \sigma^2$
Desviación estándar:	$\sigma = \sigma$

Fuente: W. Mendenhall. R. J. Beaver & B. M. Beaver. Introducción a la probabilidad y estadística.

La gráfica de la distribución de probabilidad normal se muestra en la Figura 11.

Figura 11. Gráfica de densidad de probabilidad normal.



Fuente: R. E. Walpole, R. H. Myers, S. L. Myers & K. Ye. Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias.

### 1.10.3 Distribución de probabilidad log-normal [9]

Esta distribución, también llamada logarítmica normal, se aplica cuando una transformación logarítmica natural tiene como resultado una distribución normal. Su función de densidad de probabilidad se muestra en la Ecuación 7. En la Ecuación 8 se muestran sus parámetros y en la Figura 12 su gráfica de densidad de probabilidad.

#### Ecuación 7. Distribución de probabilidad log-normal.

$$f(x; \mu, \sigma^2) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma x}} e^{-\frac{1}{2\sigma^2}[\ln(x)-\mu]^2} & \text{para } x \geq 0 \\ 0 & \text{para } x < 0 \end{cases}$$

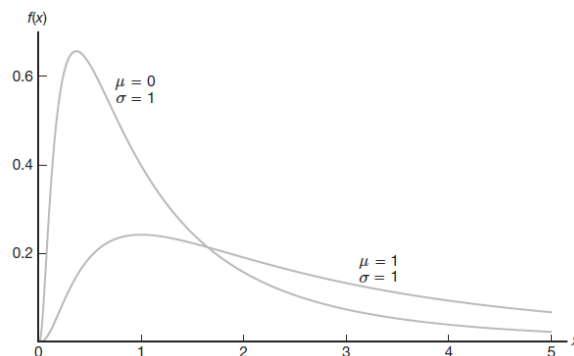
Fuente: R. E. Walpole, R. H. Myers, S. L. Myers & K. Ye. Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias.

#### Ecuación 8. Media y varianza de la distribución de probabilidad log-normal.

$$\begin{aligned} \text{Media:} & \quad \mu = e^{\mu + \sigma^2/2} \\ \text{Varianza:} & \quad \sigma^2 = e^{2\mu + \sigma^2/2}(2\sigma^2 - 1) \end{aligned}$$

Fuente: R. E. Walpole, R. H. Myers, S. L. Myers & K. Ye. Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias.

Figura 12. Gráfica de densidad de probabilidad log-normal.



Fuente: R. E. Walpole, R. H. Myers, S. L. Myers & K. Ye. Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias.

#### 1.10.4 Distribución de probabilidad gamma [9] [10]

Esta distribución deriva su nombre de la función gamma, la cual se define en la Ecuación 9.

##### Ecuación 9. Función gamma.

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} x^{\alpha-1} e^{-x} dx = (\alpha - 1) \Gamma(\alpha - 1)$$

Fuente: R. E. Walpole, R. H. Myers, S. L. Myers & K. Ye. Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias.

La densidad de probabilidad de la distribución gamma se muestra en la Ecuación 10. En la Ecuación 11 se muestran su media y varianza.

##### Ecuación 10. Distribución de probabilidad gamma.

$$f(x; \alpha, \beta) = \begin{cases} \frac{1}{\beta^{\alpha} \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} & \text{para } x > 0 \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

Fuente: R. E. Walpole, R. H. Myers, S. L. Myers & K. Ye. Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias.

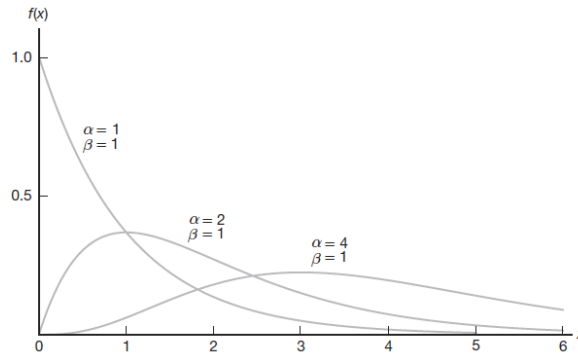
##### Ecuación 11. Media y varianza de la distribución de probabilidad gamma.

$$\begin{aligned} \text{Media:} & \quad \mu = \alpha\beta \\ \text{Varianza:} & \quad \sigma^2 = \alpha\beta^2 \end{aligned}$$

Fuente: R. E. Walpole, R. H. Myers, S. L. Myers & K. Ye. Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias.

En la Figura 13 se muestran gráficas de distribución gamma para varios valores de  $\alpha$  y  $\beta$ .

**Figura 13. Gráfica de densidad de probabilidad gamma.**



Fuente: R. E. Walpole, R. H. Myers, S. L. Myers & K. Ye. Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias.

### 1.10.5 Distribución de probabilidad de Weibull [9] [10]

La principal utilidad de la distribución Weibull es que proporciona una excelente aproximación a la ley de probabilidades de muchas variables aleatorias, teniendo grandes aplicaciones en sistemas eléctricos y mecánicos. La ecuación que define su función de densidad de probabilidad se muestra en la Ecuación 12 y en la Ecuación 13 se muestran sus parámetros. En la Figura 14 se muestra su gráfica de densidad de probabilidad.

#### Ecuación 12. Distribución de probabilidad Weibull.

$$f(x; \alpha, \beta) = \begin{cases} \alpha \beta x^{\beta-1} e^{-\alpha x^\beta} & \text{para } x > 0 \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

Fuente: R. E. Walpole, R. H. Myers, S. L. Myers & K. Ye. Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias.

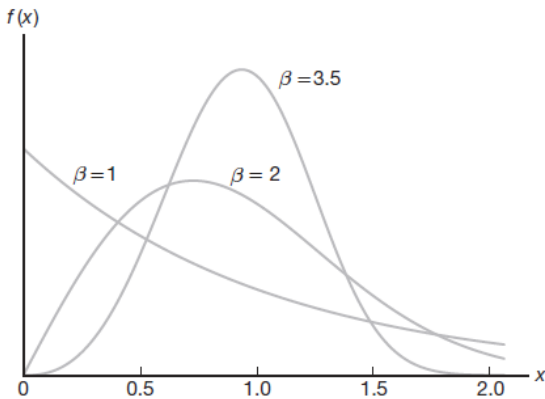
#### Ecuación 13. Media y varianza de la distribución de probabilidad Weibull.

$$\text{Media: } \mu = \alpha^{-1/\beta} \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$$

$$\text{Varianza: } \sigma^2 = \alpha^{-2/\beta} \left\{ \Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) - \left[ \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \right]^2 \right\}$$

Fuente: R. E. Walpole, R. H. Myers, S. L. Myers & K. Ye. Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias.

**Figura 14. Gráfica de densidad de probabilidad Weibull.**



Fuente: R. E. Walpole, R. H. Myers, S. L. Myers & K. Ye. Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias.

## 2. ESTADO DEL ARTE

Para el desarrollo del presente proyecto de grado se realizó una búsqueda sobre los modelos de redes de comunicaciones, conociendo su arquitectura y la forma en que se transmiten los datos. Posteriormente se indagó y se consignaron las herramientas disponibles para analizar el tráfico generado en una red.

### 2.1 MODELOS DE RED [1]

**2.1.1 Modelo OSI.** El modelo OSI (*Open System Interconnection*) o modelo de interconexión de sistemas abiertos, ilustrado en la Figura 15, proporciona una visualización del funcionamiento de una red, donde las capas o niveles constituyen

los componentes del modelo.

Este modelo utiliza siete niveles para describir la red: capa física, de enlace de datos, de red, de transporte, de sesión, de presentación y de aplicación.

**Figura 15. Esquema general del modelo OSI.**



Fuente: W. Stallings. Comunicaciones y redes de computadores.

### **2.1.1.1 Capas del Modelo OSI**

**2.1.1.1.1 La capa física.** Hace referencia a las computadoras, al cableado de red, las antenas de satélite o a cualquier dispositivo que se use para unir dos o más computadoras, y se encarga del envío y recepción de bits.

Para la comunicación de datos se usan cables eléctricos, ondas (luz, radio, microondas) o fibra óptica.

**2.1.1.1.2 La capa de enlace de datos.** Esta capa proporciona la comunicación nodo a nodo en una misma red LAN, constituyéndose como el puente entre el hardware y el software.

**2.1.1.1.3 La capa de red.** En esta capa se especifica el direccionamiento de los mensajes de una red a otra (encaminamiento) donde los encaminadores (*routers*)

se utilizan para intercambiar paquetes entre distintas redes físicas.

**2.1.1.1.4 La capa de transporte.** Esta capa se encarga de la transmisión y recepción de paquetes, y de la detección de errores en los datos transmitidos.

**2.1.1.1.5 La capa de sesión.** Esta capa se encarga del diálogo entre los distintos nodos de una red (conversación formal entre dos nodos para el intercambio de datos). En esta comunicación entre nodos hay un control de flujo para asegurar que los dispositivos no envíen datos a velocidades mayores de la que el otro dispositivo pueda recibir.

La sesión permite que los nodos se comuniquen de forma ordenada, constando de tres fases: Establecimiento de la conexión, transferencia de datos y Liberación de la conexión.

**2.1.1.1.6 La capa de presentación.** Esta capa se encarga de presentar los datos a la capa de aplicación, traduciendo los datos directamente de un formato a otro. La mayoría de computadores usa el código ASCII. La capa de presentación además proporciona comunicaciones seguras en una red, permitiendo la encriptación y compresión de datos.

**2.1.1.1.7 La capa de aplicación.** Esta capa proporciona la interfase definitiva que el usuario utiliza para acceder a los servicios de red, siendo la aplicación global que oculta todo el trabajo de la red.

**2.1.2 Modelo TCP/IP.** TCP/IP hace referencia a un conjunto de protocolos para comunicaciones de datos, tomando su nombre de los protocolos TCP (*Transmission Control Protocol*) e IP (*Internet Protocol*). Este modelo, cuyo esquema se muestra en la Figura 16, constituye el más utilizado en todos los sistemas operativos de redes locales y hace referencia a los protocolos, la topología y la arquitectura de la red de Internet.

Características principales del modelo de red TCP/IP:

- El protocolo TCP/IP maneja estándares abiertos y son soportados por todo tipo de sistemas, es decir, son desarrollados independientemente del hardware o del software del equipo.
- TCP/IP funciona en cualquier medio, sea una red Ethernet, fibra óptica, etc.
- TCP/IP asigna a cada equipo una única dirección en toda la red.

**Figura 16. Esquema general del modelo TCP/IP.**



Fuente: W. Stallings. Comunicaciones y redes de computadores.

### 2.1.2.1 Capas del modelo TCP/IP

**2.1.2.1.1 Capa Física.** La capa de red física especifica las características del hardware a utilizar en la red. En este nivel se describen estándares de hardware como IEEE 802.3, la especificación del medio de red Ethernet, y RS-232, la especificación para los conectores estándar.

**2.1.2.1.2 Capa de acceso a la red.** Capa que se encarga de conectar el equipo con el hardware de red local, haciendo uso de conectores que le permiten realizar la conexión al medio físico. Los datos viajan en forma de una secuencia de bits. La ubicación de los computadores se realiza mediante direcciones físicas.

**2.1.2.1.3 Capa de Red.** En este nivel se realiza el direccionamiento o ubicación de equipos sobre la base de direcciones IP, que permiten la posibilidad de reconocer direcciones de red y de un servidor en particular dentro de dicha red. La información se encapsula bajo la forma de datagramas IP, y las rutas que siguen estos para alcanzar a un destino determinado se realizan en función de un algoritmo de ruteo. Dicho ruteo es realizado por los ruteadores los cuales son dispositivos que se encargan de seleccionar las rutas más óptimas para alcanzar un destino cualquiera.

**2.1.2.1.4 Capa de transporte.** Esta capa está enfocada a la conexión, proporcionando una transmisión confiable de datos mediante la detección y corrección de datos de un punto a otro. Retransmite cualquier dato no recibido por

el nodo destino y garantiza el no duplicar datos entre los nodos emisor y receptor.

**2.1.2.1.5 Capa de aplicación.** Este nivel sirve como interfaz de comunicación y proporciona servicios de aplicación específicos, tales como e-mail, transferencia de archivos y direcciones WWW.

## **2.2 PROTOCOLOS DE COMUNICACIONES [11]**

Un protocolo de red es el conjunto de normas que regulan la comunicación entre los componentes de una red, siendo el protocolo de comunicación un componente fundamental en un sistema de comunicaciones. De esta forma un protocolo de red de comunicación de datos son las normas que gobiernan el intercambio ordenado de datos dentro de una red.

### **2.2.1 Elementos básicos de un protocolo de comunicaciones**

**2.2.1.1 Caracteres.** En una tabla de códigos, los caracteres son la combinación de bits. Hay una correspondencia entre los caracteres y los grupos de símbolos usados en el canal de transmisión, que es determinado por el código.

**2.2.1.2 Secuencia y sincronización de mensajes.** Es el conjunto de reglas a seguir por el emisor y el receptor para que haya un intercambio de datos con secuencias y tiempos permitidos.

**2.2.1.3 Detección y corrección de errores.** La detección y los procedimientos de corrección de errores permiten detectar y recuperar de forma ordenada los errores causados por factores externos en una red.

**2.2.2 Protocolos de red TCP/IP.** Los protocolos gestionan dos niveles de comunicación: de alto nivel y bajo nivel. Las reglas de alto nivel definen como se comunican las aplicaciones; las de bajo nivel definen la forma de transmitir las señales (transporte de datos e información y procedimientos de control de uso del medio).

En un circuito de comunicación de datos, la estación que transmite en el momento

se llama estación maestra, y la estación que recibe se llama esclava.

Los protocolos de enlace de datos se clasifican en asíncronos y síncronos. Los protocolos asíncronos usan un formato de datos y módems asíncronos, mientras que los protocolos síncronos usan un formato de datos y módems síncronos.

**2.2.2.1 Protocolo FTP.** El protocolo de transferencia de archivos (*File Transfer Protocol*) permite transmitir ficheros sobre Internet entre una máquina local y otra remota.

**2.2.2.2 Protocolo TCP.** El protocolo de control de transmisión (*Transmission Control Protocol*) es el protocolo de transporte de datos más popular en Internet, orientado a conexión. Es un protocolo de nivel de transporte que proporciona la comunicación entre extremo a extremo garantizando fiabilidad y control de flujo.

**2.2.2.3 Protocolo UDP.** El protocolo datagrama de usuario (*User Datagram Protocol*) es un protocolo de nivel de transporte basado en el intercambio de datagramas a través de una red. No contiene confirmación de entrega o recepción ni control de flujo.

**2.2.2.4 Protocolo HTTP.** El protocolo de transferencia de hipertextos (*Hyper Transfer Protocol*) está orientado a transacciones, siendo el lenguaje usado para escribir documentos para servidores *World Wide Web*. Este protocolo permite transferir datos como texto, hipertexto, imágenes o audio y proporciona seguridad haciendo uso de TCP.

**2.2.2.5 Protocolo IP.** El protocolo de internet (*Internet Protocol*) es la base del conjunto de protocolos que forman Internet y que permite que los paquetes de información sean direccionados y enrutados.

**2.2.2.6 Protocolo IPv4.** Es la cuarta versión del protocolo IP y usa direcciones de 32 bits. Cada paquete posee una dirección de origen de 32 bits y una dirección de destino de 32 bits en el encabezado de capa 3, dando un equivalente a 4.294.967.296 direcciones únicas.

**2.2.2.7 Protocolo IPv6.** Este protocolo surge por el agotamiento de las direcciones IPv4. Utiliza direcciones de 128 bits, lo cual equivale a 340.282.366.920.938.463.463.374.607.431.768.211.456 direcciones. Entre sus principales cualidades, que lo diferencian con IPv4, se encuentra que tiene capacidades extendidas de direccionamiento, jerarquía estructurada para

administración del crecimiento de las tablas de ruteo, autoconfiguración y reconfiguración, soporte mejorado de opciones y extensiones y calidad de servicio.

**2.2.2.8 Protocolo SMTP.** El protocolo de transferencia simple de correo (*Simple Mail Transfer Protocol*) es un protocolo de envío de correo electrónico.

**2.2.2.9 Protocolo SNMP.** El protocolo simple de administración de red (*Simple Network Management Protocol*) es un protocolo que gestiona información sobre el estado de la red.

### 2.3 TRÁFICO EN ATM [12]

El tráfico ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) es un estándar adoptado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) como un conjunto de mecanismos usados para implementar conmutación y multiplexación en las redes. Para determinar las técnicas de control de congestión, dimensionamiento, diseño de nuevas redes y optimización de las redes existentes se requiere que los modelos para describir las características estadísticas de tráfico sean lo más cercano a la realidad.

La tecnología ATM nace de la necesidad de integrar en una sola red todos los tipos de transferencia de información, contando con una velocidad de transmisión elevada y ofreciendo nuevos servicios (video sobre pedido, televisión en video, correo electrónico en multimedia, música con calidad de disco compacto, interconexión LAN y transporte de alta velocidad para datos) a través de la línea telefónica. La Tabla 3 muestra los niveles de tolerancia para cada tipo de tráfico.

**Tabla 3. Niveles de tolerancia por tipo de tráfico.**

Tipo de Tráfico	Sensibilidad	
	Pérdida de paquetes	Retardos
Voz	Baja	Alta
Video	Moderada	Alta

Datos	Alta	Baja
-------	------	------

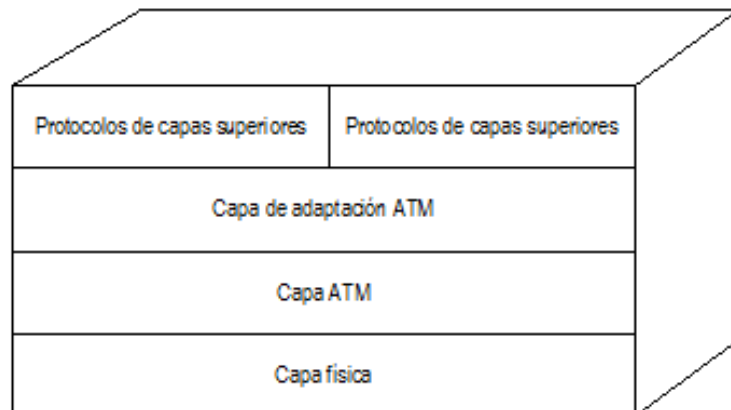
Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

Este tipo de tráfico, orientado a conexión, se basa en la transmisión y conmutación de paquetes de tamaño fijo denominados células o celdas de 53 bytes de longitud (5 de cabecera y 48 de carga útil) y para asegurar un nivel de calidad alto en el servicio de la red se debe garantizar un buen desarrollo y efectividad en los esquemas de control de congestión. Además cuenta con la ventaja de poder manejar fácilmente tráfico de velocidad constante (audio, video) y tráfico de velocidad variable (datos).

Las redes ATM se organizan de forma similar a las redes WAN (*Wide Area Network*) mediante líneas y enrutadores. Las velocidades utilizadas son de 155 Mbps (necesarias para transmitir televisión de alta definición) y de 622 Mbps (para poder contar con cuatro canales de 155 Mbps).

**2.3.1 Modelo de referencia de Tráfico ATM.** El modelo de referencia para una red digital de servicios integrados (B-ISDN) se muestra en la Figura 17. Este cuenta con tres capas: la capa física, la capa ATM y la capa de adaptación de ATM.

**Figura 17. Modelo de referencia para tráfico ATM.**



Fuente: A. Moclou & J. Vanega. Revista Omega 12.

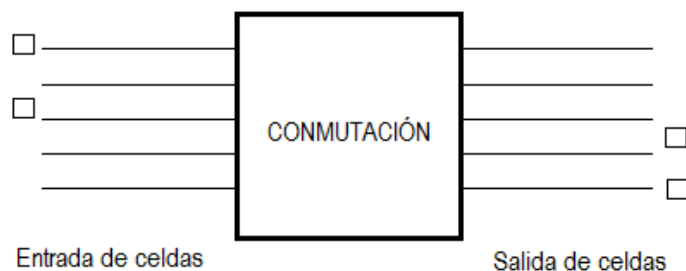
**2.3.1.1 Capa física.** ATM está diseñado para ser independiente del medio de transmisión. La capa física hace referencia al medio físico (voltaje, temporización de bits). Las celdas se pueden enviar por un cable o fibra o se pueden empacar dentro de la carga útil de otros sistemas portadores.

**2.3.1.2 Capa ATM.** La capa ATM hace referencia a las celdas, su transporte y control de la congestión. En esta capa se definen la organización de las celdas y los campos del encabezado.

**2.3.1.3 Capa de adaptación ATM.** También llamada capa AAL (*ATM Adaptation Layer*), permite enviar paquetes mayores que una celda. La interfaz ATM segmenta los paquetes, transmite las celdas en forma individual y las reensambla en el otro extremo.

**2.3.2 Conmutadores ATM.** Generalmente los conmutadores ATM son síncronos; durante un ciclo se toma una celda de cada línea de entrada, se pasa a la estructura de conmutación interna y luego se transmite por la línea de salida apropiada. En la Figura 18 se observa su modelo general con las líneas de entrada y de salida.

**Figura 18. Modelo de un conmutador ATM.**



Fuente: A. Moclou & J. Vanega. Revista Omega 12.

Los conmutadores deben cumplir dos propósitos:

- Los conmutadores deben conmutar todas las celdas con una velocidad de desecho lo más baja posible.
- El orden de llegada de las celdas debe ser el mismo que el de las salidas

Los conmutadores comerciales tienen líneas de entrada que van entre 16 y 1024 líneas, por lo cual el conmutador debe aceptar y conmutar entre 16 y 1024 celdas cada 2,735 microsegundos.

**2.3.2.1 Cola de entrada en un conmutador ATM.** Si se presenta el caso en que las celdas que llegan a dos o más líneas de entrada quieran ir al mismo puerto de salida en el mismo ciclo, se crea una cola para cada línea de entrada. De esta forma, si dos o más celdas están en conflicto se escoge una para ser entregada y la(s) otra(s) se guardan para el siguiente ciclo.

Un problema que se presenta con las colas de entrada es que cuando se tiene que retener una celda se bloquea el avance de otra celda que venga detrás de la primera. Este fenómeno es conocido como bloqueo de cabecera de línea.

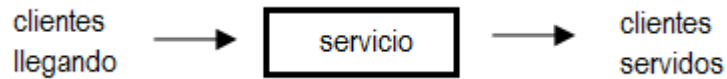
**2.3.2.2 Cola de salida en un conmutador ATM.** Para evitar el bloqueo de cabecera de línea se hace que la cola de espera se haga en el extremo de salida. Si dos celdas quieren ir a la misma línea de salida durante el mismo ciclo, ambas pasan por el conmutador de manera que una celda se pone en la línea de salida y la otra celda hace cola en la línea de salida.

## 2.4 TEORÍA DE COLAS [13]

Actualmente las filas de espera son elementos cotidianos formados por sucesos o elementos que hacen “cola” esperando servicio. El estudio matemático de las filas de espera es lo que se conoce como teoría de colas. A través de su estudio es posible conocer características tales como: promedio de longitud de las filas de espera, promedio de tiempo de espera en la cola antes de ser atendido, número de elementos del sistema, etc.

En la Figura 19 se observa el esquema de un sistema de cola básico.

**Figura 19. Sistema de cola básico.**



Fuente: J. Panico. Teoría de las colas.

Las colas se generan cuando la demanda por un servicio llega a ser demasiado grande para la capacidad de prestación del servicio.

#### **2.4.1 Conceptos preliminares.**

$\mu$ : Coeficiente medio de servicio (servicios prestados por unidad de tiempo).

$\lambda$ : Coeficiente medio de llegadas (promedio de llegadas por unidad de tiempo).

$n$ : Probabilidad.

$s$ : Número de servidores.

$P_o(t)$ : Probabilidad de que el elemento de entrada sea atendido de forma inmediata.

$P_n(t)$ : Probabilidad de que hayan  $n$  elementos en el sistema en un tiempo determinado.

$\omega$ : Longitud de la fila de espera.

$E_n$ : Número de elementos que componen el sistema.

$E_w$ : Longitud de la fila cuando el elemento llega a ella.

$E_s$ : Número de elementos del sistema que se espera estén siendo atendidos.

$E_t$ : Tiempo en que el elemento que llega debe esperar antes de ser atendido.

$E_\psi$ : Tiempo de permanencia en el sistema.

## 2.4.2 Clasificación de las colas

**2.4.2.1 Un servidor; una fila (población infinita).** Servicio en una sola línea en base a la premisa “primero en llegar, primero en ser atendido” (Figura 20).

**Figura 20. Modelo de cola “un servidor, una línea”.**



Fuente: J. Panico. Teoría de las colas.

**Ecuación 14. Fórmulas generales para el modelo de cola “un servidor, una línea”.**

$$P_0(t) = 1 - \frac{\lambda}{\mu}$$

$$P_n(t) = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right)$$

$$E_n = \frac{\lambda}{\mu - \lambda}$$

$$E_w = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)}$$

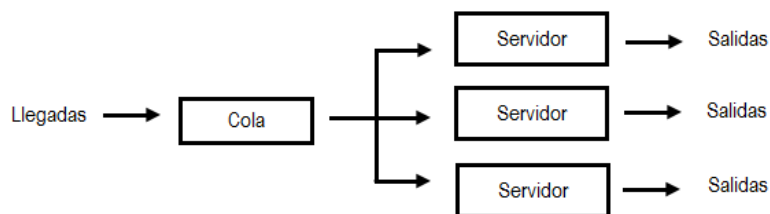
$$E_t = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)}$$

$$E_\psi = \frac{1}{\mu - \lambda}$$

Fuente: J. A. Panico. Teoría de las colas.

**2.4.2.2 Servidores múltiples; una fila (población infinita).** Servicio con múltiples servidores para una sola línea en el cual no se admite preferencia alguna de parte de los clientes y a estos se les atiende en su orden de llegada (Figura 21).

**Figura 21. Modelo de cola “servidores múltiples, una fila”.**



Fuente: J. Panico. Teoría de las colas.

**Ecuación 15. Fórmulas generales para el modelo de cola “servidores múltiples, una fila”.**

$$P_o(t) = \left[ \left\{ \sum_{n=0}^{s-1} \frac{1}{n!} \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^n \right\} + \left\{ \frac{1}{s!} \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^s \left( \frac{s\mu}{s\mu - \lambda} \right) \right\} \right]^{-1}$$

$$P_n(t) = \frac{1}{n!} \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^n P_o(t) \quad \text{para } n < s$$

$$P_n(t) = \frac{1}{s! s^{n-s}} \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^n P_o(t) \quad \text{para } n \geq s$$

$$E_w = \frac{\lambda \mu \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^s}{(s-1)! (s\mu - \lambda)^2} P_o(t)$$

$$E_t = \frac{\mu \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^s}{(s-1)! (s\mu - \lambda)^2} P_o(t)$$

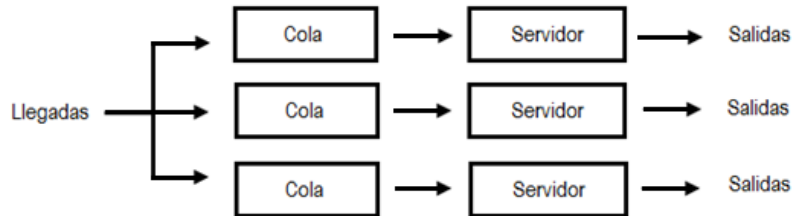
$$E_n = \frac{\lambda \mu \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^s}{(s-1)! (s\mu - \lambda)^2} P_o(t) + \frac{\lambda}{\mu}$$

$$E_\psi = \frac{\mu \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^s}{(s-1)! (s\mu - \lambda)^2} P_o(t) + \frac{1}{\mu}$$

Fuente: J. A. Panico. Teoría de las colas.

**2.4.2.3 Servidores múltiples; filas múltiples.** Servicio en el cual los clientes son clasificados por alguna característica específica y son atendidos en su fila respectiva por su servidor correspondiente (Figura 22).

**Figura 22. Modelo de cola “servidores múltiples, filas múltiples”.**



Fuente: J. Panico. Teoría de las colas.

**2.4.2.4 Servidor múltiple; fila múltiple (con cambios entre filas).** Servicio similar al anterior, con la particularidad de que los clientes eligen al servidor.

**2.4.2.5 Estación a estación.** Servicio en el cual los clientes esperan para ser atendidos en una estación, y luego de pasar por esta van a otra estación para de nuevo ser atendidos. Se trata de llegadas fortuitas con atención fortuita.

**2.4.2.6 Otras combinaciones de colas.**

- Llegadas constantes – Servicio constante.
- Llegadas fortuitas – Servicio constante.
- Llegadas constantes – Servicio fortuito.
- Llegadas fortuitas – Servicio fortuito.

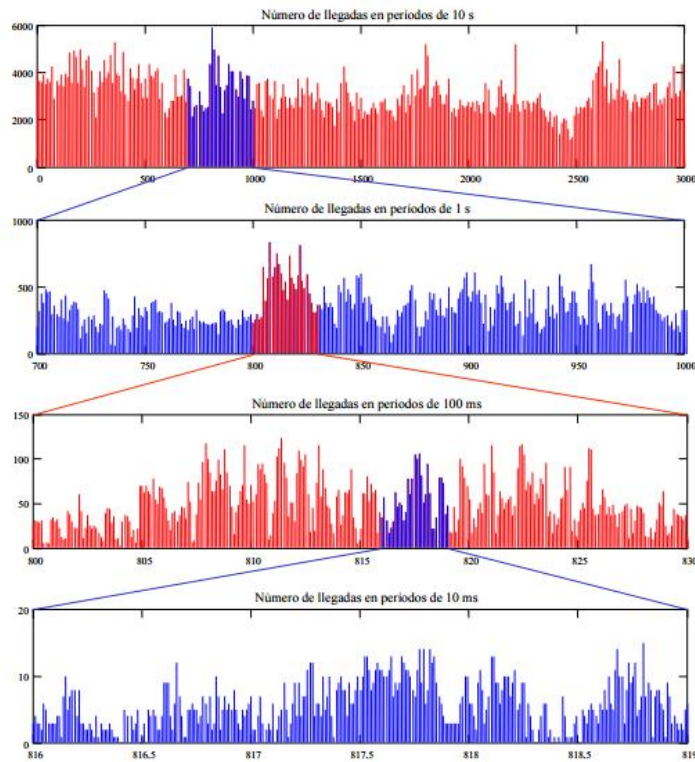
## **2.5 AUTOSIMILARIDAD [14]**

En redes de comunicaciones el tráfico se modela por medio de procesos de naturaleza estocástica los cuales representan la demanda que se impone a los recursos de la red por parte de los usuarios. Estos procesos incluyen variables como tiempos entre llamadas, duración de las llamadas, longitud de paquetes, tiempo de la llegada de paquetes, duración de las sesiones, etc. La correlación entre estas variables puede persistir a través de numerosas escalas de tiempo afectando el desempeño de la red. Este fenómeno es conocido como tráfico autosimilar o fractal.

La autosimilaridad es un fenómeno en el cual alguna propiedad o característica de

un objeto se preserva con respecto a la escalización en el espacio o en el tiempo, como se muestra en la Figura 23. Un objeto autosimilar se compone por un patrón básico que se repite en escalas múltiples, o expresado de otra forma, son los aspectos geométricos que son invariantes con el cambio de escala.

**Figura 23. Tráfico en un segmento de red Ethernet.**



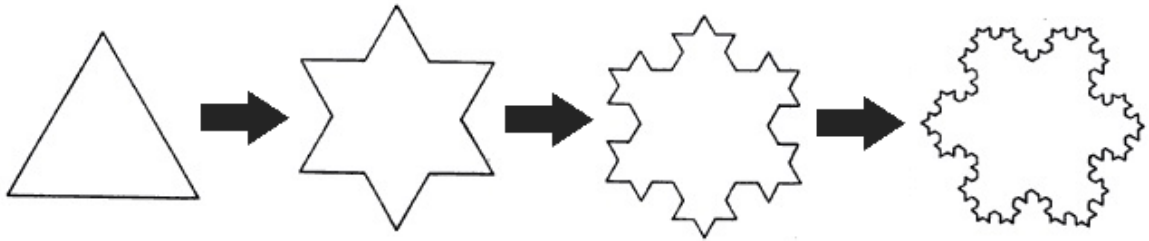
Fuente: M. Monroy. Introducción al Tráfico Autosimilar en Redes de Comunicaciones.

En un elemento de naturaleza autosimilar, sus partes magnificadas se asemejan a la forma del objeto completo.

**2.5.1 Autosimilitud determinística.** Es la forma más sencilla de autosimilaridad, en el cual un objeto de  $D$  dimensiones puede dividirse en  $N$  copias más pequeñas de sí mismo, donde cada copia está escalizada por un factor  $r = N^{-1/D}$ .

En la Figura 24 se observa el copo de nieve de Koch, también llamado estrella de Koch. Este se forma al dividir de forma iterativa cada segmento de línea en tres partes iguales y reemplazando el segmento de la mitad por otros dos segmentos de igual longitud, a semejanza de un triángulo equilátero.

**Figura 24. Copo de nieve de Koch.**

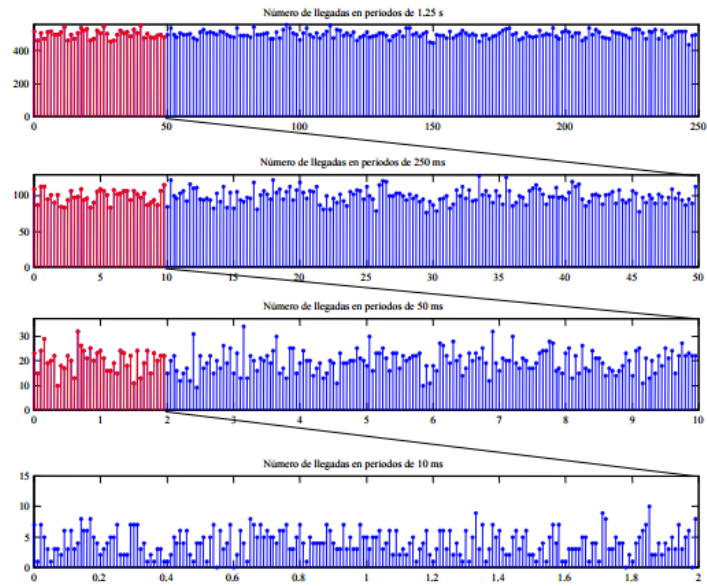


Fuente: Disponibe

<[http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/147/htm/sec\\_5.htm](http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/147/htm/sec_5.htm)>

**2.5.2 Autosimilitud estocástica.** A diferencia de la autosimilitud determinística, en la autosimilitud estocástica las copias de los objetos no son una reproducción exacta del objeto anterior. Esto se ilustra en la Figura 25, la cual muestra una toma de tráfico de un proceso Poisson (muestra de un conteo de sucesos raros ocurridos a través del tiempo con una distribución exponencial) en donde se visualiza una leve variación de las copias con respecto al objeto original. Para su medición se suele usar estadísticas de segundo orden para capturar la variabilidad de los procesos.

**Figura 25. Muestra de tráfico de un proceso de Poisson.**



Fuente: M. Monroy. Introducción al Tráfico Autosimilar en Redes de Comunicaciones.

**2.5.3 Parámetro de Hurst.** El parámetro o exponente de Hurst es una técnica de medición utilizada para analizar comportamientos de un sistema a lo largo del tiempo. Este parámetro permite establecer si una serie de tiempo es fractal, o si la serie de tiempo tiene memoria de largo plazo (si los eventos de un periodo influyen en todos los siguientes). Este parámetro se expresa mediante la ecuación 16.

**Ecuación 16. Parámetro de Hurst.**

$$E \left[ \frac{R(n)}{S(n)} \right] = Cn^H \quad \text{donde } n \rightarrow \infty$$

$H$ : Parámetro de Hurst.

$R(n)$ : Rango de los primeros  $n$  valores.

$S(n)$ : Desviación estándar.

$E(x)$ : Valor esperado.

$n$ : Lapso de tiempo de la observación (número de datos en una serie de tiempo).

$C$ : Valor constante.

Fuente: Monroy Alzate, Marco Aurelio. Introducción al Tráfico Autosimilar en Redes de Comunicaciones.

## 2.6 PRUEBAS DE BONDAD DE AJUSTE [15]

Las pruebas de bondad de ajuste son pruebas hechas a una población que permiten verificar si dicha población tiene una distribución especificada. Estas pruebas tienen como objetivo el determinar si una distribución en particular será satisfactoria como modelo de la población.

**2.6.1 Prueba Chi cuadrado.** También llamada prueba Ji cuadrado o prueba  $\chi^2$  de Pearson, esta prueba estadística de tipo cuadrática es aplicada a un conjunto de datos para medir la discrepancia entre una distribución observada y una teórica, evaluando qué tan probable es que cualquier diferencia observada entre los conjuntos surgió por casualidad. También es usada para probar la independencia de dos variables entre sí.

La prueba chi cuadrado es aplicable para variables aleatorias discretas y continuas, donde los eventos considerados deben ser mutuamente excluyentes y tienen una probabilidad total de 1.

El valor de la prueba estadística se muestra en la Ecuación 17.

**Ecuación 17. Prueba de bondad de ajuste Chi cuadrado.**

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} = N \sum_{i=1}^n p_i \left( \frac{O_i}{N} - p_i \right)^2$$

Donde  $\chi^2$ : estadística de prueba acumulativa de Pearson.  
 $O_i$ : número de observaciones de tipo  $i$ .  
 $N$ : número total de observaciones.  
 $E_i = Np_i$ : frecuencia esperada de tipo  $i$ .  
 $N$ : número de celdas en la tabla.

Fuente: J. J. Padilla. Inferencia estadística: Prueba de Hipótesis. Disponible:  
<<http://jpadilla.docentes.upbbga.edu.co/Estadistica/11-Prueba%20Hipotesis.pdf>>

**2.6.2 Prueba Kolgomórov-Smirnov.** Es una prueba más eficiente que la prueba chi cuadrado y trabaja con la distribución de probabilidad acumulada. Este test es una prueba no paramétrica usada para comparar una muestra con una distribución de probabilidad de referencia, o para comparar dos muestras. La prueba es uno de los métodos no paramétricos más útiles y generales para la comparación de dos muestras, ya que es sensible a diferencias tanto en ubicación y forma de las funciones de distribución acumulativa empíricas de las dos muestras.

### **3. METODOLOGÍA**

Para la elaboración del presente proyecto de grado se consultó sobre los dispositivos a usar para el establecimiento de una red wifi mediante un enlace vía microondas, las herramientas para realizar análisis de tráfico de redes y la elaboración de prácticas de laboratorio para que el estudiante pueda realizar análisis de tráfico y determinar la eficacia de una red de datos. A continuación se muestra el orden metodológico.

#### **3.1 DOCUMENTACIÓN**

- Se documentó sobre redes, los modelos de red OSI y TCP/IP, la arquitectura de dichos modelos y los protocolos de red.
- Se documentó acerca de las antenas tipo cuadrada y tipo grilla y los dispositivos para conexiones de red.
- Se recopiló información sobre distribuciones de probabilidad discreta.
- Se investigó sobre métodos para análisis de tráfico.
- Se consultó sobre los softwares Wireshark y EasyFit.

#### **3.2 ENLACE WIFI VÍA MICROONDAS**

Para establecer el enlace wifi vía microondas se siguieron los siguientes pasos:

- La antena tipo grilla se conecta por medio de cable RF al Access Point de referencia 3Com® Wireless 8760 Dual-radio 11a/b/g PoE, configurándolo en modo raíz.
- La antena cuadrada tipo panel se configura en modo cliente y se conecta mediante cable Ethernet al router de referencia TP-LINK Wireless N Router TL-WR841ND. Lo anterior se hace con el fin de que el router dé cobertura a la red creada.

### **3.3 PROCEDIMIENTO**

- Luego de establecido el enlace, los dispositivos habilitados para wifi (computadores personales, teléfonos inteligentes, agendas digitales, etc.) se enlazan a la red creada para generar tráfico.
- Con el software Wireshark se captura el tráfico generado y se procede a filtrar los parámetros a analizar (protocolos de red, tamaño de paquetes, longitud de paquetes, etc.).
- Las tramas de datos capturada en Wireshark se exportan al software Excel con el fin de generar las gráficas deseadas (número de paquetes vs tiempo, longitud de paquetes vs tiempo, etc.).
- La trama de datos es exportada al software EasyFit para poder determinar las posibles distribuciones de probabilidad.
- Se determina la eficiencia de la red creada.
- Se desarrollaron prácticas de laboratorio para establecer el enlace wifi vía microondas y analizar la red creada.

### **3.4 INSTRUMENTOS**

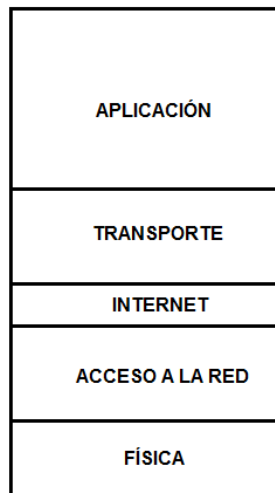
- Antena tipo grilla.
- Antena cuadrada tipo panel.
- Access Point de referencia 3Com® Wireless 8760 Dual-radio 11a/b/g PoE.
- Router de referencia TP-LINK Wireless N Router TL-WR841ND.
- Computador con los softwares Wireshark, Excel y EasyFit.
- Dispositivos habilitados para redes wifi.

## 4. SIMULACIÓN Y RESULTADOS

Para el análisis de las muestras de tráfico de la Prueba 1, con un total de 14 usuarios conectados a la red, se generó una trama con tiempo de captura de datos de quince minutos de duración.

Teniendo en cuenta los niveles de arquitectura del modelo de red TCP/IP (Figura 26) y la proporción de paquetes implicados en la comunicación, se analizaron los protocolos IPv4 (nivel de red), los protocolos TCP y UDP (nivel de transporte) y el protocolo HTTP (nivel de aplicación).

**Figura 26. Arquitectura del modelo de red TCP/IP.**



Fuente: W. Stallings. Comunicaciones y redes de computadores.

### 4.1 PRUEBA 1

En la trama de datos obtenida en la fecha 10-03-2015 y visualizada en la Figura 27, se logró la captura de 175751 paquetes (183974451 Bytes) a través del enlace vía microondas.

Se procedió a analizar la longitud de los paquetes y los protocolos de nivel de red, de nivel de transporte y de nivel de aplicación.

Figura 27. Tráfico generado en la Prueba 1.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1	0.000000000	108.160.169.50	192.168.1.100	TLSv1	331	Application Data
2	0.004821000	192.168.1.100	108.160.169.50	TLSv1	480	Application Data, Application Data
3	0.129449000	108.160.169.50	192.168.1.100	TCP	54	443->49248 [ACK] Seq=278 Ack=427 Win=39 Len=0
4	2.035752000	192.168.1.100	74.125.137.102	TCP	54	49259->443 [FIN, ACK] Seq=1 Ack=1 Win=0 Len=0
5	4.786809000	IntelCor_9e:db:0a	Tp-Linkt_ea:1b:da	APP	42	who has 192.168.1.1? Tell 192.168.1.100
6	4.788106000	Tp-Linkt_ea:1b:da	IntelCor_9e:db:0a	APP	125	standard query response 0x0731 A www.youtube.com
7	9.645602000	192.168.1.100	192.168.1.1	DNS	75	standard query response 0x0731 CNAME youtube-vi.1.google.com A 216.58.219.174
8	9.657831000	192.168.1.100	192.168.1.100	QUIC	1392	CID: 1117483462926103438, Seq: 1
9	9.686172000	192.168.1.100	216.58.219.174	TCP	66	49263->443 [SYN] Seq=0 Win=8192 Len=0 MSS=1460 WS=4 SACK_PERM=1
10	9.688275000	192.168.1.100	216.58.219.174	QUIC	676	CID: 1117483462926103438, Seq: 2
11	9.750931000	216.58.219.174	192.168.1.100	TCP	66	443->49263 [SYN, ACK] Seq=1 Ack=1 Win=42900 Len=0 MSS=1430 SACK_PERM=1 WS=128
12	9.750487000	192.168.1.100	216.58.219.174	TCP	54	49263->443 [ACK] Seq=0 Ack=1 Win=17160 Len=0
13	9.751279000	192.168.1.100	192.168.1.100	TLSv1.2	571	Client Hello
14	9.766111000	216.58.219.174	192.168.1.100	QUIC	1392	CID: 0, Seq: 1
15	9.773217000	192.168.1.100	216.58.219.174	TCP	79	CID: 1117483462926103438, Seq: 3
16	9.815837000	216.58.219.174	192.168.1.100	TLSv1.2	199	server Hello, Change Cipher Spec, Encrypted Handshake Message
17	9.817112000	192.168.1.100	216.58.219.174	TLSv1.2	254	change cipher spec, Encrypted Handshake Message, Encrypted Handshake Message
18	9.822214000	192.168.1.100	216.58.219.174	TLSv1.2	99	Application Data
19	9.823402000	192.168.1.100	216.58.219.174	TLSv1.2	96	Application Data
20	9.823591000	192.168.1.100	216.58.219.174	TLSv1.2	88	Application Data
21	9.823744000	192.168.1.100	192.168.1.100	QUIC	74	CID: 0, Seq: 2
22	9.839220000	216.58.219.174	192.168.1.100	QUIC	1000	CID: 0, Seq: 3
23	9.866291000	216.58.219.174	192.168.1.100	QUIC	102	Application Data
24	9.890578000	216.58.219.174	192.168.1.100	TLSv1.2		

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

**4.1.1 Paquetes a analizar según el nivel del modelo de red TCP/IP.** Del total de 133130 paquetes de nivel de enlace a través de la red, el 99,928% correspondieron a paquetes IPv4 de nivel de red como se observa en la Tabla 4.

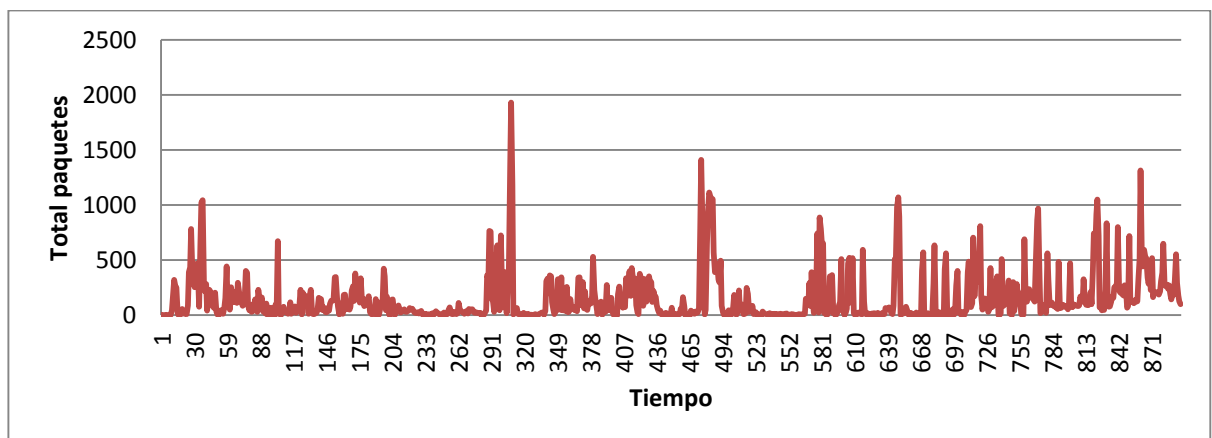
**Tabla 4. Cantidad de paquetes intercambiados por nivel en la Prueba 1.**

<b>NIVEL DE RED</b>	IPv4	
	133034	
<b>NIVEL DE TRANSPORTE</b>	<b>TCP</b>	124058
	<b>UDP</b>	8974
<b>NIVEL DE APLICACIÓN</b>	<b>HTTP</b>	4580

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

**4.1.2 Cantidad de paquetes con respecto al tiempo de la Prueba 1.** En la Figura 28 se muestra el histograma correspondiente a la totalidad de paquetes vs tiempo, donde el eje de las abscisas corresponde al tiempo (en segundos) y el eje de las ordenadas al total de paquetes.

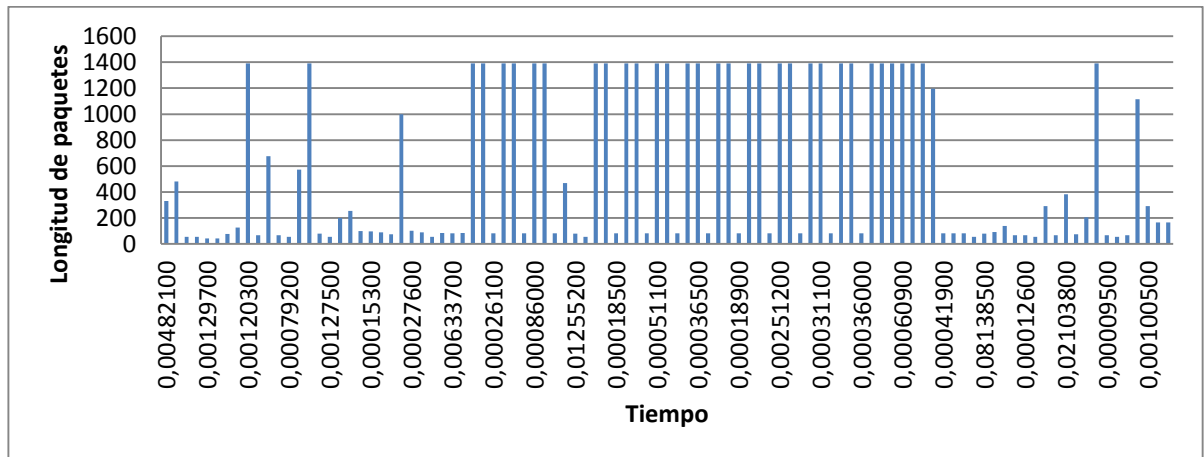
**Figura 28. Paquetes vs tiempo de la Prueba 1.**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

**4.1.3 Longitud de paquetes con respecto al tiempo de la Prueba 1.** A continuación se muestra en la Figura 29 la longitud de paquetes con respecto al tiempo. Al tener 133130 paquetes, se decidió graficar un intervalo aleatorio de 100 datos para poder apreciar el histograma, siendo el eje vertical la longitud de los paquetes y el eje horizontal el del tiempo (duración de la captura de cada paquete).

**Figura 29. Longitud de paquetes vs tiempo de la Prueba 1.**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

En la Tabla 5 muestra la media y la varianza para los datos de la Prueba 1. Estos parámetros se obtuvieron a partir de la Ecuación 3 y la Ecuación 4, donde la Media es igual a la suma promedio de todas las observaciones y la Varianza es el promedio de las desviaciones cuadradas de la Media.

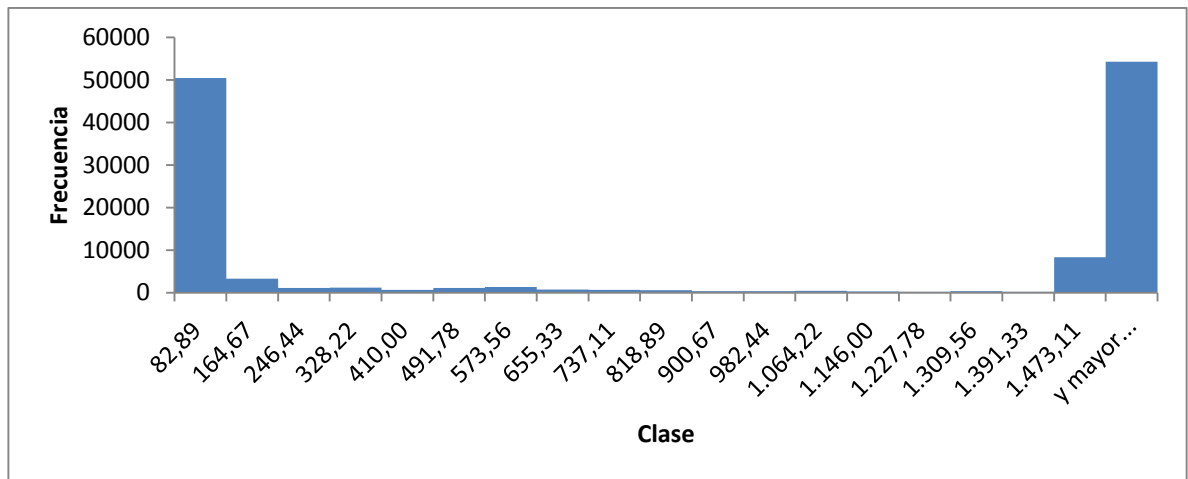
**Tabla 5. Media y varianza para Longitud de paquetes vs tiempo de la Prueba 1.**

MEDIA	VARIANZA
818,5073545	488540,2813

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

**4.1.4 Distribución de probabilidad para Longitud de paquetes con respecto al tiempo de la Prueba 1.** En la Figura 30, usando el software *Excel* y la opción Análisis de datos, se construyó el histograma, observándose que para la Prueba 1 los datos se ajustaban a una distribución de tiempos de falla.

**Figura 30. Distribución de probabilidad para Longitud de paquetes de la Prueba 1.**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

A este tipo de distribución, aplicando una transformada logarítmica, se le puede considerar como una distribución Weibull luego de hacer el siguiente procedimiento [7]:

- Se calcula la marca de clase  $t_i$ .
- Se calcula  $X_i$ .

**Ecuación 18. Cálculo de  $X_i$ .**

$$X_i = \ln(t_i)$$

Fuente: R. A. Johnson. Probabilidad y estadística para ingenieros de Miller y Freund.

- Se calcula  $F(t_i)$ .

**Ecuación 19. Cálculo de  $F(t_i)$ .**

$$f_{(t_i)} = \frac{i}{n + 1}$$

Fuente: R. A. Johnson. Probabilidad y estadística para ingenieros de Miller y Freund.

- Se calcula  $Y_i$ .

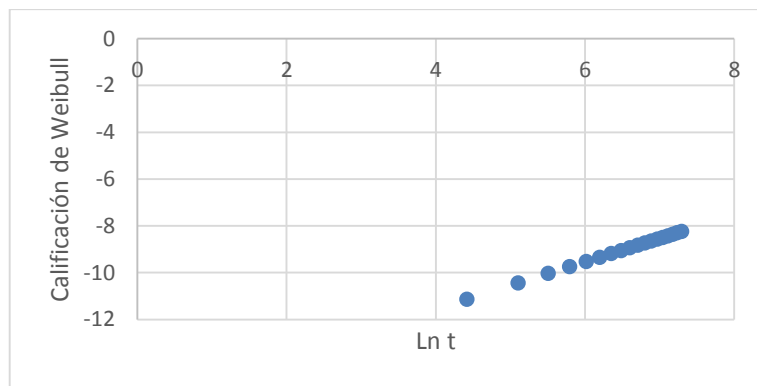
**Ecuación 20. Cálculo de  $Y_i$ .**

$$Y_i = \ln\left(\ln\left(\frac{1}{1 - f(t_i)}\right)\right)$$

Fuente: R. A. Johnson. Probabilidad y estadística para ingenieros de Miller y Freund.

- Se grafica  $X_i$  vs.  $Y_i$  (Figura 31).

**Figura 31. Gráfica de Weibull de tiempos de falla de la Prueba 1.**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

Si los puntos graficados se aproximan a una línea recta, se puede suponer que la distribución de tiempos de falla es de tipo Weibull. Al observar la Figura 31, se asume como verdadera la hipótesis de que el histograma corresponde a una distribución Weibull.

Con el software *EasyFit* se determinó los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$ , mostrados en la Tabla 6.

**Tabla 6. Parámetros del Histograma Longitud de paquetes de la Prueba 1.**

DISTRIBUCIÓN	PARÁMETROS
Weibull	$\alpha=0,63025$ $\beta=0,00145$

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

Por medio del software *EasyFit* se obtuvo la bondad de ajuste usando el test de Kolmogórov-Smirnov para la Prueba 1. Este test es una prueba para diferencias entre distribuciones acumulativas, usada para verificar si una distribución se ajusta a una distribución esperada.

El procedimiento es el siguiente [15] [16]:

- Se plantea una hipótesis nula (distribución Weibull).
- Se define la función de distribución empírica.
- Se plantea la distancia de Kolmogórov-Smirnov (Ecuación 21).

**Ecuación 21. Distancia de Kolmogórov-Smirnov.**

$$D = \max_{i=1, \dots, n} \left\{ \left| F_o \left( X_{(i)} - \frac{1}{n} \right) \right|, \left| F_o \left( X_{(i)} - \frac{i-1}{n} \right) \right| \right\}$$

- Se verifica que la distancia sea menor o igual a la distribución del estadístico K-S si se cumple que  $D_{KS} \leq D_n$ .
- Los resultados se comparan con la Tabla de Distribución del estadístico K-S de la Tabla 7.

**Tabla 7. Distribución del estadístico K-S.**

<i>n</i>	$\alpha = 0,2$	$\alpha = 0,1$	$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,01$
1	0,90	0,95	0,98	0,99
2	0,68	0,78	0,84	0,93
3	0,56	0,64	0,71	0,83
4	0,49	0,56	0,62	0,73
5	0,45	0,51	0,56	0,67
6	0,41	0,47	0,52	0,62
7	0,38	0,44	0,49	0,58
8	0,36	0,41	0,46	0,54
9	0,34	0,39	0,43	0,51
10	0,32	0,37	0,41	0,49
11	0,31	0,35	0,39	0,47
12	0,30	0,34	0,38	0,45
13	0,28	0,32	0,36	0,43
14	0,27	0,31	0,35	0,42
15	0,27	0,30	0,34	0,40
16	0,26	0,30	0,33	0,39
17	0,25	0,29	0,32	0,38
18	0,24	0,28	0,31	0,37
19	0,24	0,27	0,30	0,36
20	0,23	0,26	0,29	0,35
25	0,21	0,24	0,26	0,32
30	0,19	0,22	0,24	0,29
35	0,18	0,21	0,23	0,27
40	0,17	0,19	0,21	0,25
45	0,16	0,18	0,20	0,24
> 45	$1.07/\sqrt{n}$	$1.22/\sqrt{n}$	$1.36/\sqrt{n}$	$1.63/\sqrt{n}$

Fuente: A. F. Castaño Reyes y L. M. Monroy Osorio. Desarrollo de un entorno programado para el análisis de confiabilidad con base en distribución Weibull biparamétrica.

Los resultados del test aplicado a la muestra de datos de la Prueba 1 se muestran en la Tabla 8.

**Tabla 8. Resultados de ajuste de la Prueba 1.**

DISTRIBUCIÓN	PRUEBA Kolmogórov-Smirnov	
	Estadística	Rango
Weibull	0,11462	12

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

Al comparar los resultados obtenidos en la Tabla 8 con los de la Tabla 7, se observa que para el Rango 12, el Estadístico: 0,11462 fue menor que 0,3. De lo anterior se concluye que la distribución sí se ajusta a una distribución Weibull. Lo anterior se muestra en la Tabla 9.

**Tabla 9. Comparación de resultados del ajuste de la Prueba 1.**

RANGO	ESTADÍSTICA	
1	Teórico	0,9
	Empírico	0,28443

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

**4.1.5 Intercambio de paquetes de nivel de Transporte de la Prueba 1.** Se decidió analizar los protocolos de nivel de transporte por ser los implicados en la transferencia de datos entre el emisor y el receptor. Los protocolos TCP y UDP fueron los de mayor porcentaje en el intercambio de información como lo muestra la Tabla 10.

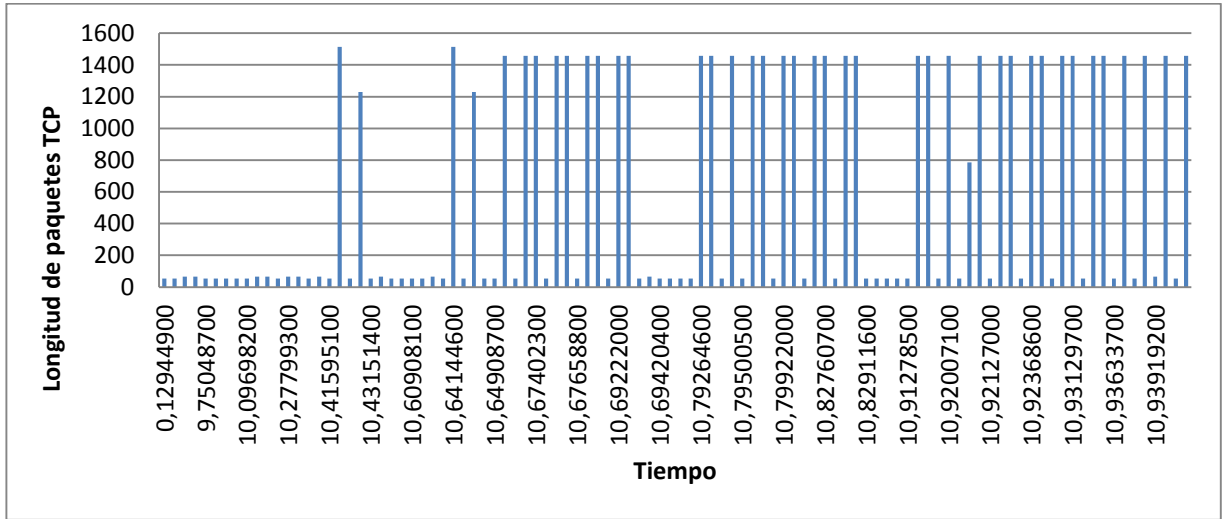
**Tabla 10. Relación de paquetes TCP y UDP de la Prueba 1.**

	TCP	UDP
CANTIDAD	124058	9028
PORCENTAJE	93,185%	6,781%

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

**4.1.5.1 Análisis de paquetes TCP de la Prueba 1.** Para la Figura 32, de los 124058 paquetes, se tomaron 100 datos de un intervalo al azar para graficar el histograma. En él, el eje horizontal corresponde al tiempo entre paquetes TCP (duración de la captura de cada paquete TCP) y el eje vertical corresponde a la longitud de los paquetes TCP. En la Tabla 11 se muestran la media y la varianza para la longitud de los paquetes TCP de la Prueba 1, obtenidas por medio de las Ecuaciones 3 y 4.

**Figura 32. Longitud de paquetes TCP vs tiempo de la Prueba 1.**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

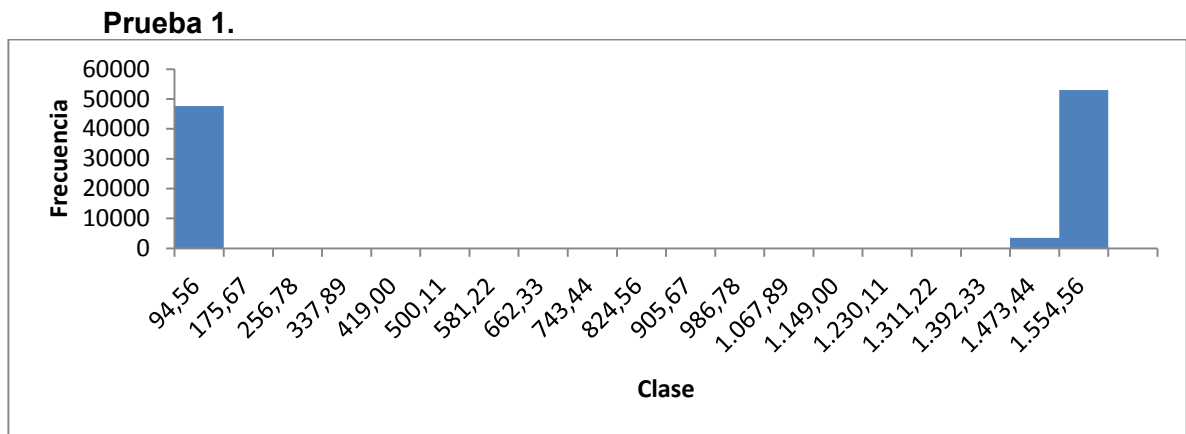
**Tabla 11. Media y varianza para Longitud de paquetes TCP vs tiempo de la Prueba 1.**

MEDIA	VARIANZA
843,926733	521556,259

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

**4.1.5.1.1 Distribución de Probabilidad del protocolo TCP de la Prueba 1.** La distribución de Weibull fue el tipo de distribución discreta que más se ajustó a los datos de Longitud de paquetes TCP con respecto al tiempo (Figura 33).

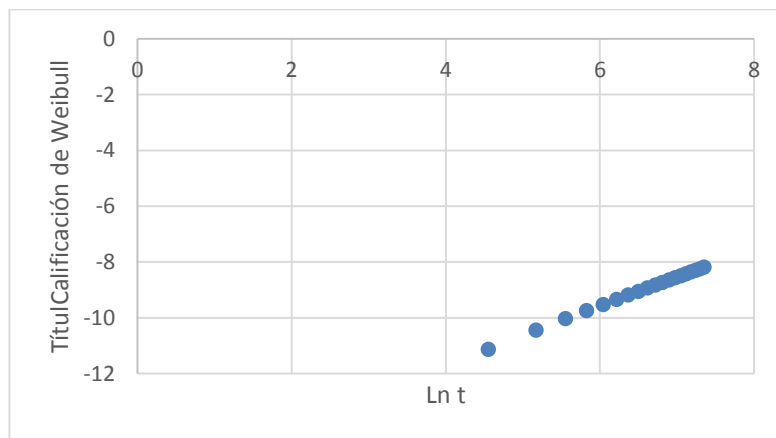
**Figura 33. Distribución de probabilidad para Longitud de paquetes TCP de la**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

Aplicando el procedimiento de distribuciones de tiempos de falla del numeral 4.1.4., se observa que los paquetes TCP se aproximan a una distribución tipo Weibull. Lo anterior se muestra en la Figura 34.

**Figura 34. Gráfica de Weibull de tiempos de falla para Longitud de paquetes TCP de la Prueba 1.**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

En la Tabla 12 se muestran los parámetros del Histograma Longitud de paquetes TCP de la Prueba 1. En la Tabla 13 se muestran los resultados de la Prueba de bondad de ajuste K-S.

**Tabla 12. Parámetros del Histograma Longitud de paquetes TCP de la Prueba 1.**

Distribución	Parámetros
Weibull	$\alpha=0,61731$ $\beta=891,4$

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

**Tabla 13. Prueba de bondad de ajuste Kolmogórov-Smirnov para el protocolo TCP de Prueba 1.**

DISTRIBUCIÓN	PRUEBA Kolmogórov-Smirnov	
	Estadística	Rango
Weibull	0,28443	1

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

Al comparar los resultados teóricos con los prácticos, se puede asumir como verdadera la hipótesis de que la distribución de paquetes TCP es de tipo Weibull ya que el valor empírico es menor que el teórico como se observa en la Tabla 14.

**Tabla 14. Comparación de resultados del ajuste de los paquetes TCP de la Prueba 1.**

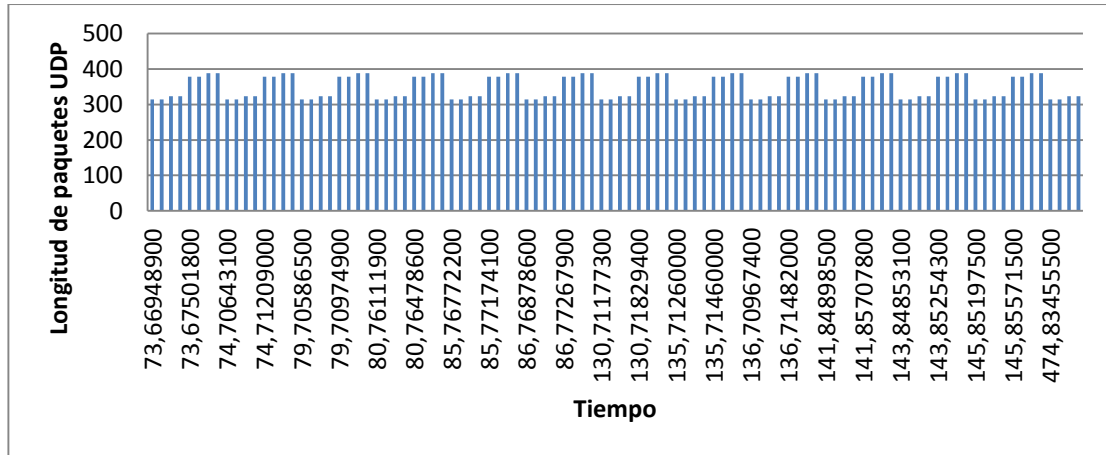
RANGO	ESTADÍSTICA	
1	Teórico	0,9
	Empírico	0,28443

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

**4.1.5.2 Análisis de paquetes UDP de la Prueba 1.** En la Figura 35 se grafica el histograma de Longitud de paquetes UDP con respecto al tiempo (tiempo entre llegada de paquetes UDP), tomando 100 datos de un intervalo al azar entre los 9028 paquetes que lo componen.

En la Tabla 15 se muestran la Varianza y la Media de la serie de datos Longitud de paquetes UDP obtenidas mediante las Ecuaciones 3 y 4.

**Figura 35. Longitud de paquetes UDP vs tiempo de la Prueba 1.**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

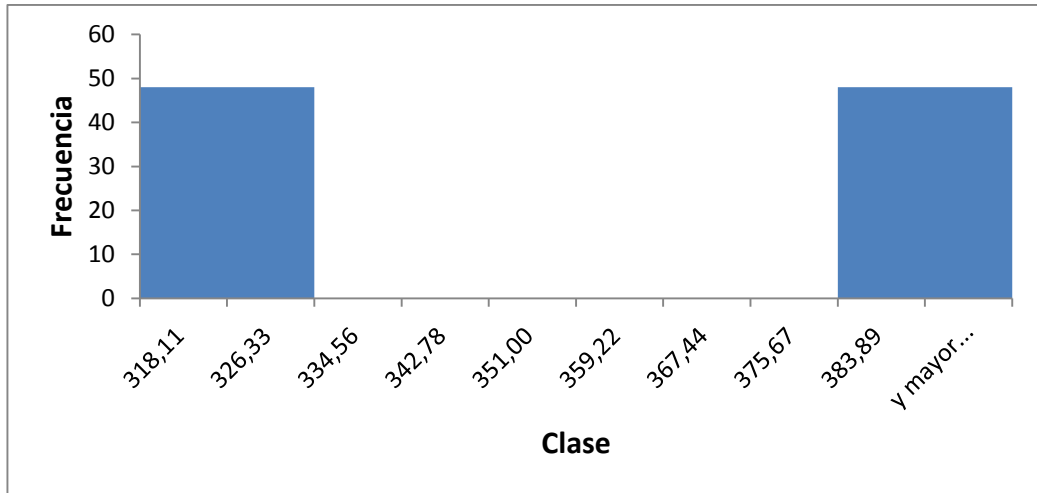
**Tabla 15. Media y varianza para Longitud de paquetes UDP vs tiempo de la Prueba 1.**

MEDIA	VARIANZA
350,75	1068,25131

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

**4.1.5.2.1 Distribución de Probabilidad del protocolo UDP de la Prueba 1.** Al analizar el histograma de Longitud de paquetes UDP con respecto al tiempo, se determinó que la serie de datos se ajustaba a una distribución de probabilidad de Weibull (Figura 36).

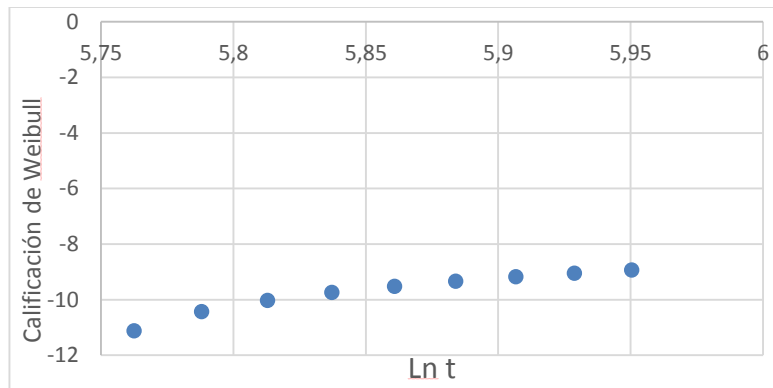
**Figura 36. Distribución de probabilidad para Longitud de paquetes UDP de la Prueba 1.**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

En la Figura 37 se muestra que los paquetes UDP se aproximan a una distribución Weibull.

**Figura 37. Gráfica de Weibull de tiempos de falla para Longitud de paquetes UDP de la Prueba 1.**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

Las Tablas 16 y 17 muestran los resultados de los parámetros y la prueba de bondad de Kolgomórov-Smirnov, respectivamente.

**Tabla 16. Parámetros del Histograma Longitud de paquetes UDP de la Prueba 1.**

Distribución	Parámetros
Weibull	$\alpha=10,987$ $\beta=367,52$

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

**Tabla 17. Resultados de ajuste para el protocolo UDP de la Prueba 1.**

DISTRIBUCIÓN	PRUEBA Kolmogórov-Smirnov	
	Estadística	Rango
Weibull	0,28502	8

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

Comparando los resultados teóricos con los empíricos, se puede asumir verdadera la hipótesis de que la distribución de paquetes UDP es de tipo Weibull ya que el valor obtenido en la Prueba es menor que el teórico como se observa en la Tabla 18.

**Tabla 18. Comparación de resultados del ajuste de los paquetes UDP de la Prueba 1.**

RANGO	ESTADÍSTICA	
8	Teórico	0,36
	Empírico	0,28502

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

**4.1.6 Intercambio de paquetes de nivel de Aplicación de la Prueba 1.** En la capa de Aplicación se analizó el protocolo HTTP ya que este es el protocolo base del *world wide web* (www) y fue el que presentó un mayor porcentaje de intercambio de paquetes en comparación con los otros protocolos de dicho nivel, como por ejemplo el protocolo DNS (*Domain Name System*) el cual es un base de datos que almacena y asigna la información necesaria para los nombres de dominio de las direcciones IP. La Tabla 19 muestra la relación de paquetes HTTP y paquetes DNS con respecto al total de paquetes de la trama de datos.

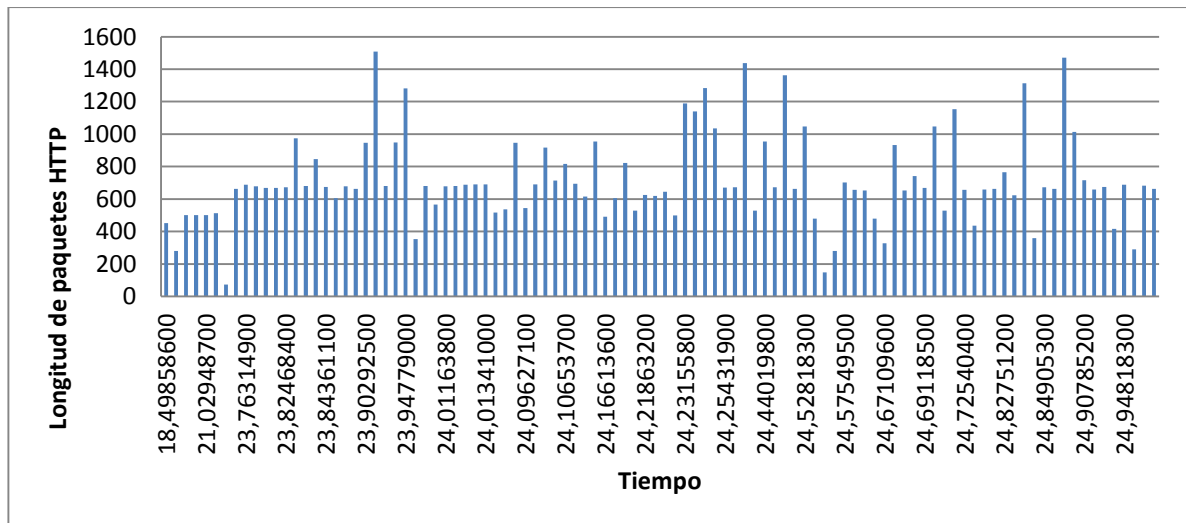
**Tabla 19. Relación de paquetes HTTP de la Prueba 1.**

	HTTP	DNS
CANTIDAD	4616	1580
PORCENTAJE	3,467%	1,186%

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

La Figura 38 muestra el histograma de la Longitud de paquetes HTTP con respecto al tiempo (tiempo de duración de cada paquete HTTP) y la Tabla 19 muestra sus parámetros de Media y Varianza calculados por medio de las Ecuaciones 2 y 3.

**Figura 38. Longitud de paquetes HTTP vs tiempo de la Prueba 1.**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

**Tabla 20. Media y varianza para Longitud de paquetes HTTP vs tiempo de la Prueba 1.**

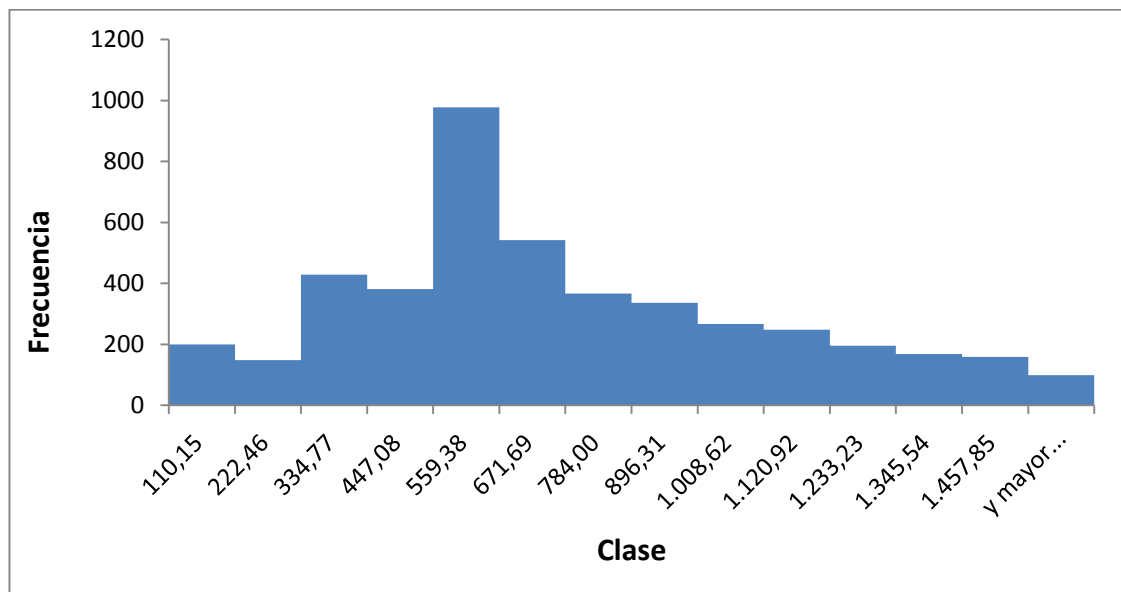
<b>MEDIA</b>	<b>VARIANZA</b>
665,707106	126665,199

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

La Figura 39 permite visualizar la distribución de probabilidad que más se ajustó a la serie de datos de paquetes HTTP de la Prueba 1. Para este caso, el conjunto de datos se ajustó a una distribución Log-normal.

En las Tablas 20 y 21 se muestran los parámetros del histograma para el protocolo HTTP y los resultados de ajuste del test de Kolgomórov-Smirnov, verificándose que la serie de datos para este protocolo se ajustaban a una distribución logarítmica normal.

**Figura 39. Distribución de probabilidad para Longitud de paquetes HTTP vs tiempo de la Prueba 1.**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

**Tabla 21.** Resultados de ajuste para el protocolo HTTP de la Prueba 1.

Distribución	Parámetros
Lognormal	s=0,69024 m=6,315

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

**Tabla 22.** Prueba de bondad de ajuste Kolgomórov-Smirnov para el protocolo HTTP de la Prueba 1.

DISTRIBUCIÓN	PRUEBA Kolmogórov-Smirnov	
	Estadística	Rango
Lognormal	0,13401	40

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

**4.1.7 Pérdida de paquetes [17].** Se considera que hubo pérdida de paquetes cuando se reciben tres o más ACK duplicados, siendo esta una notificación indicando que o hubo un error en la recepción de paquetes o que se presentó pérdidas de algunos datos.

Aplicando un filtro para pérdida de paquetes o segmentos se pudo visualizar los errores presentados en la captura de datos.

La Figura 40 muestra las pérdidas de paquetes TCP con respecto al tiempo de la Prueba 1, siendo los puntos en rojo los paquetes considerados como pérdidas o errores de transmisión.

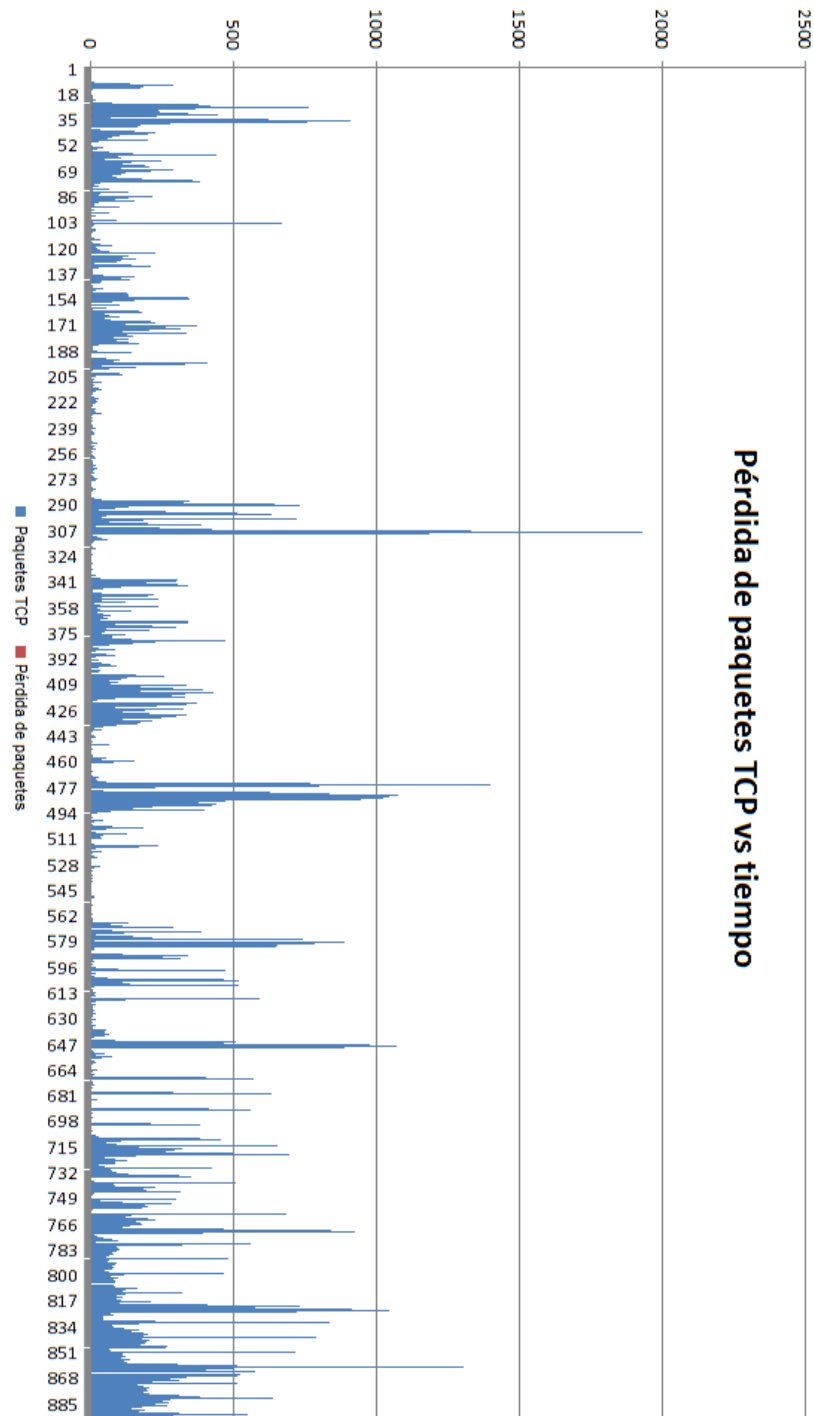
Al analizar la totalidad de paquetes TCP, 264 de ellos se consideraron como perdidos los cuales representan un 0,213%, siendo este resultado una medida de la eficiencia de la red.

**4.1.8 Ancho de banda [17].** El ancho de banda es una medida que permite calcular los datos y recursos disponibles en redes de cómputo.

Para la trama de datos a través del enlace vía microondas generada en la captura de la Prueba 1, el ancho de banda, expresado como el cociente entre los Bytes y el tiempo en que tardan los datos en transferirse completamente, es de 122,568 [kB/s].

Este valor no es exacto pero da una idea de la capacidad del enlace.

Figura 40. Pérdida de paquetes TCP vs tiempo de la Prueba 1.



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

**4.1.9 Estimación del parámetro de Hurst [16].** Para el cálculo del parámetro de Hurst se usó la herramienta RS (*sequence,isplot*) del software MATLAB. Esta herramienta calcula el parámetro mediante el método R/S, empleando una rutina para estimar la dependencia a largo plazo de una secuencia.

El método R/S permite hallar el parámetro de Hurst calculando el cociente entre el rango de las sumas parciales de las desviaciones de las medias de una serie de tiempo y la desviación estándar. El procedimiento es el siguiente:

- Se calcula  $X^*(t)$ .

**Ecuación 22. Cálculo de  $X^*(t)$ .**

$$X^*(t) = \sum_{u=1}^t x(u)$$

- Se calcula  $s^2(t,s)$ .

**Ecuación 23. Cálculo de  $s^2(t,s)$ .**

$$s^2(t,s) = s^{-1} \sum_{u=i+1}^{i+s} x^2(u) - \left[ s^{-1} \sum_{u=i+1}^{i+s} x(u) \right]^2$$

- Cálculo de  $R(t,s)$ .

**Ecuación 24. Cálculo de  $R(t,s)$ .**

$$R(t,s) = \max_{0 < u < s} \left\{ X^*(t+u) - X(t) - \left(\frac{u}{s}\right) [X^*(t+u) - X^*(t)] \right\} \\ - \min_{0 < u < s} \left\{ X^*(t+u) - X^*(t) - \left(\frac{u}{s}\right) [X^*(t+u) - X^*(t)] \right\}$$

Lo anterior se calculó aplicando el siguiente código de programación con el software *MATLAB*.

**Código en MATLAB para determinar el parámetro de Hurst empleando el método RS.**

```
function H = RS(sequence,isplot)
%
% 'RS' estimate the hurst parameter of a given sequence with R/S method.
%
```

```

% Inputs:
%   sequence: the input sequence for estimate
%   isplot: whether display the plot. without a plot if isplot equal to 0
% Outputs:
%   H: the estimated hurst coeffeient of the input sequence

% Author: Chu Chen
% Version 1.0, 03/10/2008
% chen-chu@163.com
%

if nargin == 1
    isplot = 0;
end

N = length(sequence);
dlarge = floor(N/5);
dsmall = max(10,log10(N)^2);
D = floor(logspace(log10(dsmall),log10(dlarge),50));
D = unique(D);
n = length(D);
x = zeros(1,n);
y = zeros(1,n);

R = cell(1,n);
S = cell(1,n);
for i = 1:n
    d = D(i);
    m = floor(N/d);
    R{i} = zeros(1,m);
    S{i} = zeros(1,m);
    matrix_sequence = reshape(sequence(1:d*m),d,m);
    Z1 = cumsum(matrix_sequence);
    Z2 = cumsum(repmat(mean(matrix_sequence),d,1));
    R{i} = (max(Z1-Z2)-min(Z1-Z2));
    S{i} = std(matrix_sequence);

    if min(R{i})==0 || min(S{i}) ==0
        continue;
    end

    x(i) = log10(d);
    y(i) = mean(log10(R{i}./S{i}));
end

% fit a line with middle part of sequence
index = x~=0;
x = x(index);
y = y(index);

```

```

n2 = length(x);
cut_min = ceil(3*n2/10);
cut_max = floor(9*n2/10);

X = x(cut_min:cut_max);
Y = y(cut_min:cut_max);
p1 = polyfit(X,Y,1);
Yfit = polyval(p1,X);
H = (Yfit(end)-Yfit(1))/(X(end)-X(1));

if isplot ~= 0
    figure,hold on;
    bound = ceil(log10(N));
    axis([0 bound 0 0.75*bound]);

    temp = (1:n).*index;
    index = temp(index);
    for i = 1:n2
        plot(x(i),log10(R{index(i)}./S{index(i)}),'b. ');
    end

    x = linspace(0,bound,10);
    y1 = 0.5*x;
    y2 = x;
    h1 = plot(x,y1,'b--','LineWidth',2);
    h2 = plot(x,y2,'b-','LineWidth',2);
    plot(X,Yfit,'r-','LineWidth',3);
    legend([h1,h2], 'slope 1/2', 'slope 1', 4)
    xlabel('log10(blocks of size m)'),ylabel('log10(R/S)'),title('R/S Method');
end

```

Fuente: Disponible <<http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/19148-hurst-parameter-estimate/content//hurst%20estimator/RS.m>>

El parámetro de Hurst para la serie de datos Paquetes vs tiempo fue 0,8293 (Figura 41). Al ser este valor mayor a 0,5 se deduce que la serie de datos presenta autocorrelación positiva a largo plazo. Por tanto se concluye que hay autosimilaridad. En la Figura 42 se observa que los datos de dicha serie se encuentran dentro del rango de confianza.

**Figura 41. Cálculo del parámetro de Hurst para Paquetes vs tiempo de la prueba 1.**

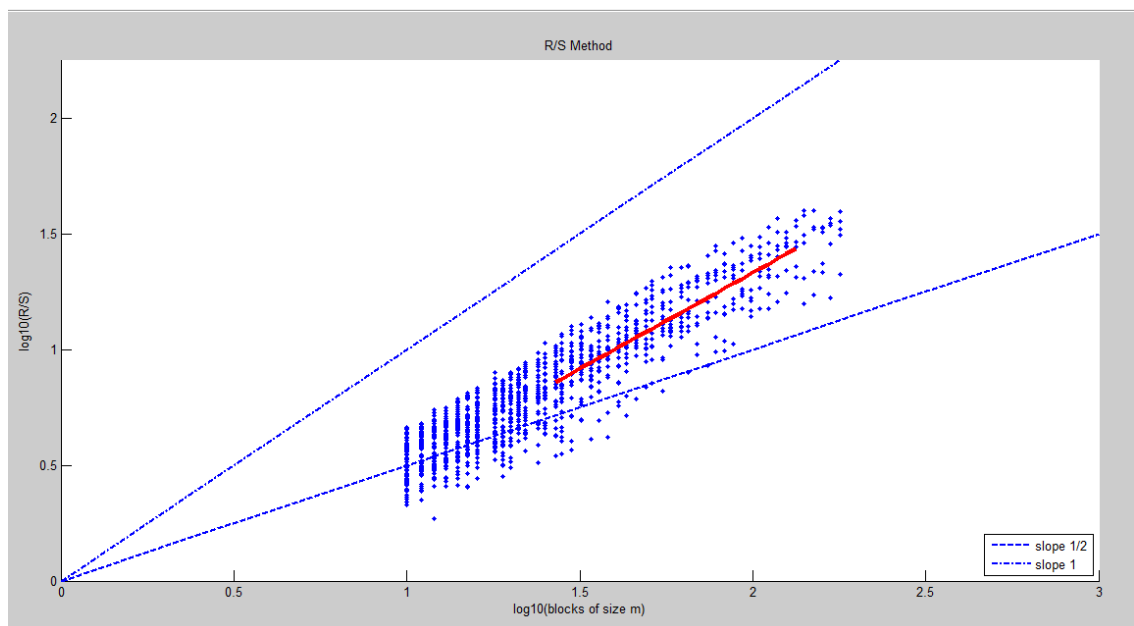
```
>> H = RS(capture1,1)

H =

    0.8293
```

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

**Figura 42. Parámetro de Hurst para Paquetes vs tiempo de la Prueba 1 empleando el método RS.**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

Para la Prueba 1, se obtuvieron las distribuciones de probabilidad para los protocolos de mayor proporción en las capas de Internet, Transporte y Aplicación según el modelo de red TCP/IP.

Al calcular el parámetro de Hurst para la serie Paquetes con respecto al tiempo se demostró que el conjunto de datos presentaba autosimilaridad.

## 4.2 PRUEBA 2

Para el análisis de las muestras de tráfico de la Prueba 2 y visualizada en la Figura 36, con fecha 27-03-2015, se generó una trama de datos con tiempo de captura de 8,61 minutos de duración, en los cuales se logró la captura de 140598 paquetes (117079999Bytes) a través del enlace wifi vía microondas.

Teniendo en cuenta los niveles de arquitectura del modelo de red TCP/IP y la proporción de paquetes implicados en la comunicación, se analizaron los protocolos IPv4 (nivel de red), los protocolos TCP y UDP (nivel de transporte) y el protocolo HTTP (nivel de aplicación).

Se procedió a analizar la longitud de los paquetes y los protocolos de nivel de red, de nivel de transporte y de nivel de aplicación.

**4.2.1 Paquetes a analizar según el nivel del modelo de red TCP/IP.** Del total de 140598 paquetes de la capa de enlace a través de la red, el 99,951% correspondieron a paquetes IPv4 de nivel de red como se observa en la Tabla 22.

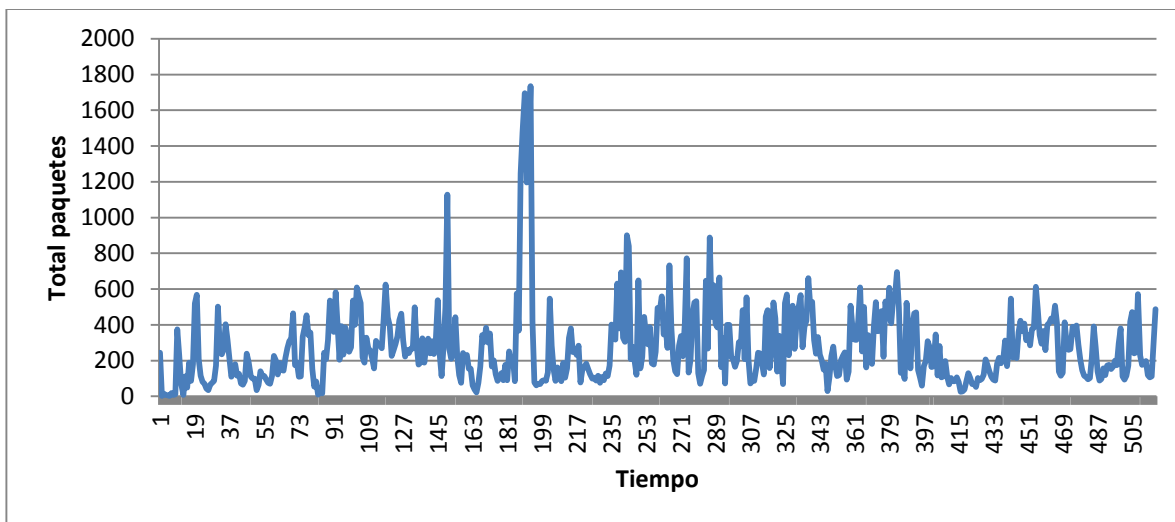
**Tabla 23. Cantidad de paquetes intercambiados por nivel en la Prueba 2.**

<b>NIVEL DE RED</b>	IPv4 140529	
<b>NIVEL DE TRANSPORTE</b>	<b>TCP</b>	120312
	<b>UDP</b>	20217
<b>NIVEL DE APLICACIÓN</b>	<b>HTTP</b>	2684

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

**4.2.2 Cantidad de paquetes con respecto al tiempo de la Prueba 2.** En la Figura 43 se visualiza el histograma Totalidad paquetes vs tiempo, donde el horizontal corresponde al tiempo (en segundos) y el eje vertical al total de paquetes. En la Figura 44 se muestra una captura del tráfico generado.

**Figura 43. Paquetes vs tiempo de la Prueba 2.**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

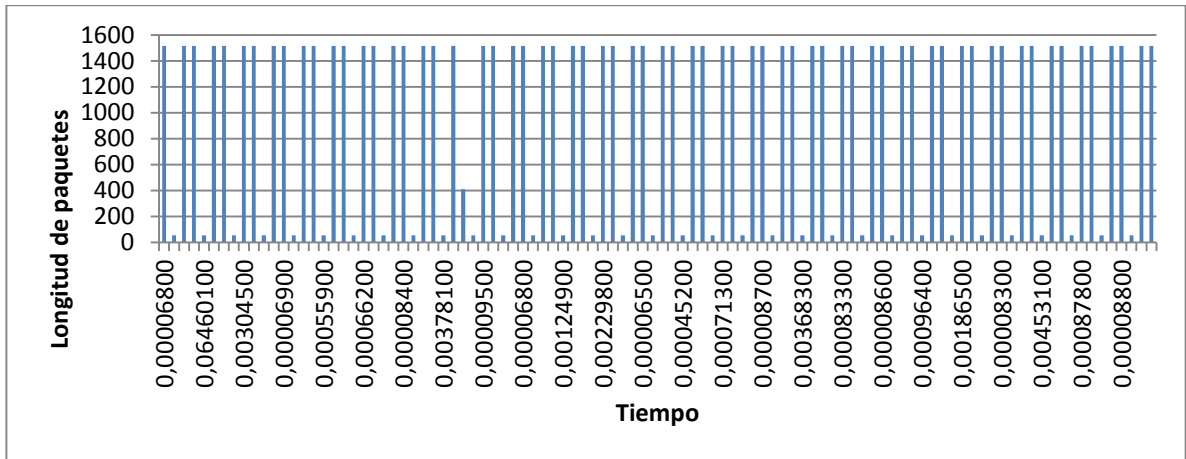
Figura 44. Tráfico generado en la Prueba 2.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1	0.000000000	64.211.144.160	192.168.1.100	TCP	1514	80-50238 [ACK] seq=1 ACK=1 win=1320 len=1460
2	0.000068000	192.168.1.100	64.211.144.160	TCP	54	50238-80 [ACK] seq=1 ACK=1461 win=65335 len=0
3	0.000378000	64.211.144.160	192.168.1.100	TCP	1514	80-50238 [ACK] seq=1461 ACK=1 win=1320 len=1460
4	0.001248000	64.211.144.160	192.168.1.100	TCP	1514	80-50238 [ACK] seq=2921 ACK=1 win=1320 len=1460
5	0.001323000	192.168.1.100	64.211.144.160	TCP	54	50238-80 [ACK] seq=1 ACK=381 win=65335 len=0
6	0.005924000	64.211.144.160	192.168.1.100	TCP	1514	80-50238 [ACK] seq=4381 ACK=1 win=1320 len=1460
7	0.0066524000	64.211.144.160	192.168.1.100	TCP	1514	80-50238 [ACK] seq=5841 ACK=1 win=1320 len=1460
8	0.006625000	192.168.1.100	64.211.144.160	TCP	54	50238-80 [ACK] seq=1 ACK=7301 win=65335 len=0
9	0.062721000	64.211.144.160	192.168.1.100	TCP	1514	80-50238 [ACK] seq=7301 ACK=1 win=1320 len=1460
10	0.070316000	64.211.144.160	192.168.1.100	TCP	1514	80-50238 [ACK] seq=8761 ACK=1 win=1320 len=1460
11	0.070377000	192.168.1.100	64.211.144.160	TCP	54	50238-80 [ACK] seq=1 ACK=10221 win=65335 len=0
12	0.071801000	64.211.144.160	192.168.1.100	TCP	1514	80-50238 [ACK] seq=10221 ACK=1 win=1320 len=1460
13	0.072399000	64.211.144.160	192.168.1.100	TCP	1514	80-50238 [ACK] seq=11681 ACK=1 win=1320 len=1460
14	0.072468000	192.168.1.100	64.211.144.160	TCP	54	50238-80 [ACK] seq=1 ACK=13141 win=65335 len=0
15	0.075710000	64.211.144.160	192.168.1.100	TCP	1514	80-50238 [ACK] seq=13141 ACK=1 win=1320 len=1460
16	0.078465000	64.211.144.160	192.168.1.100	TCP	1514	80-50238 [ACK] seq=14601 ACK=1 win=1320 len=1460
17	0.078530000	192.168.1.100	64.211.144.160	TCP	54	50238-80 [ACK] seq=1 ACK=16061 win=65335 len=0
18	0.079089000	64.211.144.160	192.168.1.100	TCP	1514	80-50238 [ACK] seq=16061 ACK=1 win=1320 len=1460
19	0.080782000	64.211.144.160	192.168.1.100	TCP	1514	80-50238 [ACK] seq=17521 ACK=1 win=1320 len=1460
20	0.080839000	192.168.1.100	64.211.144.160	TCP	54	50238-80 [ACK] seq=1 ACK=18981 win=65335 len=0
21	0.087129000	64.211.144.160	192.168.1.100	TCP	1514	80-50238 [ACK] seq=18981 ACK=1 win=1320 len=1460
22	0.087791000	64.211.144.160	192.168.1.100	TCP	1514	80-50238 [ACK] seq=20441 ACK=1 win=1320 len=1460
23	0.087861000	192.168.1.100	64.211.144.160	TCP	54	50238-80 [ACK] seq=1 ACK=21901 win=65335 len=0
24	0.088565000	64.211.144.160	192.168.1.100	TCP	1514	80-50238 [ACK] seq=21901 ACK=1 win=1320 len=1460
25	0.089264000	64.211.144.160	192.168.1.100	TCP	1514	80-50238 [ACK] seq=23361 ACK=1 win=1320 len=1460

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

**4.2.3 Longitud de paquetes con respecto al tiempo de la Prueba 2.** En la Figura 45 se muestra la longitud de paquetes con respecto al tiempo. Se graficó un intervalo aleatorio de 100 datos del total de 140598 paquetes para visualizar el histograma, siendo el eje de las ordenadas la longitud de los paquetes y el eje de las abscisas el eje del tiempo (duración de la captura de cada paquete).

**Figura 45. Longitud de paquetes vs tiempo de la Prueba 2.**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

En la Tabla 24 se muestra la Media y la Varianza para los datos de la Prueba 2. Estos parámetros se calcularon a través de la Ecuación 16, siendo la Varianza el promedio de las desviaciones cuadradas de la Media y la Media la suma promedio de todas las observaciones.

**Tabla 24. Media y Varianza para Longitud de paquetes vs tiempo de la Prueba 2.**

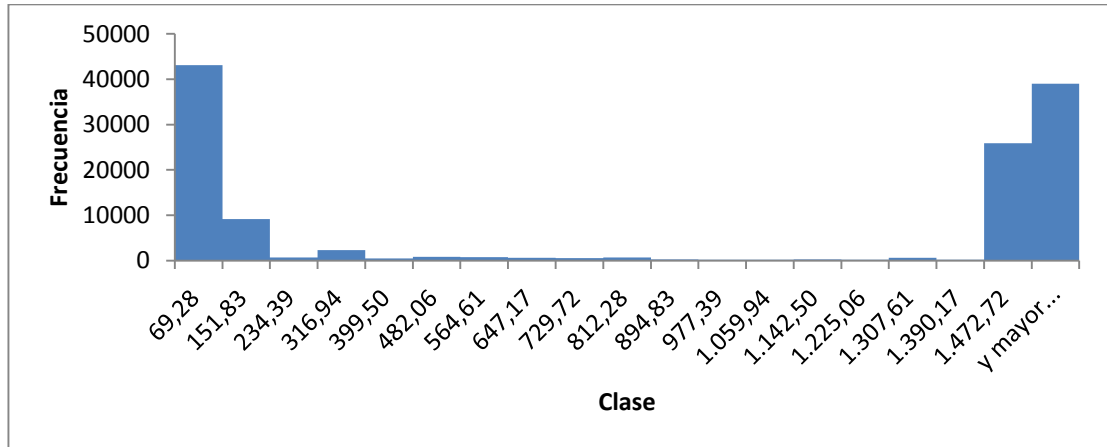
MEDIA	VARIANZA
830,215735758615	478468,953719607

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

**4.2.4 Distribución de probabilidad para Longitud de paquetes con respecto al tiempo de la Prueba 2.** Mediante el software *Excel* se observó que los datos para

la Prueba 2 de Longitud de paquetes con respecto al tiempo se ajustaban a una distribución Weibull como se muestra en la Figura 46.

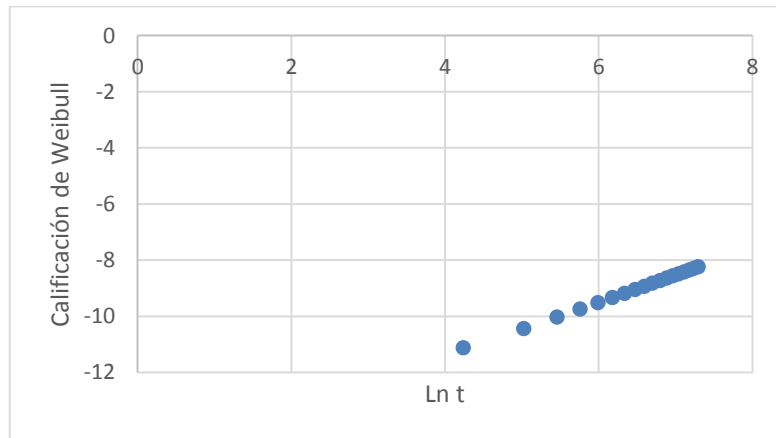
**Figura 46. Distribución de probabilidad para Longitud de paquetes vs tiempo de la Prueba 2.**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

A este tipo de distribución, aplicando la transformada logarítmica, se puede considerar como una distribución Weibull [7] (Figura 47).

**Figura 47. Gráfica de Weibull de tiempos de falla de la Prueba 2.**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

Al observar la Figura 47, se asume como verdadera la hipótesis de que el histograma corresponde a una distribución Weibull.

Con el software *EasyFit* se determinó los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$ , mostrados en la Tabla 25.

**Tabla 25. Parámetros del Histograma Longitud de paquetes de la Prueba 2.**

DISTRIBUCIÓN	PARÁMETROS
Weibull	$\alpha = 0,66461$ $\beta = 829,18$

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

Por medio del software *EasyFit* se obtuvo la bondad de ajuste usando el test de Kolmogórov-Smirnov para la Prueba 2. Este test es una prueba para diferencias entre distribuciones acumulativas, usada para verificar si una distribución se ajusta a una distribución esperada.

Los resultados del test aplicado a la muestra de datos de la Prueba 1 se muestran en la Tabla 26.

**Tabla 26. Resultados de ajuste de la Prueba 2.**

DISTRIBUCIÓN	PRUEBA Kolmogórov-Smirnov	
	Estadística	Rango
Weibull	6	0,26711

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

Al comparar los resultados obtenidos en la Tabla 26 con los de la Tabla 7, se observa que la distribución sí se ajusta a una distribución Weibull. Lo anterior se muestra en la Tabla 27.

**Tabla 27. Comparación de resultados del ajuste de la Prueba 1.**

RANGO	ESTADÍSTICA	
6	Teórico	0,41
	Empírico	0,26711

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

**4.2.5 Intercambio de paquetes de nivel de Transporte de la Prueba 2.** Se decidió analizar los protocolos de nivel de transporte por ser los implicados en la transferencia de datos entre el emisor y el receptor. Los protocolos TCP y UDP fueron los de mayor porcentaje en el intercambio de información como lo muestra la Tabla 28.

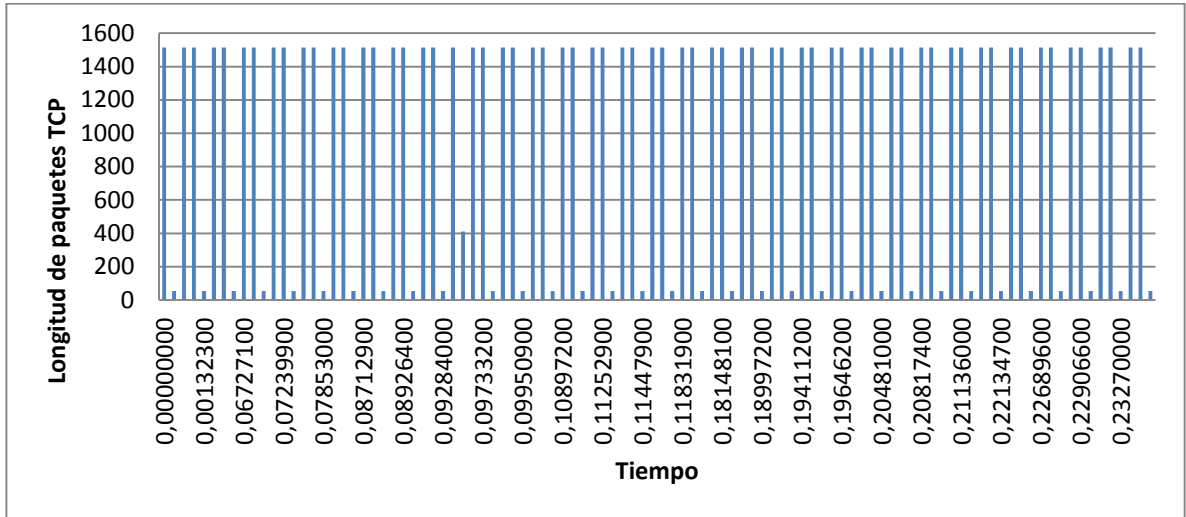
**Tabla 28. Relación de paquetes TCP y UDP de la Prueba 2.**

	TCP	UDP
CANTIDAD	120312	20219
PORCENTAJE	85,572%	14,381%

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

**4.2.5.1 Análisis de paquetes TCP de la Prueba 2.** Para la Figura 48, de los 140598 paquetes, se tomaron 100 datos de un intervalo al azar para graficar el histograma. En él, el eje horizontal corresponde al tiempo entre paquetes TCP (duración de la captura de cada paquete TCP) y el eje vertical corresponde a la longitud de los paquetes TCP. En la Tabla 29 se muestran la media y la varianza para la longitud de los paquetes TCP de la Prueba 2, obtenidas por medio de las Ecuaciones 3 y 4.

**Figura 48. Longitud de paquetes TCP vs tiempo de la Prueba 2.**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

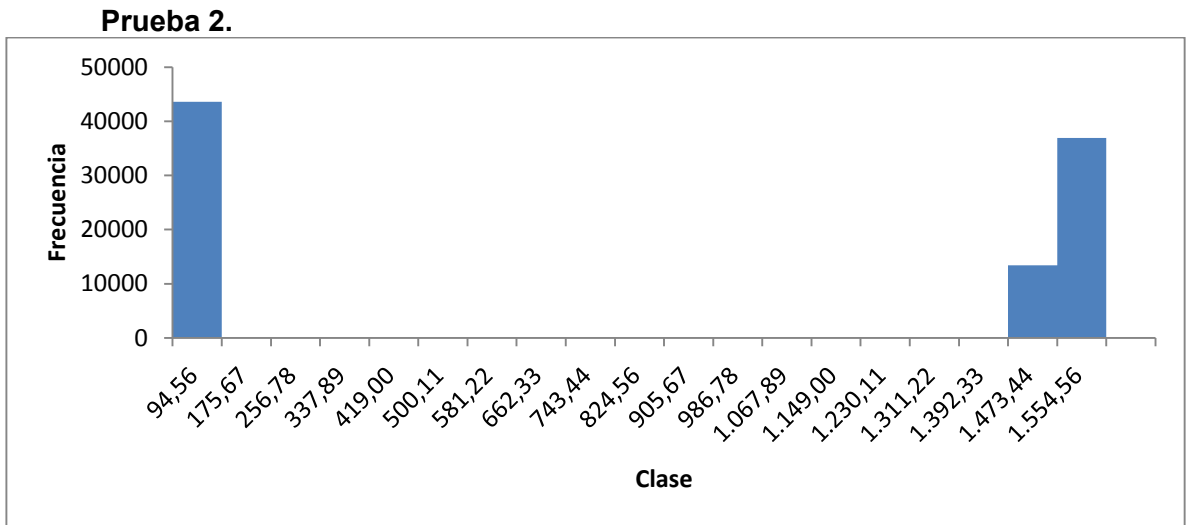
**Tabla 29. Media y varianza para Longitud de paquetes TCP vs tiempo de la Prueba 2.**

MEDIA	VARIANZA
828,35135535163	515674,457256065

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

**4.2.5.1.1 Distribución de Probabilidad del protocolo TCP de la Prueba 2.** La distribución de Weibull fue el tipo de distribución discreta que más se ajustó a los datos de Longitud de paquetes TCP con respecto al tiempo (Figura 49).

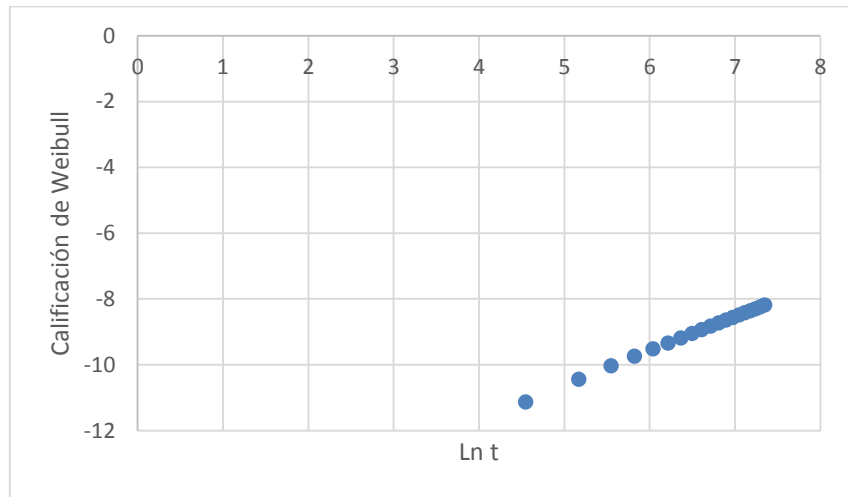
**Figura 49. Distribución de probabilidad para Longitud de paquetes TCP de la**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

Aplicando el procedimiento de distribuciones de tiempos de falla del numeral 4.1.4., se observa que los paquetes TCP se aproximan a una distribución tipo Weibull. Lo anterior se muestra en la Figura 50.

**Figura 50. Gráfica de Weibull de tiempos de falla para Longitud de paquetes TCP de la Prueba 2.**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

En la Tabla 30 se muestran los parámetros del Histograma Longitud de paquetes

TCP de la Prueba 2. En la Tabla 31 se muestran los resultados de la Prueba de bondad de ajuste K-S.

**Tabla 30. Parámetros del Histograma Longitud de paquetes TCP de la Prueba 1.**

Distribución	Parámetros
Weibull	$\alpha = 0,61579$ $\beta = 763,36$

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

**Tabla 31. Prueba de bondad de ajuste Kolmogórov-Smirnov para el protocolo TCP de Prueba 1.**

DISTRIBUCIÓN	PRUEBA Kolmogórov-Smirnov	
	Estadística	Rango
Weibull	0,27533	4

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

Al comparar los resultados teóricos con los prácticos, se puede asumir como verdadera la hipótesis de que la distribución de paquetes TCP es de tipo Weibull ya que el valor empírico es menor que el teórico como se observa en la Tabla 32.

**Tabla 32. Comparación de resultados del ajuste de los paquetes TCP de la Prueba 2.**

RANGO	ESTADÍSTICA	
4	Teórico	0,49
	Empírico	0,27533

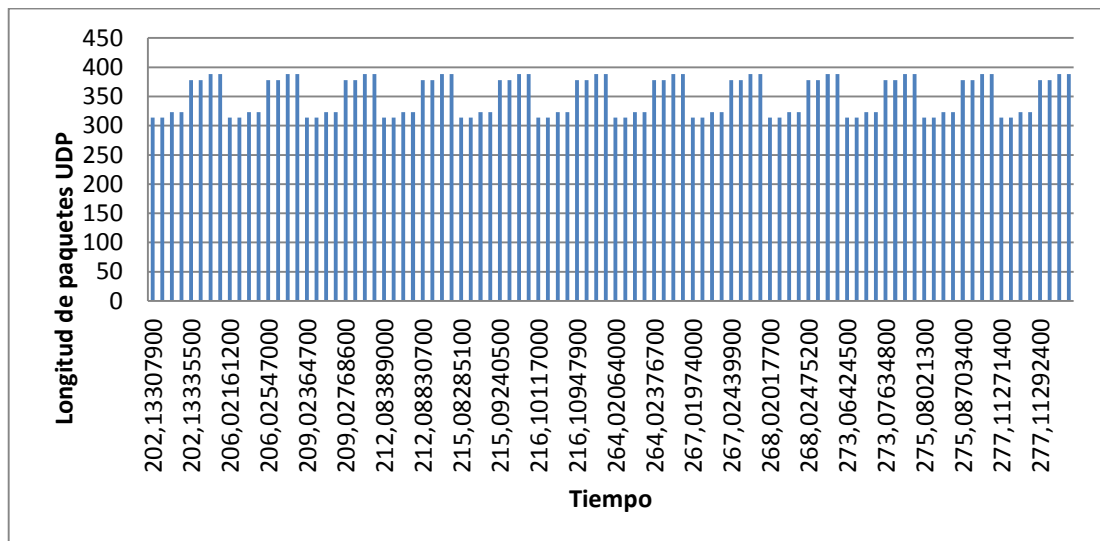
Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

**4.2.5.2 Análisis de paquetes UDP de la Prueba 2.** En la Figura 51 se grafica el

histograma de Longitud de paquetes UDP con respecto al tiempo (tiempo entre llegada de paquetes UDP), tomando 100 datos de un intervalo al azar entre los 20217 paquetes que lo componen.

En la Tabla 33 se muestran la Varianza y la Media de la serie de datos Longitud de paquetes UDP obtenidas mediante las Ecuaciones 3 y 4.

**Figura 51. Longitud de paquetes UDP vs tiempo de la Prueba 2.**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

**Tabla 33. Media y varianza para Longitud de paquetes UDP vs tiempo de la Prueba 2.**

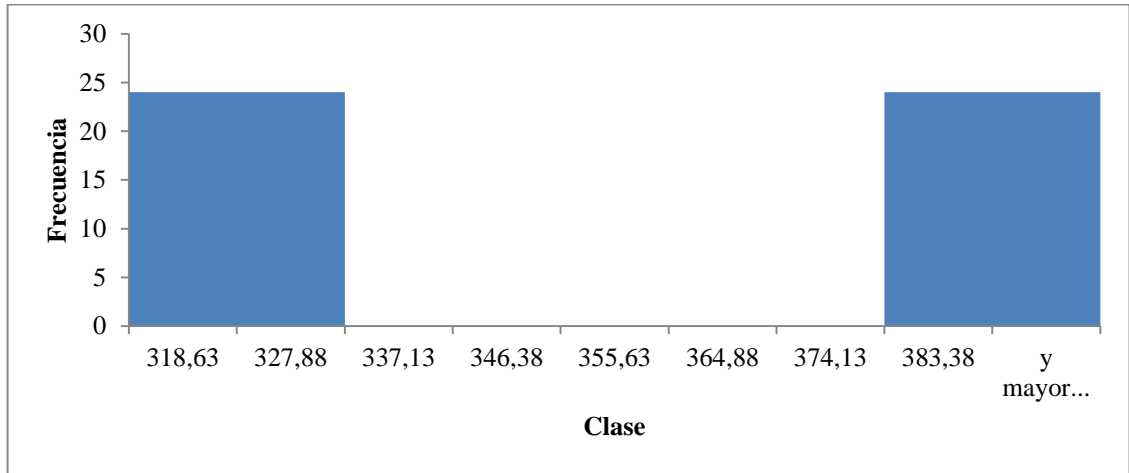
MEDIA	VARIANZA
350,75	1073,87368421053

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

**4.2.5.2.1 Distribución de Probabilidad del protocolo UDP de la Prueba 2.** Al analizar el histograma de Longitud de paquetes UDP con respecto al tiempo, se determinó que la serie de datos se ajustaba a una distribución de probabilidad de Weibull (Figura 52).

**Figura 52. Distribución de probabilidad para Longitud de paquetes UDP de la**

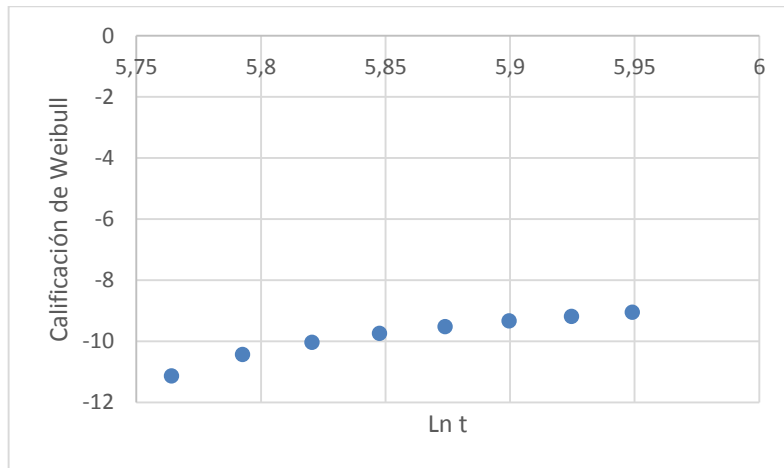
## Prueba 2.



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

En la Figura 53 se muestra que los paquetes UDP se aproximan a una distribución Weibull.

**Figura 53. Gráfica de Weibull de tiempos de falla para Longitud de paquetes UDP de la Prueba 2.**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

Las Tablas 34 y 35 muestran los resultados de los parámetros y la prueba de bondad de Kolgomórov-Smirnov, respectivamente.

**Tabla 34. Parámetros del Histograma Longitud de paquetes UDP de la Prueba 2.**

Distribución	Parámetros
Weibull	$\alpha = 10,811$ $\beta = 367,37$

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

**Tabla 35. Resultados de ajuste para el protocolo UDP de la Prueba 2.**

DISTRIBUCIÓN	PRUEBA Kolmogórov-Smirnov	
	Estadística	Rango
Weibull	0,27982	8

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

Comparando los resultados teóricos con los empíricos, se puede asumir verdadera la hipótesis de que la distribución de paquetes UDP es de tipo Weibull ya que el valor obtenido en la Prueba es menor que el teórico como se observa en la Tabla 36.

**Tabla 36. Comparación de resultados del ajuste de los paquetes UDP de la Prueba 2.**

RANGO	ESTADÍSTICA	
8	Teórico	0,36
	Empírico	0,27982

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

**4.2.6 Intercambio de paquetes de nivel de Aplicación de la Prueba 2.** En la capa de Aplicación se analizó el protocolo HTTP ya que este es el protocolo base del *world wide web* (www) y fue el que presentó un mayor porcentaje de intercambio de paquetes en comparación con los otros protocolos de dicho nivel, como por ejemplo el protocolo DNS (*Domain Name System*) el cual es un base de datos que almacena

y asigna la información necesaria para los nombres de dominio de las direcciones IP. La Tabla 37 muestra la relación de paquetes HTTP y paquetes DNS con respecto al total de paquetes de la trama de datos.

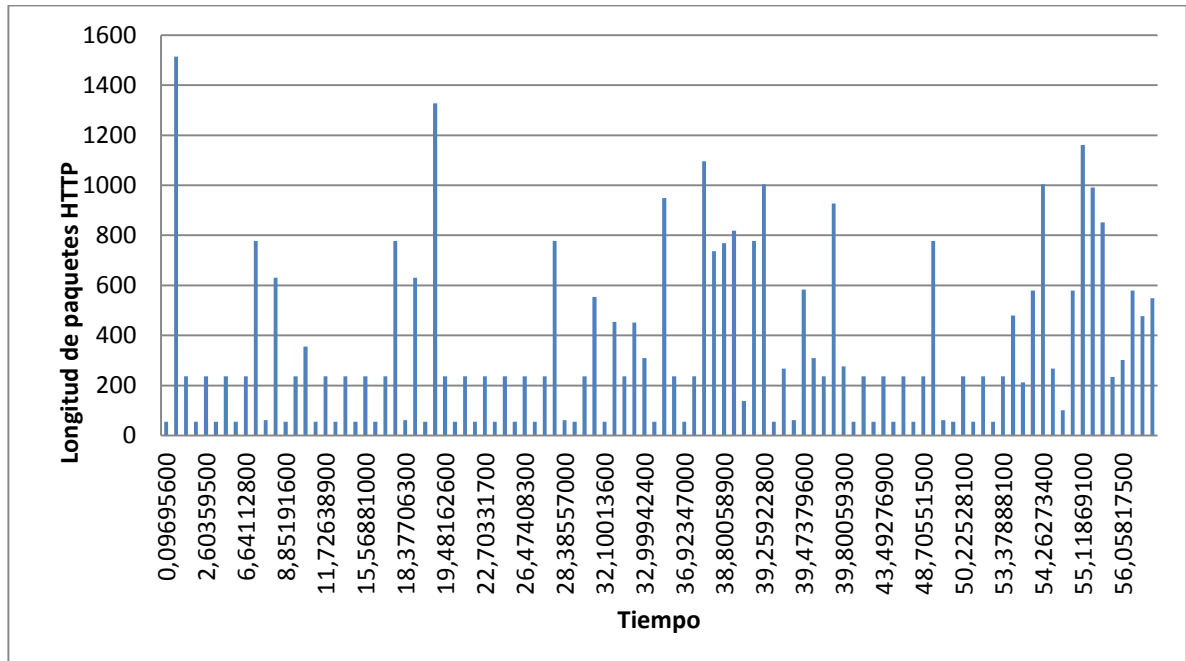
**Tabla 37. Relación de paquetes HTTP de la Prueba 2.**

	HTTP	DNS
CANTIDAD	2684	1552
PORCENTAJE	1,909%	1,104%

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

La Figura 54 muestra el histograma de la Longitud de paquetes HTTP con respecto al tiempo (tiempo de duración de cada paquete HTTP) y la Tabla 38 muestra sus parámetros de Media y Varianza calculados por medio de las Ecuaciones 2 y 3.

**Figura 54. Longitud de paquetes HTTP vs tiempo de la Prueba 2.**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

**Tabla 38. Media y varianza para Longitud de paquetes HTTP vs tiempo de la Prueba 2.**

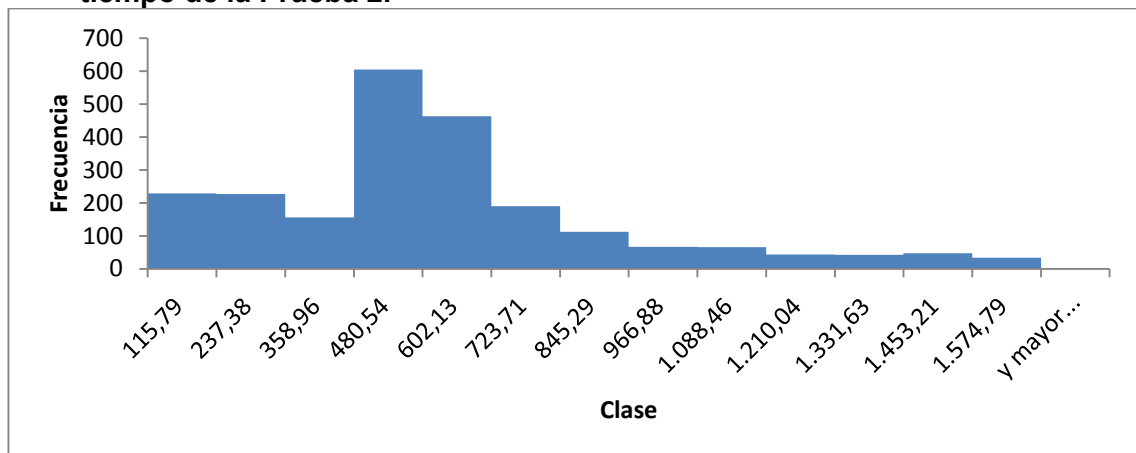
MEDIA	VARIANZA
514,709338009645	102142,605935005

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

La Figura 55 permite visualizar la distribución de probabilidad que más se ajustó a la serie de datos de paquetes HTTP de la Prueba 2. Para este caso, el conjunto de datos se ajustó a una distribución Log-normal.

En las Tablas 39 y 40 se muestran los parámetros del histograma para el protocolo HTTP y los resultados de ajuste del test de Kolgomórov-Smirnov, verificándose que la serie de datos para este protocolo se ajustaban a una distribución logarítmica normal.

**Figura 55. Distribución de probabilidad para Longitud de paquetes HTTP vs tiempo de la Prueba 2.**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

**Tabla 39. Resultados de ajuste para el protocolo HTTP de la Prueba 2.**

Distribución	Parámetros
Lognormal	$\sigma = 0,79197$ $\mu = 6,0035$

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

**Tabla 40. Prueba de bondad de ajuste Kolmogórov-Smirnov para el protocolo HTTP de la Prueba 2.**

DISTRIBUCIÓN	PRUEBA Kolmogórov-Smirnov	
	Estadística	Rango
Lognormal	0,20173	37

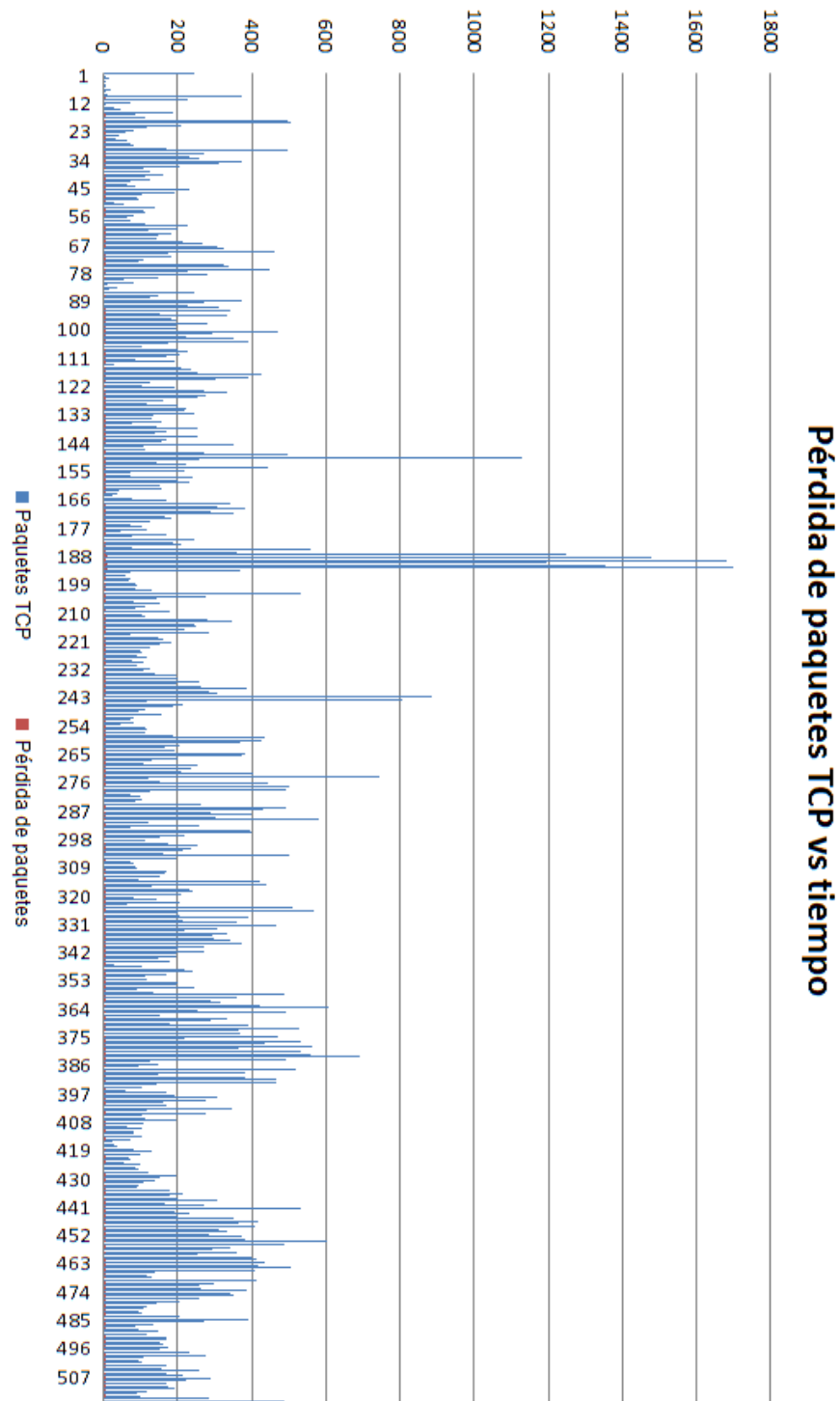
Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

**4.2.7 Pérdida de paquetes [17].** Aplicando un filtro para pérdida de paquetes o segmentos se pudo visualizar los errores presentados en la captura de datos. Lo anterior se graficó teniendo en cuenta que el software *Wireshark* considera pérdida de paquetes cuando se reciben tres o más ACK duplicados, siendo esta una notificación indicando que o hubo un error en la recepción de paquetes o que se presentó pérdidas de algunos datos.

La Figura 56 muestra las pérdidas de paquetes TCP con respecto al tiempo de la Prueba 2, en la cual los puntos rojos son los paquetes considerados como pérdidas o errores de transmisión.

De los paquetes TCP, 818 de ellos se consideraron como perdidos, representando un 0,582%, con lo cual se puede asegurar que la información perdida es despreciable en comparación con la totalidad de los paquetes.

Figura 56. Pérdida de paquetes TCP vs tiempo de la Prueba 2.



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

**4.2.8 Ancho de banda.** El ancho de banda es una medida que permite calcular los datos y recursos disponibles en redes de cómputo.

Para la trama de datos capturada en la Prueba 2, el ancho de banda, expresado como el cociente entre los Bytes y el tiempo en que tardan los datos en transferirse completamente, fue de 226,50336 [kB/s].

**4.2.9 Estimación del parámetro de Hurst [16].** Para el cálculo de este parámetro de Hurst se utilizó la herramienta R/S (*sequence,isplot*) del software MATLAB con la cual se logró calcular el parámetro.

**Código en MATLAB para determinar el parámetro de Hurst empleando el método RS.**

```
function H = RS(sequence,isplot)
%
% 'RS' estimate the hurst parameter of a given sequence with R/S method.
%
% Inputs:
%   sequence: the input sequence for estimate
%   isplot: whether display the plot. without a plot if isplot equal to 0
% Outputs:
%   H: the estimated hurst coefficient of the input sequence

% Author: Chu Chen
% Version 1.0, 03/10/2008
% chen-chu@163.com
%

if nargin == 1
    isplot = 0;
end

N = length(sequence);
dlarge = floor(N/5);
dsmall = max(10,log10(N)^2);
D = floor(logspace(log10(dsmall),log10(dlarge),50));
D = unique(D);
n = length(D);
x = zeros(1,n);
y = zeros(1,n);
R = cell(1,n);
S = cell(1,n);
for i = 1:n
    d = D(i);
    m = floor(N/d);
    R{i} = zeros(1,m);
    S{i} = zeros(1,m);
    matrix_sequence = reshape(sequence(1:d*m),d,m);
```

```

Z1 = cumsum(matrix_sequence);
Z2 = cumsum(repmat(mean(matrix_sequence),d,1));
R{i} = (max(Z1-Z2)-min(Z1-Z2));
S{i} = std(matrix_sequence);

if min(R{i})==0 || min(S{i}) ==0
    continue;
end

x(i) = log10(d);
y(i) = mean(log10(R{i}./S{i}));
end

% fit a line with middle part of sequence
index = x~=0;
x = x(index);
y = y(index);
n2 = length(x);
cut_min = ceil(3*n2/10);
cut_max = floor(9*n2/10);

X = x(cut_min:cut_max);
Y = y(cut_min:cut_max);
p1 = polyfit(X,Y,1);
Yfit = polyval(p1,X);
H = (Yfit(end)-Yfit(1))/(X(end)-X(1));

if isplot ~= 0
    figure,hold on;
    bound = ceil(log10(N));
    axis([0 bound 0 0.75*bound]);

    temp = (1:n).*index;
    index = temp(index);
    for i = 1:n2
        plot(x(i),log10(R{index(i)}./S{index(i)}),'b. ');
    end

    x = linspace(0,bound,10);
    y1 = 0.5*x;
    y2 = x;
    h1 = plot(x,y1,'b--','LineWidth',2);
    h2 = plot(x,y2,'b-','LineWidth',2);
    plot(X,Yfit,'r-','LineWidth',3);
    legend([h1,h2], 'slope 1/2','slope 1',4)
    xlabel('log10(blocks of size m)'),ylabel('log10(R/S)'),title('R/S Method');
end

```

Fuente: Disponible <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/19148-hurst-parameter-estimate/content//hurst%20estimator/RS.m>

El parámetro de Hurst para la serie de datos Paquetes vs tiempo de la Prueba 2 fue 0,7702 el cual se puede ver en la Figura 57. Mediante este valor se concluye que hay autosimilaridad ya que al ser mayor que 0,5 la serie de datos presenta autocorrelación. En la Figura 58 se observa que los datos de dicha serie se encuentran dentro del rango de confianza.

**Figura 57. Cálculo del parámetro de Hurst para Paquetes vs tiempo de la Prueba 2.**

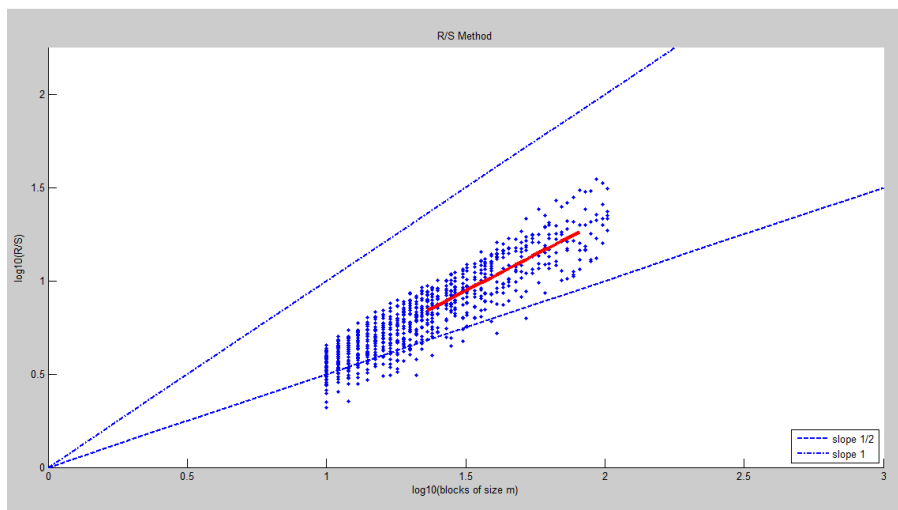
```
Command Window
>> H = RS(capture2,1)

H =

    0.7702
```

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

**Figura 58. Parámetro de Hurst para Paquetes vs tiempo de la Prueba 2 empleando el método RS.**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

Los resultado de las distribuciones de probabilidad obtenidas en la Prueba 2 para los protocolos de mayor proporción en las capas de Transporte y Aplicación del modelo TCP/IP permiten concluir que los datos se ajustan a distribuciones tipo

Weibull y lognormal, respectivamente. Lo anterior se comprobó mediante los resultados obtenidos a través de los ajustes y de las pruebas de bondad de ajuste.

El cálculo del parámetro de Hurst para la serie Paquetes con respecto al tiempo demostró que la serie de datos de la Prueba 2 presentan autosimilaridad.

### 4.3 PRUEBA 3

Para la muestra de tráfico de la Prueba 3 y visualizada en la Figura 59, con fecha 27-03-2015, se generó una trama de datos con tiempo de captura de 8,38 minutos de duración, lográndose la captura de 84471 correspondientes a 67669223 Bytes.

Se procedió a analizar la longitud de los paquetes y los protocolos de nivel de red, de nivel de transporte y de nivel de aplicación, basándose en los niveles de arquitectura del modelo de red TCP/IP y la proporción de los paquetes implicados en la comunicación.

**4.3.1 Paquetes a analizar según el nivel del modelo de red TCP/IP.** Del total de 84471 paquetes de nivel de enlace a través de la red, el 99,954% correspondieron a paquetes IPv4 de nivel de red como se muestra en la Tabla 41.

**Tabla 41. Cantidad de paquetes intercambiados por nivel en la Prueba 3.**

NIVEL DE RED	IPv4	
		84432
NIVEL DE TRANSPORTE	TCP	79061
	UDP	5371
NIVEL DE APLICACIÓN	HTTP	2820

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

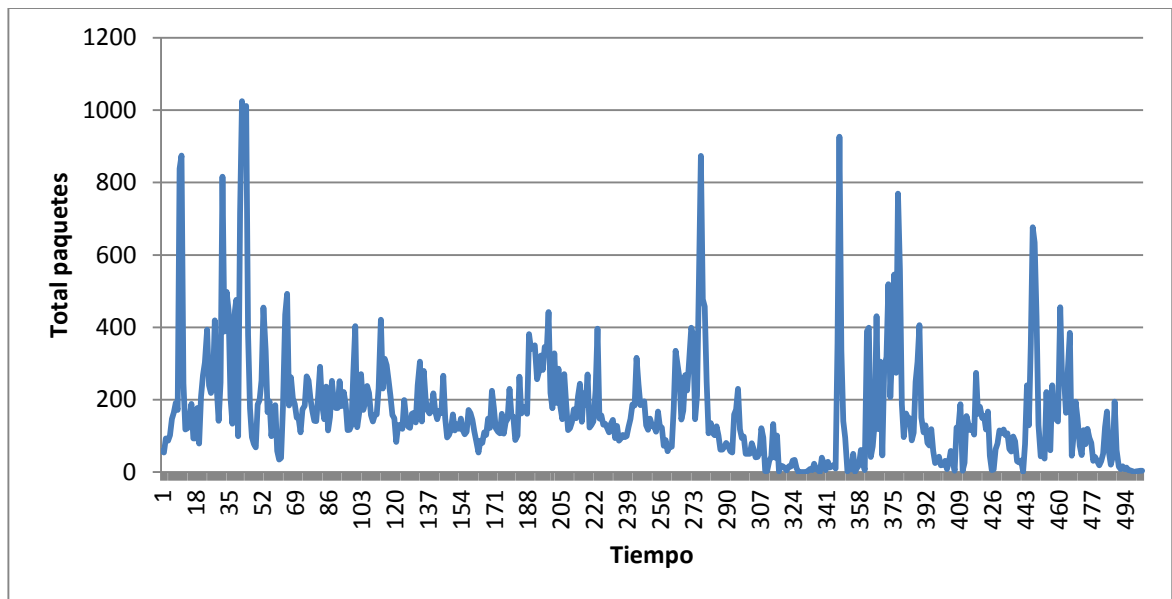
Figura 59. Tráfico generado en la Prueba 3.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1	0.000000000	206.54.161.156	192.168.1.100	TCP	1514	80->51311 [ACK] seq=1 ack=1 win=65 len=1460
2	0.013529000	206.54.161.156	192.168.1.100	TCP	1514	80->51311 [ACK] seq=1461 ack=1 win=65 len=1460
3	0.013636000	192.168.1.100	206.54.161.156	TCP	54	51311->80 [ACK] seq=1 ack=2921 win=65335 len=0
4	0.013816000	206.54.161.156	192.168.1.100	TCP	1514	80->51311 [ACK] seq=2921 ack=1 win=65 len=1460
5	0.013889000	206.54.161.156	192.168.1.100	TCP	1514	80->51311 [ACK] seq=4381 ack=1 win=65 len=1460
6	0.013927000	192.168.1.100	206.54.161.156	TCP	54	51311->80 [ACK] seq=1 ack=5841 win=65335 len=0
7	0.112141000	23.13.200.223	192.168.1.100	TLSv1.2	107	Encrypted Alert
8	0.112248000	23.13.200.223	192.168.1.100	TCP	54	443->51482 [FIN, ACK] seq=54 ack=1 win=591 len=0
9	0.112299000	192.168.1.100	23.13.200.223	TCP	54	51482->443 [ACK] seq=5841 ack=1 win=103 len=0
10	0.164696000	206.54.161.156	192.168.1.100	TCP	1514	80->51311 [ACK] seq=5841 ack=1 win=65 len=1460
11	0.165184000	206.54.161.156	192.168.1.100	TCP	1514	[TCP Previous segment not captured] 80->51311 [ACK] seq=8761 ack=1 win=65 len=1460
12	0.165247000	192.168.1.100	206.54.161.156	TCP	66	51311->80 [ACK] seq=1 ack=7301 win=65335 len=0 SLE=8761 SRE=10221
13	0.201833000	206.54.161.156	192.168.1.100	TCP	1514	[TCP Previous segment not captured] 80->51311 [ACK] seq=3141 ack=1 win=65 len=1460
14	0.201926000	192.168.1.100	206.54.161.156	TCP	74	[TCP DUP ACK 1#1] 51311->80 [ACK] seq=1 ack=7301 win=65335 len=0 SLE=13141 SRE=1460
15	0.202123000	206.54.161.156	192.168.1.100	TCP	1514	80->51311 [ACK] seq=14601 ack=1 win=65 len=1460
16	0.202162000	192.168.1.100	206.54.161.156	TCP	74	[TCP DUP ACK 1#2] 51311->80 [ACK] seq=1 ack=7301 win=65335 len=0 SLE=13141 SRE=1600
17	0.202717000	206.54.161.156	192.168.1.100	TCP	1514	80->51311 [ACK] seq=16061 ack=1 win=65 len=1460
18	0.202775000	192.168.1.100	206.54.161.156	TCP	74	[TCP DUP ACK 1#3] 51311->80 [ACK] seq=1 ack=7301 win=65335 len=0 SLE=13141 SRE=1750
19	0.205917000	206.54.161.156	192.168.1.100	TCP	1514	80->51311 [ACK] seq=17521 ack=1 win=65 len=1460
20	0.206001000	192.168.1.100	206.54.161.156	TCP	74	[TCP DUP ACK 1#4] 51311->80 [ACK] seq=1 ack=7301 win=65335 len=0 SLE=13141 SRE=1890
21	0.349037000	206.54.161.156	192.168.1.100	TCP	1514	80->51311 [ACK] seq=18981 ack=1 win=65 len=1460
22	0.349136000	192.168.1.100	206.54.161.156	TCP	74	[TCP DUP ACK 1#5] 51311->80 [ACK] seq=1 ack=7301 win=65335 len=0 SLE=13141 SRE=2040
23	0.349343000	206.54.161.156	192.168.1.100	TCP	1514	80->51311 [PSH, ACK] seq=20441 ack=1 win=65 len=1460
24	0.349379000	192.168.1.100	206.54.161.156	TCP	74	[TCP DUP ACK 1#6] 51311->80 [ACK] seq=1 ack=7301 win=65335 len=0 SLE=13141 SRE=2190
25	0.366261000	107.23.27.182	192.168.1.100	TCP	54	80->51912 [FIN, ACK] seq=1 ack=1 win=76 len=0

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

**4.3.2 Cantidad de paquetes con respecto al tiempo de la Prueba 3.** En la Figura 60 se muestra el histograma correspondiente a la totalidad de paquetes vs tiempo, donde el eje horizontal corresponde al tiempo (en segundos) y el eje vertical al total de paquetes.

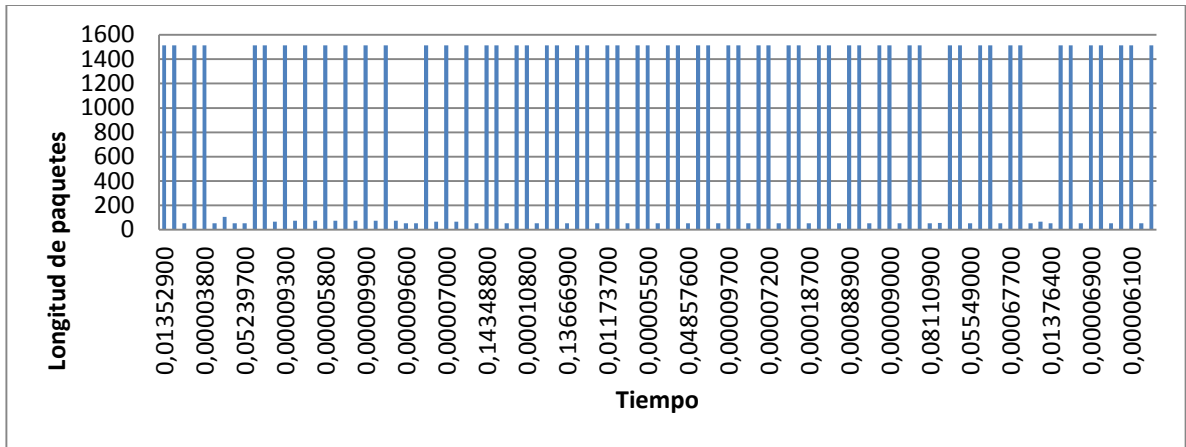
**Figura 60. Paquetes vs tiempo de la Prueba 3.**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

**4.3.3 Longitud de paquetes con respecto al tiempo de la Prueba 3.** En la Figura 61 se muestra la longitud de paquetes con respecto al tiempo. De los 84471 paquetes, se graficaron 100 datos de un intervalo aleatorio para poder apreciar el histograma, donde el eje vertical corresponde a la longitud de los paquetes y el eje horizontal al tiempo (duración de la captura de cada paquete).

**Figura 61. Longitud de paquetes vs tiempo de la Prueba 3.**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

En la Tabla 42 se muestran la Media y la Varianza para los datos de la Prueba 3. Estos parámetros se obtuvieron a partir de las Ecuaciones 3 y 4, donde la Media es igual a la suma promedio de todas las observaciones y la Varianza es el promedio de las desviaciones cuadradas de la Media.

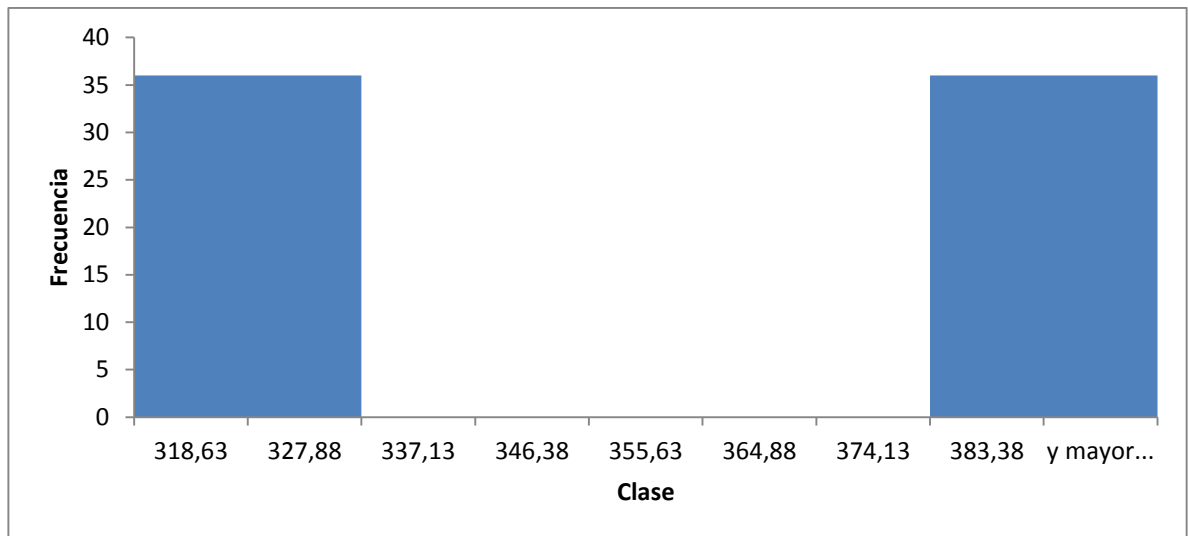
**Tabla 42. Media y varianza para Longitud de paquetes vs tiempo de la Prueba 3.**

MEDIA	VARIANZA
801,058292194954	479790,126141196

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

**4.3.4 Distribución de probabilidad para Longitud de paquetes con respecto al tiempo de la Prueba 3.** En la Figura 62, usando el software *Excel*, se observó que para la Prueba 3 los datos se ajustaban a una distribución de probabilidad de Weibull.

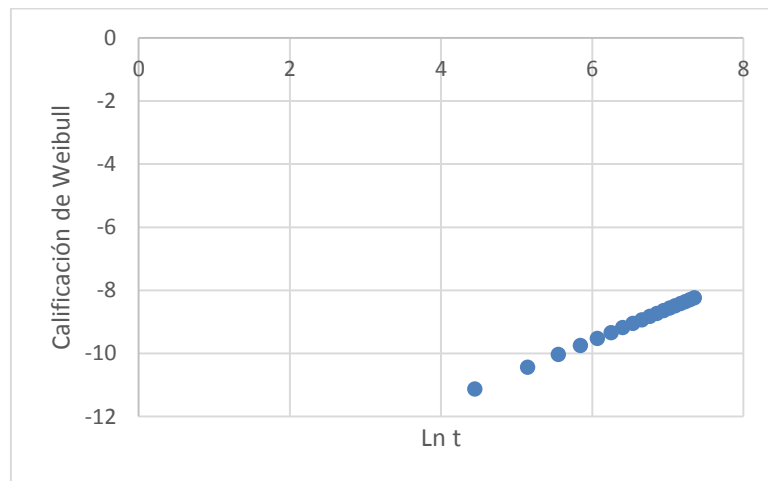
**Figura 62. Distribución de probabilidad para Longitud de paquetes vs tiempo de la Prueba 3.**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

A este tipo de distribución, aplicando la transformada logarítmica vista en el numeral 4.1.4, se le puede considerar como una distribución Weibull (Figura 63).

**Figura 63. Gráfica de Weibull de tiempos de falla de la Prueba 3.**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

Al observar la Figura 63, se asume como verdadera la hipótesis de que el histograma corresponde a una distribución Weibull.

Con el software *EasyFit* se determinó los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$ , mostrados en la Tabla 43.

**Tabla 43. Parámetros del Histograma Longitud de paquetes de la Prueba 3.**

DISTRIBUCIÓN	PARÁMETROS
Weibull	$\alpha = 0,66932$ $\beta = 784,99$

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

Por medio del software *EasyFit* se obtuvo la bondad de ajuste usando el test de Kolmogórov-Smirnov para la Prueba 3. Este test es una prueba para diferencias entre distribuciones acumulativas, usada para verificar si una distribución se ajusta a una distribución esperada.

Los resultados del test aplicado a la muestra de datos de la Prueba 1 se muestran en la Tabla 44.

**Tabla 44. Resultados de ajuste de la Prueba 3.**

DISTRIBUCIÓN	PRUEBA Kolmogórov-Smirnov	
	Estadística	Rango
Weibull	0,24212	4

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

Al comparar los resultados obtenidos en la Tabla 44 con los de la Tabla 7, se observa que la distribución sí se ajusta a una distribución Weibull. Lo anterior se muestra en la Tabla 45.

**Tabla 45. Comparación de resultados del ajuste de la Prueba 3.**

RANGO	ESTADÍSTICA	
4	Teórico	0,49
	Empírico	0,24212

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

**4.3.5 Intercambio de paquetes de nivel de Transporte de la Prueba 3.** Se decidió analizar los protocolos de nivel de transporte por ser los implicados en la transferencia de datos entre el emisor y el receptor. Los protocolos TCP y UDP fueron los de mayor porcentaje en el intercambio de información como lo muestra la Tabla 46.

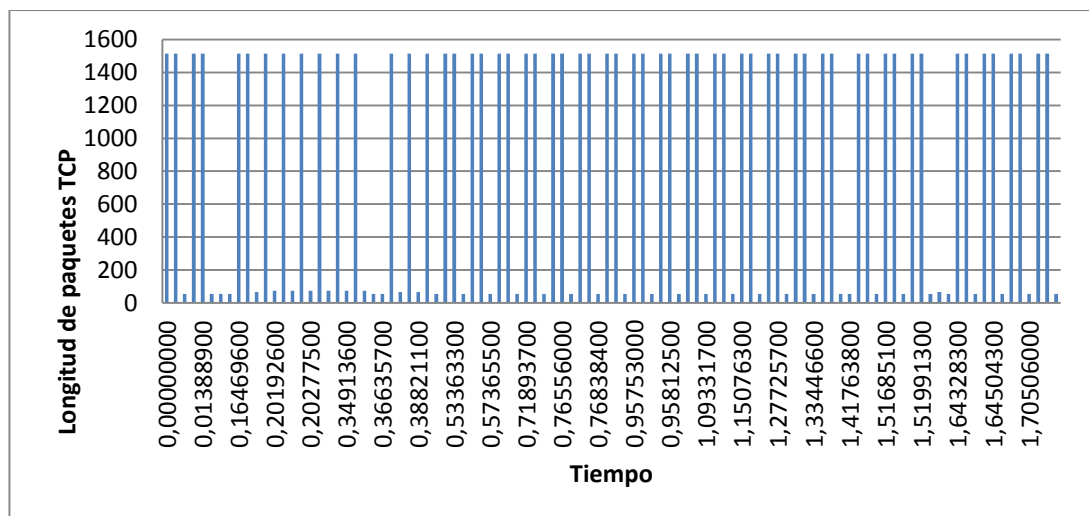
**Tabla 46. Relación de paquetes TCP y UDP de la Prueba 1.**

	TCP	UDP
CANTIDAD	79061	5400
PORCENTAJE	93,595%	6,393%

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

**4.3.5.1 Análisis de paquetes TCP de la Prueba 3.** Para la Figura 64, de los 84471 paquetes, se tomaron 100 datos de un intervalo al azar para graficar el histograma. En él, el eje horizontal corresponde al tiempo entre paquetes TCP (duración de la captura de cada paquete TCP) y el eje vertical corresponde a la longitud de los paquetes TCP. En la Tabla 47 se muestran la media y la varianza para la longitud de los paquetes TCP de la Prueba 3, obtenidas por medio de las Ecuaciones 3 y 4.

**Figura 64. Longitud de paquetes TCP vs tiempo de la Prueba 3.**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

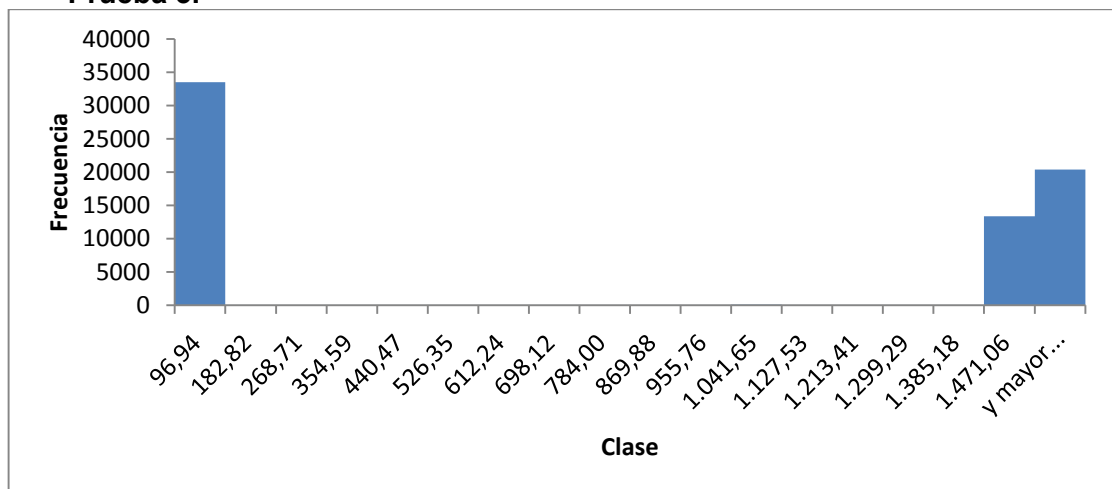
**Tabla 47. Media y varianza para Longitud de paquetes TCP vs tiempo de la Prueba 3.**

MEDIA	VARIANZA
776,286454271209	510939,365745668

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

**4.3.5.1.1 Distribución de Probabilidad del protocolo TCP de la Prueba 3.** La distribución de Weibull fue el tipo de distribución discreta que más se ajustó a los datos de Longitud de paquetes TCP con respecto al tiempo (Figura 65).

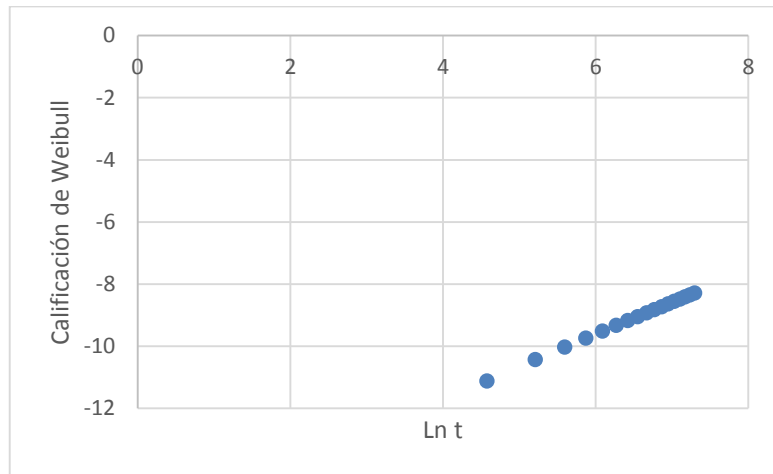
**Figura 65. Distribución de probabilidad para Longitud de paquetes TCP de la Prueba 3.**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

Aplicando el procedimiento de distribuciones de tiempos de falla del numeral 4.1.4., se observa que los paquetes TCP se aproximan a una distribución tipo Weibull. Lo anterior se muestra en la Figura 66.

**Figura 66. Gráfica de Weibull de tiempos de falla para Longitud de paquetes TCP de la Prueba 3.**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

En la Tabla 48 se muestran los parámetros del Histograma Longitud de paquetes TCP de la Prueba 3. En la Tabla 49 se muestran los resultados de la Prueba de bondad de ajuste K-S.

**Tabla 48. Parámetros del Histograma Longitud de paquetes TCP de la Prueba 3.**

Distribución	Parámetros
Weibull	$\alpha = 0,60324$ $\beta = 825,05$

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

**Tabla 49. Prueba de bondad de ajuste Kolmogórov-Smirnov para el protocolo TCP de Prueba 3.**

DISTRIBUCIÓN	PRUEBA Kolmogórov-Smirnov	
	Estadística	Rango
Weibull	0,28059	2

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

Al comparar los resultados teóricos con los prácticos, se puede asumir como verdadera la hipótesis de que la distribución de paquetes TCP es de tipo Weibull ya que el valor empírico es menor que el teórico como se observa en la Tabla 50.

**Tabla 50. Comparación de resultados del ajuste de los paquetes TCP de la Prueba 3.**

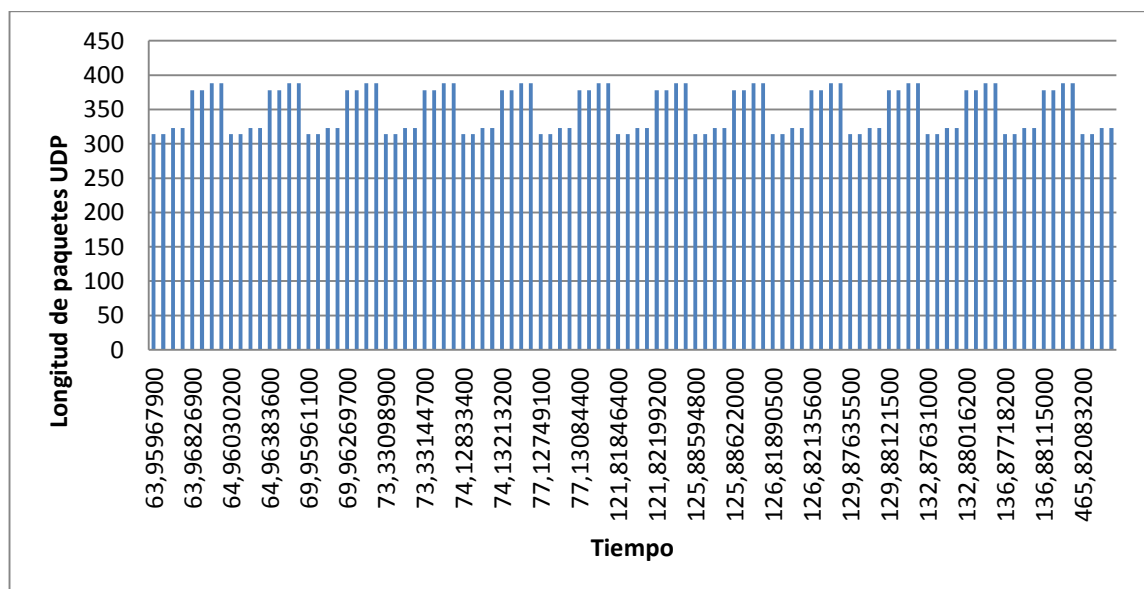
RANGO	ESTADÍSTICA	
2	Teórico	0,68
	Empírico	0,28059

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

**4.3.5.2 Análisis de paquetes UDP de la Prueba 3.** En la Figura 67 se grafica el histograma de Longitud de paquetes UDP con respecto al tiempo (tiempo entre llegada de paquetes UDP), tomando 100 datos de un intervalo al azar entre los 5371 paquetes que lo componen.

En la Tabla 51 se muestran la Varianza y la Media de la serie de datos Longitud de paquetes UDP obtenidas mediante las Ecuaciones 3 y 4.

**Figura 67. Longitud de paquetes UDP vs tiempo de la Prueba 3.**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

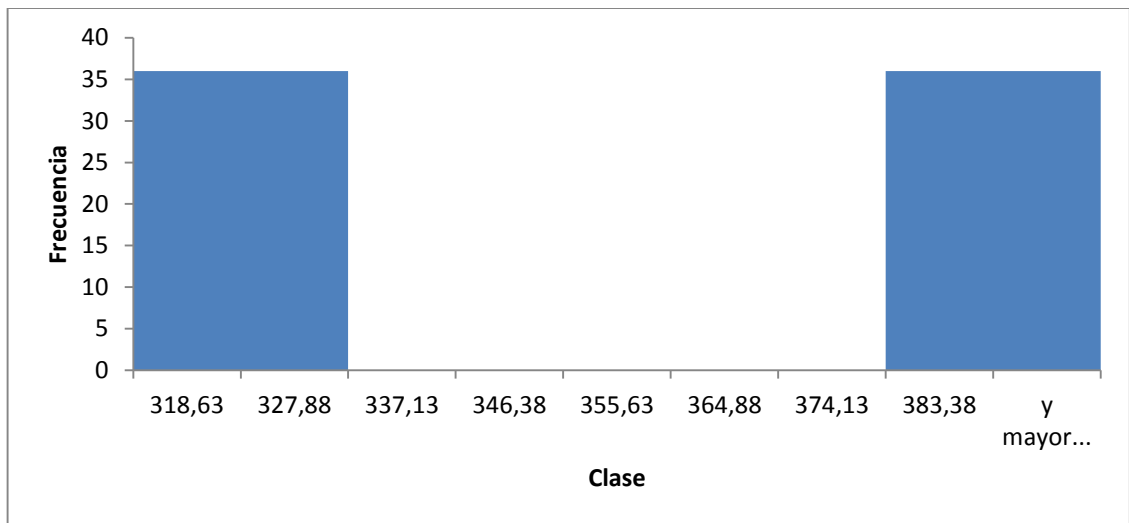
**Tabla 51. Media y varianza para Longitud de paquetes UDP vs tiempo de la Prueba 3.**

MEDIA	VARIANZA
348,569444444444	1065,87114174408

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

**4.3.5.2.1 Distribución de Probabilidad del protocolo UDP de la Prueba 3.** Al analizar el histograma de Longitud de paquetes UDP con respecto al tiempo, se determinó que la serie de datos se ajustaba a una distribución de probabilidad de Weibull (Figura 68).

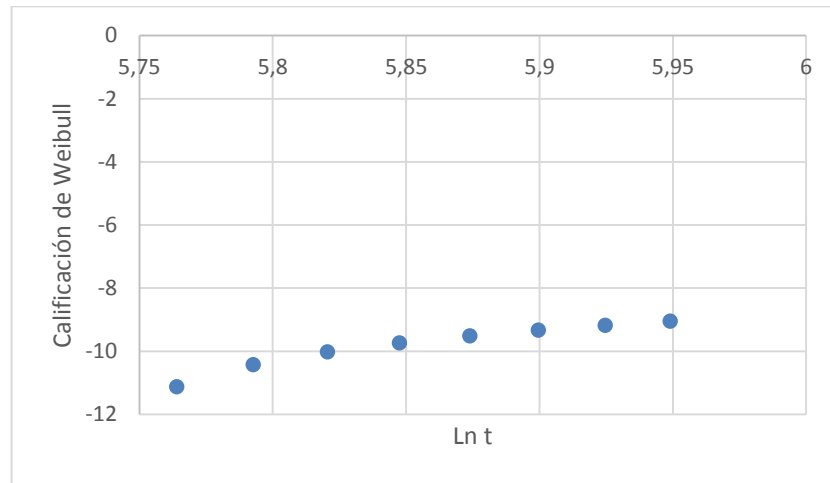
**Figura 68. Distribución de probabilidad para Longitud de paquetes UDP de la Prueba 3.**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

En la Figura 69 se muestra que los paquetes UDP se aproximan a una distribución Weibull.

**Figura 69. Gráfica de Weibull de tiempos de falla para Longitud de paquetes UDP de la Prueba 3.**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

Las Tablas 52 y 53 muestran los resultados de los parámetros y la prueba de bondad de Kolgomórov-Smirnov, respectivamente.

**Tabla 52. Parámetros del Histograma Longitud de paquetes UDP de la Prueba 3.**

Distribución	Parámetros
Weibull	$\alpha = 10,925$ $\beta = 367,47$

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

**Tabla 53. Resultados de ajuste para el protocolo UDP de la Prueba 3.**

DISTRIBUCIÓN	PRUEBA Kolmogórov-Smirnov	
	Estadística	Rango
Weibull	0,28322	9

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

Comparando los resultados teóricos con los empíricos, se puede asumir verdadera la hipótesis de que la distribución de paquetes UDP es de tipo Weibull ya que el valor obtenido en la Prueba es menor que el teórico como se observa en la Tabla 54.

**Tabla 54. Comparación de resultados del ajuste de los paquetes UDP de la Prueba 3.**

RANGO	ESTADÍSTICA	
9	Teórico	0,34
	Empírico	0,28322

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

**4.3.6 Intercambio de paquetes de nivel de Aplicación de la Prueba 3.** En la capa de Aplicación se analizó el protocolo HTTP ya que este es el protocolo base del *world wide web* (www) y fue el que presentó un mayor porcentaje de intercambio de paquetes en comparación con los otros protocolos de dicho nivel, como por ejemplo el protocolo DNS (*Domain Name System*) el cual es un base de datos que almacena y asigna la información necesaria para los nombres de dominio de las direcciones IP. La Tabla 55 muestra la relación de paquetes HTTP y paquetes DNS con respecto al total de paquetes de la trama de datos.

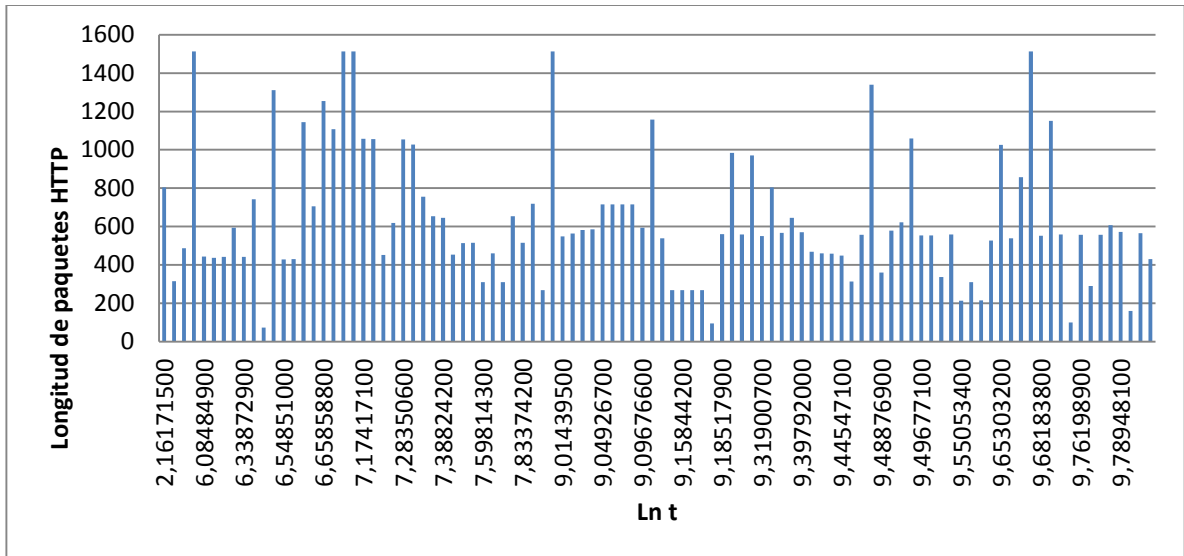
**Tabla 55. Relación de paquetes HTTP de la Prueba 3.**

	HTTP	DNS
<b>CANTIDAD</b>	2820	828
<b>PORCENTAJE</b>	3,338%	0,98%

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

La Figura 70 muestra el histograma de la Longitud de paquetes HTTP con respecto al tiempo (tiempo de duración de cada paquete HTTP) y la Tabla 56 muestra sus parámetros de Media y Varianza calculados por medio de las Ecuaciones 2 y 3.

**Figura 70. Longitud de paquetes HTTP vs tiempo de la Prueba 3.**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

**Tabla 56. Media y varianza para Longitud de paquetes HTTP vs tiempo de la Prueba 3.**

MEDIA	VARIANZA
655,638601498395	124373,634869136

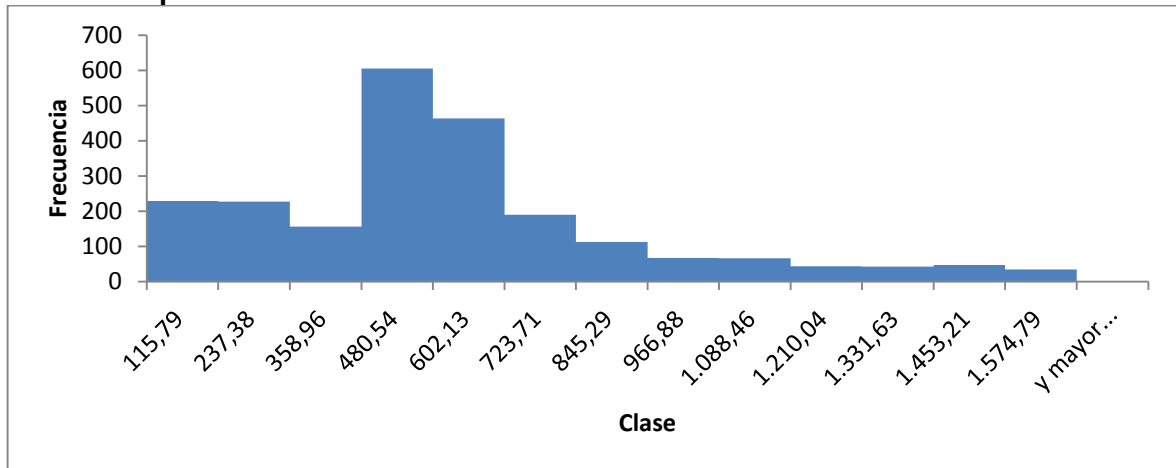
Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

La Figura 71 permite visualizar la distribución de probabilidad que más se ajustó a la serie de datos de paquetes HTTP de la Prueba 3. Para este caso, el conjunto de datos se ajustó a una distribución Log-normal.

En las Tablas 55 y 56 se muestran los parámetros del histograma para el protocolo HTTP y los resultados de ajuste del test de Kolgomórov-Smirnov, verificándose que la serie de datos para este protocolo se ajustaban a una distribución logarítmica normal.

**Figura 71. Distribución de probabilidad para Longitud de paquetes HTTP vs**

**tiempo de la Prueba 3.**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

**Tabla 55. Resultados de ajuste para el protocolo HTTP de la Prueba 3.**

Distribución	Parámetros
Lognormal	$\sigma = 0,63668$ $\mu = 6,3172$

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

**Tabla 56. Prueba de bondad de ajuste Kolgomórov-Smirnov para el protocolo HTTP de la Prueba 3.**

DISTRIBUCIÓN	PRUEBA Kolmogórov-Smirnov	
	Estadística	Rango
Lognormal	0,12548	34

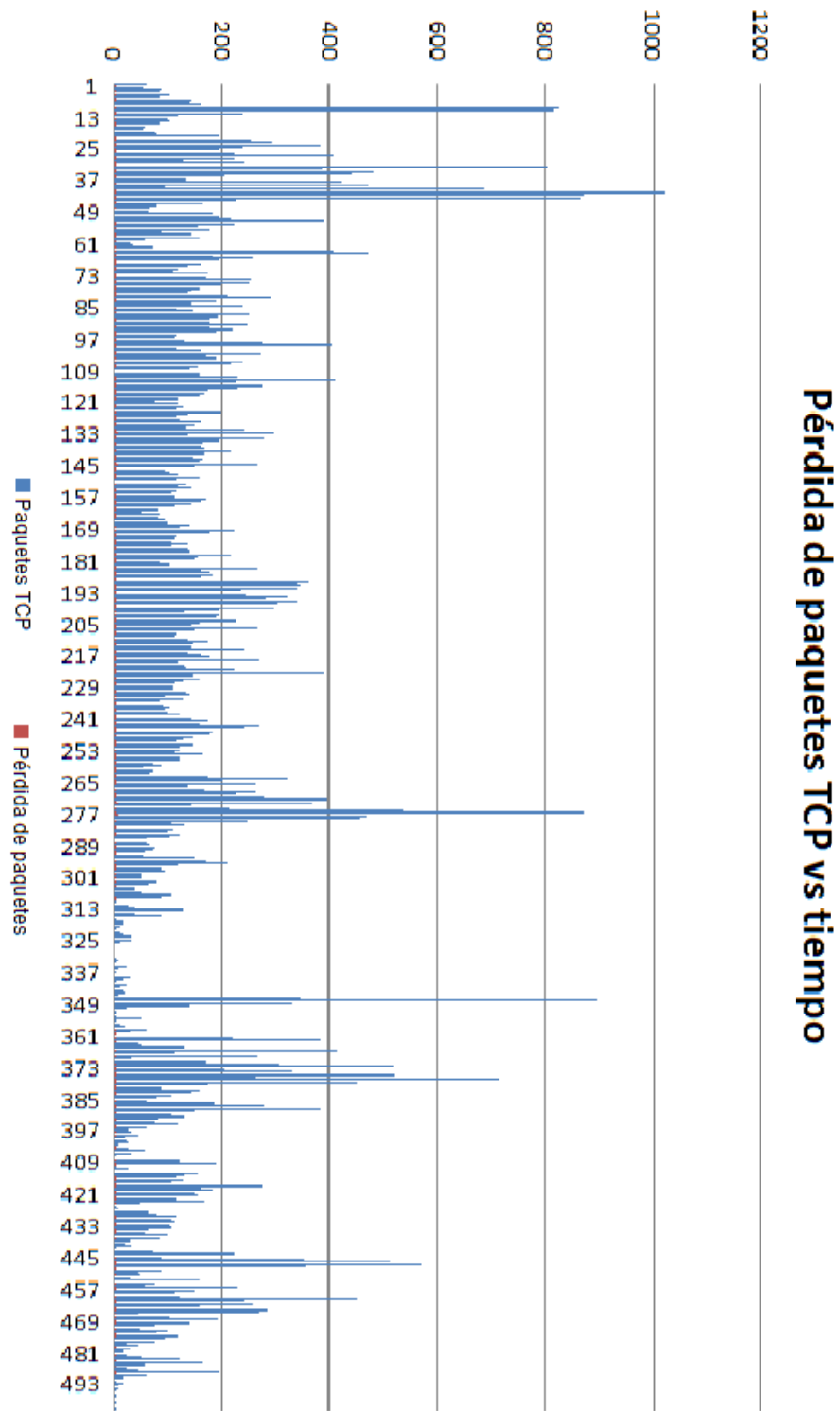
Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

**4.3.7 Pérdida de paquetes [17].** Aplicando un filtro para pérdida de paquetes o segmentos se pudo visualizar los errores presentados en la captura de datos. Se considera pérdida de paquetes cuando se reciben tres o más ACK duplicados, siendo esta una notificación indicando que o hubo un error en la recepción de paquetes o que se presentó pérdidas de algunos datos.

La Figura 72 muestra las pérdidas de paquetes TCP con respecto al tiempo de la Prueba 3, siendo los puntos en rojo los paquetes considerados como pérdidas o errores de transmisión.

Al analizar la totalidad de paquetes TCP, 681 de ellos se consideraron como perdidos los cuales representan un 0,806%, siendo este resultado una medida de la eficiencia de la red.

Figura 72. Pérdida de paquetes TCP vs tiempo de la Prueba 3.



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

**4.3.8 Ancho de banda.** El ancho de banda es una medida que permite calcular los datos y recursos disponibles en redes de cómputo.

Para la trama de datos generada en la captura de la Prueba 3, el ancho de banda, expresado como el cociente entre los Bytes y el tiempo en que tardan los datos en transferirse completamente, fue de 134,566 [kB/s].

Este valor no es exacto pero da una idea de la capacidad del enlace.

**4.3.9 Estimación del parámetro de Hurst [16].** Para el cálculo del parámetro de Hurst se usó la herramienta RS (*sequence,isplot*) del software MATLAB. Esta herramienta calcula el parámetro mediante el método RS, empleando una rutina para estimar la dependencia a largo plazo de una secuencia.

**Código en MATLAB para determinar el parámetro de Hurst empleando el método RS.**

```
function H = RS(sequence,isplot)
%
% 'RS' estimate the hurst parameter of a given sequence with R/S method.
%
% Inputs:
%   sequence: the input sequence for estimate
%   isplot: whether display the plot. without a plot if isplot equal to 0
% Outputs:
%   H: the estimated hurst coeffeient of the input sequence

% Author: Chu Chen
% Version 1.0, 03/10/2008
% chen-chu@163.com
%

if nargin == 1
    isplot = 0;
end

N = length(sequence);
dlarge = floor(N/5);
dsmall = max(10,log10(N)^2);
D = floor(logspace(log10(dsmall),log10(dlarge),50));
D = unique(D);
n = length(D);
x = zeros(1,n);
y = zeros(1,n);

R = cell(1,n);
S = cell(1,n);
for i = 1:n
    d = D(i);
    m = floor(N/d);
```

```

R{i} = zeros(1,m);
S{i} = zeros(1,m);
matrix_sequence = reshape(sequence(1:d*m),d,m);

Z1 = cumsum(matrix_sequence);
Z2 = cumsum(repmat(mean(matrix_sequence),d,1));
R{i} = (max(Z1-Z2)-min(Z1-Z2));
S{i} = std(matrix_sequence);

if min(R{i})==0 || min(S{i}) ==0
    continue;
end

x(i) = log10(d);
y(i) = mean(log10(R{i}./S{i}));
end

% fit a line with middle part of sequence
index = x~=0;
x = x(index);
y = y(index);
n2 = length(x);
cut_min = ceil(3*n2/10);
cut_max = floor(9*n2/10);

X = x(cut_min:cut_max);
Y = y(cut_min:cut_max);
p1 = polyfit(X,Y,1);
Yfit = polyval(p1,X);
H = (Yfit(end)-Yfit(1))/(X(end)-X(1));

if isplot ~= 0
    figure,hold on;
    bound = ceil(log10(N));
    axis([0 bound 0 0.75*bound]);

    temp = (1:n).*index;
    index = temp(index);
    for i = 1:n2
        plot(x(i),log10(R{index(i)}./S{index(i)}),'b. ');
    end

    x = linspace(0,bound,10);
    y1 = 0.5*x;
    y2 = x;
    h1 = plot(x,y1,'b--','LineWidth',2);
    h2 = plot(x,y2,'b-','LineWidth',2);
    plot(X,Yfit,'r-','LineWidth',3);
    legend([h1,h2], 'slope 1/2','slope 1',4)
    xlabel('log10(blocks of size m)'),ylabel('log10(R/S)'),title('R/S Method');
end

```

Fuente: Disponible <<http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/19148-hurst-parameter-estimate/content//hurst%20estimator/RS.m>>

El parámetro de Hurst para la serie de datos Paquetes vs tiempo fue 0,8293 (Figura 73). Al ser este valor mayor a 0,5 se deduce que la serie de datos presenta autocorrelación positiva a largo plazo. Por tanto se concluye que hay autosimilaridad. En la Figura 74 se observa que los datos de dicha serie se encuentran dentro del rango de confianza.

**Figura 73. Cálculo del parámetro de Hurst para Paquetes vs tiempo de la Prueba 3.**

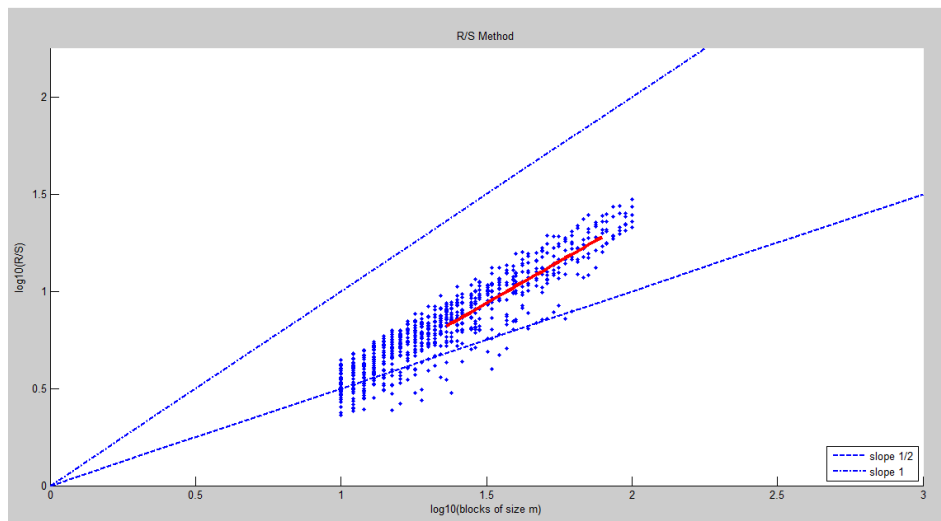
```
Command Window
>> H = RS(capture3,1)

H =

    0.8542
```

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

**Figura 74. Parámetro de Hurst para Paquetes vs tiempo de la Prueba 3 empleando el método RS.**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

Para la Prueba 3, se obtuvo las distribuciones de probabilidad para los protocolos de mayor proporción en las capas de Transporte y Aplicación según el modelo de red TCP/IP.

Al calcular el parámetro de Hurst para la serie Paquetes con respecto al tiempo se demostró que el conjunto de datos presentaba autosimilaridad.

## 5. CONCLUSIONES

De acuerdo a los niveles del modelo de red TCP/IP se analizaron los protocolos de las capas de red (Internet), Transporte y de Aplicación, con énfasis en el protocolo TCP a través del cual se pudo cuantificar errores de transmisión en la red. Por medio de este análisis se demostró la eficiencia del enlace microondas y se comprobó que la pérdida de información se mantuvo en cantidades despreciables.

Wireshark es un analizador de protocolos para análisis de redes de comunicaciones. Esta herramienta cuenta con numerosas funcionalidades que mediante el filtrado de información permiten identificar, analizar y corregir errores y fallos en la red. Con este software se calculó el ancho de banda de la red, que a pesar de no ser un valor exacto, da una medida de la capacidad del canal.

Por medio del software EasyFit se realizaron las pruebas de bondad de ajuste de Kolmogórov-Smirnov. Este test permite corroborar y cuantificar qué tanto se ajustan los datos obtenidos a una distribución hipotética.

A través de los resultados obtenidos en las tres pruebas se demostró que los flujos de datos adquiridos en las capturas tenían un comportamiento autosimilar. Para las pruebas realizadas tanto para horas pico para horas con bajo tráfico el ancho de banda fue similar.

Las distribuciones obtenidas en nivel de enlace fueron de cola pesada, lo cual es consistente con la distribución autosimilar para Longitud total de paquetes.

Se desarrollaron prácticas de laboratorio como complemento al presente proyecto de grado, con el fin de fortalecer e incentivar el estudio de las redes de comunicaciones.

Se recopilaron materiales y dispositivos de los laboratorios de comunicaciones y de redes, como las antenas tipo grilla y tipo panel, y los routers y access point, para establecer el enlace wifi vía microondas.

Este es un estudio inicial de aplicaciones de modelos de distribución en un enlace microondas que permitió integrar los conocimientos matemáticos y tecnológicos en los enlaces de microondas.

## 6. ANEXOS

### ANEXO 1. CONFIGURACIÓN DE ACCESS POINT 3COM.

#### 1. PRÁCTICA 1

##### 1.1 OBJETIVOS

- Conocer las especificaciones y configuraciones del Access Point de referencia 3com 8760 dual radio 11a/b/g PoE.
- Enlazar el Access Point 3Com 8760 dual radio 11a/b/g PoE y configurarlo en modo raíz a una red inalámbrica de la Universidad Pontificia Bolivariana sede Bucaramanga.

##### 1.2 MATERIALES

- Access Point de referencia 3Com 8760 dual radio 11a/b/g PoE.
- Cable Ethernet.
- Adaptador PoE (*Power Over Ethernet*).
- Computador portátil.

##### 1.3 INTRODUCCIÓN

Las redes de comunicaciones permiten el intercambio de información ya sea en forma física (cableada) o inalámbrica, siendo esta última la de mayor crecimiento. Las redes cableadas ofrecen alta velocidad de transmisión de datos y poca cobertura con pocos puntos de accesos, por tanto se buscará cambiarla por una red inalámbrica ya que esta cuenta con la ventaja de ofrecer múltiples accesos a diferentes dispositivos.

##### 1.4 TEORÍA

**1.4.1 Access Point.** El Access Point 3com 8760 dual radio 11a/b/g PoE (Figura 59) es un dispositivo de hardware que permite conectarse inalámbricamente a una red. Estos equipos cuentan con una buena cobertura, como un recinto cerrado o espacios abiertos, con un alcance aproximado a 300 metros.

**Figura 75. Access Point 3Com® Wireless 8760 Dual-Radio 11a/b/g PoE.**



3Com Wireless 8760 Dual-Radio 11a/b/g PoE Access Point

Fuentes: Disponible <<http://www.manualslib.com/products/3com-8760-Wireless-Dual-Radio-11a-B-G-Poe-Access-Point-9.html>>

Para esta práctica se usará un Access Point 3Com de referencia 8760 dual radio 11a/b/g PoE. La tecnología PoE (*Power Over Ethernet*) permite recibir la señal de alimentación y envío de datos por medio del mismo cable de datos. Este dispositivo consta de un sistema de radio dual compatible con los estándares 802.11a, 802.11b y 802.11g. Entre sus modos de funcionamiento está el turbo (garantizando una velocidad de transmisión 108 Mbps), punto a punto, punto a multipunto y modo repetidor.

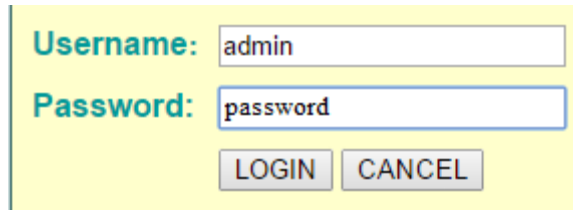
**1.4.2 Acceso Modo Consola.** Se debe contar con un computador con cable Ethernet RJ45.

#### **1.4.2.1 Conexión para acceder al modo consola**

- Conectar el adaptador PoE a la red eléctrica.
- Conectar mediante el cable Ethernet RJ45 el puerto *TO HUB/SWITCH* del adaptador PoE al puerto de comunicación del computador portátil.
- Usando el cable Ethernet RJ45 conectar el puerto *TO NETWORK JACK* del adaptador PoE al puerto de comunicación del access point (Figura 76).



**Figura 79. Interfaz Web Acceso del Access Point 3Com.**



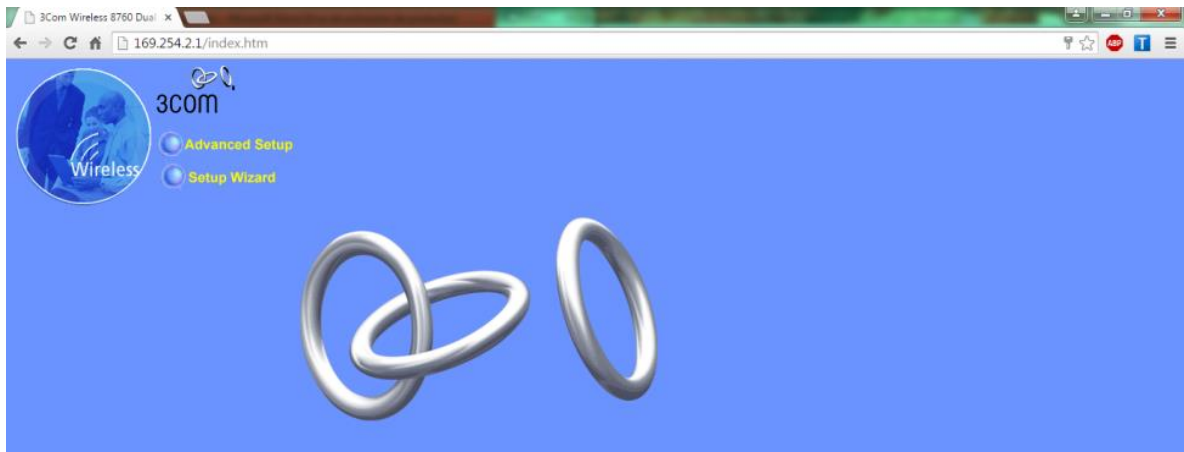
Username:

Password:

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

Al dar click en la opción *LOGIN* aparecerá una nueva ventana con las opciones *Advanced Setup* y *Setup Wizard* como se muestra en la figura 64.

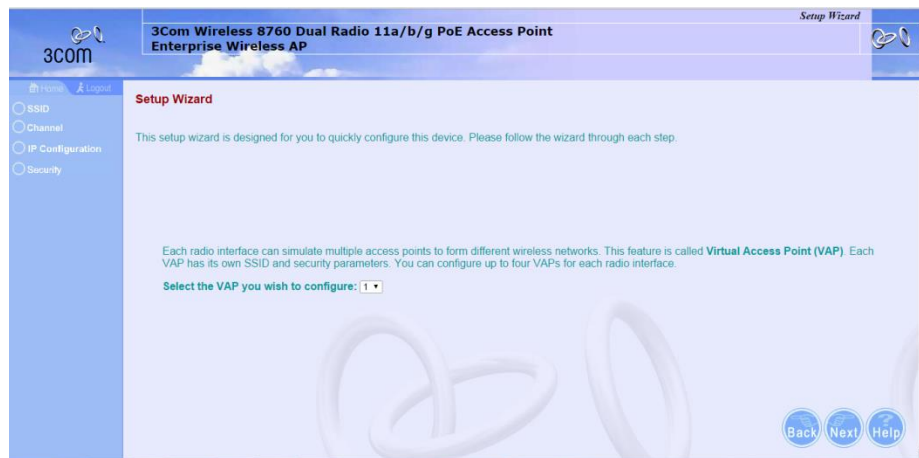
**Figura 80. Interfaz Web *Advanced Setup* y *Setup Wizard* del Access Point 3Com.**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

Para esta práctica se accederá a la opción *Setup Wizard* y se seleccionará la cantidad de AP virtuales (VAP) a configurar. En este caso se configurará (1) VAP (Figura 81) y luego haga click en *Next*.

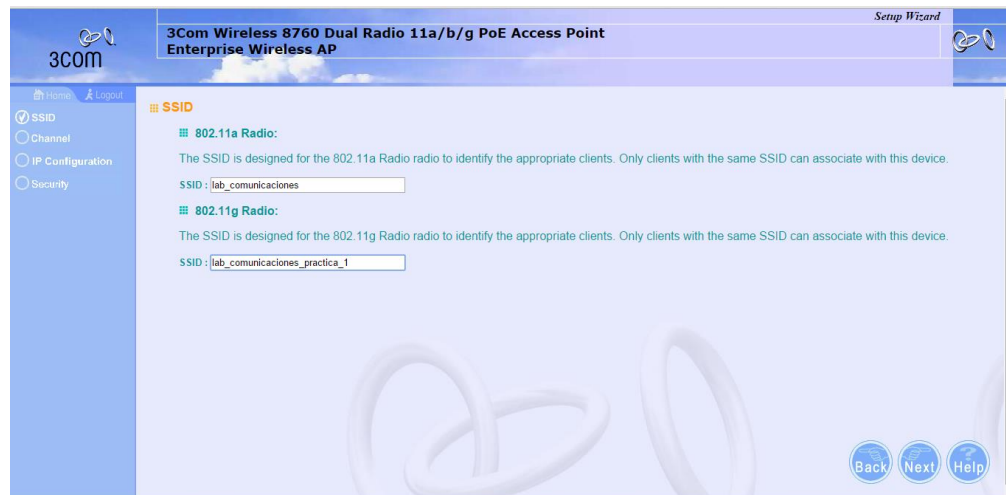
**Figura 81. Interfaz Web en configuración *Setup Wizard* del Access Point 3Com.**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

Al aparecer la pantalla de la Figura 82, en la configuración del *SSID* (nombre de la red wifi que prestará el servicio), para la norma 802.11g digite *lab\_comunicaciones\_practica\_1* y luego de click en *Next*.

**Figura 82. Interfaz Web *SSID* del Access Point 3Com.**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

Luego se mostrarán los canales con sus respectivos estándares y se seleccionarán las opciones mostradas en la Figura 83. El canal 802.11a se dejará deshabilitado

(*Disable*) y se habilitará el canal 802.11g (*Enable*). En *Radio Channel* se escoge la opción *10* y en *Auto Channel* se selecciona *Enable*. En caso de existir otro AP cerca se recomienda seleccionar un canal con una diferencia de tres canales entre sí. Luego dar click en *Next*.

**Figura 83. Interfaz Web *Radio Channel* del Access Point 3Com.**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

Al aparecer la ventana mostrada en la Figura 84, para *DHCP CLIENT* se selecciona la opción *Enable*. De esta forma se le asigna al 3COM una dirección IP automáticamente. Luego de click en *Next*.

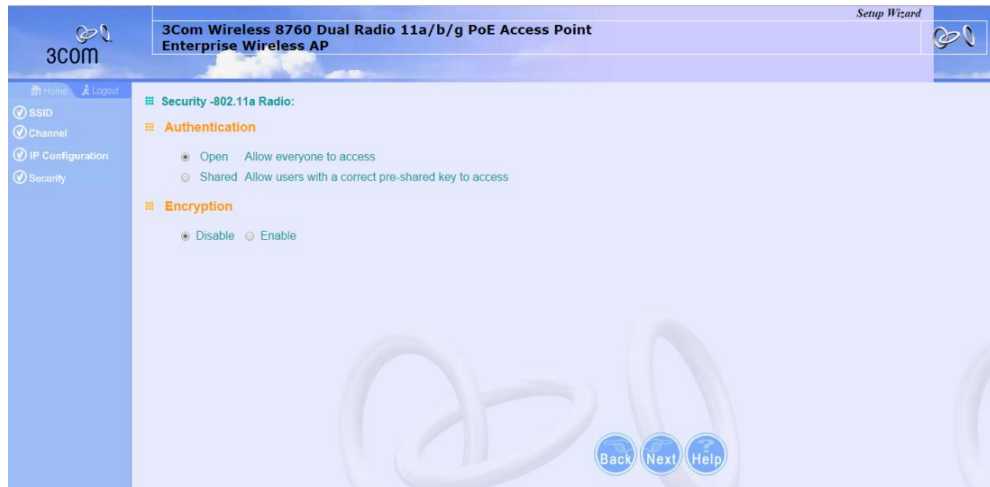
**Figura 84. Interfaz Web *TCP/IP Settings* del Access Point 3Com.**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

Para la configuración de seguridad del canal 802.11a radio se selecciona *Open* para *Authentication* y *Disable* para *Encryption*. Estas opciones permitirán dejar abierta la seguridad de la red del canal de 5.4GHz (Figura 85). Dar click en *Next*.

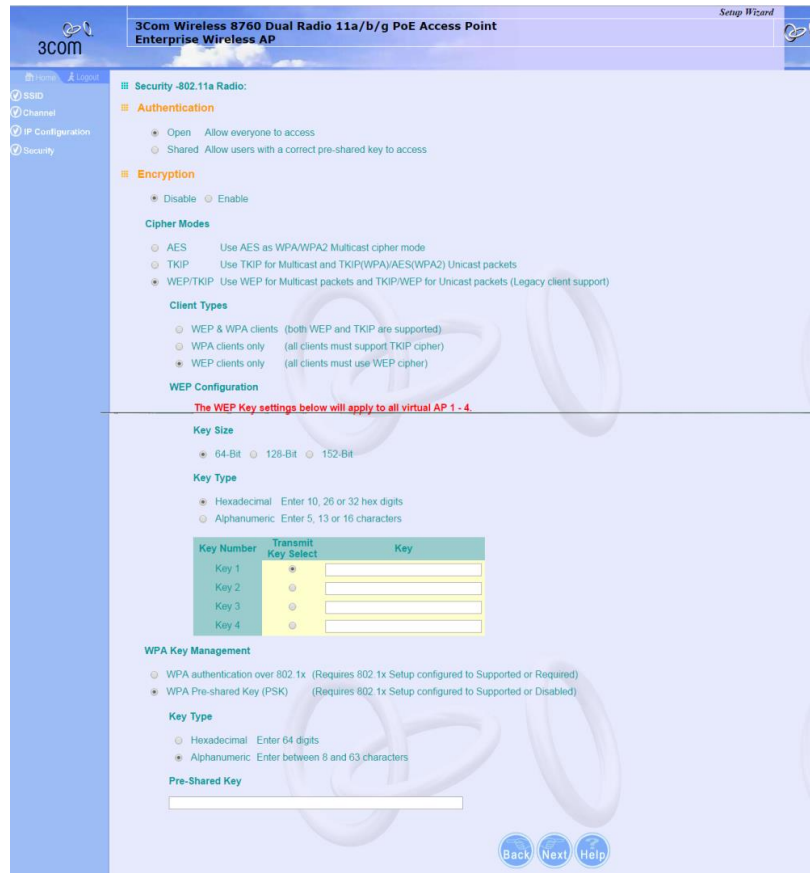
**Figura 85. Interfaz Web *Security 802-11a radio* del Access Point 3Com.**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

Si en *Encryption* se selecciona la opción *Enable* se despliegan otras configuraciones como se muestra en la Figura 86.

Figura 86. Interfaz Web *Encryption* del Access Point 3Com.



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

Se dejan las configuraciones por defecto y se procede a dar click en *next*. La ventana que se muestra en la Figura 87 permite seleccionar el tipo de seguridad de la red creada, para este caso se dejará abierta.

**Figura 87. Interfaz Web *Security 802.11g Radio* del Access Point 3Com.**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

Se da click en *Finish* y se visualiza una ventana como la mostrada en la Figura 88 donde se finaliza el proceso de configuración del Access Point 3Com.

**Figura 88. Interfaz Web *Configuration has been saved* del Access Point 3Com.**

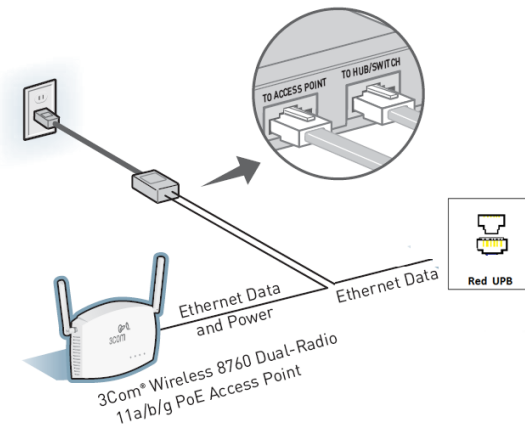


Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

### **1.4.3 Conexión física a una red de infraestructura.**

**1.4.3.1 Conexión.** Finalizando esta práctica se recurrirá a desconectar el cable datos Ethernet RJ45 del computador y se conectará a la red de la Universidad Pontificia Bolivariana como se ilustra en la Figura 89.

**Figura 89. Conexión física a la red Universidad Pontificia Bolivariana a través del Access Point 3Com.**



Fuente: Disponible <<http://www.manualslib.com/products/3com-8760-Wireless-Dual-Radio-11a-B-G-Poe-Access-Point-9.html>>

Para verificar la conexión y comprobar si la red está en línea se ingresa al administrador de redes inalámbricas en su computador para buscar redes existentes, luego se procede a seleccionar la programada en su 3Com (Figura 90).

**Figura 90. Redes inalámbricas disponibles en el administrador de redes (Configuración del Access Point 3Com).**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

Con lo anterior se culmina la conexión inalámbrica del 3Com.

## **ANEXO 2. CONFIGURACIÓN DEL ACCESS POINT QP-WA252G EN MODO CLIENTE**

### **2. PRÁCTICA 2**

#### **2.1 OBJETIVO**

Configurar el Access Point QP-WA252G en modo cliente.

#### **2.2 MATERIALES**

- Access Point QPCOM de referencia QP-WA252G.
- Antena cuadrada tipo panel.
- Cable de datos Ethernet con conector RJ45.
- Computador portátil.

#### **2.3 INTRODUCCIÓN**

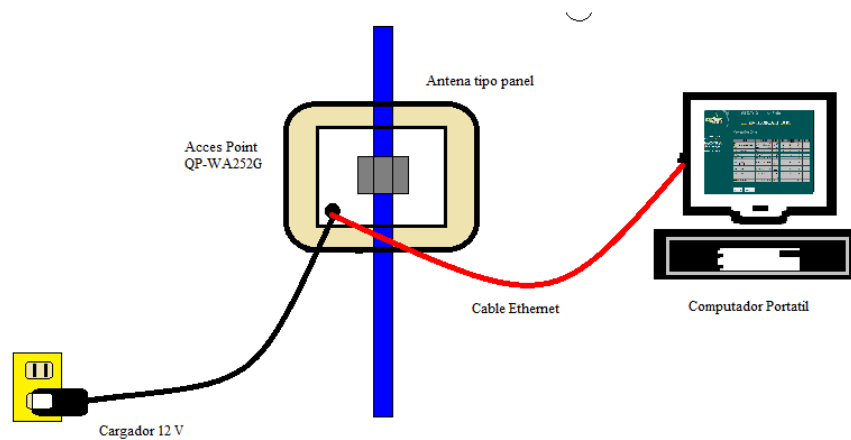
En la actualidad las tecnologías inalámbricas han crecido de tal forma que incluso el concepto es familiar para aquellos que no tengan conocimientos en redes de telecomunicaciones. En esta práctica se configurará el access point de referencia QP-WA252G conectado a una antena tipo panel en modo cliente.

#### **2.4 TEORÍA**

Un router permite encaminar datos entre redes. Al ser configurado en modo cliente, la entrega de datos sería exclusiva por cable de datos Ethernet. En esta práctica el router permitirá conectarse a una red inalámbrica mediante una antena cuadrada de tipo panel.

**2.4.1 Conexión.** La conexión de este sistema se puede observar en la Figura 91.

**Figura 91. Conexión Access Point QP-WA252G a la interfaz Web.**

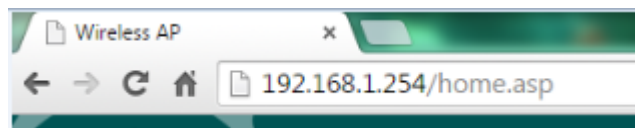


Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

**2.4.2 Configuración del Access point QP-WA252G en modo cliente.** Se ingresa a una interfaz web introduciendo el IP asignado en el navegador web predeterminado por el usuario.

- Ingresar a la dirección web con IP 192.168.1.254 como se muestra en la Figura 92.

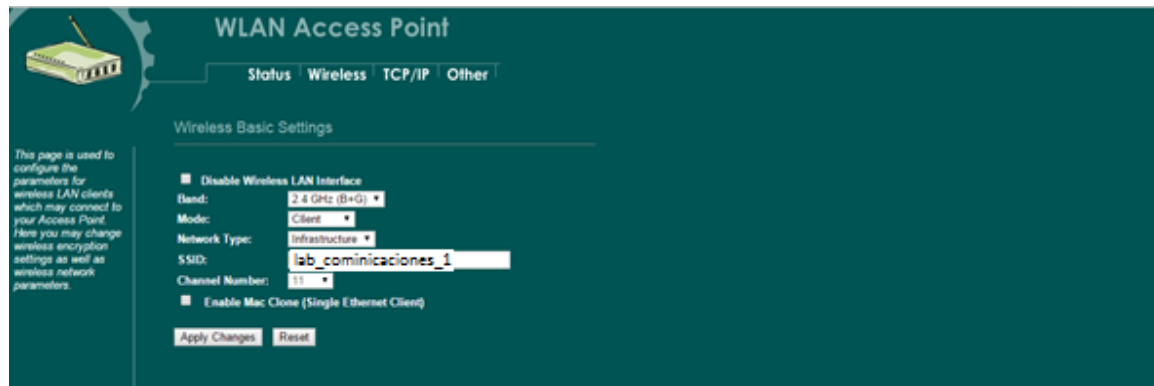
**Figura 92. Ingreso a la dirección IP del Access Point QP-WA252G.**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

- Seleccionar la pestaña *Wireless* para acceder a los ajustes básicos.
- En la opción *Mode* se selecciona *Client*, como se ve en la Figura 93.

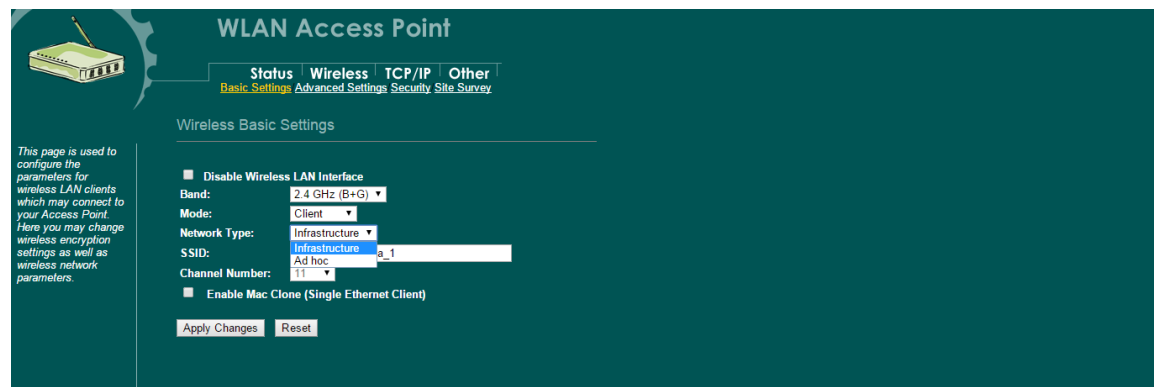
Figura 93. Interfaz web *Wireless Back Settings* en modo *Ciente* del Access Point QP-WA252G.



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

- Después de seleccionar el modo *Client* inmediatamente se habilita la opción *Network Type* y se seleccionará *Infraestructure*. En SSID se digita *lab\_comunicaciones\_1* (Figura 94).

Figura 94. Interfaz web *Wireless Basic Settings Network Type: Infraestructure* y *SSID: Infraestructure* del Access Point QP-WA252G.

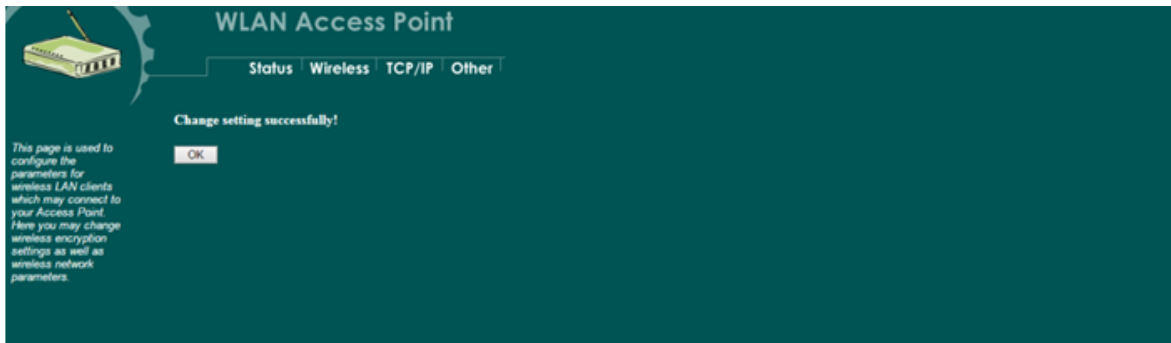


Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

- Terminadas las modificaciones básicas se finaliza el proceso dando click en *Apply Changes*, mostrando una ventana como en la Figura 95. Luego se presiona *OK*.

Figura 95. Interfaz web *Wireless Basic Settings Change setting successfully!*,

del Access Point QP-WA252G.



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

Luego, en la pestaña *Wireless* se selecciona *Site Survey* y se despliega una ventana como la de la Figura 96, se da click en *Refresh* y aparecerán las redes inalámbricas detectadas. Se selecciona la red *lab\_comunicaciones\_1*.

Figura 96. Interfaz web Wireless *Site Survey* del Access Point QP-WA252G.



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

- Una vez seleccionada la red por defecto se da click en la opción *Connect* (Figura 97).

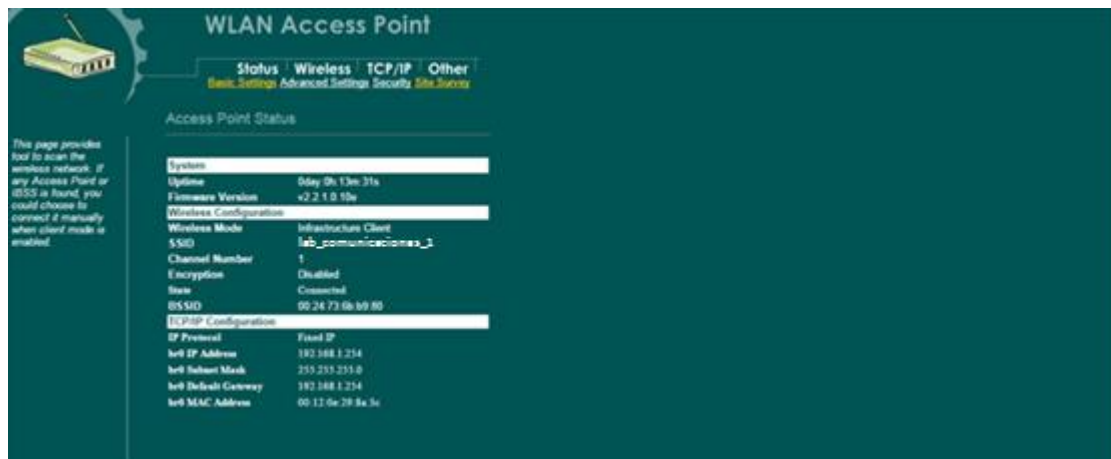
Figura 97. Interfaz web *Selección de la red* del Access Point QP-WA252G.



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

Después de conectado a la red deseada se obtiene una ventana como la que se muestra en la Figura 98.

Figura 98. Interfaz web *Access Point Status* del Access Point QP-WA252G.



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

Con lo anterior se concluye la práctica 2.

## **ANEXO 3. CONFIGURACIÓN DEL ROUTER TP-LINK**

### **3. PRÁCTICA 3**

#### **3.1 OBJETIVO**

Conocer y configurar el router de referencia TP-LINK TL-WR841ND.

#### **3.2 MATERIALES**

- Router TP-LINK WR841ND.
- Access Point QP-WA252G.
- Cable de datos Ethernet con conector RJ45.
- Computador portátil.
- Antena tipo panel.

#### **3.3 INTRODUCCIÓN**

Una transmisión de datos consta de dos etapas: transmisión y recepción. En la recepción de datos se interceptan los datos provenientes del emisor, para nuestro caso se hará a través de la antena cuadrada tipo panel. En esta práctica se configurará el router TP-LINK WR841ND, enlazándolo a una red inalámbrica de la Universidad Pontificia Bolivariana mediante la antena panel.

#### **3.4 TEORÍA**

Un router inalámbrico permite la conexión de forma no cableada a una red predeterminada. Su función es enviar paquetes de datos de una red a otra, empleando la dirección IP para el envío de paquetes.

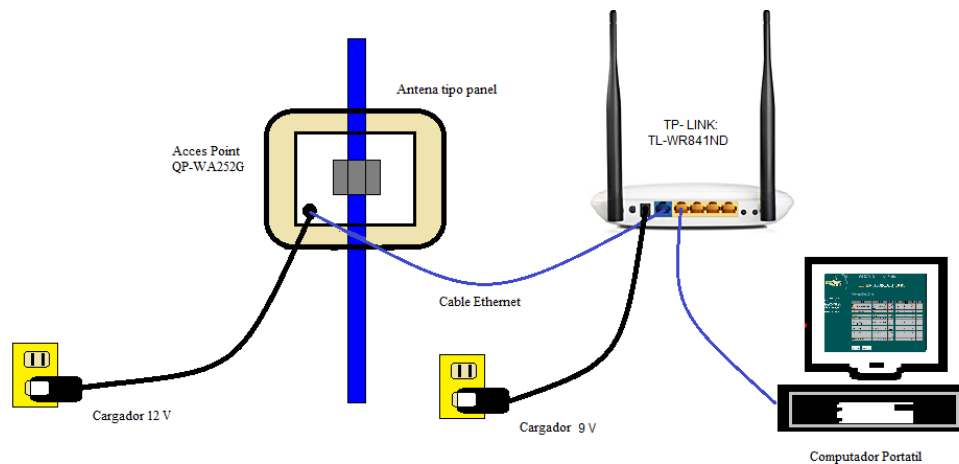
#### **3.5 PROCEDIMIENTO**

**3.5.1 Configuración del router TP-LINK WR841ND.** Se ingresa a una interfaz web, introduciendo el IP asignado en el navegador web predeterminado por el usuario. Se deberá mantener la configuración de las prácticas 1 y práctica 2 para mantener esa nueva red configurada.

### 3.5.1.1 Conexión

- Conectar el cable Ethernet con conector RJ45 al *router* en cualquiera de los cuatro canales indicados en color amarillo al puerto del computador portátil.
- con el cable Ethernet de la antena panel se deberá conectarlo al *router* por el puerto Jack WAN.
- Del router TP-LINK WR841ND se conecta el cargador de 9 V a la red eléctrica.
- Conectar la antena panel a la red eléctrica con el cargador de 12 V. Estos pasos se ilustran en la Figura 99.

**Figura 99. Conexión TP-LINK con la antena panel y el computador portátil.**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

- Ingresar a la dirección web de IP 192.168.1.1 como se muestra en la Figura 84.

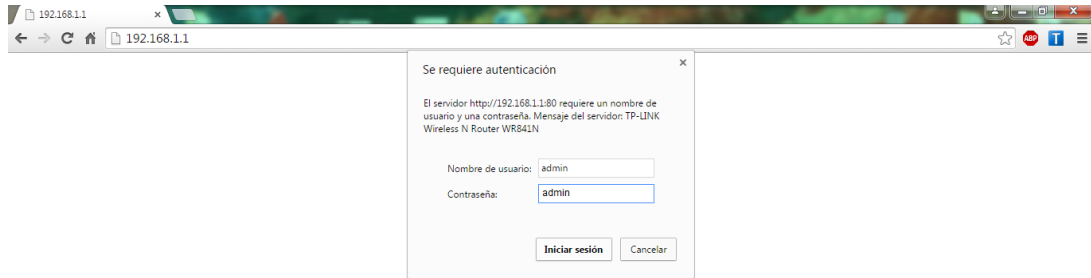
**Figura 100. Ingreso a la dirección IP del router TP-LINK.**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

- Se desplegará una ventana de autenticación. En ambas casillas se digitará *admin* en minúsculas (Figura 101).

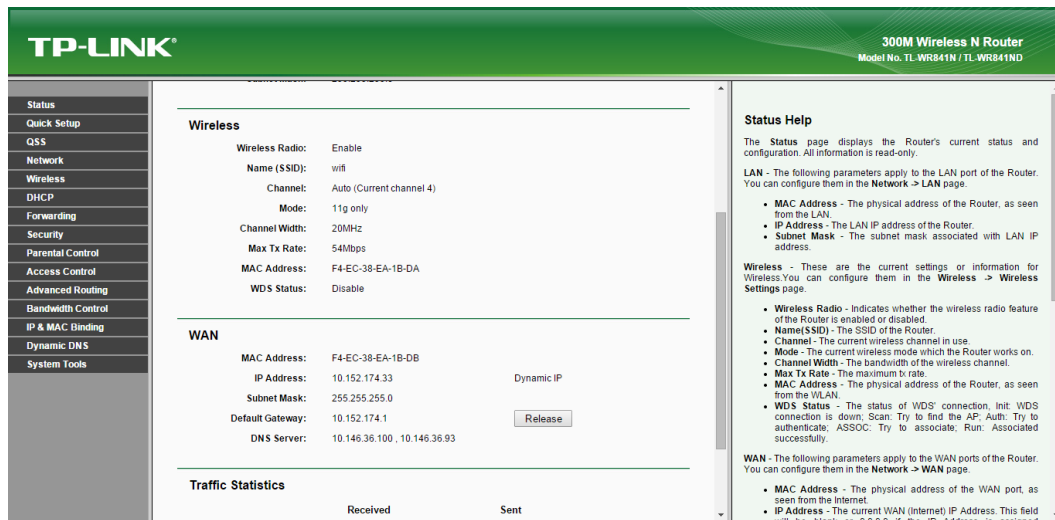
**Figura 101. Autenticación para acceder al router TP-LINK.**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

Una vez se inicia sesión se verá la ventana principal de la interfaz web del router (Figura 102).

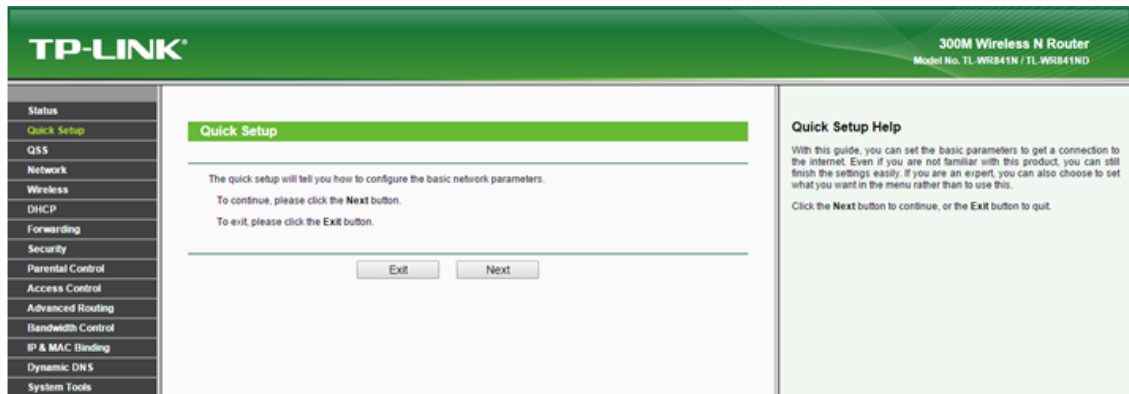
**Figura 102. Interfaz web del TP-LINK.**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

- Se seleccionará *Quick Setup* para iniciar la configuración del router. Luego se da click en *Next* como se muestra en la Figura 103.

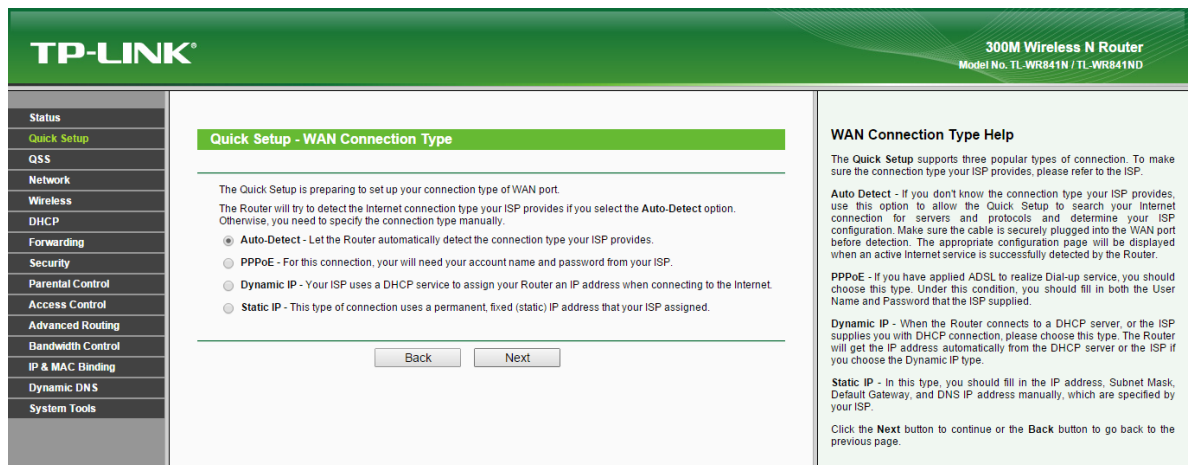
Figura 103. Interfaz web *Quick Setup* del router TP-LINK.



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

En la Figura 104 se muestra la configuración para el tipo de conexión WAN. Se selecciona *Auto Detect*; con esta opción el router automáticamente escogerá el tipo de conexión. Dar click en *Next* y esperar que se detecte el tipo de conexión.

Figura 104. Interfaz web *WAN Connection Type opción Auto-Detect* del router TP-LINK.



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

- Luego, en *Quick Setup - Wireless* se escogen las siguientes opciones:

- El SSID: para esta práctica será “*comunicaciones*”.
- Region: *Colombia*.
- Las otras opciones se dejarán por defecto (Figura 105).

Figura 105. Interfaz web *Quick Setup - Wireless* del router TP-LINK.

**TP-LINK** 300M Wireless N Router  
Model No. TL-WR841N / TL-WR841ND

**Quick Setup - Wireless**

Wireless Radio:  Enable

SSID:

Region:

Channel:

Mode:

Channel Width:

Max Tx Rate:

Wireless Security:

Disable Security

WPA-PSK/WPA2-PSK

PSK Password:

**Wireless Help**

- **Wireless Radio** - Enable or disable the wireless radio.
- **SSID** - Enter a string of up to 32 characters. The same Name (SSID) must be assigned to all wireless devices in your network. The default SSID is set to be **TP-LINK\_XXXXXXXXXX** indicates the last unique six characters of each Router's MAC address), which can ensure your wireless network security. But it is recommended strongly that you change your network's name (SSID) to a different value. This value is case-sensitive. For example, **MYSSID** is NOT the same as **myssid**.
- **Region** - Select your region from the pull-down list. This field specifies the region where the wireless function of the Router can be used. It may be illegal to use the wireless function of the Router in a region other than one of those specified in this field. If your country or region is not listed, please contact your local government agency for assistance.
- **Channel** - This field determines which operating frequency will be used. It is not necessary to change the wireless channel unless you notice interference problems with another nearby access point. If you select auto, then the AP will select the best channel automatically.
- **Mode** - This field determines the wireless mode which the Router works on.
- **Channel Width** - The bandwidth of the wireless channel.
- **Max Tx Rate** - You can limit the maximum tx rate of the Router.

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

- Una vez configurado el router se oprime el botón *Next*, apareciendo la ventana *Quick Setup - Finish*, donde se comprueba la correcta conexión a internet. Dar click en *Reboot / Finish* como se muestra en la Figura 106.

Figura 106. Interfaz web *Quick Setup - Finish* del router TP-LINK.

**TP-LINK** 300M Wireless N Router  
Model No. TL-WR841N / TL-WR841ND

**Quick Setup - Finish**

**Congratulations! The Router is now connecting you to the Internet. For detail settings, please click other menus if necessary.**

The change of wireless config will not take effect until the Router reboot.

**Finish Help**

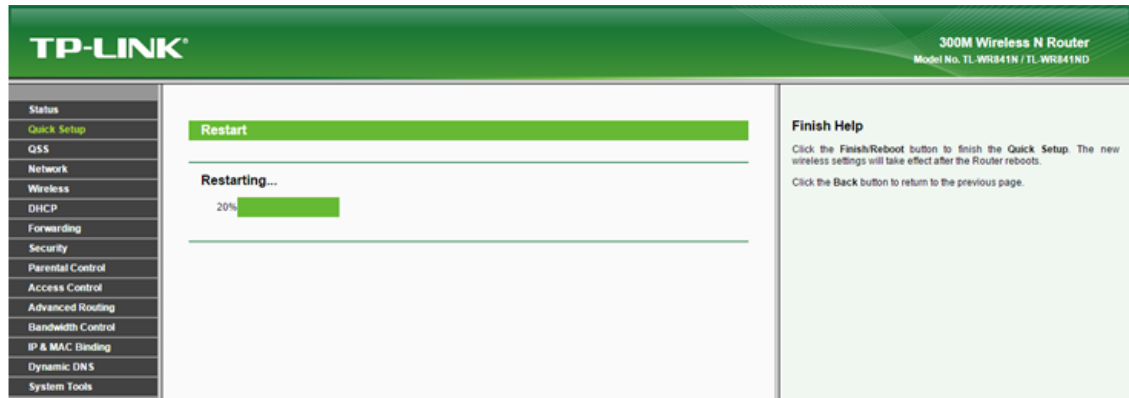
Click the **Finish/Reboot** button to finish the **Quick Setup**. The new wireless settings will take effect after the Router reboots.

Click the **Back** button to return to the previous page.

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

- Esperar que se carguen los ajustes al 100% (Figura 107).

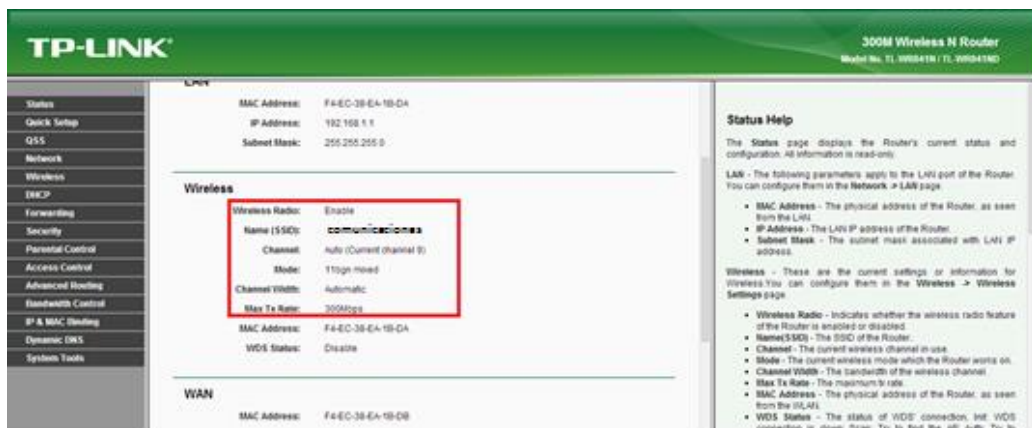
Figura 107. Interfaz web *Restart* del router TP-LINK.



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

Terminado la carga al 100% aparecerá una ventana mostrando la nueva configuración (Figura 108).

Figura 108. Visualización de cambios en el router TP-LINK.



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

- Después de estas configuraciones, dirigirse al administrador de redes para comprobar la nueva red inalámbrica como se ve en la Figura 109.

**Figura 109. Conexión en el administrador de redes con el router TP-LINK.**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

Con lo anterior se concluye la práctica 3.

## **ANEXO 4. PROTOTIPO DE ENLACE VÍA MICROONDAS**

### **4. PRÁCTICA 4**

#### **4.1 OBJETIVOS**

Realizar un enlace en el campus de la universidad entre dos puntos distantes por medio de antenas tipo grilla y tipo cuadrada.

#### **4.2 MATERIALES**

- Access Point 3Com 8760.
- Adaptador PoE.
- Access Point QP-WA252G.
- Router TP-LINK WR841ND.
- Computador portátil.
- Cable de datos Ethernet con conector RJ45.
- Antena grillada.
- Antena de tipo panel.

#### **4.3 INTRODUCCIÓN**

Hay lugares donde la cobertura del internet no llega por distintas circunstancias, impidiendo al usuario captar señal de la red. Con el enlace vía microondas se pretende otorgar señal wifi direccionando el envío de datos por medio de la antena grilla con la ayuda del Access Point 3Com (modo raíz); la antena panel (modo cliente) como receptor y el router TP-LINK será el encargado de dar cobertura de dicha red inalámbrica.

#### **4.4 TEORÍA**

En un enlace wifi vía microondas la transmisión y recepción de datos se realiza a través de antenas donde no se presenten obstáculos para obtener un enlace óptimo. Los protocolos wifi más usados son el IEEE 802.11b y el protocolo IEEE 802.11a.

## 4.5 PROCEDIMIENTO

Esta práctica consta de una etapa transmisora y una etapa receptora.

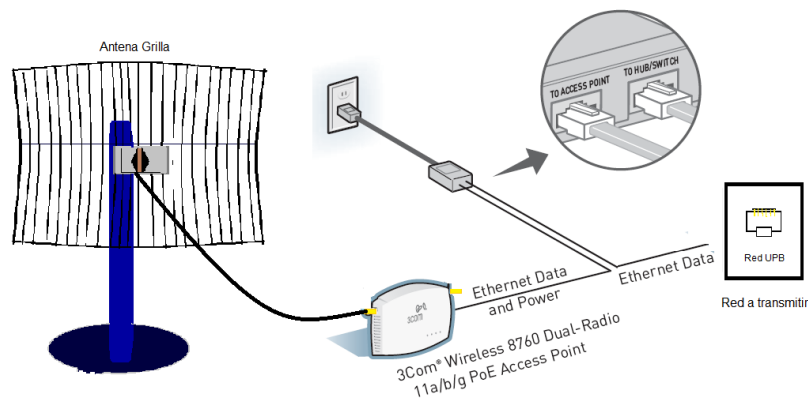
### 4.5.1 Etapa Transmisora

- El Access Point 3Com será configurado en modo raíz.
- Se debe direccionar la vista de la antena transmisora y receptora.

#### 4.5.1.1 Conexión

- Desarrollar los pasos de conexión del router 3Com vistos en la práctica 1 (Configuración del Access Point 3Com).
- Desconectar las antenas omnidireccionales del 3Com y conectar el cable RF a la antena grillada.
- El montaje de la etapa transmisora se observa en la Figura 110.

**Figura 110. Conexión de la estación transmisora del enlace vía microondas.**



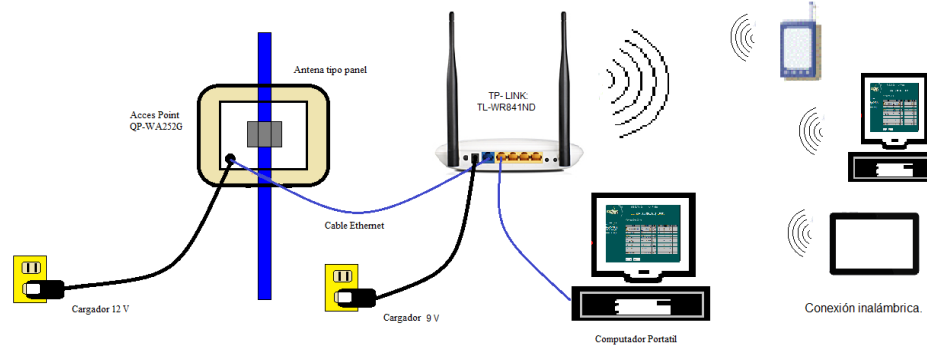
Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

**4.5.2 Etapa Receptora.** Para esta etapa la antena tipo panel, conectada al router TP-LINK, se ubicará a una distancia prudente de la antena grillada garantizando línea de vista.

#### 4.5.2.1 Conexión

- Realizar los pasos de la práctica 2 (Configuración del Access Point QP-WA252G en modo cliente) y enlazar a la red que por defecto transmite la antenna grillada.
- Se configura el router TP-LINK WR841ND. En el terminal WAN del TP-LINK WR841ND conecte el cable de datos Ethernet a la antenna tipo panel. La conexión se muestra en la Figura 111.

Figura 111. Conexión de la estación receptora del enlace vía microondas.



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

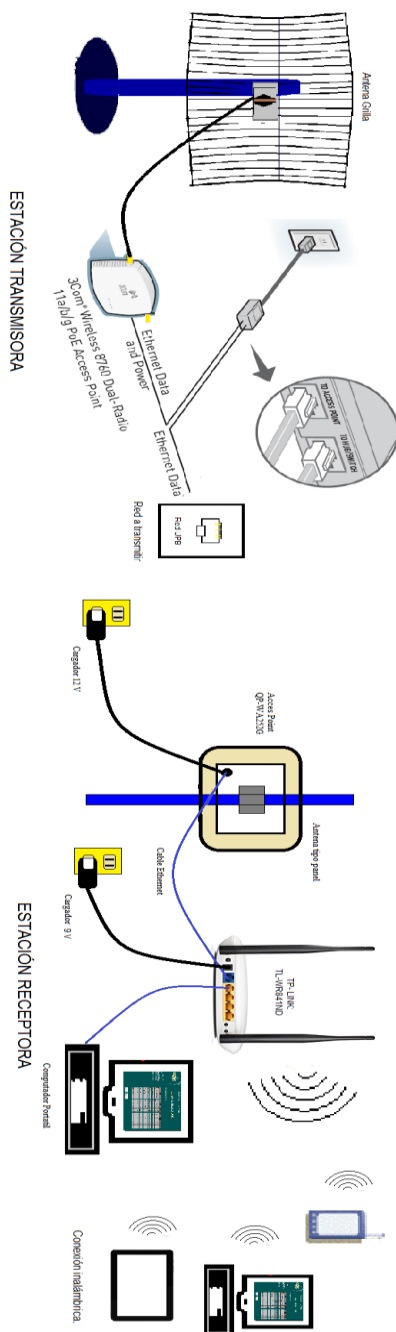
- Se comprueba la conexión a la red creada como se ilustra en la Figura 96.

Figura 112. Conexión a la red (prototipo de enlace vía microondas).



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

Figura 113. Prototipo de enlace vía microondas.



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

De esta forma se da por concluida la práctica 4.

## **ANEXO 5. MUESTRA DE DATOS UTILIZANDO EL SOFTWARE WIRESHARK**

### **5. PRÁCTICA 5**

#### **5.1 OBJETIVOS**

- Obtener una muestra de datos de tráfico generado a través de un enlace vía microondas.
- Utilizar el software Wireshark para analizar tráfico.

#### **5.2 MATERIALES**

- Computador portátil.
- Cable de datos Ethernet con conector RJ45.

#### **5.3 SOFTWARE**

- Software Wireshark versión 1.12.4 (libre).
- Software EasyFit versión 5.6.

#### **5.4 INTRODUCCIÓN**

El análisis de tráfico permite detectar problemas y determinar la eficiencia de las redes de comunicaciones. Los analizadores de protocolos son una herramienta que permite al usuario la captura de datos en una red de computadores permitiendo detectar y mitigar errores.

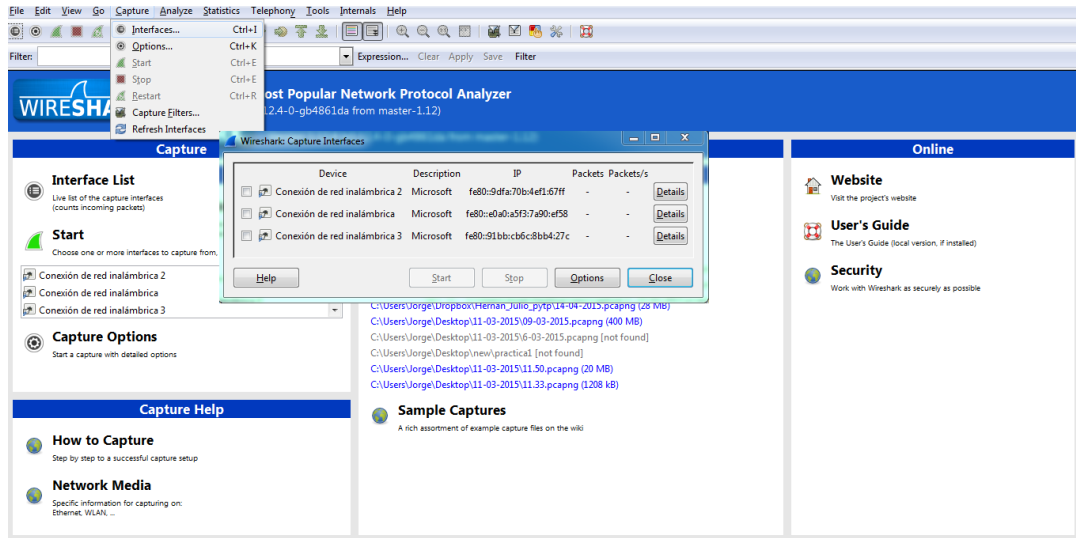
#### **5.5 TEORÍA**

El software Wireshark es un analizador de protocolos usado para análisis de tráfico de redes de comunicaciones, permitiendo la captura de tráfico y el filtrado de protocolos en una red.

#### **5.6 PROCEDIMIENTO**

- Abrir el software *Wireshark*. Al iniciar el programa, en el menú *Capture* seleccione *Interface*. A continuación de click a la red a la que se desea conectar (enlace wifi) como muestra la Figura 114.

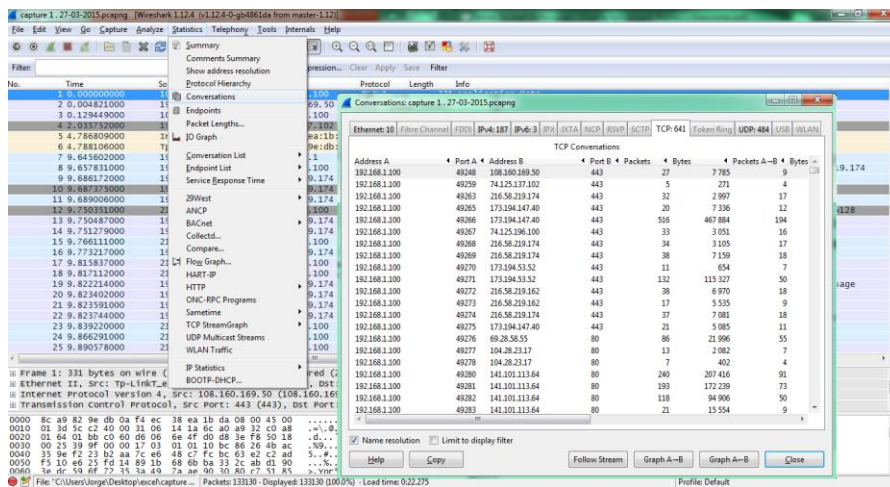
Figura 1144. Selección de red con el software *Wireshark*.



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

- Navegar por cinco minutos en diferentes páginas mediante el browser predeterminado. Transcurrido el tiempo, detener la captura y guardar la información.
- Una vez guardada la captura, en el menú *Statistics* se seleccionará la opción *Conversations*. Se desplegará una ventana como se ve en la Figura 115, donde se observa los protocolos más utilizados en la captura.

Figura 115. Lista de conversaciones de protocolos con el software *Wireshark*.



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

- Con esta herramienta se recolectará la información de los protocolos con mayor porcentaje para determinar su distribución. Dar click en *Copy* ubicado en la esquina inferior izquierda y copiar en un archivo nuevo de *Excel*.

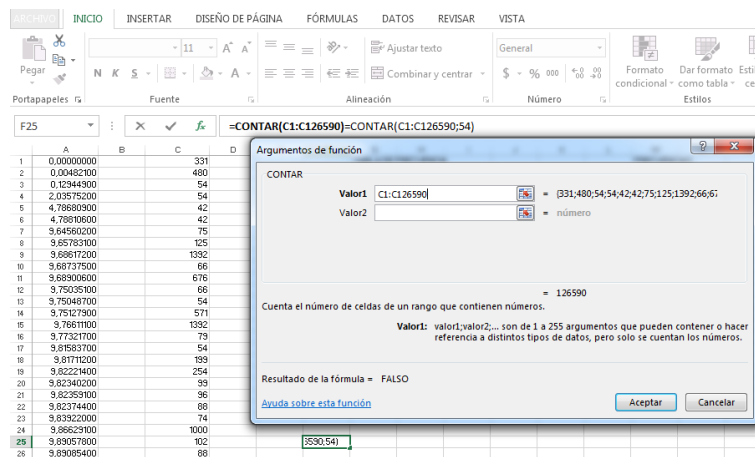
- En el caso de este ejemplo se toma la *capture 1*.

- Con la información de paquetes (*Packets*) y tiempo (*Time*), graficar Paquetes vs. Tiempo.

- Con el software Excel se realiza el histograma. Para esto se creará una tabla de frecuencia.

- Se halla n (número de paquetes) con el comando CONTAR como se observa en la Figura 116.

**Figura 116. Tabla de frecuencias con el software Excel.**

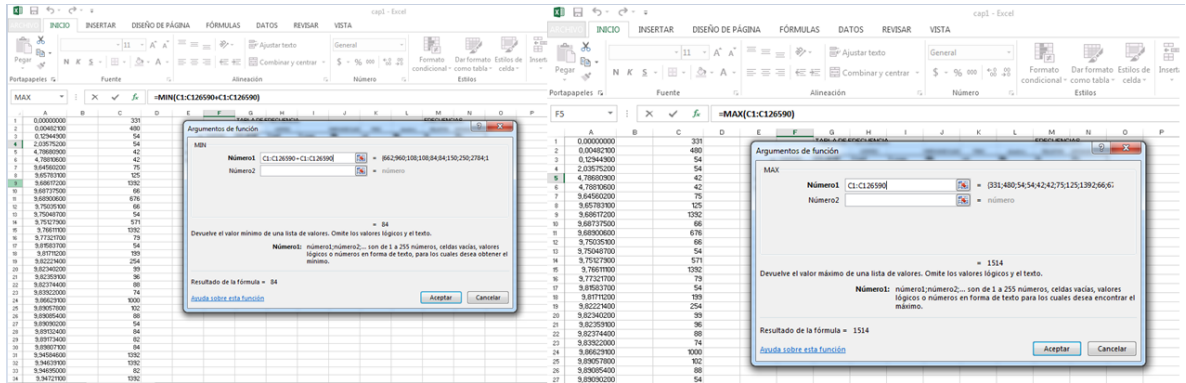


Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

- Se halla:  
PMínimo (el número mínimo de paquete trabajado en la tira de datos)  
Pmáximo (el número máximo de paquete trabajado en la tira de datos)  
Esto se realiza con la función MIN y MAX, respectivamente (Figura 117).

**Figura 117. Tabla de frecuencias hallando P (mínimo y máximo) con el software**

## Excel.



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

- Se halla R (Rango de entrada).

### Ecuación 25. Rango de entrada.

$$R = P_{MAX} - P_{MIN}$$

- Se calcula K (número de grupo o clases) mediante la regla de *Sturges*. El valor calculado se redondea al número entero más cercano.

### Ecuación 26. Regla de Sturges para el cálculo del número de clases.

$$k = 1 + (3.33 * \log n)$$

- Se calcula w (amplitud) para cada clase.

### Ecuación 27. Amplitud de la clase.

$$w = (R/k)$$

- Una vez realizado lo anterior, se visualizará una tabla como se muestra a continuación:

**Tabla 57. Tabla con datos de entrada.**

<b>n</b>	126590
<b>x min</b>	42
<b>x max</b>	1514
<b>rango</b>	1472
<b>k</b>	18
<b>w</b>	81,777778

- Se realiza la tabla de frecuencia (Tabla 41).

**Tabla 58. Tabla de Frecuencia.**

CLASE	LIMITES		MARCA DE CLASE
	Inferior	Superior	Mi

Fuente: Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

Para el caso de la *capture 1* se calculó el número de clases (18). En la Figuras 118, 119 y 120 se observa la construcción de la tabla de frecuencias.

**Figura 118. Tabla de frecuencias con el software Excel.**

TABLA DE FRECUENCIA			
CLASE	LIMITES		MARCA DE CLASE
	Inferior	Superior	Mi
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

**Figura 119. Tabla de frecuencias hallando los límites (inferior y superior) con el**

software *Excel*.

		TABLA DE FRECUENCIA		
		LIMITES		MARCA DE CLASE
		Inferior	Superior	Mi
n	126590			
CLASE				
pmin	42	42	123.7778	
pmax	154	123.7778	205.5556	
rango	11472	205.5556	287.3333	
k	18	287.3333	369.1111	
v	61,77778	369.1111	450.8889	
		450.8889	532.6667	
		532.6667	614.4444	
		614.4444	696.2222	
		696.2222	778	
		778	859.7778	
		859.7778	941.5556	
		941.5556	1023.3333	
		1023.3333	1105.1111	
		1105.1111	1186.889	
		1186.889	1268.667	
		1268.667	1350.444	
		1350.444	1432.222	
		1432.222	1514	

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

Figura 120. Tabla de frecuencias hallando la marca de clase con el software *Excel*.

		TABLA DE FRECUENCIA			FRECUENCIAS				
		CLASE	LIMITES		MARCA DE CLASE	FREQ	absoluta	RELATIVA	ATICAACOMULADA
			Inferior	Superior	Mi	fi	Ni	fi	Fi
n	126590								
CLASE									
pmin	42	1	42	123.7778	=PROMEDIO(H4:I4)				

Argumentos de función

PROMEDIO

Número1: H4:I4 = {42;123,77777777778}

Número2: = número

= 82,88888889

Devuelve el promedio (media aritmética) de los argumentos, los cuales pueden ser números, nombres, matrices o referencias que contengan números.

Número1: número1;número2,... son entre 1 y 255 argumentos numéricos de los que se desea obtener el promedio.

Resultado de la fórmula = 82,89

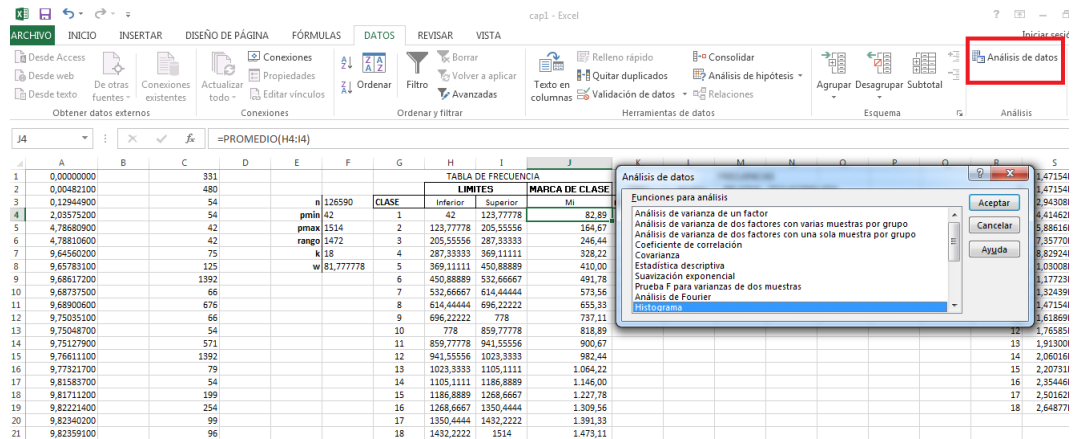
[Ayuda sobre esta función](#)

Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

- Terminada la tabla de frecuencias, en el menú *Datos* se selecciona la herramienta *Análisis de datos*, y se escoge la opción *histograma* como muestra la Figura 121.

Figura 121. Tabla de frecuencias seleccionando *Análisis de datos* con el software

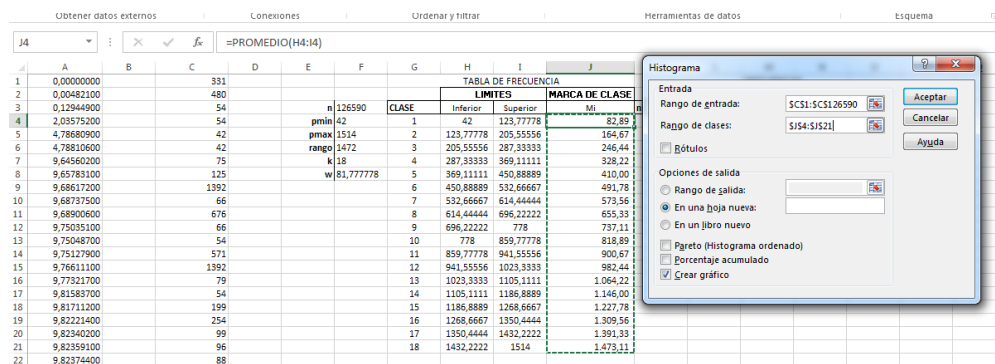
## Excel.



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

- Posteriormente se seleccionarán las clases como muestra la Figura 122.

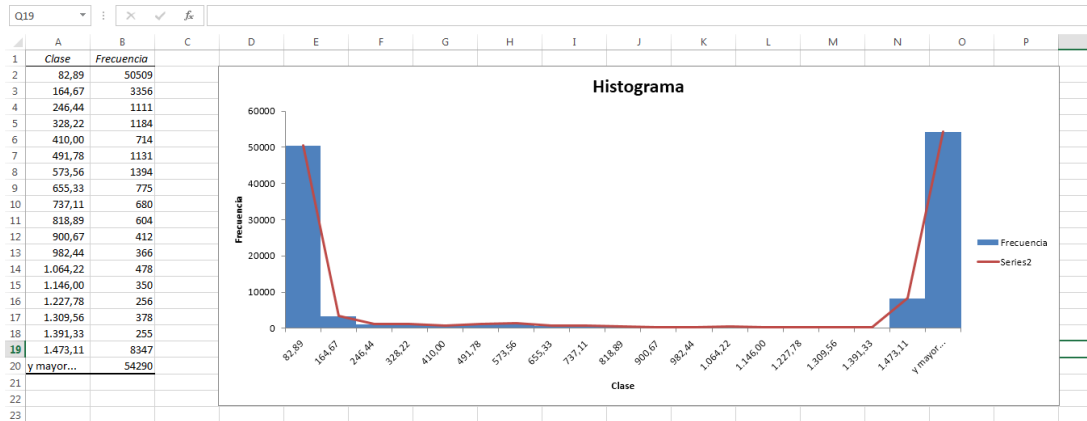
Figura 122. Tabla de frecuencias seleccionando *histograma* con el software Excel.



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

- *Rango de entrada*: paquetes obtenidos en la tira de datos.
  - *Rango de clases*: datos obtenidos en la marca de clase.
  - Se da click en *Crear gráficos*.
  - Finalmente se da click en *Aceptar*.
- Por último, en Excel se creará el histograma. Esta gráfica permite visualizar distribución de probabilidad de la población de los datos de la *capture 1* (Figura 123).

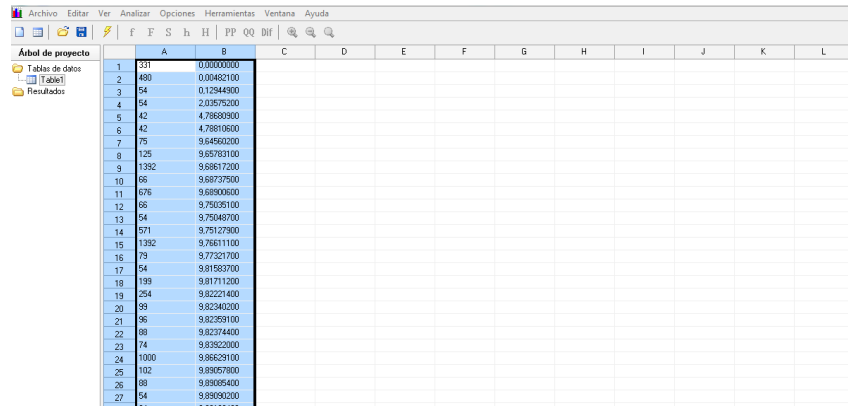
**Figura 123. Histograma con el software Excel.**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

- Exportar la información al software *EasyFit*. Luego se copia la tira de datos con la información de paquetes en la fila A y los tiempos en la fila B (Figura 124).

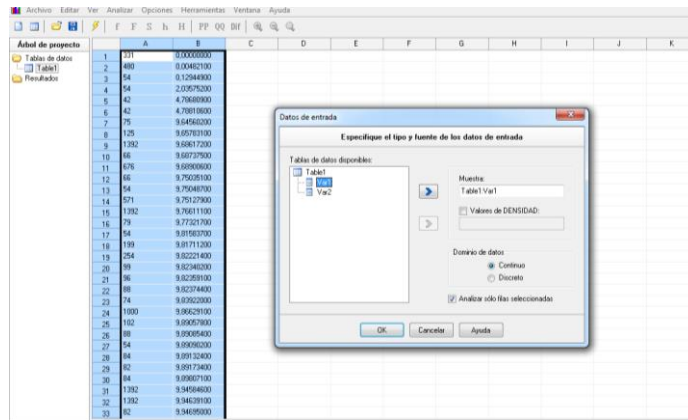
**Figura 124. Software *EasyFit*.**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

- Seleccionar las dos columnas. Luego en el menú *Analizar* se escoge la opción *Estadística Descriptiva*. En la ventana *Datos de entrada*, en Dominio de Datos se selecciona *continuo* y luego se da click en *OK* (Figura 125).

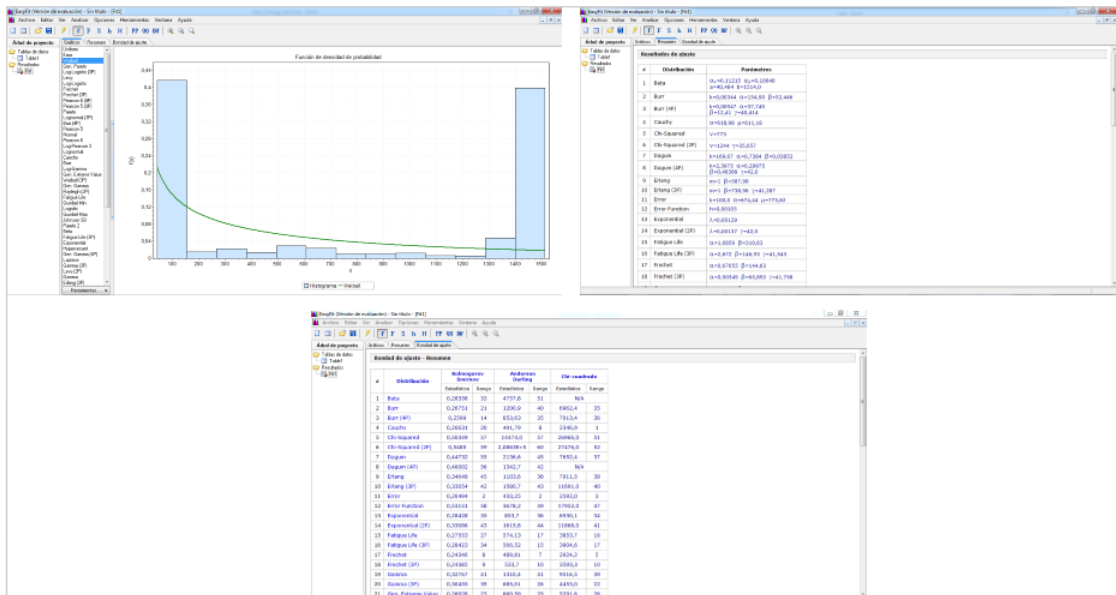
**Figura 125. Selección del tipo y fuente de los datos de entrada con el software EasyFit.**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

- El software *EasyFit* determinará las distribuciones adecuadas de dicha información, obteniendo gráficos de distribución de probabilidad, resultados de ajuste y bondad de ajuste. Terminado este numeral se podrá realizar los estudios para analizar el tráfico de una red wifi mediante un enlace vía microondas como se muestra en la Figura 126.

**Figura 126. Selección de la distribución de probabilidad, resultado de ajuste y bondad de ajuste con el software EasyFit.**



Fuente: Flórez Julio, Sanabria Hernán.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- [1] STALLINGS, William. Comunicaciones y redes de computadores. 5 ed. Madrid: Prentice Hall Iberia, 1997. 808 p.
- [2] Engineering and Technology History Wiki. Wireless LAN 802.11 Wi-Fi. Disponible en Internet: [http://ethw.org/Wireless\\_LAN\\_802.11\\_Wi-Fi](http://ethw.org/Wireless_LAN_802.11_Wi-Fi)
- [3] MERINO FEBRERO, Borja. Análisis de tráfico con Wireshark [en línea]. Instituto Nacional de Tecnologías de la Comunicación (INTECO). León (Castilla y León). Febrero 2011. Disponible en Internet: <[https://www.incibe.es/extfrontinteco/img/File/intecocert/EstudiosInformes/cert\\_inf\\_seguridad\\_analisis\\_trafico\\_wireshark.pdf](https://www.incibe.es/extfrontinteco/img/File/intecocert/EstudiosInformes/cert_inf_seguridad_analisis_trafico_wireshark.pdf)>
- [4] Mathwave Data analysis & simulation. Easyfit: Programa para ajuste de distribución. Disponible en Internet: <http://www.mathwave.com/es/home.html>
- [5] CABRERA E., César A. Dimensionamiento de recursos usando fórmulas Erlang [en línea]. Bogotá, D.C. 10-11-2014. Disponible en Internet: <http://cesarcabrera.info/blog/dimensionamiento-de-recursos-usando-formulas-erlang/>>
- [6] Universidad Nacional de Colombia sede Manizales. Notación de Kendall [en línea]. Disponible en Internet: <<http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4040147/descargas/ejemplos.pdf>>
- [7] JOHNSON, Richard A. Probabilidad y estadística para ingenieros de Miller y Freund. 5 ed. Naucalpan de Juárez, Edo. De México: Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A., 1997. 630 p.
- [8] MENDENHALL, William, BEAVER, Robert J. y BEAVER, Barbara M. Introducción a la probabilidad y estadística. 13 ed. México, D.F.: Cengage Learning Editores, S.A. de C.V., 2010. 746 p.
- [9] WALPOLE, Ronald E., MYERS, Raymond H., MYERS, Sharon L. y YE, Keying. Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias. 9 ed. Naucalpan de Juárez, Edo. De México: Pearson Educación, 2012. 816 p.
- [10] HINES, William W. y MONTGOMERY, Douglas C. Probabilidad y estadística para ingeniería y administración. 2 ed. México, D.F.: Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V., 1993. 834 p.
- [11] TANENBAUM, Andrew S. Redes de ordenadores. 2 ed. Naucalpan de Juárez,

Edo. De México: Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A., 1991. 759 p.

[12] MONCLOU S., Álex A. y VANEGAS I., Jorge A. Modelos de tráfico en ATM (primera parte). En: Revista Omega AIELEC. Noviembre, 2000. no. 12, p. 14-21.

[13] PANICO, Joseph A. Teoría de las colas. Ediciones Economía y Empresa Prolam S.R.L. y el Centro Regional de Ayuda Técnica, Agencia para el Desarrollo Internacional (A.I.D.), Departamento de Estado del Gobierno de los Estados Unidos de América. Buenos Aires, Argentina. 1973. 226 p.

[14] ALZATE MONROY, Marco Aurelio. Introducción al Tráfico Autosimilar en Redes de Comunicaciones. En: Revista INGENIERÍA, Universidad Distrital. 2001. vol. 6, p 6-17.

[15] AZARANG ESFANDIARI, Mohammad Reza y GARCÍA DUNA, Eduardo. Simulación y análisis de modelos estocásticos. México, D.F.: McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A. de C.V., 1996. 282 p.

[16] AMARO, Isidro Rafael, DEMEY, Jhonny R. y MACCHIAVELLI, Raúl. Aplicación del análisis r/s de Hurst para estudiar las propiedades fractales de la precipitación en Venezuela. Disponible en Internet: [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0378-18442004001100004&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0378-18442004001100004&script=sci_arttext)

[17] Redes de Telecomunicaciones. Laboratorio – Medidas de QoS. Disponible en Internet: < <http://rene-redes-telecom.blogspot.com/2013/02/laboratorio-medidas-de-qos.html>>

Proyectos de grado:

BLANCO CORREA, Hernando y GARCÍA GRAZZIANI, José Luis. Simulación y caracterización de tráfico de nuevos servicios en redes IP. Trabajo de grado Ingeniero Electrónico. Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana. Escuela de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Electrónica, 2011. 109 p.

CARDOZO MORENO, Elga Ximena. Evaluación de un modelo de red de cola cerrada para la estimación de la capacidad de canal de una red de datos universitaria. Trabajo de grado Ingeniero Electrónico. Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana. Escuela de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Electrónica, 2009. 187 p.

GONZÁLEZ OCHOA, Nicolás Alonso y VILLAMIL TORRES, Jorge Enrique. Prototipo de enlace vía microondas de una red wifi para el laboratorio de

telecomunicaciones de la facultad de ingeniería electrónica. Trabajo de grado Ingeniero Electrónico. Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana. Escuela de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Electrónica, 2014. 128 p.

JIMÉNEZ CASTILLO, Johnny Wilbingston. Diseño e implementación de prácticas de laboratorio de redes inalámbricas. Trabajo de grado Ingeniero Electrónico. Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana. Escuela de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Electrónica, 2009. 201 p.